

# Evaluación preliminar de los niveles de cloro residual (Cl<sub>2</sub>) y contaminación por cloraminas en agua potable de la ciudad de Arequipa – 2015

Preliminary assessment of residual chlorine (Cl<sub>2</sub>) levels and contamination by chloramines in drinking water Arequipa city – 2015.

Flores-Calla, S. S.<sup>a,b</sup>, Peceros-Melchor, M. V.<sup>a,b</sup>, Tapia-Montesinos, M. A.<sup>a,b</sup>, Tejada-Dongo, P. A.<sup>a,b</sup>, Yugra-Condori, M. M.<sup>a,b</sup>, Paredes-Fuentes, J.<sup>a,b</sup>, Villanueva-Salas, J. A.<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Investigación del Proyecto Mercurio, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas. Universidad Católica de Santa María. Arequipa Perú.

<sup>b</sup> Maestría en Química del Medio Ambiente, Escuela de Postgrado, Universidad Católica de Santa María. Arequipa Perú.

## INFORMACIÓN

### Historia del Artículo

Recepción: 2016

Revisión: 2016

Aceptación: 2017

### Palabras Clave

Cloro libre residual, cloraminas, sistema de distribución de agua, monitoreo, desinfección

Abreviaturas: DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina), OMS (Organización Mundial de la Salud) y DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria)

### Key Words

Residual free chlorine, chloramines, water distribution system, monitoring, disinfection

Abbreviations: DPD (N, N-die-thyl-p-phenylenediamine), WHO (World Health Organization) and DIGESA (General Directorate of Environmental Health and Food Safety)

## RESUMEN

El cloro (Cl<sub>2</sub>) es un agente oxidante fuerte y es la sustancia química convencional utilizada en el proceso de desinfección para la potabilización del agua, reduciendo el riesgo de infección patógena. Sin embargo, puede representar una amenaza química para la salud humana debido a los residuos de desinfección y los subproductos peligrosos formados como los trihalometanos, nitrosaminas, cloro fenoles, entre otros. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar y monitorear la concentración de cloro libre y cloraminas en el agua potable distribuida en la ciudad de Arequipa, para establecer si se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la autoridad competente. Se realizaron tres monitoreos mensuales, en la red de distribución de las tres plantas potabilizadoras, empleando el método espectrofotométrico con DPD, se ajustaron los valores experimentales al modelo cinético de primer orden, empleando el valor de  $k = 0.0018$  como constante de decaimiento. Los valores de cloro libre y cloraminas, presentaron diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en los meses de monitoreo, las diferentes plantas potabilizadoras y los distritos evaluados. Se concluyó que el promedio de los valores de cloro libre están dentro de los parámetros definidos por la DIGESA norma y por la OMS norma WHO/SDE/WSH/03.04/45. Además los valores de concentración de cloraminas se encuentran por debajo del límite de 5 mg.L<sup>-1</sup> que establece la norma internacional OMS.

## ABSTRACT

Chlorine is a strong oxidizing agent and is the conventional chemical used in the disinfection process for water purification, reducing the risk of pathogenic infection. However, it may represent a chemical threat to human health due to waste and hazardous disinfection by-products formed as trihalomethanes, nitrosamines, chlorophenols, among others. This paper aims to assess and monitor the concentration of free chlorine and chloramines in drinking water distributed in the city of Arequipa, to establish whether it is within the parameters set by the competent authority. Three monthly monitoring were performed in the distribution network of the three water treatment plants, performing the DPD spectrophotometric method, the experimental values to first order kinetic model were adjusted using the value of  $k = 0.0018$  as decay constant. The values of free chlorine and chloramines, showed significant difference ( $p < 0.05$ ) in the months of monitoring, different water treatment plants and districts evaluated. It was concluded that the average values of free chlorine are within the parameters defined by the DIGESA and WHO. In addition chloramine concentration values are below the limit of 5 mg.L<sup>-1</sup> that sets the international standard WHO.

## Introducción

La calidad del agua potable es una preocupación de carácter mundial, por lo cual su control es de suma importancia. Un gran porcentaje de la población desarrolla enfermedades gastrointestinales, como consecuencia del consumo de agua de mala calidad. (12)

En la actualidad, las plantas de tratamiento de agua potable emplean el cloro como desinfectante para la eliminación de los

microorganismos patógenos; la ventaja del cloro como desinfectante es que se encuentra fácilmente en diferentes formas, es económico y efectivo frente a otros desinfectantes y deja un residual en solución el cual protege el sistema de distribución, siendo este remanente llamado cloro residual libre, el cual debe ser monitoreado en los puntos de consumo final para garantizar la inocuidad microbiológica del agua. (9)

La cloración de agua potable reduce el riesgo de infección patógena, pero puede representar una amenaza química para la salud humana, debido a los subproductos cuando los precursores orgánicos e inorgánicos están presentes en el agua. (11) El exceso de cloro es dañino para la salud humana y debe ser evitado ya que crea subproductos peligrosos como: los trihalometanos, los cuales están asociados al cáncer de vejiga, y las nitrosaminas que evidencian relación con el cáncer gástrico y de esófago. (4,6,10)

Correspondencia:  
Paredes-Fuentes, J.  
jparedesf@ucsm.edu.pe

Cuando existe materia orgánica presente en el agua, el cloro reacciona con el nitrógeno generando como subproducto cloraminas orgánicas, lo cual disminuye la concentración de cloro, y como consecuencia su nivel de desinfección, así mismo varios estudios biomédicos han afirmado sus efectos potencialmente adversos en la salud.(5,7)

El monitoreo de cloro libre en muestras de agua potable es de gran importancia, es así que se han desarrollado métodos analíticos empleados para este propósito, reportando diferentes concentraciones de cloro y cloraminas en diferentes partes del mundo.(3,4)

Por lo cual, se plantea realizar el monitoreo del cloro residual en la ciudad de Arequipa en los puntos finales de distribución; así mismo, evaluar la concentración de cloraminas.

## Material y Métodos

**Equipos.** El espectrofotómetro Agilent CARY 60 UV-VIS, USA, de haz dual con lámpara pulsante de xenón y fue usado para el desarrollo experimental.

**Reactivos.** Para el método de espectrofotométrico se utilizó como estándar primario  $\text{KMnO}_4$  (p.a.), Merck, ( $0.891 \text{ mg.L}^{-1} \text{ KMnO}_4 \cong 1 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{Cl}_2$ ), se preparó soluciones de buffer fosfato y de DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina) según la metodología APHA (American Public Health Association),(2) todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

**Decaimiento de cloro libre en el agua potable:** Se evaluó la cinética de decaimiento de cloro gaseoso en botellas tratadas ( $\text{NaClO}$ , 1%) y sin tratar. Se aplicó la ecuación  $C=C_0 * E^{(-kt)}$  ( $C$  es la concentración de cloro en  $\text{mg.L}^{-1}$ ,  $C_0$  es la concentración inicial de cloro en  $\text{mg.L}^{-1}$ ,  $k$  la constante de degradación de cloro para una reacción de primer orden y  $t$  el tiempo en minutos).(13)

**Muestreo:** El método de muestreo fue aleatorizado, tomando en cuenta los lineamientos de la OMS (1 muestra por cada 1000 habitantes)(14) se realizaron tres monitoreos mensuales de 85 muestras cada uno. En la Tabla 1. se especifican la codificación por distrito y las plantas de tratamiento que abastecen el agua potable.

## Determinación de cloro libre residual y cloro total:

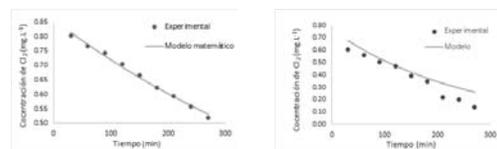
Las mediciones de cloro libre residual fueron realizadas en tubos de ensayo, se agregó 0.5 mL de buffer fosfato, 0.5 mL solución de DPD y 10 mL de muestra, luego se midió la absorbancia de la muestra en el espectrofotómetro a 511 nm. Para determinar el cloro total, se siguió el procedimiento antes mencionado; y se añadió 100  $\mu\text{L}$  de solución de KI ( $0.1 \text{ g.mL}^{-1}$ ), se dejó reposar durante 2 minutos y se realizó la lectura a 511 nm. La diferencia de la segunda medición la cual es el cloro total en la muestra y la medición del cloro residual nos dan como resultado la concentración de cloraminas.(2)

**Tabla 1. Tabla de codificación de distritos y planta de tratamiento**

Código	Distrito	Planta de tratamiento
4	Cerro Colorado	
3	Cayma	
2	Cercado	
5	Sachaca	
6	Hunter	
7	Jose Luis B y R.	Tomilla I (Planta 1)
8	Socabaya	
10	Miraflores	
11	Mariano Melgar	
12	Selva Alegre	
1	Yanahuara	
9	Paucarpata	
4	Cerro Colorado	Tomilla II (Planta 2)
3	Cayma	
9	Paucarpata	Bedoya (Planta 3)
13	Chiguata	

## Resultados

**Decaimiento de cloro libre en el agua potable:** La Figura 1. muestra los datos obtenidos de decaimiento de cloro con una concentración inicial de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$ . Los datos experimentales se muestran en puntos y los valores determinados por el modelo cinético de degradación  $C=C_0 * E^{(-kt)}$  en línea. Las mediciones se realizaron a intervalos de 30 minutos, obteniéndose un valor para  $k$  de 0.0018 y de 0.0040 para las botellas tratadas con  $\text{NaClO}$  al 1% y botellas sin tratar, respectivamente; el valor de  $k$  determina la degradación de cloro con respecto al tiempo, esto nos permite corregir los valores obtenidos.



**Figura 1. Decaimiento de cloro libre. Izq.: Botellas tratadas. Der.: Botellas sin tratar.**

**Monitoreo.** La Tabla 3 muestra el análisis estadístico de cloro libre residual en cada planta de tratamiento, obteniendo como máxima concentración de 1.6759, 0.966 y 1.5032 mg.L<sup>-1</sup> en las plantas 1, 2 y 3 respectivamente. Los valores de cloro libre residual de las muestras colectadas del sistema de distribución variaron de 0.001 - 1.6759 mg.L<sup>-1</sup>, como mínimo y máximo respectivamente.

**Tabla 3. Análisis estadístico descriptivo de cloro libre residual en cada planta de tratamiento.**

	n	Media	DS	Mínimo	Máximo
Planta 1	183	0.8929	0.2875	0.2543	1.6759
Planta 2	36	0.4899	0.3076	0.0010	0.966
Planta 3	36	1.1917	0.1625	0.8233	1.5032
Total	255	0.8781	0.3340	0.0010	1.6759

Además para las mediciones de cloraminas según planta de tratamiento, obtuvimos como máxima concentración valores de 0.2691, 0.4510 y 0.0033 mg.L<sup>-1</sup> en las plantas 1, 2 y 3 respectivamente como se observa en la Tabla 4. Los valores de cloraminas de las muestras colectadas del sistema de distribución variaron de 0.0 – 0,4510 mg.L<sup>-1</sup>, como mínimo y máximo respectivamente.

**Tabla 4. Análisis estadístico descriptivo de cloraminas en cada planta de tratamiento**

	n	Media	DS	Mínimo	Máximo
Planta 1	85	0.1077	0.0579	0.0010	0.2691
Planta 2	85	0.1422	0.0824	0.0000	0.4510
Planta 3	85	0.0001	0.0006	0.0000	0.0033
Total	255	0.0973	0.0712	0.0000	0.4510

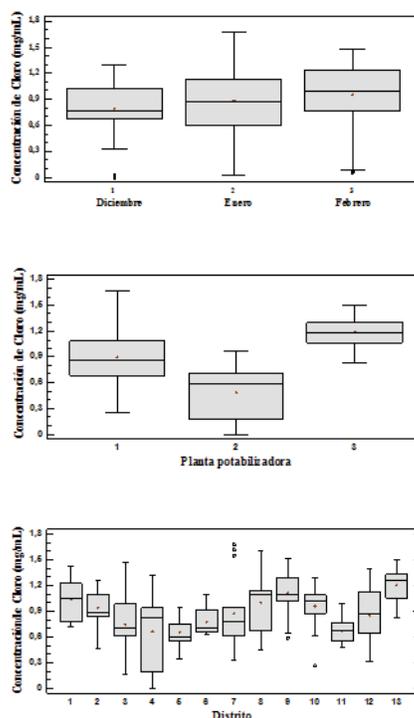
En la Figura 2. podemos observar la tendencia central de los datos, la dispersión de los mismos y la presencia de datos atípicos. Se observa la tendencia de la concentración de cloro residual frente al mes de toma de muestra, la planta potabilizadora y los distritos. Los valores promedio de concentración.

de cloro residual son 0.8005 mg.L<sup>-1</sup>, 0.8840 mg.L<sup>-1</sup> y 0.9507 mg.L<sup>-1</sup> en los meses de diciembre, enero y febrero respectivamente ( $p = 0.0131$ ), observando un incremento en concentración de cloro y en la dispersión de los datos.

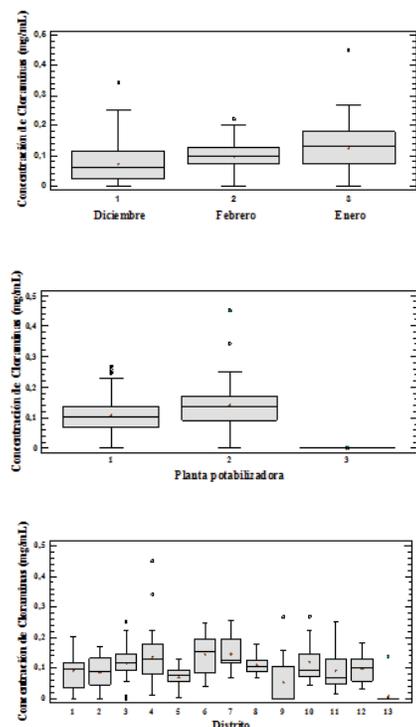
Por otro lado, la concentración de cloro libre frente a planta potabilizadora muestra que la planta 1, que distribuye a más del 80% de la población, posee una mayor dispersión de datos, además de posibles valores atípicos que alargan las líneas de máximo y mínimo. Así mismo, el 50% de los datos en la planta 1, planta 2 y planta 3 se encuentra por debajo de los valores de 0.8661 mg.L<sup>-1</sup>, 0.5946 mg.L<sup>-1</sup>, 1.1819 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Por último, las concentraciones de cloro residual frente a los distritos de toma de muestra, presentan gran dispersión de datos. Los distritos 7, 9 y 10 presentan datos atípicos; los distritos 3, 4, 8 y 12 una mayor dispersión de datos y todos los datos muestran

distribución asimétrica.

En la Figura 3. se observa la tendencia de la concentración de cloraminas frente al mes de toma de muestra, la planta potabilizadora y los distritos. Los valores promedio de concentración son 0.0702 mg.L<sup>-1</sup>, 0.0911 mg.L<sup>-1</sup> y 0.1067 mg.L<sup>-1</sup> en los meses de diciembre, enero y febrero respectivamente ( $p < 0.05$ ), presentando una tendencia creciente, además de datos atípicos en cada mes. Por otra parte, con respecto a la concentración de cloraminas frente a las plantas potabilizadoras, presenta la planta 1 y 2 con datos atípicos y una mayor dispersión de los datos, sin embargo los valores de las tres plantas presentan distribución simétrica. Además, el 50% de los datos en la planta 1, planta 2 y planta 3 se encuentra por debajo de los valores de 0.1359 mg.L<sup>-1</sup>, 0.1871 mg.L<sup>-1</sup>, 0 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Finalmente, la concentración de cloraminas frente a los distritos, muestran gran dispersión de datos, siendo el distrito 13 el único que presenta una concentración casi nula de cloraminas. Los distritos 3, 4, 9 y 10 presentan datos atípicos y todos los distritos una distribución asimétrica de sus datos.



**Figura 2. Gráficos box-plot de concentración de cloro vs. mes de toma de muestra, planta potabilizadora y distritos.**



**Figura 3. Gráficos box-plot de concentración de cloraminas vs. mes de toma de muestra, planta potabilizadora y distritos.**

## Discusión

El cloro es un elemento altamente reactivo, el cual a través del tiempo se va degradando; por lo tanto, para obtener el valor real de las concentraciones de cloro durante el monitoreo, los datos experimentales se ajustaron al modelo cinético antes mencionado, empleando el valor de  $k = 0.1080 \text{ horas}^{-1}$  como constante de decaimiento. Alcocer – Yamanaka et al, (2004) determinaron una  $k$  de  $0.0988 \text{ horas}^{-1}$ . De acuerdo a los resultados de Alcocer son semejantes, debido a que las condiciones ambientales fueron similares.(1)

Los valores promedio de concentración de cloro residual durante los meses de muestreo presentan una tendencia ascendente, esto podría deberse a la disminución de temperatura durante la época de verano en la ciudad de Arequipa, según Myers R.(8) la solubilidad de los gases es inversamente proporcional a la temperatura, lo cual explica el incremento de la concentración del cloro durante estos meses.

La concentración de cloro libre respecto a las plantas potabilizadoras muestra que la planta 1 posee una mayor dispersión de datos, probablemente debido a que esta planta distribuye el agua a más del 80% de la población de Arequipa.

En los monitoreos realizados se encontraron datos en el rango de  $0.0010 - 1.6759 \text{ mg.L}^{-1}$ , Farooq et. al, (2008), encontraron concentraciones de cloro en el rango de  $0.3 - 0.8 \text{ mg.L}^{-1}$ , de acuerdo a estos resultados los datos son diferentes, además podemos notar menor dispersión de datos, debido a que Farooq et. al, tomaron 8 puntos de muestreo, mientras que en el presente estudio se tomaron en cuenta 85 puntos durante cada mes de muestreo.(3)

En cuanto a la evaluación de cloraminas la planta 3 tiene una concentración casi nula siendo el valor mínimo de 0,0 y máximo de  $0,033 \text{ mg.L}^{-1}$ , probablemente porque la fuente de agua es de subsuelo, siendo mínima la carga orgánica presente; sin reportarse estudios anteriores respecto al uso de agua de subsuelo potabilizada anteriormente.

La concentración de cloraminas se encuentra en un rango de  $0.00 - 0.4510 \text{ mg.L}^{-1}$ , Farooq et. al. (2008), reportaron una concentración de cloraminas en un rango de  $0.5 - 0.9 \text{ mg.L}^{-1}$ , de acuerdo a nuestros resultados, son menores probablemente debido a la menor cantidad de compuestos nitrogenados en el agua de la ciudad de Arequipa.(3)

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) por el apoyo financiero brindado y a la Universidad Católica de Santa María y Vicerrectorado de investigación por el apoyo brindado durante la realización de esta investigación.

## Referencias Bibliográficas

1. Alcocer-Yamanaka V.; Tzatchkov V., Modelo de calidad del agua en redes de distribución. Ingeniería hidráulica en México, 2004, 19 (2), 77-88.
2. APHA. Standard methods for the examination of water and waste water. Washintong: American public. 2005.
3. Farooq, S., Hashmi, I., Qazi, I., Qaiser, S., & Rasheed, S.; Monitoring of Coliforms and chlorine residual in water distribution network of Rawalpindi, Pakistan. Environmental monitoring and assessment, 2008, 339-347.
4. Hallaj, T.; Amjadi, M.; Manzoori, J. L.; Shokri, R., Chemiluminescence reaction of glucose-derived graphene quantum dots with hypochlorite, and its application to the determination of free chlorine. Microchimica Acta, 2015, 182 (3), 789-796.
5. How, Z. T.; Linge, K. L.; Busetti, F.; Joll, C. A., Organic chloramines in drinking water: An assessment of formation, stability, reactivity and risk. Water Research 2016, 93, 65-73.
6. Jakszyn, P., & Gonzales, C.; Nitrosamine and related food intake and gastric and esophageal cancer risk: a systematic review of the epidemiological evidence. World Journal Gastroenterol, 2006, 296-303.
7. Lee, W., & Westerhoff, P.; Formation of organic chloramines during water disinfection – chlorination versus chloramination. Journal of the International water Association, 2009, 33-39.
8. Myers Richard. Editor Robert E. Krebs. The basics of chemistry. Greenwood press – London, 2003, pág. 131.
9. Raziheh Sheikhi, M. A.; Decay of free residual chlorine in drinking water at the point of use. Iranian Journal of Public Health, 2014, 535-536.
10. Richardson, S., Plewa, M., Wagner, D., & Schoe; E. Review: Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. Elsevier Journal, 2007, 178-242.
11. Sadiq, R., & Rodríguez, J.; Disinfection by-products

- (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review. Elsevier journal, 2004, 21-46.
12. Syeda Azeem Unnisa, M. N.; Assessment and evaluation of the quality of drinking water at the consumer end - A study of Hyderabad, Andhra Pradesh. International journal of plant, animal and environmental sciences, 2015, 50-54.
  13. Tzatchkov, V.; Modelo numérico del decaimiento del cloro en redes de agua potable con flujo no permanente. Ingeniería hidráulica en México. 2006, 11 (2), 53-60.
  14. WHO. Guidelines for drinking - water quality 4th ed. Malta. 2011.