

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA ACADÉMICA AGROFORESTAL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS  
NATURALES Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

**DESINFECCIÓN DEL AGUA, MEDIANTE EL USO DEL ÁCIDO  
TRICLOROISOCIANÚRICO**

Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área Académica  
Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para optar por el  
grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de  
Producción

ING. ALEXANDER GONZÁLEZ VARGAS

Campus Cartago, Costa Rica

2011

## **Hoja de Aprobación del Trabajo Final de Graduación**

**Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica , como requisito parcial para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción.**

**Ing. Silvia Soto Córdoba. M.Sc  
Profesora Tutora**

**Ing. Lilliana Gaviria Mora. M.Sc  
Profesora Lectora**

**Ing. Rodolfo Canessa Mora. M.Sc  
Coordinador del Área Académica Agroforestal**

**Ing. Alexander González Vargas  
Sustentante**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo, se lo dedico a Dios, a mis padres Hernán y Marielos, cuyo apoyo fue incondicional y fundamental para la culminación de mis estudios.

A mis otros seres queridos que igualmente me apoyaron a lo largo de estos años de estudio.

A todos ellos y ellas:

**¡MUCHAS GRACIAS!**

Alexander González Vargas

## **AGRADECIMIENTO**

Al personal de la ASADA de Horquetas de Sarapiquí, por ayudarme en la elaboración de este proyecto.

A la profesora guía, por la acertada orientación brindada para la culminación de este trabajo.

A los demás profesores que con sus enseñanzas, me formaron como estudiante y como profesional.

A mis compañeros (as) y amigos (as), que compartieron de su tiempo conmigo a lo largo de estos dos años.

A todas aquellas personas, que hicieron posible la culminación de mis estudios.

A todos ellos y ellas:

**¡MUCHAS GRACIAS!**

Alexander González Vargas

## RESUMEN

El presente Proyecto de Graduación, consiste en la evaluación de rendimiento del uso del ácido tricloroisocianúrico en la desinfección del agua del acueducto de Horquetas de Sarapiquí; basados en las normas existentes que regulan la calidad del agua.

La revisión bibliográfica, incluye un resumen sobre la importancia del agua; desde el punto de vista de efectos sobre la salud y sus beneficios, al igual que presenta la situación a nivel nacional del agua potable, fuentes de agua, estado del agua para consumo humano en Costa Rica, sistemas de desinfección del agua generalmente utilizados por los entes operadores de acueductos. Por último se realiza una comparación entre los productos más comúnmente utilizados entre los sistemas dosificadores de cloro mediante tabletas.

En la metodología se realiza una breve descripción de cómo se realizaron las mediciones del cloro residual, los lugares donde se tomaron las muestras y de cómo se realizó el análisis de los datos recolectados mediante la utilización de fórmulas matemáticas y estadísticas.

Al realizar el análisis de los datos recolectados, se pudo determinar que el rendimiento del ácido tricloroisocianúrico en la desinfección del agua es del 99,5%  $\pm$  0.5%. Igualmente se pudo comprobar que de acuerdo a la concentración de cloro disponible, es económicamente más rentable el uso del ácido tricloroisocianúrico y un 25% más eficiente que el uso del hipoclorito de calcio.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.	El problema y su importancia. ....	1
2.	Antecedentes del problema.....	1
3.	OBJETIVOS.....	2
a.	Objetivo General.....	2
b.	Objetivos Específicos.....	2
II.	MARCO DE REFERENCIA.....	4
1.	Definiciones importantes .....	4
2.	Importancia del agua.....	6
3.	El agua potable en Costa Rica .....	7
4.	Fuentes de Agua.....	10
5.	Estado del agua para consumo humano en Costa Rica .....	11
6.	Desinfección del agua en Costa Rica.....	12
7.	Sistemas de desinfección utilizados en Costa Rica.....	16
a.	Cloro Gas .....	16
b.	Hipoclorito de sodio .....	17
c.	Hipoclorito de Calcio .....	17
d.	Ácido Tricloroisocianúrico (ACI) .....	18
8.	Diferencia entre el hipoclorito de calcio y el ácido tricloroisocianúrico (ACL®90) .....	20
III.	MATERIALES Y METODOS .....	22
1.	Revisión bibliográfica .....	22
2.	Mediciones de campo .....	22
a.	Cálculo de los aforos (método volumétrico) .....	22

b.	Medición del cloro residual.....	23
3.	Determinación de los lugares de Muestreo .....	26
4.	Análisis de datos .....	28
IV.	RESULTADOS Y ANALISIS DE DATOS.....	29
1.	Medición del Cloro residual en ppm .....	29
2.	Medición del Caudal (aforos) .....	31
3.	Determinación del consumo de cloro teórico y real .....	32
4.	Comparación del uso del hipoclorito de Calcio y del Ácido Tricloroisocianúrico de la marca ACL <sup>®</sup> 90.....	33
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	35
1.	Conclusiones .....	35
2.	Recomendaciones .....	36
VI.	BIBLIOGRAFÍA .....	37
VII.	ANEXOS .....	38

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fuentes de abastecimiento de acuerdo al tipo de ente operador del acueducto .....	11
Cuadro 2. Agua para consumo humano: estimación general de cobertura y calidad en Costa Rica - Período 2010 .....	12
Cuadro 3. Propiedades de las diferentes presentaciones de cloro .....	15
Cuadro 4. Promedio de la medición del cloro residual según lugar y fecha de recolección.....	29
Cuadro 5. Caudal captado en litros por segundo .....	32
Cuadro 6. Metros cúbicos captados y facturados para los meses de Julio, Agosto y Setiembre .....	32
Cuadro 7. Resumen del consumo de tabletas mensual .....	33
Cuadro 8. Comparación entre el Hipoclorito de Calcio y el ACL 90.....	34



## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Medición de Cloro Residual en ppm .....	30
Gráfico 2. Medición promedio de cloro residual en ppm.....	31
Gráfico 3. Gasto proyectado en cloro entre el hipoclorito de calcio y el ACL .....	34

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de desinfección con hipoclorito de sodio .....	17
Figura 2. Sistema de desinfección en tabletas de hipoclorito de calcio .....	18
Figura 3. Estructura Química del Ácido Tricloroisocianúrico.....	19
Figura 4. Esquema del sistema de cámara húmeda para la desinfección del agua .....	20
Figura 5. Sistema de cloración de cámara húmeda (ACI), instalado en Horquetas de Sarapiquí.....	20
Figura 6. Selección de prueba en equipo Palintest .....	24
Figura 7. Muestra en blanco y muestra con reactivo .....	25
Figura 8. Visualización del resultado en la pantalla .....	25
Figura 9. Obtención de la muestra para medición de cloro residual .....	26
Figura 10. Distribución de la red del Acueducto de Horquetas de Sarapiquí .....	27

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1. El problema y su importancia.**

En Costa Rica existen para uso de las ASADAS o Acueductos Rurales, diversos tipos de sistemas de desinfección del agua con cloro, como lo son los sistemas de cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y de ácido tricloroisocianúrico. Este último es poco conocido en cuanto a su funcionamiento y rendimiento. La situación anterior induce a buscar calcular el rendimiento del ácido tricloroisocianúrico como desinfectante del agua.

### **2. Antecedentes del problema.**

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud.

El acceso al agua potable es una cuestión importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos nacional, regional y local. En algunas regiones, se ha comprobado que la inversión en un sistema de abastecimiento de agua y de desinfección puede ser rentable desde un punto de vista económico, ya que la disminución de los efectos contraproducentes para la salud y la consiguiente reducción de los costos de asistencia sanitaria es superior al costo de las intervenciones. Dicha afirmación es válida para diversos tipos de inversiones, desde las grandes infraestructuras de abastecimiento de agua al tratamiento del agua en los hogares. La experiencia ha demostrado asimismo que las medidas destinadas a mejorar el acceso al agua potable favorecen en particular a los pobres, tanto de zonas rurales como urbanas, y pueden ser un componente eficaz de las estrategias de mitigación de la pobreza.

La desinfección del agua del acueducto de Horquetas de Sarapiquí, es necesario para acatar las disposiciones del Reglamento para la Calidad del Agua (Decreto N° 32327-S), emitido por el Presidente de la República y la Ministra de la Salud, y publicado en el Diario Oficial La Gaceta N° 84 del 3 de mayo del 2005 y el Decreto N° 33953-S-MINAE “Reglamento para la Implementación y Desarrollo del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de Calidad de los Servicios de Agua Potable Período 2007-2015 (PNMSCSAP)”.

Con la implementación del sistema de desinfección del agua del acueducto de Horquetas de Sarapiquí, se estaría asegurando los parámetros de calidad del agua, según Decreto N° 32327-S para 3300 viviendas en el distrito de Horquetas (Fuente: ASADA HORQUETAS, 2011). Igualmente al cumplir con el decreto N°33953-S-MINAE, se está contribuyendo a lograr cumplir con los objetivos del milenio ya que en el considerando decimo cuarto del decreto, hace mención a la meta 10 del objetivo 7 de los Objetivos del Milenio, el cual pretende reducir la cantidad de personas sin acceso a agua segura y servicios de saneamiento.

### **3. OBJETIVOS**

#### **a. Objetivo General.**

Determinación del rendimiento del uso del ácido tricloroisocianúrico en el sistema de desinfección del agua, en el Acueducto de Horquetas de Sarapiquí y compararlo en rendimiento económico y eficiencia.

#### **b. Objetivos Específicos.**

- Determinación del rendimiento del uso del ácido tricloroisocianúrico (ACL90) en el sistema de desinfección del agua, de acuerdo al caudal captado en las nacientes del acueducto.

- Calcular el rendimiento del uso del ácido tricloroisocianúrico (ACL90) en el sistema de desinfección del agua, de acuerdo a la concentración de cloro residual
- Comparar y evaluar el rendimiento del uso del ácido tricloroisocianúrico teórico esperado en comparación al obtenido en la aplicación de este de acuerdo a las mediciones de campo obtenidas.
- Comparar el rendimiento del ACI vs el consumo de Hipoclorito de Calcio

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 1. Definiciones importantes

Para poder comprender la terminología empleada en el marco de referencia, es necesario transcribir las siguientes definiciones del Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto 32327-S.

**Acreditación:** Procedimiento por el cual un ente autorizado otorga reconocimiento formal de que un organismo o persona es competente para llevar a cabo tareas específicas.

**Agua Potable:** Agua tratada que cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, establecidos en el Reglamento para la calidad del agua, Decreto 32327-S

**Agua superficial:** La que se origina a partir de precipitaciones atmosféricas, afloración de aguas subterráneas (ríos, manantiales, lagos, quebradas).

**Agua subterránea:** La que se origina de la infiltración a través de formaciones de una o más capas subterráneas de rocas o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente permeabilidad para permitir un flujo significativo aprovechable sosteniblemente para su extracción.

**Agua tratada:** Agua subterránea o superficial cuya calidad ha sido modificada por medio de procesos de tratamiento que incluyen como mínimo a la desinfección en el caso de aguas de origen subterráneo. Su calidad debe ajustarse a lo establecido en el reglamento para la calidad del agua, decreto 32327-S.

**Control de la calidad del agua potable:** evaluación continua y sistemática de la calidad del agua desde la fuente, planta de tratamiento, sistemas de almacenamiento y distribución, según programas específicos que deben ejecutar los organismos operadores a fin de cumplir las normas de calidad.

**Desinfección del agua:** corresponde a un proceso físico químico unitario cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano. El proceso químico de la desinfección no corresponde a una esterilización.

**Muestra de agua:** Es una porción de agua que se recolecta de tal manera que resulte representativa de un volumen mayor de líquido.

**Entes Operadores:** Instituciones, empresas, asociaciones administradoras o entidades en general públicas o privadas, directamente encargadas de la operación, mantenimiento y administración de sistemas de suministro de agua potable.

**Valor máximo admisible:** Corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias a partir del cual existe rechazo del agua como parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud.

**Valor recomendado:** Corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias que implica un riesgo mínimo o aceptable para la salud de los consumidores del agua potable.

**Vigilancia de la calidad del agua potable:** Es la evaluación permanente desde el punto de vista de salud pública, efectuada por el Ministerio de Salud, sobre los organismos operadores, a fin de garantizar la seguridad, inocuidad y aceptabilidad del suministro de agua potable desde el área de influencia de la fuente hasta el sistema de distribución.

mg/L	Miligramos por litro
Ppm	Partes por millón
µg/L	Microgramos por litro
PH	Potencial de iones de hidrógeno
°C	Grados Celsius
NMP/100 ml	Número más probable de bacterias en 100 mililitros de agua, por el método de tubos múltiples de fermentación

## **2. Importancia del agua**

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. El acceso al agua potable es una cuestión importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos nacional, regional y local.

En algunas regiones, se ha comprobado que las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento pueden ser rentables desde un punto de vista económico, ya que la disminución de los efectos adversos para la salud y la consiguiente reducción de los costos de asistencia sanitaria es superior al costo de las intervenciones. Dicha afirmación es válida para diversos tipos de inversiones, desde las grandes infraestructuras de abastecimiento de agua al tratamiento del agua en los hogares. La experiencia ha demostrado asimismo que las medidas destinadas a mejorar el acceso al agua potable favorecen en particular a los pobres, tanto de zonas rurales como urbanas, y pueden ser un componente eficaz de las estrategias de mitigación de la pobreza.

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo humano sea la mayor posible.

El agua de consumo inocua (agua potable), no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos.

El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. No obstante, puede necesitarse agua de mayor calidad para algunos fines especiales, como la diálisis renal y la limpieza de lentes de contacto, y para determinados usos farmacéuticos y de producción de alimentos. Las personas con inmunodeficiencia grave posiblemente deban tomar precauciones adicionales, como hervir el agua, debido a su sensibilidad a microorganismos cuya presencia en el agua de consumo normalmente no sería preocupante. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

### **3. El agua potable en Costa Rica**

En el caso de Costa Rica la prestación del servicio y suministro de agua potable, se encuentra a cargo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) fue creado en 1961, mediante la Ley 2726 y sus posteriores reformas en las Leyes N°3668 (1966) y 5915 (1976). En su Artículo 1 se le brinda la potestad de “...*dirigir, fijar políticas, establecer y aplicar normas, realizar y promover el planeamiento, financiamiento y desarrollo para resolver todo lo relacionado con el suministro de agua potable y recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos...*”. El Artículo 2, inciso a), ratifica la rectoría en lo concerniente a dirigir y vigilar todo lo relacionado con el abastecimiento de agua potable a todos los habitantes de Costa Rica. (Asamblea Legislativa, 1961)



En Costa Rica hay actualmente varios participantes dentro del Sector Agua Potable y Saneamiento, pero el AyA es el ente rector del sector y además es operador, participan además la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), municipalidades, Comités Administrativos de Acueductos Rurales y las Asociaciones Administrativas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS). Además de algunas organizaciones privadas que manejan y operan sistemas independientes.

- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA):

La función primordial del AyA consiste en dirigir y fijar políticas, establecer y aplicar normas, realizar y promover el planeamiento, financiamiento y desarrollo y resolver todo lo relacionado con el suministro de agua potable, recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos, y los aspectos normativos de los sistemas de alcantarillado pluvial en áreas urbanas y en todo el territorio nacional. El AyA está obligado además, a asesorar a otros organismos del Estado y coordinar las actividades públicas y privadas en todos los asuntos relacionados con el establecimiento de acueductos y alcantarillados y control de la contaminación de los recursos de agua, siendo obligatoria, en todo caso, su consulta, e inexcusable el cumplimiento de sus recomendaciones.

El AyA funge además como institución descentralizada prestadora de servicios, según lo señala su Ley Constitutiva, por lo que le corresponde administrar y operar directamente los sistemas de acueductos y alcantarillados sanitarios de todo el país. El Instituto es el ente encargado de garantizar la continuidad del servicio de agua potable en el ámbito nacional, debiendo asumir la gestión para garantizar la continuidad cuando el operador no pueda seguir prestándolo.

- Municipalidades:

Estas tienen a su cargo la administración plena de los sistemas de abastecimiento de agua potable que tradicionalmente han tenido. Por disposición de la Ley Constitutiva de AyA, las municipalidades que estuvieran administrando y operando sistemas en el momento de crearse el AyA, podían continuar a cargo de estos sistemas siempre y cuando mantuvieran un servicio eficiente, con excepción de los acueductos ubicados en el Área Metropolitana que deberán ser administrados en forma exclusiva por el AyA.

Igualmente el AyA está autorizado por el ordenamiento jurídico para asumir la administración, operación y mantenimiento de los acueductos y sistemas de alcantarillado sanitario que están bajo control de las municipalidades, cuando éstas voluntariamente así lo acuerden con el AyA o cuando la prestación del servicio sea deficiente.

- Empresa de Servicios Públicos de Heredia S. A. (ESPH):

La ESPH es una sociedad anónima de utilidad pública y plazo indefinido, en donde se incorporan de manera voluntaria las corporaciones municipales de la región de Heredia con el fin, entre otros, de unificar esfuerzos para satisfacer las necesidades de agua potable y asumir la conservación, administración y explotación racional de los recursos hídricos en la región de Heredia. La ESPH se transformó en sociedad anónima de utilidad pública mediante la Ley N°7787 del 26 de mayo de 1998. Su ley constitutiva señala que la Empresa gozará de plenas facultades para prestar servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y evacuación de aguas pluviales; así como para la generación, distribución, transmisión y comercialización de energía eléctrica y alumbrado público en convenio con las municipalidades incorporadas de la provincia de Heredia.

- Comités administradores de acueductos rurales (CAAR's) y asociaciones administradoras de acueductos y alcantarillados (ASADAS):

Los comités administradores de acueductos rurales (CAAR's) han sido las organizaciones locales que se iniciaron en la administración comunitaria de acueductos rurales amparados y tutelados por el AyA. A partir de la década los noventa se institucionaliza la figura de las asociaciones administradoras de acueductos y alcantarillados (ASADAS) con personería jurídica y con su respectivo reglamento de operación y administración supervisado por el AyA, momento desde el cual muchos CAAR's se han venido transformando en ASADA.

Las ASADAS tienen como fin administrar, operar y mantener en buenas condiciones el acueducto y el alcantarillado sanitario (cuando exista), de acuerdo a las normas y políticas que al respecto emita el AyA. Tienen una relación de subordinación bastante clara frente al AyA. Ante una mala prestación del servicio o un incumplimiento grave de las ASADAS, el AyA tiene la potestad para terminar con el convenio a través del cual delegó la prestación del servicio, además debe ejercer absoluto control y fiscalización sobre la labor de estas asociaciones; o bien tomar posesión de los activos de la asociación en caso de que esta deje de existir o sea disuelta.

#### **4. Fuentes de Agua**

Las fuentes de agua constituyen el elemento primordial en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y antes de dar cualquier paso es necesario definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad. De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento así como a la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas: los de gravedad y los de bombeo.

En los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la población para que el agua fluya a través de

tuberías, usando solo la fuerza de la gravedad. En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado.

Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, es importante seleccionar una fuente adecuada o una combinación de fuentes para abastecer de agua en cantidad suficiente a la población.

De acuerdo a la forma de abastecimiento se consideran cuatro tipos principales de fuente: aguas de lluvia, aguas superficiales, plantas y aguas subterráneas. (Ver cuadro 1)

**Cuadro 1. Fuentes de abastecimiento de acuerdo al tipo de ente operador del acueducto**

Ente Operador	Fuentes de abastecimiento					
	Pozos Nº	Nacientes Nº	Plantas Nº	Superficiales Nº	Subtotales	
					Nº	%
AyA	227	188	30	18	463	10.11
ASADAS	672	2793	13	220	3698	80.74
Municipalidades	47	309	3	34	393	8.58
ESPH	19	2	0	5	26	0.57
Totales	965	3292	46	277	4580	100

Fuente: Mata, *et al*, 2010

## 5. Estado del agua para consumo humano en Costa Rica

En Costa Rica 2318 acueductos suministran agua para consumo humano. El 49.8% de esta población es servida por el AyA, el 15.9% por municipalidades; el 3.5% por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH); un 27.5% por

acueductos rurales y asociaciones de usuarios; y un 1.3% por pozos privados o fuentes comunes.

Durante el año 2010 el 98.7% de la población costarricense (4.504.212) recibió agua para consumo humano (ACH). Esta información no debe llevar a confusión, pues vale Aclarar que agua para consumo humano no es sinónimo de agua potable, y que solamente el 89.50 % de los acueductos en Costa Rica suministran agua potable. El 82.60% de los acueductos recibe agua tratada con sistemas de desinfección del agua. (Mata, *et al*, 2010).

**Cuadro 2. Agua para consumo humano: estimación general de cobertura y calidad en Costa Rica - Período 2010**

Entidad administradora	Nº	Población Cubierta		Población con agua potable		Población con agua no potable		Acueductos	
	Acueductos	Población	%	Población	%	Población	%	Potable	No Potable
AyA	180	2 274 461	49.8	2 247 777	98.8	26 684	1.2	158	22
Acueductos Municipales	236	727 077	15.9	665 074	91.5	62 003	8.5	181	55
ESPH	12	158 010	3.5	158 010	100	0	0	12	0
ASADAS evaluadas	1 067	1 004 326	22.0	718 972	71.6	285 354	28.4	602	465
ASADAS sin evaluar	823	341 067	7.5	244 203	71.6	96 864	28.4	461	362
<b>Sub-Total</b>	<b>2 318</b>	<b>4 504 941</b>	<b>98.7</b>	<b>4 034 036</b>	<b>89.5</b>	<b>470 905</b>	<b>10.5</b>	<b>1 414</b>	<b>904</b>
Sin Información, fácil acceso, urbanizaciones y privados	No Disponible	58 597	1.3	52 444	89.5	5 628	10.5	No Disponible	No Disponible
<b>Totales</b>	<b>4 563 538</b>	<b>4 563 538</b>	<b>100</b>	<b>4 086 480</b>	<b>89.5</b>	<b>477 058</b>	<b>10.5</b>	<b>1 414</b>	<b>904</b>

Fuente: Mata, *et al*, 2010

## 6. Desinfección del agua en Costa Rica

La desinfección del agua ha sido un tratamiento fundamental para ofrecer al usuario, agua segura para consumo humano, porque protege de enfermedades

transmitidas por el agua, mediante la destrucción de los organismos patógenos presentes en las fuentes de abastecimiento de la misma. Por muchos años se ha dicho que la desinfección del agua es responsable del aumento de la expectativa de vida en los países desarrollados durante el siglo XX. Es por esta razón que se identifica a este proceso como el más significativo progreso de la salud pública de los últimos años. Tanto así que según el Reglamento para la Implementación Decreto N° 33953-S-MINAE toda entidad pública o privada que funja como operador de acueductos de agua potable, deberá proteger las fuentes, tratar y desinfectar el agua.

La desinfección es un proceso químico, donde se producen compuestos que realizan la desinfección del agua. Durante la cloración del agua se producen subproductos de la desinfección, esto por la reacción del cloro con la materia orgánica presente.

En Costa Rica al día de hoy, se utilizan diversos tipos de tecnologías para lograr una adecuada desinfección del agua, para lograr la adecuada destrucción de los organismos patógenos, entre los que se encuentran la radiación ultravioleta, desinfección con ozono, y la desinfección del agua mediante la utilización del cloro. Cabe resaltar que para la selección de una tecnología de desinfección se deben de considerar aspectos tan importantes como:

- Capacidad económica para asumir los costos de mantenimiento y operación
- Infraestructura disponible
- Distribución de la red del acueducto
- Presiones y Caudal en la red
- Disponibilidad del transporte

Lamentablemente en nuestro país, para lograr el proceso de desinfección del agua es necesario lograr un proceso de concientización de la población, esto porque en

muchos lugares rurales la población sigue con la creencia y la mentalidad de que el agua que se toma es pura y que no es necesario desinfectarla.

El método de desinfección más utilizado es mediante la adición de productos químicos al agua, como lo es el cloro, esto debido a su gran eficiencia en la destrucción del de organismos patógenos y por sus propiedades residuales, lo cual asegura la desinfección del agua durante el proceso de distribución, ya que permanece en está como cloro libre. Para Costa Rica el valor residual del cloro libre que debe de contener el agua, se encuentra definido en el Reglamento de la Calidad del Agua, Decreto 32327-S, Capítulo quinto en su artículo 13; como se transcribe a continuación.

*Artículo 13. **Dosis de desinfectante.** La dosis de desinfectante corresponde a la cantidad en partes por millón (mg/L) que se aplica al agua. La dosis que debe de aplicarse varía con la demanda de cada agua en particular.*

#### *13.1 Desinfección del cloro*

*Es función del tipo residual que se tenga. Se recomienda, para la destrucción de bacterias indicadoras el mínimo de cloro, en la red de distribución, dependiendo del pH del agua y tiempo mínimo de contacto dado en el siguiente cuadro.*

<i>Valor de Ph</i>	<i>Cloro residual libre (mg/L)</i>		<i>Cloro residual combinado (mg/L)</i>	
	<i>Tiempo mínimo de contacto de 20 minutos</i>	<i>de</i>	<i>Tiempo mínimo de contacto de 60 minutos</i>	<i>de</i>
<i>6.0 - 7.0</i>	<i>0.3</i>		<i>1.0</i>	
<i>7.1 – 8.0</i>	<i>0.5</i>		<i>1.5</i>	
<i>8.1 – 9.0</i>	<i>0.6</i>		<i>1.8</i>	

Para la desinfección del agua con cloro se utilizan equipos o sistemas de tecnología sencilla para operar y mantener, la materia prima se encuentra accesible en el mercado local, es económico y eficaz con relación a su costo.

También tiene desventajas, entre las que destacan, que es un químico altamente corrosivo, de sabor desagradable en altas concentraciones en el agua y su manejo y almacenamiento debe cumplir con normas de seguridad. En siguiente cuadro, se muestran las propiedades del cloro en sus diferentes presentaciones.

**Cuadro 3. Propiedades de las diferentes presentaciones de cloro**

Nombre y fórmula	Nombre Comercial	Características	% Cloro Disponible	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase Usual
Cloro Gas (Cl <sub>2</sub> )	Cloro Gaseoso	Gas a presión	99.5	Muy Buena	Altamente Tóxico	Cilindros de 68 kg
Hipoclorito de Sodio NaClO <sup>o</sup>	Blanqueador Líquido	Solución líquida amarillenta	1 – 15	Baja	Corrosivo	Diversos Tamaños
	Por electrólisis en sitio	Solución líquida amarillenta	0.1 – 0.6	Baja	Corrosivo	Cualquier volumen
Hipoclorito de Calcio Ca(ClO) <sub>2</sub>	HTH	Polvo Granular y tabletas	Polvo 20-35 Granular 65 -70 Tabletas 65 – 70	Buena	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 5 – 45 kg
Ácido tricloroisocianúrico ACI	ACI	Granular y tabletas	Granular 90 Tabletas 90	Muy Buena	Corrosivo	Tambores de 50 kg

Fuente: Occidental Chemical, 2011

Para la desinfección de los sistemas, primero se debe determinar la dosis de cloro, esta dosis va depender de la calidad y cantidad del agua, que se quiere clorar, por eso es importante realizar la prueba de demanda de cloro aumentando la dosis paulatinamente hasta que en la red los resultados de cloro residual estén dentro del rango de 0.3 a 0.6 ppm.



La dosis de cloro es la cantidad de total de cloro que se inyecta al sistema; la demanda de cloro, es la diferencia entre la dosis de cloro aplicada y el cloro libre residual disponible al final de un periodo de contacto y corresponde a la cantidad de cloro que reacciona con los organismos presentes en el agua; y el cloro libre es la cantidad de cloro activo que queda después de satisfacer la demanda de cloro.

## **7. Sistemas de desinfección utilizados en Costa Rica**

En el caso de Costa Rica, la mayoría de los entes operadores de acueductos utilizan el cloro como desinfectante del agua, esto debido a su poder germicida y bajo costo. Entre las diferentes formas de utilizarlo se encuentran:

### **a. Cloro Gas**

Existen dos tipos de sistemas de desinfección que funcionan con cloro gas

- Cloro gas al vacío; la operación se basa en el vacío parcial creado por una válvula llamada inyector o eyector colocada antes del punto de inyección del cloro al agua
- Cloro gas a presión; el gas se inyecta de forma directa utilizando para ello la presión de los cilindros

Para el uso del sistema de cloro gas es necesario contar con el respectivo equipo de seguridad que permitiría una atención inmediata y segura en caso de fugas de cloro, ya que en este estado el cloro es altamente tóxico.

Los sistemas de desinfección deben de instalarse en casetas bien ventiladas, amplias de uso exclusivo para cloración. Las tuberías deben quedar a la vista, sujetas a la pared y en lugares accesibles, que permitan su fácil inspección y

reparación. El cloro gas cuando se mezcla con el agua es altamente corrosivo, por lo que se deben utilizar materiales como pvc, teflón, caucho y polietileno.

### **b. Hipoclorito de sodio**

Los sistemas productores de hipoclorito de sodio, producen la solución de cloro mediante la electrólisis de una solución de salmuera preparada con cloruro de sodio, agua y electricidad. Se introduce una celda que contiene dos electrodos y al pasar un período de tiempo (puede variar de acuerdo a la cantidad a preparar de disolución), se produce cierta cantidad de solución de hipoclorito de sodio con una concentración que varía de 0.4 – 1.2 % según la marca y modelo del equipo. ([www.coprodesa.com](http://www.coprodesa.com)).



**Figura 1. Equipo de desinfección con hipoclorito de sodio**

### **c. Hipoclorito de Calcio**

Este sistema de desinfección utiliza hipoclorito de calcio en tabletas con concentración de cloro disponible del 65%. Las tabletas de cloro se colocan en el fondo del dosificador de cloro, y se van erosionando lentamente de acuerdo al flujo de agua que se hace pasar por fondo del dosificador, el flujo a la salida se dosifica al punto donde se realizará la desinfección. Cabe resaltar que el hipoclorito de calcio es un producto que se disuelve rápidamente, por lo que solamente puede

ser utilizado en sistemas de desinfección de cámara seca, debido a que si se utiliza en sistemas de cámara húmeda donde todas las tabletas se encuentran sumergidas, se produciría un aumento considerable en la cantidad de cloro residual en la red de distribución inclusive sobrepasando el límite superior establecido por el Decreto 32327-S. Este sistema de desinfección tiene la ventaja que no requiere electricidad para su funcionamiento.

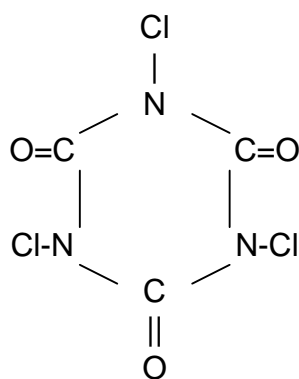


Figura 2. Sistema de desinfección en tabletas de hipoclorito de calcio

#### d. **Ácido Tricloroisocianúrico (ACI)**

El ACL<sup>®</sup>90 es la marca comercial de OxyChem para una familia de isocianuratos clorados. Los ACL son sólidos secos que contienen una alta concentración de cloro y han sido aprobados recientemente por la Environmental Protection Agency – EPA- (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), para su uso rutinario en agua potable y certificados por NSF International bajo el estándar 60 (efectos en la salud de los químicos para tratamiento de agua para beber) para su uso como aditivos del agua potable.

Actualmente el ácido tricloroisocianúrico ( $C_3N_3O_3Cl_3$ ) en tabletas es utilizado en la desinfección del agua debido a su alto contenido de cloro (90%) y lenta disolución; el ACL<sup>®</sup>90 presenta una alta estabilidad en solución acuosa, ya que no se degrada a cloro gas por exposición a la luz ultravioleta del sol, a las variaciones de pH, por concentración y por temperatura. (Ilustración 3)



**Figura 3. Estructura Química del Ácido Tricloroisocianúrico**

En cuanto al efecto desinfectante, el ACI a un pH cercano a 7 produce alrededor de un 50% de ácido hipocloroso y alrededor de un 12% de hipoclorito, manteniendo en la molécula isocianurada gran parte del cloro estabilizado, que repone en pocos segundos el ácido hipocloroso consumido en la destrucción de microorganismos. La baja concentración de hipocloritos y la no formación de percloratos, minimiza la formación de cloraminas y trihalometanos.

El sistema de dosificación del cloro para desinfección de agua para tomar consiste básicamente de una bomba de flujo continuo, que pasa el agua a través del lecho que contiene las tabletas del ACL<sup>®</sup>90 y la envía al sistema de desinfección con una concentración relativamente alta de cloro (ver ilustración 4 y 5).

Al irse consumiendo las tabletas disminuye el espacio ocupado en el lecho, con una caída de presión en el mismo que aumenta el flujo de agua y en consecuencia, la cantidad de cloro dosificada se mantiene constante, asegurando la calidad del agua tratada. (Continex Representaciones, 2008)

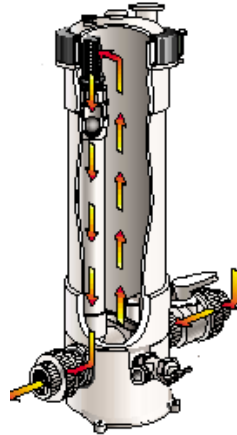


Figura 4. Esquema del sistema de cámara húmeda para la desinfección del agua



Figura 5. Sistema de cloración de cámara húmeda (ACI), instalado en Horquetas de Sarapiquí

## 8. Diferencia entre el hipoclorito de calcio y el ácido tricloroisocianúrico (ACL<sup>®</sup>90)

El ACL<sup>®</sup>90 se disuelve mucho más lento que el hipoclorito de calcio, la diferencia principalmente radica en el tipo de cloro, ya que el hipoclorito de calcio es un producto que se encuentra en concentraciones al 65%, altamente soluble en agua y se utiliza en sistemas de cámara seca, mientras que la tableta de ACL<sup>®</sup>90, tiene una concentración de 90% de cloro y la molécula de dicho cloro está hecha para

liberarse en forma lenta, de ahí que se ocupa que la tableta se encuentre completamente sumergida en un flujo constante de agua y se utiliza en sistemas de cámara húmeda, porque requiere de un mayor tiempo de contacto en el agua para que el cloro se libere.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

Para la elaboración del presente estudio y análisis:

#### **1. Revisión bibliográfica**

Revisión bibliográfica sobre la normativa vigente para la calidad y desinfección del agua, al igual que para poder describir a nivel general el estado de los acueductos en Costa Rica y los diferentes sistemas de desinfección utilizados más frecuentemente en el país.

Revisión de los informes de contabilidad y actas de la ASADA de Horquetas de Sarapiquí, para extraer información importante y así poder comparar el uso del sistema de desinfección en tabletas de cámara seca (pastillas de Hipoclorito de Calcio) y el sistema de de cámara húmeda (ácido tricloroisocianúrico, ACL<sup>®</sup>90)

#### **2. Mediciones de campo**

Para la realización de las mediciones de campo se ocuparan los siguientes equipos y métodos de acuerdo al tipo de medición requerida.

##### **a. Cálculo de los aforos (método volumétrico)**

El método volumétrico, consiste en encauzar el agua generando una corriente de fluido de tal manera que se pueda provocar un chorro. Dicho método consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal (l/s); según la siguiente ecuación (Agüero, R. 1997):

$$Q = V/t$$

Donde:  $Q =$  Caudal en l/s

$V =$  Volumen del recipiente en litros

$t =$  Tiempo promedio en segundos

Para el cálculo de los aforos mediante el método volumétrico, se ocupara un recipiente con capacidad superior a los quince litros de agua, un cronómetro y una calculadora.

### **b. Medición del cloro residual**

Para la medición del cloro residual, se hará mediante la utilización del fotómetro marca Palintest, el cual se basa en la medición de la intensidad de los colores producidos por el reactivo DPD 1 (Cloro residual). Para evitar la medición subjetiva entre muestras de prueba y estándares de colores, se puede utilizar un colorímetro para la medición cuantitativa de la cantidad de luz coloreada absorbida por una muestra (con reactivo agregado) en referencia a una muestra sin tratar (en blanco).

El fotómetro Palintest utiliza un tubo de muestra en blanco para establecer el instrumento en blanco y un tubo de muestra para realizar la lectura. Un tubo de muestra de agua sin tratar. Un tubo de muestra es un tubo de ensayo que contiene la muestra a la que se le ha agregado el reactivo DPD 1 de acuerdo con el procedimiento de prueba descrito.

Para tomar la lectura se sigue el siguiente procedimiento:

1. Presione el botón On/Off para encender la unidad
2. Presione el botón “menú” hasta que aparezca en pantalla la prueba que desea realizar (ver ilustración 6).





Figura 6. Selección de prueba en equipo Palintest

3. Inserte el tubo con muestra en blanco y presione el botón “blank simple”
4. Aparecerá en pantalla la imagen de un tubo con muestra en blanco, Cuando se sustituye por 0.00, el instrumento ha finalizado el ajuste de muestra en blanco y está listo para tomar lectura.
5. Retire su tubo con muestra en blanco y sustitúyalo por el tubo con la muestra. Presione el botón “Read Sample” para obtener la lectura. (ver ilustración 7)



**Figura 7. Muestra en blanco y muestra con reactivo**

6. El resultado aparecerá en la en mg/l. (ver ilustración 8)



**Figura 8. Visualización del resultado en la pantalla**

Para la recolección de las muestras de los tanques se utilizara un tubo de media pulgada en pvc de dos metros de largo, con una adaptación para poder colocar un

recipiente o frasco de vidrio con el cual sacar la muestra de agua de los tanques; como se puede observar en la siguiente ilustración.



**Figura 9. Obtención de la muestra para medición de cloro residual**

Para disminuir el riesgo de error en la toma de mediciones, en cada lugar donde se tomara la muestra del cloro residual, dicha muestra se tomará y se medirá en tres ocasiones para obtener un promedio por lugar.

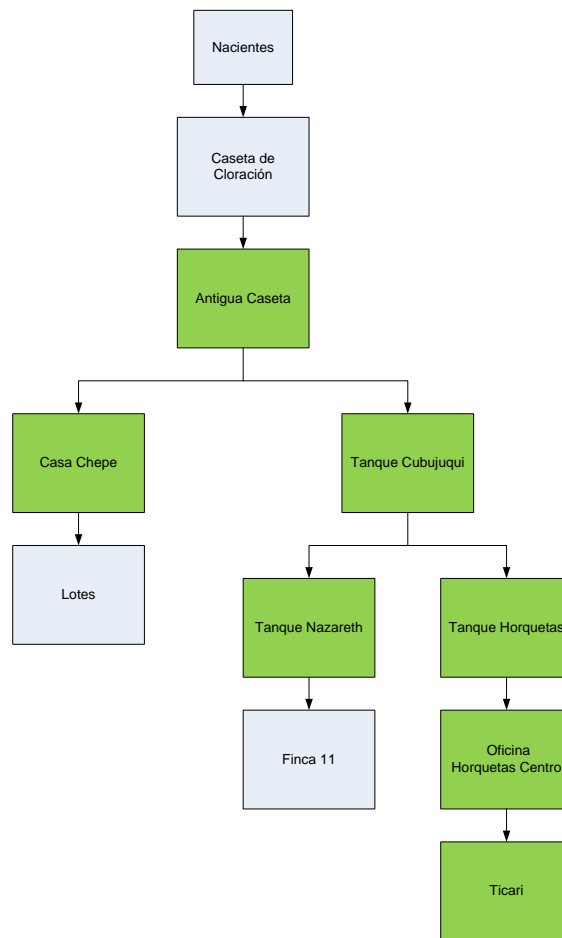
### **3. Determinación de los lugares de Muestreo**

Debido a la distribución de la red del acueducto de Horquetas y a la longitud de la misma. Se definieron los siguientes puntos de medición del cloro residual:

- Antigua Caseta de Cloración
- Tanque Cubujuqui

- Casa de Chepe (Fontanero)
- Tanque Nazareth
- Tanque Horquetas
- Oficina del Acueducto
- Ticari (Casa de Habitación)

Cabe resaltar que los últimos tres puntos definidos pertenecen a una misma red de distribución del agua, pero dicha red es la que abarca la mayor cantidad de población y es la de mayor longitud. (Ver ilustración 10)



**Figura 10. Distribución de la red del Acueducto de Horquetas de Sarapiquí. Fuente: ASADA HORQUETAS**

#### 4. Análisis de datos

Para el análisis de datos recolectados, se utilizó el programa de cómputo de Excel, ya que este brinda las herramientas estadísticas necesarias para analizar los datos recolectados durante las diferentes visitas a campo.

Para el análisis de datos es necesaria la utilización de conversiones matemáticas y de ecuaciones matemáticas para poder determinar el consumo teórico del ácido tricloroisocianúrico en kilogramos, utilizando como variable la concentración de cloro en partes por millón (ppm) a un caudal dado en litros por segundo.

1. Conversión del caudal en litros por segundo a cantidad de litros producidos diariamente por las nacientes y por último a kilogramos, utilizando la densidad del agua equivalente a 1g/ml.

$$kg \text{ de agua por día} = \text{caudal} \left( \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \right) * \frac{\text{segundos}}{\text{día}} * \frac{1kg}{1000ml}$$

2. Cálculo de cantidad de cloro en kilogramos de ACL<sup>®</sup>90.

$$kg \text{ de Cloro ACL } 90 = kg \text{ de agua} * \text{residual de cloro (ppm)} * \text{concentración del cloro ACL } 90$$

## IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE DATOS

### 1. Medición del Cloro residual en ppm

Al realizar la recolección de las mediciones del cloro residual, durante las pruebas de campo, con el equipo de medición digital se obtuvo como promedio general una medición de cloro residual de 0.57 ppm y una moda de 0.54 ppm; como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

**Cuadro 4. Promedio de la medición del cloro residual según lugar y fecha de recolección**

Lugar\Fecha	06/08/2011	13/08/2011	20/08/2011	27/08/2011	03/09/2011	10/09/2011	17/09/2011	24/09/2011	01/10/2011	Promedio
Antigua Caseta	ND	0.57	0.65	0.73	0.65	0.80	0.80	0.93	0.68	0.73
Tanque Cubujuqui	0.83	0.54	0.57	0.47	0.62	0.61	0.54	0.63	0.45	0.58
Casa de José	0.76	0.53	0.54	0.45	0.56	0.59	0.94	0.66	0.26	0.59
Tanque Nazareth	0.71	0.52	0.58	0.35	0.65	0.60	0.66	0.64	0.48	0.58
Tanque Horquetas	1.00	0.74	0.53	0.34	0.62	0.59	0.40	0.64	0.36	0.58
Oficina	0.70	0.51	0.57	0.24	0.56	0.56	0.40	0.66	0.38	0.51
Ticari	ND	ND	0.54	0.20	0.59	0.62	0.41	0.45	0.32	0.45
Promedio	0.80	0.57	0.57	0.40	0.61	0.63	0.59	0.66	0.42	0.57

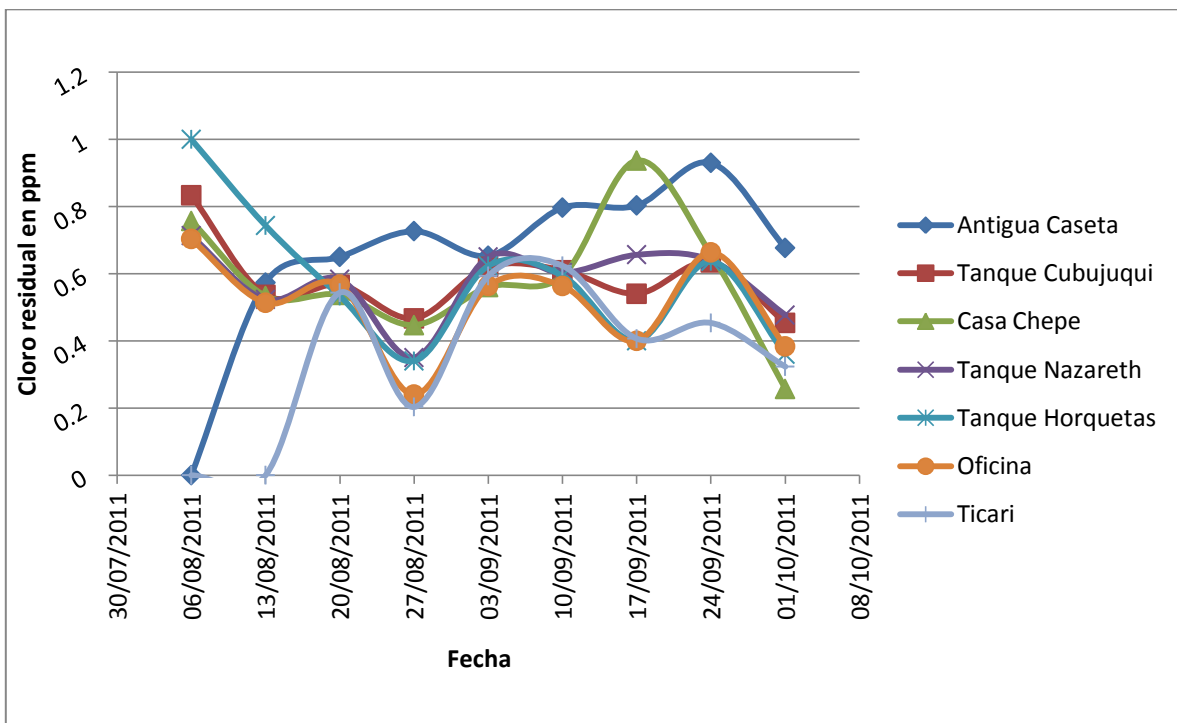
Fuente: El Autor

Al analizar el cuadro anterior se puede apreciar que si bien la medición se mantuvo cercana a 0.60 ppm, hubo días que está se encontraba con lecturas superiores o inferiores a dicha medición. Por ejemplo el día 6 de agosto de 2011 donde el promedio de la medición estuvo en 0.8 ppm, cabe resaltar que este día fue el primero en tomar los datos de campo con el medidor digital; ya que según las mediciones realizadas por el personal del acueducto se encontraban cercanas a 0.5 ppm. Lo que demuestra que el método de medición de comparación de color con el medidor de cloro CN-66, es ineficiente ya que esta medición depende de factores como la vista del usuario y el estado de los tubos de ensayo ya que

muchas veces estos al ser de plástico se encuentran manchados por residuos de los reactivos.

Igualmente se aprecia que los días 27 de agosto y 1 de octubre, las mediciones tomadas en campo se encuentran por debajo del promedio de 0.6 ppm, con mediciones cercanas a 0.4 ppm, cabe resaltar que en ambos casos se notó durante la toma de muestras el agua un poco turbia lo que nos indicaba la presencia de materia orgánica (tierra) en la red de distribución, la presencia de dicha materia se debió a que esos días se encontraba personal del acueducto realizando labores de limpieza en las nacientes que abastecen el acueducto. (Ver Gráfico 1)

**Gráfico 1. Medición de Cloro Residual en ppm**

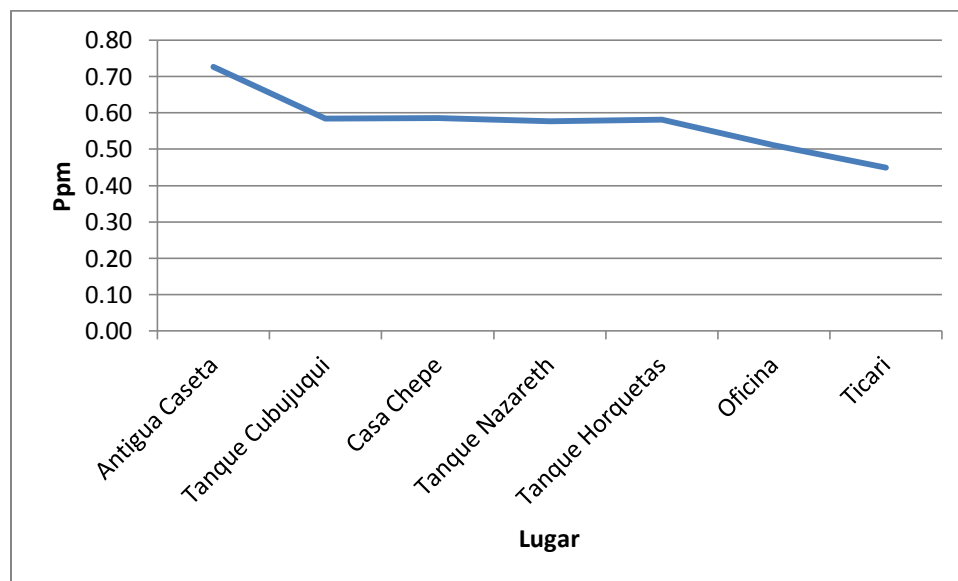


Fuente: El Autor

Por otro lado al analizar el comportamiento de las mediciones obtenidas de cloro residual por lugar según el gráfico a continuación se denota que el cloro es realmente estable. Esto debido a que en el punto de medición anotado como

antigua caseta se obtiene una medición promedio de 0.73 ppm, este es el primer punto donde se le da un tiempo de reposo prudencial al cloro para que este último se mezcle con el agua; esto debido a que este funciona como tanque de almacenamiento y de ahí hacia las diferentes red de distribución. Igualmente en el gráfico se observa que la medición de cloro residual, tiende a disminuir paulatinamente hasta alcanzar un promedio de 0.45 ppm siendo este unos de los puntos más largos de la red estando a aproximadamente 25 kilómetros del lugar de ubicación del dosificador de cloro.

**Gráfico 2. Medición promedio de cloro residual en ppm**



Fuente: El Autor

## 2. Medición del Caudal (aforos)

La medición del caudal mediante el método volumétrico para los meses en que se realizó el presente trabajo arrojó los resultados resumidos en el cuadro 5, obteniendo un promedio de 87,15 l/s, para un total de 7530,11m<sup>3</sup> de agua por día. Cabe resaltar que para el mes de setiembre se tuvo que extraer en promedio 20 l/s de una quebrada esto debido a que el caudal sumado de las nacientes no daba abasto para cubrir las necesidades de la población ya que los tanques de



abastecimiento se mantenían con el nivel demasiado bajo y no se reponía la cantidad de agua utilizada por la población.

**Cuadro 5. Caudal captado en litros por segundo**

01/07/2011	05/08/2011	01/09/2011	14/09/2011	04/10/2011
87,82	88,75	80,00	80,95	98,25

Fuente: El autor y AYA.

No obstante si se recurre a los datos de facturación obtenidos para los meses de julio a setiembre, anotados a continuación, este denota una gran diferencia entre la cantidad de agua captada y la cantidad de agua facturada; habiendo diferencias de hasta un 55,75% entre los datos de metros cúbicos captados y facturados. Esta diferencia puede darse a factores de errores de facturación o bien a la aparición de fugas en la red de distribución (1 fuga por día).

**Cuadro 6. Metros cúbicos captados y facturados para los meses de Julio, Agosto y Setiembre**

Mes	Captados	Facturados	Diferencia	%
Julio	7587.65	3837.39	3750.26	49.43
Agosto	7668.00	3393.03	4274.97	55.75
Setiembre	6953.47	3438.93	3514.54	50.54
Promedio	7403.04	3556.45	3846.59	51.96

Fuente: El Autor y ASADA Horquetas

### 3. Determinación del consumo de cloro teórico y real

Al determinar el consumo teórico de tricloro (ácido tricloroisocianúrico, marca ACL®90), se utiliza la fórmula descrita en materiales y métodos, nos da como resultado que diariamente se deben utilizar 5,02 kg (25,10 tabletas de 200 gr) de cloro ACL®90 para alcanzar las 0,6 ppm de cloro total y un 0.57 ppm de cloro residual; con un caudal de 87,5 l/s. Para el cálculo del consumo real de cloro

marca ACL<sup>®</sup>90, fue necesario obtener el promedio del consumo de tabletas diarias por mes. (Ver cuadro 7)

Obteniendo un promedio general de 25,22 tabletas de ACL<sup>®</sup>90 y compararlo con el consumo teórico de 25,10 tabletas, esta da como resultado una diferencia de 0,12 tabletas (0,48%), entre el consumo teórico y el real de tabletas de cloro ACL<sup>®</sup>90. Por lo que se puede decir que el rendimiento del cloro es del 99.5%± 0.5% y nos demuestra que la composición del cloro utilizado no contiene sustancias ajenas a este; reacciona perfectamente y que contiene la cantidad de cloro disponible del 90%.

**Cuadro 7. Resumen del consumo de tabletas mensual**

Mes	Julio	Agosto	Setiembre
Suma	755.00	745.00	818.00
Promedio recarga	47,19	39,21	32,72
Promedio diario	24,35	24,03	27,27
Kg	151,00	149,00	163,60

Fuente: El autor

#### **4. Comparación del uso del hipoclorito de Calcio y del Ácido Tricloroisocianúrico de la marca ACL<sup>®</sup>90**

En base a los datos obtenidos de las actas del año 2007, para dicho año la administración de la ASADA de Horquetas invirtió un total de ₡ 5 617 456,19 en la compra de cubetas de hipoclorito de calcio en presentaciones de 25 kg., a un precio promedio de ₡ 78 020,22 colones cada cubeta, para una compra de 72 cubetas de hipoclorito de calcio en el año, para un total de 1800 kg de hipoclorito de calcio al año (150,00 kg mensuales). Igualmente en las actas del año 2007 se encuentra que la cantidad de previstas o tomas de aguas son de 3000 aproximadamente en dicho año; por lo que al dividir la cantidad de hipoclorito de

calcio mensual entre la cantidad de previstas, este nos da como resultado que en promedio por cada prevista se consumen aproximadamente 0,05kg de hipoclorito.

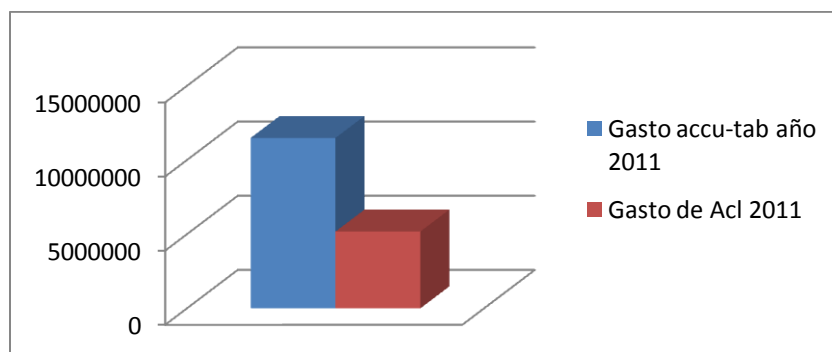
Actualmente el acueducto de Horquetas de Sarapiquí cuenta con 3810 previstas por lo que al multiplicar el promedio de 0,05 kg de hipoclorito por el número de previstas nos da como resultado 190,5 kg de consumo de hipoclorito de calcio (7,62 cubetas de 25 kg); unos 40,5 kg de cloro de más que los 150 kg de ACL<sup>®</sup>90 que se consumen actualmente. Igualmente actualizando el valor de la cubeta de hipoclorito de calcio, está tiene un valor de ₡ 125 619,84 con los impuestos incluidos, de ahí que multiplicándolo por las 7,62 cubetas y por 12 meses, nos da como resultado una inversión de ₡ 11 486 678,00 unos ₡ 6 310 351,57 de más en comparación a la inversión en ACL<sup>®</sup>90 (Ver cuadro 8 y gráfico 3).

**Cuadro 8. Comparación entre el Hipoclorito de Calcio y el ACL 90**

Valor cubeta HCl en colones	125619.84	Valor cubeta ACL en colones	143786.85
Presentación en kg	25	Presentación en kg	50
Valor kg HCl en colones	5024.79	Valor kg ACL en colones	2875.74
Gasto accu-tab año 2011 en colones	11486678.2	Gasto de Acl 2011 en colones	5176326.6
Previstas	3810	Previstas	3810
Cloro por prevista en kg	0.05	Cloro por prevista en kg	0.04
Kg de cloro por mes	190.5	Kg de cloro por mes	152.4
Cantidad de cubetas mes	7.62	Cantidad de cubetas mes	3.05

Fuente: El Autor, Almacén el coloro y ASADA Horquetas

**Gráfico 3. Gasto proyectado en cloro entre el hipoclorito de calcio y el ACL**



Fuente: El Autor

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1. Conclusiones

- Durante la elaboración del presente proyecto se pudo corroborar la importancia de la desinfección del agua, ya que fácilmente puede contaminarse en las fuentes de abastecimiento del agua.
- La concentración de cloro residual de 0.6 ppm, es suficiente para lograr una adecuada desinfección del agua en el Acueducto de Horquetas de Sarapiquí y además esa concentración se mantiene muy estable, pese a la longitud del mismo.
- El consumo de tabletas de cloro de la marca ACL<sup>®</sup>90 es acorde a la cantidad de agua captada y a la concentración de cloro residual obtenida durante la elaboración de dicho proyecto.
- El rendimiento obtenido del consumo de cloro es del  $(99.5 \pm 0.5)\%$ , entre el consumo teórico y real.
- Entre los químicos para la desinfección del agua con tabletas, se obtiene un mayor rendimiento a nivel económico y de consumo con el ácido tricloroisocianúrico que con el hipoclorito de calcio.

## 2. Recomendaciones

- Es recomendable llevar el control de las mediciones de cloro residual de forma permanente ya que dichas mediciones pueden variar de un día para otro
- Es necesario que otros acueductos tomen como ejemplo el control de las nacientes y de los caudales que se tiene en el acueducto de Horquetas de Sarapiquí ya que los caudales pueden variar de un mes a otro, provocando una sobredosificación o un faltante de cloro en la red del acueducto.
- La administración del acueducto de Horquetas de Sarapiquí, tiene que revisar el mecanismo de facturación del agua, al igual que el estado de la tubería; debido a que se dan diferencias superiores al 50% entre la cantidad de agua captada y la cantidad de agua facturada.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Asamblea Legislativa. (1961). Ley N°2726. Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica.
2. Continex Representaciones. (2008). Diagrama de equipo, accesorios y tuberías para la desinfección de agua con cloro ACI 90 tabletas en la planta de potabilización de agua del AYA en Quitirrisi. San José, Costa Rica
3. Mata, Ana; Mora, Darner; Portuguez, Carlos. (2010). Acceso a agua para consumo humano y saneamiento. Evolución en el período 1990-2010 en Costa Rica. Laboratorio Nacional de Aguas. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
4. Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable: Vol 1: Recomendaciones. (3ra. ed) Génova, Suiza: Organización Mundial de la Salud
5. Presidente de la República; Ministra de Salud. (2005, Mayo 3). Decreto N° 32327-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. La Gaceta N° 84.
6. Presidente de La República; Ministra de Salud; Ministro de Ambiente y Energía. (2007, Setiembre 12). Decreto N° 33953-S-MINAE. Reglamento para la Implementación y Desarrollo del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de Calidad de los Servicios de Agua Potable Período 2007-2015 (PNMSCSAP). La Gaceta N° 175.
7. Disponible en <http://www.coprodesa.com/>

## **VII. ANEXOS**

**1. Decreto N° 32327-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable  
Decreto N° 33953-S-MINAE. Reglamento para la Implementación y Desarrollo  
del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de Calidad de los  
Servicios de Agua Potable Período 2007-2015 (PNMSCSAP). La Gaceta N°  
175.**

**Hoja Técnica del ACI 90**

**Hoja Técnica del Hipoclorito de Calcio**

**Hoja de Seguridad del ACI 90**

**Hoja de Seguridad del Hipoclorito de Calcio**