

# Desinfección del agua: Sistemas utilizados en AyA



Lorelly Marín Mena<sup>1</sup>

## RESUMEN / ABSTRACT.

El siguiente artículo, tiene como objetivo guiar al lector en la importancia de la desinfección como tratamiento final del agua. Para ello se hace una breve descripción del proceso de la Desinfección, además incluye información sobre los subproductos de la cloración y se mencionan los resultados de dos investigaciones realizadas en los Estados Unidos, con el objetivo de determinar si existen efectos secundarios en el consumo del cloro. También se describen brevemente otros tipos de tecnologías y se explica con mayor detalle las más utilizadas por AyA y Acueductos Rurales. Finalmente, se presenta un resumen y un cuadro de los sistemas que se han instalado en acueductos rurales durante el periodo 2003-2006. / This article has as objective to inform the reader about the importance of disinfection as final treatment for water. Thus, it has a description of the disinfection process and includes information about the subproducts of chlorination. It also mentions the findings of two surveys carried out in United States of America, with the aim of determining if there are collateral effects due to the consumption of chlorine. It briefly describes other types of technologies and provides further details about those used by AyA and Rural Aqueducts Section. Finally it shows a summary and a chart about the systems used in rural aqueducts during 2003-2006.

**Palabras clave:** desinfección, cloro, cloro gas, hipoclorito de sodio, acueductos rurales.

## 1. Historia.

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.

Antes de la llegada de la cloración como sistema de desinfección del agua, aproximadamente 25 de cada 100.000 personas morían anualmente en los Estados Unidos a causa de la fiebre tifoidea, enfermedad de transmisión hídrica, una tasa de mortalidad muy alta, tasa que se aproximaba a la actual tasa asociada con accidentes automovilísticos en ese mismo país.

Uno de los primeros usos conocidos del cloro para la desinfección del agua se registró en 1854, en ese entonces el Dr. John Snow hizo el intento de

<sup>1</sup>Ingeniera Civil. Dirección de Agua Potable. lorelly.marin@aya.go.cr

desinfectar un abastecimiento de agua de la calle Broad en Londres después de que se presentó un brote de cólera.

En Gran Bretaña la desinfección del agua con cloro empezó en los primeros años del siglo XIX, su aplicación redujo las muertes por tifoidea. Con este precedente, en los Estados Unidos se realizó el primer intento de desinfectar un abastecimiento de agua, es así como se instaló un equipo para aplicar una solución de hipoclorito en la ciudad de Nueva Jersey en 1908. Ya en el año 1912 se inició la fabricación de equipos para aplicar cloro gas para su comercialización.

Cada día mueren en el mundo seis mil personas, por consumir agua contaminada, de acuerdo a las estadísticas del Centro de Naciones Unidas (ONU). Además según un informe de la organización humanitaria Intermón Oxfam “El mejoramiento de la calidad de las fuentes de agua en los países en desarrollo tienen una consecuencia directa sobre la reducción de la mortalidad infantil, el aumento de la escolarización y la generación de ingresos”.

De ahí que cada país tiene la responsabilidad por medio de las Instituciones encargadas, de incorporar la desinfección, como tratamiento final para la potabilización de los sistemas de abastecimiento de agua.

## **2. Generalidades de la desinfección.**

La razón fundamental de la desinfección del agua es disminuir el riesgo de infección de las enfermedades transmitidas por ella, mediante la destrucción de los organismos patógenos que están presentes en las fuentes de abastecimiento.

Por muchos años se ha dicho que la desinfección del agua es la responsable del 50% de 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 salud pública de los últimos años.

La desinfección es un proceso químico, donde se producen compuestos que realizan la desinfección del agua. Durante la cloración, se producen subproductos de la desinfección (SPDs), esto por la reacción del cloro con la materia orgánica presente, entre ellos se pueden encontrar los trihalometanos.

En los Estados Unidos, se han realizado investigaciones, sobre el tema de los SPDs, por medio del Programa Nacional de Toxicología del Departamento de Salud y Servicios. Las investigaciones han analizado la carcinogenicidad del agua clorada en animales de laboratorio. El agua utilizada se cloró por encima de los niveles que pueden encontrarse en los sistemas de abastecimiento de agua potable y no se observó actividad carcinógena.

En otros estudios realizados con personas entre 21 y 35 años, con el consumo



continuo de cloro, con aumento de dosis, la investigación determinó que no se tuvieron consecuencias fisiológicas.

De ahí la importancia del control de los SPDs, para lo cual se debe inspeccionar y eliminar la materia orgánica. Esta se puede eliminar utilizando sistemas de coagulación o carbono activado entre otros.

### **3. Tecnologías de desinfección.**

Existen diversas tecnologías para la desinfección del agua, para el caso de los acueductos administrados por AyA y en acueductos rurales, las más utilizada es el cloro en estado líquido, gaseoso y granular. Pero en el mundo existen varias tecnologías dentro de las que se destacan:

**Radiación Ultravioleta:** el proceso de desinfección, es un proceso físico, donde las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre los microorganismos y los virus, de esta manera los destruye en corto tiempo. Tiene la gran ventaja de que no requiere de productos químicos, el tiempo de exposición necesario para realizar el proceso de desinfección es muy corto y además es muy eficaz en la eliminación de gran variedad de microorganismos. La desventaja que tiene este sistema es que la luz ultravioleta no deja efecto residual en la red, por lo que se hace necesario contar con un sistema de posdesinfección que asegure ese efecto residual, además los costos del equipo son altos si se compara con sistemas a base de cloro.

**Ozono:** el ozono tiene un alto poder oxidante, esto lo convierte en excelente destructor de los microorganismos. Dentro de sus ventajas está el poco tiempo de contacto y su concentración son bajos en relación con el cloro. La desventaja es que no proporciona un residual estable por lo que al igual que la radiación ultravioleta requiere de un sistema de posdesinfección y además los costos del equipo son muy altos. Por su alto costo es que su uso es rentable cuando además de la desinfección, se utiliza simultáneamente para eliminar fenoles, mejorar la floculación, entre otros.

**Otros:** existen otros métodos para la desinfección del agua como son el dióxido de cloro, la plata, bromo, yodo, entre otros.

En la selección de una tecnología de desinfección se deben considerar aspectos tan importantes como la capacidad económica para asumir los costos de operación y mantenimiento; capacidad técnica que asegure el correcto uso y mantenimiento de los sistemas a instalar; la infraestructura disponible y la disponibilidad de transporte. En el caso de acueductos administrados por comunidades rurales es importante además valorar la organización social y el acceso a la materia prima requerida según el método utilizado para el proceso de desinfección.

Dentro de los aspectos técnicos se deben considerar el tipo de fuente de agua

y su calidad, la población que será beneficiada, el sitio donde se ubicará el sistema de desinfección, así como conocer la forma como opera el sistema de abastecimiento. Posteriormente se debe dar un proceso de concientización de la importancia de desinfectar el agua, cuales son los beneficios de este proceso y los riesgos en caso contrario.

### 3.1 Cloración.

El cloro es un elemento gaseoso amarillo verdoso, pertenece al grupo 17 de la tabla periódica y es uno de los halógenos. El gas tiene un olor irritante y muy concentrado, fue la primera sustancia utilizada como gas venenoso en la Primera Guerra Mundial. El cloro es un elemento activo, que reacciona con agua, con compuestos orgánicos y con varios metales.

El cloro es utilizado en un gran porcentaje en los sistemas de abastecimiento de agua por sus características de eficiencia para la destrucción de organismos patógenos y por sus propiedades residuales, que aseguran la desinfección del agua durante el proceso de distribución, ya que permanece en ella como cloro libre.

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 y es económico y eficaz con relación a su costo. También tiene desventajas, entre las que se destacan, que es un químico altamente corrosivo, produce sabor desagradable en altas concentraciones en el agua y su manejo y almacenamiento debe cumplir con normas de seguridad. En el cuadro #1 se muestran las propiedades del cloro en sus diferentes presentaciones.

Cuadro #1. Propiedades de las diferentes presentaciones del Cloro

| Nombre y fórmula                                | Nombre comercial          | Características              | % Cloro                                             | Estabilidad en el tiempo | Seguridad            | Envase usual                         |
|-------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Cloro gas $\text{Cl}_2$                         | Cloro gaseoso             | Gas a presión                | 99.5%                                               | Muy buena                | Gas altamente tóxico | Cilindros de 68 kg y 907 Ton.        |
| Hipoclorito de sodio $\text{NaClO}$             | Blanqueador líquido       | Solución líquida amarillenta | 1 a 15% máximo                                      | Baja 2 a 4% por mes      | Corrosivo            | Diversos tamaños de botellas         |
|                                                 | Por electrólisis en sitio | Solución líquida amarillenta | 0.1 – 0.6%                                          | Baja                     | Oxidante             | Cualquier volumen                    |
| Hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ | HTH                       | Polvo, granular y tabletas   | Polvo 20-35%<br>Granulado 65-70%<br>Tabletas 65-70% | Buena 2-2.5% por año     | Corrosivo            | Latas de 1.5 kg, tambores 45-135 kg. |

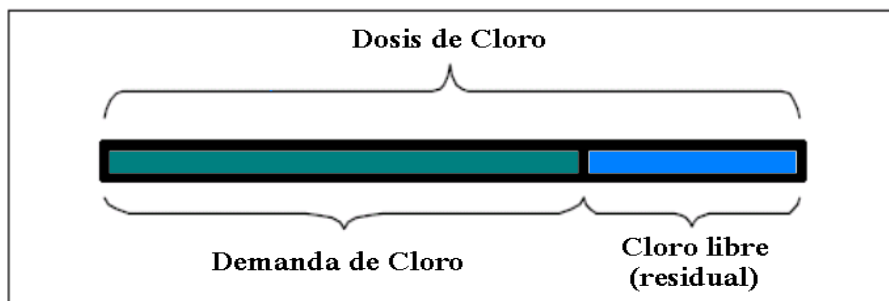
Fuente: Desinfección de Aguas. OPS/CEPIS/OMS.

Para la desinfección de los sistemas, primero se debe determinar la dosis de cloro, esta dosis va a depender de la calidad de 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 esten dentro del rango de 05. a 1.0.

La dosis de cloro es la cantidad total del 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, corresponde a la cantidad de cloro que reacciona con los organismos presentes en el agua.; y el cloro libre residual es la cantidad de cloro activo que queda después de satisfacer la demanda inicial.

Figura #1.



En el AyA el desinfectante utilizado por su bajo costo, por ser sencillo de operar y por su gran potencia germicida es el cloro y se utiliza en las siguientes formas:

- Cloro líquido envasado a presión ( $\text{Cl}_2$ )
- Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaOCl}$ )
- Hipoclorito de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ )

Se debe considerar en la desinfección del agua, el control diario del cloro en la red, que además de asegurar la presencia del cloro libre en la red, es una manera de controlar el buen funcionamiento del sistema de cloración utilizado.

### 3.1.1 Cloro gaseoso.

El cloro en su forma gaseosa, es utilizado en la desinfección del agua, en todo el país en los sistemas administrados por AyA. Este sistema es muy económico y fácil de operar. Viene en recipientes de cloro desde 45 kg hasta 907 kg. Se dosifica mediante dos sistemas:

- Sistemas de cloro de funcionamiento 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.
- Sistemas de cloro de funcionamiento a presión: el gas se inyecta directamente utilizando para ello la presión de los cilindros.

Para el uso de este sistema de cloración es necesario contar con el respectivo equipo de seguridad que permitirá una atención inmediata y segura en caso de

fugas de cloro, ya que en este estado el cloro es altamente tóxico.

Figura #2. Cloro gas por solución al vacío. Tanque Jordan, Región Huetar Atlántica.



Los sistemas de desinfección deben instalarse en casetas bien ventiladas, amplias y de uso exclusivo para cloración. Las tuberías deben quedar a la vista, sujetas contra 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 tales como PVC, teflón, caucho, polietileno, entre otros.

Como se indicó anteriormente, al usar cloro gas, se debe contar con equipos de protección personal, para las labores de operación y mantenimiento. Usar anteojos de seguridad, guantes de algodón o de cuero y respirador para cloro con pieza facial completa.

En el sitio de cloración se debe contar con amoníaco y sistemas de alarma para detección de fugas de cloro, balanza para el control del gasto de los cilindros, amarre adecuado de los cilindros en uso y reserva y carretilla para traslado de cilindros.

Como equipo de seguridad para atender una posible fuga de cloro gas se debe contar con los Kits A ó B para atención de emergencias, que son herramientas que permiten contener la fuga de los cilindros (45-88 kg) y contenedores (907 kg) respectivamente y máscaras de autocontenido que suministran aire al usuario aproximadamente 30 minutos mientras se realizan las labores de taponamiento de fugas.

Figura #3. Kit A para cilindros pequeños



Figura #4. Kit B para cilindros de tonelada



Figura #5. Máscara autocontenido: funcionarios de la Región Chorotega.

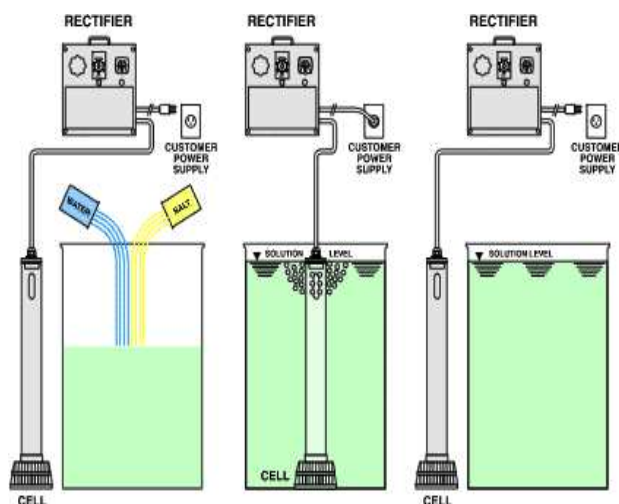




### 3.1.2 Hipoclorito de sodio.

Los sistemas productores de hipoclorito de sodio, producen la solución de hipoclorito cloro mediante la electrólisis de una solución de salmuera preparada con cloruro de sodio (sal común), agua y electricidad. Se introduce una celda que contiene dos electrodos y al cabo de un tiempo, 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.

Figura #6. Proceso de producción hipoclorito de sodio.

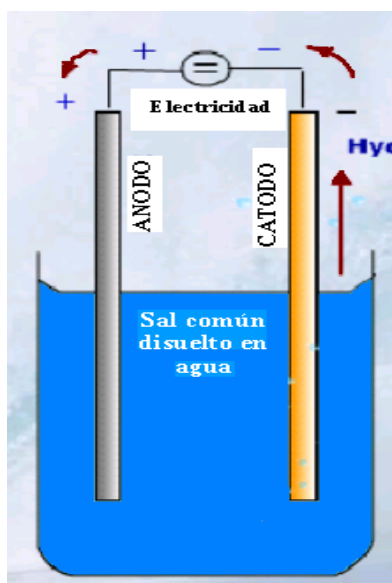


Fuente: Sanilec

La electrólisis es un proceso que consiste en el paso de corriente eléctrica a través de una solución electrolítica, donde se producen una serie de transformaciones químicas, dentro de estas se produce el componente activo del cloro para la desinfección.

Estos equipos trabajan con corriente 110 o 220 voltios, monofásicos y 50 o 60 ciclos. Constan de un tubo de pvc en el que esta una celda electrolítica de forma tubular (ánodo/cátodo) y el panel de control tiene un timer con que se regula el numero de horas que se quiere operar y automáticamente corta la energía al terminar su ciclo.

Figura #7. Diagrama electrólisis



Dentro de las recomendaciones de uso más importantes están:

- La concentración de la salmuera será del 3%. Esto significa que por cada litro de agua que se requiera preparar, se agrega 30 gramos de sal.
- El recipiente para la preparación de sal deberá ser de un material resistente a estas soluciones de hipoclorito, como por ejemplo el plástico.
- El nivel de salmuera debe estar por encima de las aberturas para recirculación de la celda electrolítica.
- El recipiente para el lavado de la celda puede ser en PVC de 200 mm de diámetro con 0.70 cm de altura.
- Colocar el rectificador y cualquier otro componente metálico por encima de los estañones y donde haya renovación de aire.
- Las casetas deben tener buena ventilación.
- Evitar el contacto de los ojos y la piel con la solución de cloro. De ser así lavarse durante 15 minutos con agua.
- Una vez producida la solución de hipoclorito, la celda deberá ser lavada con vinagre no más de 20 minutos, luego eliminar con agua cualquier residuo de vinagre. Esta celda queda lista para su uso nuevamente.

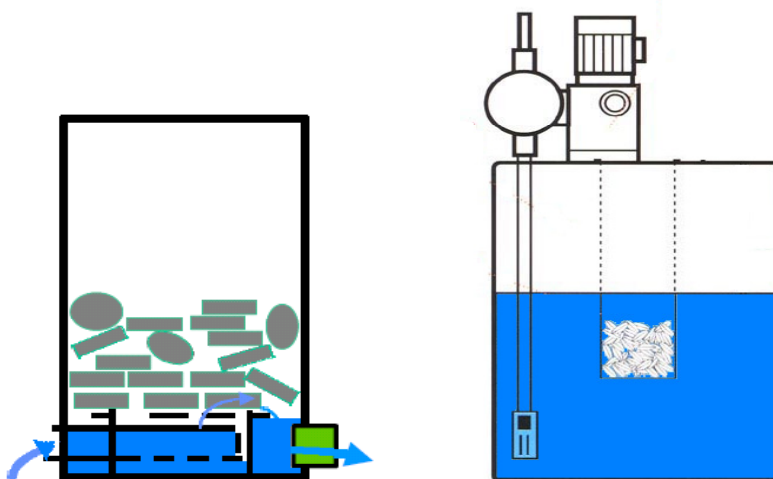
### 3.1.3 Hipoclorito de calcio.

Este sistema de cloración, se vende en el mercado en varias presentaciones, las más utilizadas por AyA son el cloro granulado o pastillas. Este sistema de desinfección tiene la gran ventaja que en el caso de que la dosificación de cloro se realice por gravedad, no requiere de electricidad.

En el caso de cloro granulado, se prepara disolviendo una cantidad de cloro en agua y la solución está lista para ser inyectada al sistema, ya sea por gravedad o mediante bomba dosificadora.

Las pastillas de cloro, funcionan básicamente mediante el remojo de las que se encuentran en el fondo del clorador. Estas pastillas se van erosionando lentamente de acuerdo al flujo de agua que se hace entrar al clorador, este flujo a la salida se dosifica al punto donde se realizará la desinfección.

Figura #8. Esquema con pastillas.



## 4. Sistemas instalados en acueductos rurales.

Durante el periodo 2003 - 2006, se han instalado en 71 acueductos rurales un total de 81 sistemas de desinfección, entre equipos productores de hipoclorito de sodio y cloro granulado. De estos, 54 sistemas fueron instalados por funcionarios de la Institución y 27 por empresas adjudicadas mediante licitaciones promovidas por DISICO desde el 2003 hasta el 2006.

En el cuadro #2 se describen los acueductos y el sistema instalado. En estas instalaciones se incluye el componente de capacitación en la operación y mantenimiento de los sistemas de desinfección instalados, así como el procedimiento para realizar el control de cloro en la red.

Cuadro #2. Acueductos con sistema de desinfección instalado  
Periodo 2003-2006

|                                        |                 |                                     |               |
|----------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------|
| Quebradilla de Cartago                 | HTH             | Loma Linda, Liverpool               | Clorid L- 30  |
| Villareal de Santa Cruz                | 2 Clorid L-30   | Monterrey de Aserrí (2 sectores)    | 2 HTH         |
| Coyolito de Belén, Guanacaste          | Sanilec B2      | Tobosi de Cartago                   | Clorid L-30   |
| La Fortuna de San Carlos               | 2 Easyclor 6    | Bella Luz de Corredores             | Sanilec B6    |
| Pital de San Carlos                    | 2 Easyclor 6    | Cifuentes de Santa Bárbara, Heredia | 2 Clorid L-30 |
| Palmar de Pital de San Carlos          | Easyclor 6      | Las Vueltas de Parrita, Puntarenas  | 2 Clorid L-30 |
| Santa Isabel de Río Cuarto de Grecia   | Easyclor 6      | La Cima de Tres Ríos                | HTH           |
| Las Delicias de Upala                  | Easyclor 6      | Pital de San Carlos                 | Easyclor      |
| Higuerón y Pueblo Nuevo de Upala       | 2 Easyclor 6    | El Pavo de Los Chiles (2 Sectores)  | 4 Clorid L-30 |
| Alto Los Araya, Orosi                  | HTH             | Punta Cuchillo de Paquera           | Clorid L-30   |
| Puente de Chirracá de Acosta           | Aquaclor        | Altos Araya                         | Clorid L-30   |
| Melliza de Sabalito                    | Easyclor        | Bahía Uvita de Osa                  | Sanilec 6     |
| Sándalo y Agujas de Jiménez            | Easyclor        | Los Chiles de Agua Zarcas           | HTH           |
| Playa Zancudo                          | Easyclor        | Loma Linda de Limón                 | Clorid L-30   |
| Los Mangos de Aserrí                   | Clorid L-30     | Sabanas y Sabanilla de Acosta       | Easyclor 6    |
| Dominical de Osa                       | HTH             | Tabarcia de Mora                    | Pastillas     |
| El Carmen de la Suiza                  | OXI             | San Cristóbal de la Rita            | Easyclor 6    |
| Larga Distancia de Matina              | 4 Clorid L-30   | Bahía Ballena y Uvita # 1           | Sanilec       |
| Punta Cocles de Limón                  | 2 Clorid L-30   | Concepción y Oratorio (AI-006)      | Easyclor 6    |
| Cirri de Naranjo                       | 2 Clorid L-30   | San Carlos de Tarrazú               | Easyclor 2    |
| Grifo Alto, Puriscal                   | 2 Clorid L-30   | San Gabriel de Aserrí (B1841)       | Sanilec 6     |
| La Lucha de Guácimo                    | 1 Aqua-clor 100 | Caracol de Corredores (pruebas)     | HTH           |
| Colonia Finca Seis, Limón (2 Sectores) | 2 Aqua-clor 50  | Cerere de Limón                     | Aquaclor      |
| San Juan Bosco, P. Z. (2 Sectores)     | 2 Clorid L-30   | San Antonio de Pejiballe (EZ-0021)  | Easyclor 12   |
| Cañón y Damita del Guarco              | 1 Aqua-clor 50  | Changuena de Buenos Aires (EZ-0016) | Easyclor 2    |
| Chomes de Puntarenas                   | 4 Clorid L-30   | Las Nubes de Los Chiles (EZ-0010)   | Easyclor 2    |
| Alto Los Araya (2 Sectores)            | 4 Clorid L-30   | Río Negro de Cóbano (EZ-0013)       | Easyclor 2    |
| Garza de Nicoya                        | 1 Aqua-clor 50  | San Antonio de Pejiballe (EZ-0010)  | Easyclor 6    |
| San Pablo de Nandayure                 | 1 Aqua-clor 50  | Rincón Alto de Atenas (EZ2-0015)    | Easyclor 2    |
| San Francisco de Coyote, Nandayure     | 2 Clorid L-30   | Las Maravillas de Guápiles          | Aquaclor      |

|                                                     |                                       |                                          |                   |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|-------------------|
| Santiago de Palmares<br>(3 Sectores)                | 1 Aqua-<br>clor 100<br>Aquaclor<br>50 | Bajo Burgos de Puriscal                  | 2 Clorid L-30     |
|                                                     | 2 Clorid<br>L-30                      | Bajo Pacuare de Tres Equis,<br>Turrialba | 2 Clorid L-30     |
| Santa Rosa de Guápiles                              | 2 Clorid<br>L-30                      | Alto Naranjo de Atenas 3 Sectores        |                   |
| San Gabriel de Aserri<br>(Sector Quebrada El Tigre) | HTH                                   | B° Las Pocitas                           | 2 Clorid L-30     |
| San Gabriel de Aserri<br>(Sector Central)           | HTH                                   | Tanque de 75 m <sup>3</sup>              | Pristine<br>Water |
| San Isidro de Grecia<br>(2 Sectores)                | 2 Sanilec<br>B6                       | San Isidro                               | 2 Clorid L-30     |
| Puente de Piedra, Grecia                            | HTH                                   | Rincón Alto de Atenas                    | 2 Clorid L-30     |

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Chirstman, Keith A. Calidad del agua: Desinfección efectiva. Estados Unidos. En: <http://www.waterandhealth.org/drinkingwater/whitepapers10-98.html>

De interés público: Salud, educación, agua y saneamiento para todos. En: <http://www.oxfam.org>.

Manual de desinfección del agua. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana. San José, C.R: GTZ/CAPRE.1990.

Manual de tratamiento de aguas. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany. Editorial Limusa.1995.

Solsona, Felipe; Méndez, Juan Pablo. Desinfección de aguas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Perú: CEPIS.2002.

WHO. Disinfectants and disinfectant by-products. Environmental Health Criteria 216.

WHO. Guidelines for Drinking-water Quality: Chlorine in Drinking-water. 2nd ed. Vol.2. World Health Organization, Geneva, 1996.

