

Evaluación de la estabilidad de los productos usados para la cloración del agua como método de desinfección en la EPSA AUAP de la población de El Paso, Cochabamba

Rodrigo Mejía^{1*}, Alvaro R. Mercado¹

¹Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

*rodri_9417_@hotmail.es

Resumen

Se evaluó la estabilidad de soluciones de cloro, en recipientes opacos y translucidos exponiéndolas a la luz solar durante 7 días, las soluciones de cloro fueron obtenidas a partir de marcas comerciales de: hipoclorito de calcio (marca HTH y QP Chlor), dicloroisocianurato de sodio (marca Tonga) y ácido tricloroisocianúrico (marca Nove Quim).

Los resultados mostraron que cuando se exponen a la luz solar en frascos translucidos: el hipoclorito de calcio (cualquier marca) tiene pérdidas de hasta el 40,56% de su concentración en 1 hora de exposición; el dicloroisocianurato de sodio tiene buena estabilidad manteniendo hasta el 36,89% de su concentración a los 7 días de exposición; el ácido tricloroisocianúrico tiene una baja estabilidad conservando el 25,49% después de 3 días de exposición y sólo el 0,78% a los 7 días. Mientras, cuando se exponen a la luz solar, en frascos opacos (no translucidos), la estabilidad del cloro cualquiera sea su composición es muy buena, logrando conservar hasta el 97% de su concentración después de 7 días de ser expuestas a la radiación solar.

Palabras clave: *Ácido tricloroisocianúrico, Cloración, Dicloroisocianurato de sodio, Hipoclorito de calcio, Pureza del cloro.*

Abstract

Stability of chlorine solutions was evaluated, in opaque and translucent containers exposing them to sunlight for 7 days, chlorine solutions obtained from calcium hypochlorite (brand HTH and QP Chlor), sodium dichloroisocyanurate (Brand Tonga) and trichloroisocyanuric acid (Brand Nove Quim) were tested.

Results showed that when exposed to sunlight in translucent vials: calcium hypochlorite (any brand) has losses of up to 40.56% of its concentration in 1 hour of exposure; sodium dichloroisocyanurate has good stability maintaining up to 36.89% of its concentration at 7 days of exposure; trichloroisocyanuric acid has a low stability preserving 25.49% after 3 days of exposure and only 0.78% at 7 days. Meanwhile, when exposed to sunlight, in opaque (non-translucent) jars, the stability of chlorine whatever its composition is very good, managing to preserve up to 97% of its concentration after 7 days of being exposed to solar radiation.

Key words: *Trichloroisocyanuric acid, Chlorination, Sodium dichloroisocyanurate, Calcium hypochlorite, chlorine purity.*

1. Introducción

El limitado acceso al agua de buena calidad o la inadecuada calidad de la prestación del servicio de las EPSA's (Entidades Prestadoras de Servicios de Agua), representan un grave riesgo para la salud, en especial de los niños, ancianos y personas con bajas defensas o salud disminuida.

El funcionamiento inadecuado de los sistemas de abastecimiento de agua y de las estructuras sanitarias,

exigen una acción urgente y cuidadosa. Estas deficiencias son responsables de que alrededor de 80.000 niños mueran cada año en América Latina (OPS, 1999). Esto se puede verificar con el reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), respecto a las 10 principales causas de defunción, en las cuales se aprecia que las enfermedades diarreicas (infecciones intestinales) son la novena principal causa de muerte en el año 2019 con 1.5 millones de muertes, esto a nivel global. Viendo desde los países con ingresos bajos, las enfermedades diarreicas son

la segunda principal causa de muerte, en países de ingreso mediano bajo son la sexta principal causa y, en los países de ingreso mediano alto y alto las enfermedades diarreicas no se encuentran dentro de las 10 principales causas de defunción. Se calcula que solo la contaminación del agua potable provoca más de 485.000 muertes por diarrea al año (OMS, 2022).

El reporte de la OMS de las principales causas de defunción pone en evidencia dos factores: el primero, es que, en los países desarrollados es evidente que la desinfección está incorporada como un proceso ineludible, fijo y establecido, así como el cuidado y mantenimiento de sus sistemas de abastecimiento de agua; el segundo, es que, en los países en desarrollo ocurre lo contrario, los tratamientos de potabilización, sobre todo en áreas rurales, son imprecisos y tienen una mala operación y escaso mantenimiento. Es así que, los procesos de desinfección y cuidado del agua son pobres y no se respeta el papel que cumplen como protección de la salud pública (OMS, 2020).

La mejora de las fuentes de abastecimiento de agua también conlleva la reducción del gasto en salud, ya que las personas tienen menos probabilidades de enfermar y de incurrir en gastos médicos y están en mejores condiciones de permanecer económicamente productivas (OMS, 2019).

La gran mayoría de los problemas de salud relacionados de forma evidente con el agua, se deben a la contaminación por microorganismos (OMS, 2006). Se estima que, en todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces (OMS, 2022).

El riesgo que representa a la salud la presencia de sustancias químicas en el agua, es distinto al que suponen los contaminantes microbiológicos que tienen efectos más agudos. De otra parte, son pocas las sustancias químicas que, en las concentraciones que normalmente pueden detectarse en el agua contaminada, causan problemas a la salud con efectos inmediatos, ya que normalmente éstos se manifiestan tras largos períodos de exposición. Por eso se afirma que la vigilancia y el control de los contaminantes químicos tienen importancia secundaria cuando el agua está contaminada por microorganismos (Rojas, 2002).

Por otra parte, la inspección sanitaria hace posible la detección de condiciones o situaciones que aumentan el riesgo de contaminación del agua y que no siempre pueden ser determinados por los análisis rutinarios,

a menos que, la contaminación esté ocurriendo en el momento del muestreo. La inspección sanitaria se realiza a través de la apreciación sensorial de las condiciones físicas de las instalaciones de los sistemas de producción (fuentes de agua), almacenamiento y distribución del agua, principalmente de las partes más vulnerables y vinculadas a la conservación de la calidad del agua, lo que permite la identificación de las deficiencias estructurales u operativas en el sistema de abastecimiento (Rojas, 2002).

Si bien existen varios métodos de desinfección del agua, el uso del cloro tiene ventajas reconocidas a nivel global como ser: tiene una acción germicida de espectro amplio, persistencia en los sistemas de distribución de agua, facilidad de instalación, los compuestos de cloro son disponibles globalmente y son relativamente económicos (Solsona & Méndez, 2002).

Considerando los párrafos anteriores, se optó por realizar la evaluación de los productos usados para la cloración del agua (desinfección del agua) en la EPSA de la población de “El Paso” del municipio de Quillacollo, Cochabamba (Mejía, 2020).

2. Métodos

Evaluación de los productos usados para la cloración del agua

Uno de los mayores problemas de los sistemas de desinfección del agua a base de cloro, es que los operadores de sistemas de agua comunitarios en Bolivia, desconocen el comportamiento y las características de los productos de cloro usados para la desinfección. Dado que el cloro es volátil, hace que pierda su concentración de cloro activo (concentración de cloro disponible para la desinfección), en especial cuando este entra en contacto directo con la luz solar. Esto conlleva a una desinfección deficiente del agua, debido a la pérdida de concentración del desinfectante cloro (Coronado & Ledezma, 2005).

Si no se garantiza la desinfección del agua, la comunidad queda expuesta al riesgo de brotes de enfermedades intestinales y otras enfermedades infecciosas. Es particularmente importante evitar los brotes de enfermedades transmitidas por el agua de consumo, dada su capacidad de infectar simultáneamente a un gran número de personas y, potencialmente, a una gran proporción de la comunidad antes de ser detectada (OMS, 2006).

Es por ello, que se realizaron distintos ensayos a los productos usados para la cloración del agua en la EPSA de la población de El Paso, en Cochabamba, Bolivia, como ser: evaluación de la pureza y la estabilidad del

cloro de los productos usados para la cloración del agua más comunes en Cochabamba.

Se seleccionaron 4 productos comerciales para la cloración, los cuales se muestran en la Tabla 1

Tabla 1

Productos comerciales seleccionados para la evaluación

Productos de evaluación			
Composición	Formula química	Marca comercial	Estado
Hipoclorito de calcio	Ca(ClO) ₂	HTH	Granulado
Hipoclorito de calcio	Ca(ClO) ₂	QP Chlor	Granulado
Dicloroisocianurato de sodio	C ₃ Cl ₂ N ₃ NaO ₃	Tonga	Granulado
Ácido tricloroisocianúrico	C ₃ Cl ₃ N ₃ O ₃	Nove Quim	Granulado

Se optó por dos productos con el mismo compuesto activo (hipoclorito de calcio) pero de distintas marcas comerciales, debido a que el hipoclorito de calcio es el más comercial y usado para el tratamiento del agua por las EPSA's.

Pureza de los productos usados para la cloración del agua

La pureza de un producto para la desinfección del agua, hace referencia a la cantidad de cloro disponible para la desinfección del agua, el cual se conoce como cloro activo.

Para la determinación de la pureza o cloro activo de los productos utilizados, se siguió el método yodométrico (Greenberg & Eaton, 1999), también reconocido por la norma boliviana NB649.

Para evaluar la estabilidad de los productos se prepararon soluciones de cloro de aproximadamente 1000 ppm con agua destilada para cada producto seleccionado, se midió la concentración del cloro activo a distintos tiempos de exposición, a la sombra y a la luz solar. Los productos para los ensayos se encontraban en forma granular.

Estabilidad de las soluciones de cloro

Se realizaron ensayos de estabilidad de la solución de cloro donde, soluciones de cloro en recipientes de polietileno translucidos y opacos (recipiente forrado con papel negro) se expusieron a la luz solar, y se determinó la pureza de las soluciones antes y después de la exposición.

3. Resultados

Los cuatro productos de cloración utilizados, sus purezas teóricas y las reales o medidas se encuentran en la Tabla 2

Tabla 2

Pureza o cloro activo de los productos utilizados para la cloración del agua

% PUREZA o CLORO ACTIVO		
Nombre del producto comercial	% Real	% Teórica
QP-CHLOR	63,56	70
NOVE QUIM 1	48,67	90
HTH	50,18	65
TONGA	55,37	60

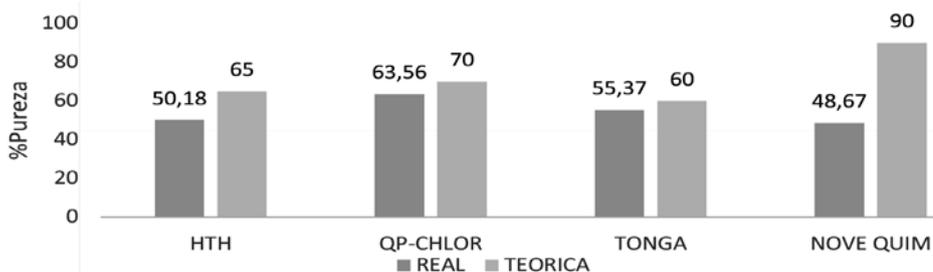


Figura 1. Comparación entre la pureza teórica y medida de los productos evaluados.

Se observó que el cloro activo medido era menor que el teórico mencionado en el recipiente en el que se comercializa (Figura 1). Por lo cual, se efectuó una comparación del cloro activo inicial de los productos y a los 40 días después de ser almacenados en la oscuridad, en lugar seco y sellados en lo posible, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3

Variación del cloro activo o pureza después de abierta la envoltura, a los 40 días

Variación del cloro activo o pureza después de abierta la envoltura a los 40 días					
Composición	Fórmula química	Marca comercial	% Cloro activo		% Pérdida
			Inicial	Final	
Hipoclorito de calcio	Ca(ClO) ₂	HTH	50,18	38,87	22,54
Hipoclorito de calcio	Ca(ClO) ₂	QP-Chlor	63,56	62,23	2,09
Dicloroisocianurato de sodio	C ₃ Cl ₂ N ₃ NaO ₃	Tonga	55,37	54,78	1,05
Ácido tricloroisocianurico	C ₃ Cl ₃ N ₃ O ₃	Nove Quim	48,67	35,11	27,86

En la tabla 3 se puede notar que uno de los productos de hipoclorito de marca HTH y el ácido tricloroisocianúrico perdieron más del 20% cloro activo, frente al otro producto de hipoclorito de calcio y al dicloroisocianurato de sodio que luego de 40 días de la apertura del recipiente perdieron menos del 2.1%.

Esto puede tener repercusiones a la hora de adquirir los productos a ser usados por el comité de agua, considerando el tiempo y tipo de almacenamiento que se realicen.

Estabilidad de los productos usados para la cloración

Las soluciones de cloro son inestables y su estabilidad depende de su composición química, como ser: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dicloroisocianurato de sodio, ácido tricloroisocianúrico u otros. Existen distintos factores que lo vuelven muy inestable como ser (Cáceres, 1971):

- Temperatura
- pH
- Iluminación (luz artificial o luz solar)
- Tipo de frasco o almacenamiento
- Concentración
- Impurezas
- Tipo de composición

Los ensayos de estabilidad de cloro mostraron los siguientes resultados:



Figura 2. Recipientes de politeileno utilizados en prueba de estabilidad. a) Cubiertos con material opaco, b) Translucidos.

Tabla 4

Variación de la concentración de los productos para la cloración en frasco translúcido y expuestos al sol

1 g de producto en 500ml de agua destilada, en frasco translúcido y expuestas al sol								
Día	QP-CHLOR		NOVE QUIM 1		HTH		TONGA	
	Concentración [ppm]	pH	Concentración [ppm]	pH	Concentración [ppm]	pH	Concentración [ppm]	pH
0	1.271,241	10,95	973,38	2,70	1.003,52	10,73	1.095,71	5,76
3	7,09	10,75	248,15	2,59	0,36	10,07	856,12	4,45
7	1,36	8,41	7,60	2,31	0,20	8,03	404,24	2,87

El dicloroisocianurato de sodio y el ácido tricloroisocianúrico, llevan estabilizadores como el ácido cianúrico el cual tiene la finalidad de reducir la descomposición fotoquímica a causa de la radiación solar. Sin embargo, solo se observa una mejor estabilidad del cloro en el dicloroisocianurato de sodio, marca TONGA, y una muy baja estabilidad y/o resistencia por parte del ácido tricloroisocianúrico. Ambos tienen pH ácido debido a su composición, en especial el tricloro (marca NOVE QUIM) que mantiene un pH por debajo de 2,70, lo que causa desprendimiento de gases irritantes. En cambio, el dicloro presenta un descenso del pH alcanzando pH 4,45, causando un incremento en la liberación de gases irritantes para los tractos respiratorios.

El pH de la solución de hipoclorito para concentraciones mayores a 1.000 ppm de cloro es mayor a 10, evitando un desprendimiento brusco de gases; no se aprecia gases notablemente irritantes para los ductos respiratorios por parte de la solución de hipoclorito.

Se observó un brusco descenso del cloro activo en el hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ (en los dos productos comerciales evaluados) al ser expuestas al sol, por lo que, se procedió a realizar una evaluación del descenso de cloro activo de hipoclorito de calcio por hora, en el producto marca HTH debido a que es el más comercial, obteniendo los resultados mostrados en la tabla siguiente:

Tabla 5

Solución de hipoclorito de calcio (marca HTH), en frasco translúcido y expuesta al sol

Solución de hipoclorito de calcio (marca HTH), en frasco translúcido y expuesta al sol			
Hora	Tiempo de exposición [h]	Concentración [ppm]	% Pérdida
14:30	0	684,24	0,00
15:30	1	406,23	40,63
16:30	2	308,64	54,89
17:30	3	189,64	72,28

Se aprecia un descenso notable del cloro activo en el hipoclorito de calcio, con un aproximado de 25% de pérdida por cada hora de exposición. Esto evidencia la pérdida casi total del cloro activo en el primer día de exposición a la luz solar. Ensayos realizados por

Nicoletty y Magalhaés (1996) con hipoclorito de sodio bajo condiciones de recipientes transparentes expuestos al sol presentan reducciones de cloro activo similares, pero en un tiempo de hasta 8 meses.

Tabla 6

Variación de la concentración de los productos para la cloración frasco opaco (no translúcido) y expuestas al sol

6 g de producto en 3000 ml de agua destilada, en frasco opaco y expuestas al sol								
Día	QP-CHLOR		NOVE QUIM 1		HTH		TONGA	
	Concentración [ppm]	pH	Concentración [ppm]	pH	Concentración [ppm]	pH	Concentración [ppm]	pH
0	1.244,65	10,74	702,11	3,28	777,47	10,60	1.107,42	5,45
3	1.261,01	10,76	683,48	3,10	773,67	10,59	1.073,28	6,12
7	1.257,06	10,73	863,46	2,58	772,29	10,51	1.015,88	5,50

Cuando la solución se expone a la radiación solar en un recipiente opaco no translucido, se observa (Tabla N° 6) una muy buena estabilidad en todos los productos, a excepción del ácido tricloroisocianúrico, el cual presenta un ascenso en la concentración del cloro activo, esto posiblemente debido a que la dilución del producto es lenta, dando por entendido que la dilución del ácido tricloroisocianúrico se completó durante el ensayo. El pH en todos los productos se mantiene prácticamente constante.

4. Conclusiones

Existen diversos productos para la cloración de sistemas de agua con diferentes composiciones.

El ácido tricloroisocianúrico (marca Nove Quim), mostró una baja estabilidad ante la exposición directa a la luz solar teniendo una pérdida de hasta el 75% a los 3 días y 100% a los 7 días, una alta volatilidad ante la manipulación del mismo, alto desprendimiento de gases irritantes para los ojos y tractos respiratorios, pH muy ácido de hasta 2,4 para concentraciones mayores a 700 ppm y una muy baja solubilidad, lo cual dificulta su preparación para su respectivo uso o análisis.

El dicloroisocianurato de sodio (marca Tonga), mostró una buena estabilidad ante su exposición a la luz solar, teniendo una pérdida de hasta 22% a los 3 días y 63% a los 7 días, un desprendimiento medio de gases irritantes para los tractos respiratorios, una solubilidad completa, una pureza de 55.37% y un pH ácido de 5,6 para concentraciones superiores a 1000 ppm.

El hipoclorito de calcio (marca HTH o QP-Chlor), mostró una muy baja estabilidad ante su exposición a la luz solar, teniendo pérdidas de hasta 25% por

hora de exposición, bajo desprendimiento de gases irritantes, pH alcalino mayor a 10 para concentraciones superiores a 800 ppm, una solubilidad casi completa (contiene impurezas insolubles), un cloro activo variable dependiendo su marca comercial entre el 50 a 65 %.

La estabilidad del cloro (cual sea su marca, procedencia o tipo de producto utilizado) se ve muy afectada ante su exposición a la luz solar en recipientes translucidos, sin embargo, esta se evita con recipientes no translucidos opacos.

La temperatura tiene baja influencia en su estabilidad. Durante los ensayos, las muestras alcanzaron los 35°C, pero a pesar de ello, se mantuvo una muy buena estabilidad en recipientes no translucidos en todos los productos.

Los productos con composición ácido tricloroisocianúrico y dicloroisocianurato de sodio presentan una mejor estabilidad ante su exposición a la luz solar debido a que estos llevan estabilizantes como el ácido cianúrico, lo cual disminuye drásticamente su pH.

5. Recomendaciones

Se debe evitar cualquier contacto directo de la luz solar con la solución de cloro que se usa para la cloración del agua, en especial del hipoclorito de calcio (cualquier marca), en todo el sistema de desinfección.

Se debe tener especial cuidado en la selección de los productos a utilizar para la desinfección del agua tomando en cuenta su accesibilidad, estabilidad, toxicidad, pureza y costo.

Agradecimientos

El trabajo fue posible gracias al convenio suscrito entre la Universidad Mayor de San Simón y la Asociación de Usuarios de Agua Potable de El Paso (AUAP). Se reconoce de gran manera el apoyo del Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental por el apoyo de sus investigadores, auxiliares y el uso de su infraestructura y equipamiento.

6. Referencias bibliográficas

- Caceres, O. (1971). *Manual para la desinfección de aguas mediante la cloración* (1st ed.; M. de Salud, ed.). Lima.
- Coronado, O., & Ledezma, M. (2005). *Manual teorico-practico desinfección de aguas con soluciones de cloro* (p. 9). p. 9. Cochabamba: Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental.
- Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (eds). (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th ed.; L. Clesceri, A. Greenberg, & A. Eaton, Eds.). APHA, AWWA, WEF.
- Mejia, R. (2020). *Evaluación y diagnostico de riesgos de contaminación del agua del sistema de abastecimiento de agua potable de “El paso”, del municipio de Quillacollo y estudio de la estabilidad de los productos usados para la cloración*. Universidad Mayor de San Simón.
- Nicoletti, M. A., & Magalhães, J. (1996). Influencia del envase y de factores ambientales en la estabilidad de la solución de hipoclorito sódico. *Boletín Oficina Sanitaria Panamericana*, 121(4), 301–309.
- OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable: Recomendaciones. In *OMS*.
- OMS. (2020). Las 10 principales causas de defunción. Retrieved July 14, 2022, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- OMS. (2022). Agua para consumo humano. Retrieved July 14, 2022, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-WATER>
- OPS. (1999). *La desinfección del agua*.
- Rojas, R. (2002). *GUÍA PARA LA VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO* (OPS, Ed.). Retrieved from <http://www.cepis.ops-oms.org>
- Solsona, F., & Méndez, J. (2002). Desinfección de agua. In CEPIS (Ed.), *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. Lima.