

Tendencias temporales en los niveles de Cloro residual en el Sistema de Aguas de Ciudad Valles de los Años 2020-2022"

Temporal trends in residual chlorine levels in the water system of Ciudad Valles of the years 2020-2022

Recibido: 30-octubre del 2023

Aceptado: 01 de diciembre del 2023

Baldomero Ponce Medina
Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0009-0000-7957-5007>
Autor de correspondencia:
baldomero.ponce@tecvalles.mx
Habacuc Lorenzo Márquez
Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0000-0001-7060-6188>

RESUMEN

El agua es el elemento más importante para la vida del ser humano y es vector de peligros físicos, químicos y biológicos importantes para el hombre, por lo que en su ingesta es necesario verificar las condiciones de salubridad de la misma que determinen su aptitud en el consumo humano (OMS, 2017). La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la concentración de dosis de cloro residual libre presente en el agua potable de la planta potabilizadora, sistemas de distribución y abastecimiento en las zona urbana y rural por la dirección de agua potable y saneamiento de Ciudad Valles responsable del aseguramiento y control de calidad del agua, cotejándola con la NOM-127-SSA1-2017; NOM-127-SSA1-2021. El método de medición del cloro residual libre fue por colorimetría. Para la medición de cloro residual libre presente en la planta potabilizadora se recolectaron 80 muestras por mes, la zona de distribución urbana 36 muestras por mes, equivalente a 36 vivienda al azar, zona rural 28 muestras por mes equivalente a 28 viviendas al azar. Los resultados obtenidos demuestran que en base a la NOM-127-SSA1-2017; NOM-127-SSA1-2021, la concentración de cloro residual total es de 0.2 a 1.5 mg/l, indicando que en la planta potabilizadora la dosificación de cloro, se presenta en el resultado de cloro residual libre por arriba del límite máximo permisible 2.5 m/l, en la zona urbana y rural los valores de cloro residual libre se encuentran dentro del límite máximo permisible. 0.2-1.5 mg/l, la cual garantiza que se encuentra libre de agentes patógenos y garantiza su aceptación en el consumo humano.

Palabras clave: Palabras clave: Cloro residual Total, Agua Potable, Dosis de Cloro, aforo, Desinfectante, Muestreo

Abstract

Water is the most important element for human life and is a vector of significant physical, chemical, and biological hazards for humans. Therefore, it is necessary to verify the sanitary conditions of water for human consumption (WHO, 2017). The objective of this research was to evaluate the concentration of residual free chlorine in drinking water from the water treatment plant, distribution systems, and supply in urban and rural areas by the water and sanitation department of Ciudad Valles, responsible for water quality assurance and control, in accordance with NOM-127-SSA1-2017-2021. The measurement method for residual free chlorine was colorimetry using inductive. A total of 80 samples per month were collected from the water treatment plant, 36 samples per month from the urban distribution area (randomly selected from 36 households), and 28 samples per month from the rural area (randomly selected from 28 households). The results obtained demonstrate that based on NOM-127-SSA1-2017-2021, the concentration of total residual chlorine should be between 0.2 and 1.5 mg/L. However, the results indicate that in the water treatment plant, the dosage of chlorine resulted in a

residual free chlorine concentration above the maximum permissible limit of 2.5 mg/L. In the urban and rural areas, the values of residual free chlorine are within the maximum permissible limit of 0.2-1.5 mg/L, ensuring the absence of pathogenic agents and guaranteeing its suitability for human consumption.

Keywords: Drinking water, Chlorine dosage, Flow rate, Disinfectant, Sampling.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua constituye un elemento crítico en la gestión de la salud pública, dado que el agua es un recurso esencial para la supervivencia humana (World Health Organization, 2019). La desinfección del agua emerge como una práctica crucial para eliminar microorganismos patógenos y garantizar su seguridad para el consumo humano (Wolf et al., 2018). Entre los desinfectantes más ampliamente empleados, el cloro residual destaca por su eficacia en el tratamiento del agua (LeChevallier et al., 1996).

El cloro residual, al actuar como agente desinfectante, reacciona con los microorganismos presentes en el agua, destruyendo sus estructuras celulares y por lo tanto previene la propagación de enfermedades transmitidas por el agua (Wolf et al., 2018). Esta efectividad se traduce en una capa de protección continua a lo largo del sistema de distribución de agua, especialmente contra patógenos resistentes (Waak et al., 2018). Además, la investigación ha evidenciado la capacidad del cloro residual para mantener una eficaz desinfección en sistemas de suministro de agua a largo plazo (Sibille et al., 1998).

La medición y evaluación continuas de los niveles de cloro residual son esenciales para garantizar la calidad del agua potable (LeChevallier et al., 1996). Estudios recientes destacan la importancia de un monitoreo constante, ya que el cloro residual desempeña un papel fundamental en la desinfección del agua y prevención de enfermedades transmitidas por el agua (Gholami et al., 2018). En este contexto, el caso específico de Ciudad Valles, San Luis Potosí, se torna crucial, dada la influencia de factores geográficos y climáticos en la persistencia de agentes patógenos en el suministro de agua (Reyes-Gómez et al., 2020).

Investigaciones en regiones análogas han subrayado la necesidad de adaptar estrategias de desinfección a condiciones locales para asegurar la efectividad del tratamiento (LeChevallier et al., 1996). La variabilidad temporal en los niveles de cloro residual, afectada por factores estacionales y eventos climáticos, subraya la importancia de estrategias de monitoreo continuo y ajustes dinámicos en los procesos de desinfección (Alver, 2019).

La evaluación de tendencias temporales en los niveles de cloro residual en el sistema de agua de Ciudad Valles es esencial para comprender la variabilidad y eficacia de los procesos de desinfección con el tiempo. Investigaciones previas han resaltado la relevancia de seleccionar sitios de muestreo representativos para obtener una imagen precisa de la distribución de cloro residual en el sistema (Waak et al., 2018). La elección de la planta de tratamiento de agua, la zona urbana y las áreas rurales norte y sur en Ciudad Valles brinda una perspectiva integral de la variabilidad espacial en los niveles de cloro residual.

Es crucial considerar que la eficacia de la desinfección del agua puede variar según la ubicación y características específicas de cada punto de muestreo (Potgieter et al., 2018). Investigaciones en sistemas similares han encontrado variaciones significativas entre áreas urbanas y rurales, resaltando la importancia de considerar factores contextuales en la interpretación de los resultados. La implementación de técnicas analíticas avanzadas, como la espectroscopía de fluorescencia, puede ser beneficiosa para evaluar la efectividad de la

desinfección del agua y la identificación de posibles fuentes de contaminación (Chu et al., 2018). Integrar estos enfoques multidisciplinarios en el análisis de los niveles de cloro residual proporcionará una comprensión más completa de los procesos de desinfección y sus implicaciones para la calidad del agua potable en Ciudad Valles.

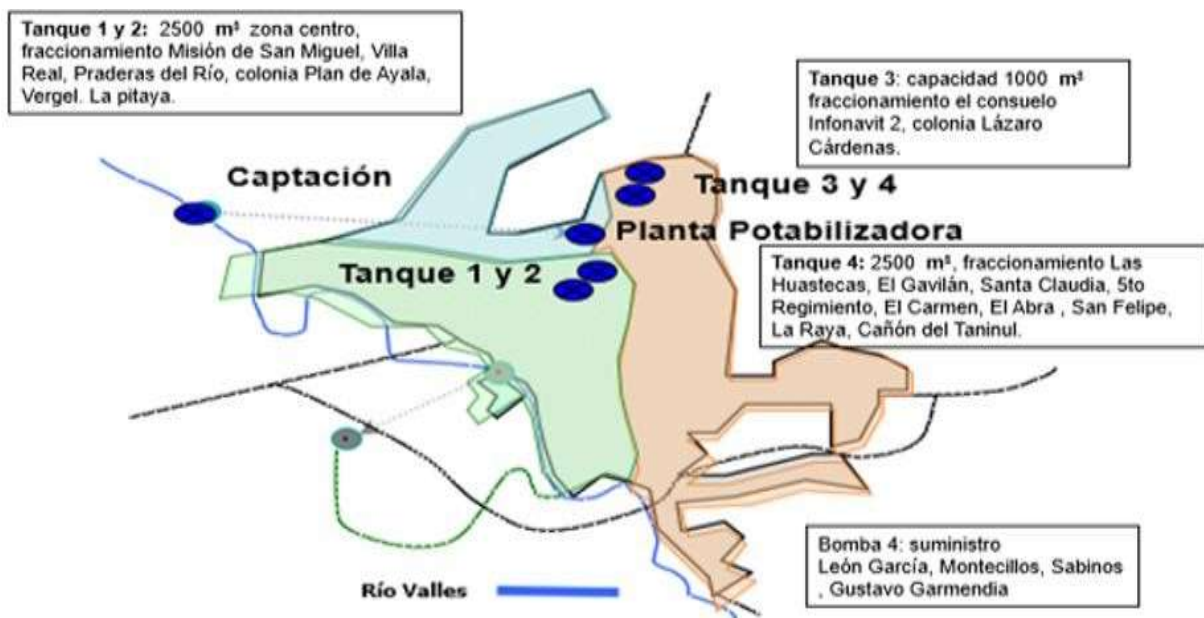
El objetivo principal de este artículo es proporcionar una evaluación detallada de las tendencias temporales en los niveles de cloro residual en el Sistema de Aguas de Ciudad Valles, con un énfasis particular en la variabilidad espacial y temporal. Se busca identificar posibles patrones entre las condiciones geográficas, climáticas y los niveles de cloro residual, así como evaluar la eficacia de las estrategias de desinfección implementadas en diferentes áreas del sistema. Este análisis contribuirá a mejorar la comprensión de los factores que influyen en la calidad del agua en Ciudad Valles y proporcionará información valiosa para el diseño de estrategias de gestión que garanticen un suministro de agua seguro y sostenible para la comunidad.

METODOLOGÍA

Durante el período de investigación 2020-2021-2022, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del parámetro químico del cloro residual libre en el Sistema de Aguas de Ciudad Valles. El agua, proveniente de la fuente de abastecimiento ubicada en la subcuenca del Río Valles y tratada en la planta de potabilización (Parshall Módulo 1-2), se distribuye a través de las bombas (2, 3 y 5) y se almacena en los tanques de almacenamiento (1-2-3-4), los cuales suministran el vital líquido tanto a las zonas urbanas como rurales.

Figura 1

Mapa de distribución del agua potable de la Dirección de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Ciudad Valles. (Documento Interno DAPAS).



Fuente: Dirección de Agua Potable y Saneamiento

La selección de muestras se llevó a cabo mediante una muestra probabilística estratificada por zonas, considerando áreas clave del sistema de distribución de agua (ver Figura 1). La Zona 1, abarcando la Planta de Potabilización, Parshall Módulo 1, Parshall Módulo 2 ampliación, bombas 2, 3, 5 y la Zona de Pipas, fue objeto de muestreos detallados. La Zona 2, correspondiente a la Zona Urbana, incluyó muestreos específicos en el Tanque 1-2, cubriendo áreas habitacionales como el centro, Fraccionamiento Misión de San Miguel, Villa Real, Praderas del Río, Colonia Plan de Ayala, Vergel y La Pitaya. También, se abordó el Tanque 3, atendiendo a Fraccionamiento El Consuelo, Infonavit 2 y Colonia Lázaro Cárdenas, así como el Tanque 4, abasteciendo a fraccionamientos como Las Huastecas, El Gavilán, Santa Claudia, 5to Regimiento y El Carmen. En la Zona 3, considerada Zona Rural, se seleccionó el Tanque 4, suministrando áreas habitacionales como El Abra, San Felipe, La Raya y Cañón del Taninul. Finalmente, en la Zona 4, correspondiente a la Bomba 4, se recolectaron muestras en áreas habitacionales como León García, Montecillos, Los Sabino y Gustavo Garmendia.

Por tal motivo el diseño experimental de este estudio involucra un enfoque sistemático para la recolección de datos en los cuatro sitios de muestreo mencionados: la planta de tratamiento de agua, la zona urbana, y las áreas rurales norte y sur en Ciudad Valles. Las mediciones se realizaron de forma diaria y se evaluaron a través de su promedio mensual \pm desviación estándar durante los años 2020, 2021 y 2022, posteriormente se evaluaron las diferencias significativas entre sitios buscando capturar las posibles variaciones estacionales y anuales en la eficacia de la desinfección del agua.

La cuantificación de los niveles de cloro residual se llevó a cabo mediante una modificación del método establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (ver Figura 2). Este método proporciona directrices precisas para garantizar la coherencia y repetibilidad de los resultados con estándares nacionales e internacionales.

Adicionalmente, para el análisis estadístico, se emplearon herramientas de programación en Python, utilizando el entorno de Google Colab. Se verificaron los supuestos estadísticos y, cuando fue necesario, se realizaron transformaciones de datos para cumplir con los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se implementó un análisis de varianza (ANOVA de una sola vía) para determinar diferencias significativas entre los niveles de cloro residual en las diversas zonas de muestreo. Para validar las diferencias identificadas, se realizaron pruebas post-hoc, como la prueba de Tukey, que permitió comparaciones múltiples ajustadas y proporcionó una comprensión más detallada de las variaciones espaciales.

FIGURA 2

Equipo chlorine DPD method cat no.21988 Marca Hach, Reactivo DPD.MOO109-F5



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA una sola vía) para los años 2020, 2021 y 2022, presentados en la Figura 3, revelan patrones significativos en los niveles de cloro residual libre en distintas zonas del Sistema de Aguas de Ciudad Valles.

En el año 2020, la variación en los niveles de cloro residual entre las zonas fue altamente significativa ($F(3, 164) = 21.15, p < 0.001$). La Figura 3 muestra claramente la discrepancia entre las zonas en este año, destacando la influencia sustancial de la ubicación geográfica en la concentración de cloro residual.

En 2021, la diferencia entre las zonas también fue estadísticamente significativa ($F(3, 164) = 34.17, p < 0.001$), evidenciando patrones consistentes en la distribución espacial del cloro residual. La Figura 3 refleja la magnitud de estas variaciones, resaltando la persistencia de disparidades entre áreas específicas.

En el año 2022, la significativa diferencia entre las zonas se mantuvo ($F(3, 164) = 40.32, p < 0.001$), consolidando la tendencia observada en los años anteriores. La Figura 3 visualiza claramente la estabilidad de estas disparidades, indicando la relevancia persistente de la ubicación geográfica en la concentración de cloro residual.

La consistente variabilidad espacial en los niveles de cloro residual, como evidenciado por los resultados del ANOVA de una sola vía, destaca la necesidad de considerar factores geográficos y climáticos en las estrategias de desinfección del agua. Estos resultados respaldan hallazgos previos que subrayan la influencia de la ubicación geográfica en los niveles de desinfectante residual (Ramírez et al., 2015).

La mayor concentración de cloro residual en ciertas zonas puede atribuirse a diversos factores, como la distancia desde la planta de tratamiento, la infraestructura del sistema de distribución y las características geológicas locales (Muñoz et al., 2020). La literatura destaca la importancia de adaptar estrategias de desinfección según las condiciones geográficas específicas para garantizar una distribución efectiva del cloro residual en el sistema de agua (Waak et al., 2018).

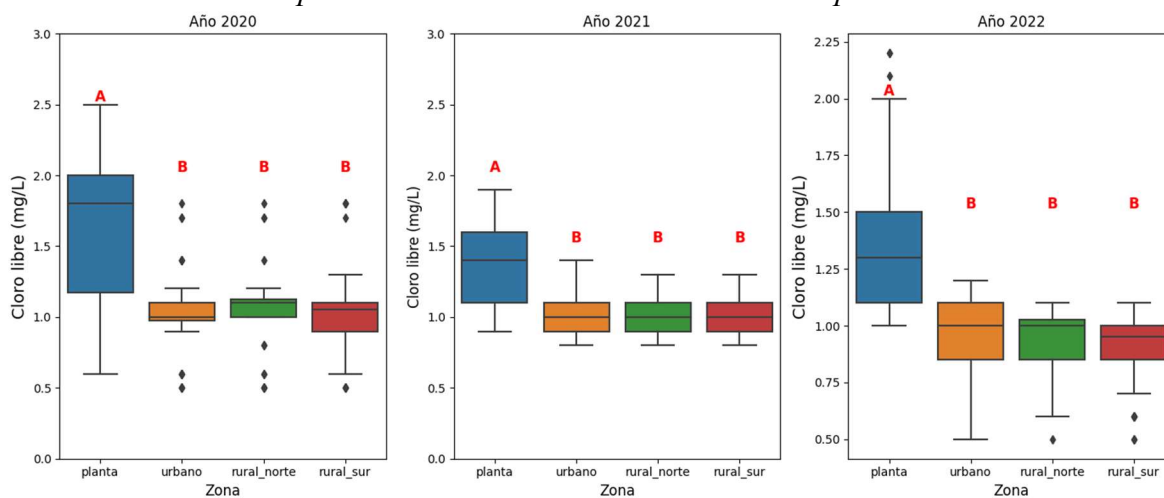
La persistencia de diferencias significativas entre las zonas a lo largo de los años subraya la necesidad de un monitoreo continuo y ajustes dinámicos en las estrategias de desinfección para adaptarse a las cambiantes condiciones ambientales (LeChevallier et al., 1996). Además, la implementación de técnicas analíticas avanzadas, como modelos de predicción

espacial, podría mejorar la comprensión de la variabilidad espacial en los niveles de cloro residual (Wang et al., 2018).

En conclusión, la evaluación detallada de los patrones temporales y espaciales en los niveles de cloro residual proporciona información crucial para optimizar las estrategias de desinfección en sistemas de suministro de agua similares a Ciudad Valles. Estos resultados respaldan la importancia de considerar la geografía y la variabilidad espacial en la gestión efectiva de la calidad del agua potable.

FIGURA 3

Tendencia temporal en los niveles de cloro residual comparación ANOVA.



Nota: *Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas p-value < 0.05.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Estos estudios destacan la importancia crítica de la cloración adecuada en los sistemas de agua potable, ya que se observaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de cloro residual entre grupos en los años de muestreo 2020, 2021 y 2022. Mediante el análisis de varianza (ANOVA de una sola vía), se evidenciaron disparidades significativas entre las zonas evaluadas, resaltando la planta potabilizadora como el grupo con la mayor concentración de cloro residual.

La presencia satisfactoria de cloro en todos los grupos durante los tres años de muestreo indica que se están cumpliendo los estándares de calidad y las regulaciones establecidas para garantizar la seguridad del agua potable. Específicamente, el cloro residual libre desempeña un papel crucial en la desinfección efectiva del agua, actuando como un desinfectante eficaz contra microorganismos patógenos y asegurando la salubridad del agua para el consumo humano.

La implementación de transformaciones logarítmicas en los casos necesarios y el uso de pruebas estadísticas como la prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre los grupos refuerzan la robustez y la validez de nuestros hallazgos. Estos resultados subrayan la importancia de la cloración adecuada en los sistemas de agua potable, tanto en la planta potabilizadora como en las zonas urbanas y rurales, para garantizar una desinfección efectiva y mantener la calidad del agua en todas las etapas de distribución.

La figura 3 proporciona una representación visual de las diferencias significativas en la concentración de cloro residual entre los grupos evaluados. Este gráfico de comparación ANOVA de una sola vía resalta claramente las disparidades observadas y refuerza aún más la importancia de implementar medidas adecuadas de cloración en los sistemas de agua potable para garantizar la seguridad y la salud pública.

Este estudio, realizado en el contexto de Ciudad Valles, San Luis Potosí, México, aporta conocimientos significativos a la comunidad científica y a las autoridades responsables del suministro de agua potable. Nuestros hallazgos contribuyen a la comprensión de la calidad del agua potable en la región y pueden servir como base para la mejora continua de los sistemas de tratamiento y distribución de agua, con el objetivo de proteger y promover la salud pública.

En conclusión, nuestros resultados resaltan la importancia crítica de una cloración adecuada en los sistemas de agua potable, respaldados por el análisis de varianza y las pruebas estadísticas utilizadas. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la práctica de la gestión del agua y subrayan la necesidad de mantener niveles óptimos de cloro residual libre para garantizar una desinfección efectiva y la seguridad del agua potable.

REFERENCIAS

- Alver, A. (2019). Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 27225-27238.
- Buffle, J., Altmann, R. S., Filella, M., & Tessier, A. (1990). Complexation by natural heterogeneous compounds: site occupation distribution functions, a normalized description of metal complexation. *Geochimica et cosmochimica acta*, 54(6), 1535-1553.
- Chu, H. J., Kong, S. J., & Chang, C. H. (2018). Spatio-temporal water quality mapping from satellite images using geographically and temporally weighted regression. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 65, 1-11.
- Gholami-Borujen, F., Zazouli, M. A., & Fallahi, S. (2018). A review of the effects of climate change with an emphasis on burden of waterborne diseases. *Iranian Journal of Health Sciences*.
- LeChevallier, M. W., Welch, N. J., & Smith, D. B. (1996). Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and environmental microbiology*, 62(7), 2201-2211.
- Muñoz-Nájera, M. A., Tapia-Silva, F. O., Barrera-Escorcia, G., & Ramírez-Romero, P. (2020). Statistical and geostatistical spatial and temporal variability of physico-chemical parameters, nutrients, and contaminants in the Tenango Dam, Puebla, Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*, 209, 106435.
- Potgieter, S., Pinto, A., Sigudu, M., Du Preez, H., Ncube, E., & Venter, S. (2018). Long-term spatial and temporal microbial community dynamics in a large-scale drinking water distribution system with multiple disinfectant regimes. *Water Research*, 139, 406-419.
- Ramírez-Castillo, F. Y., Loera-Muro, A., Jacques, M., Gameau, P., Avelar-González, F. J., Harel, J., & Guerrero-Barrera, A. L. (2015). Waterborne pathogens: detection methods and challenges. *Pathogens*, 4(2), 307-334.

- Secretaría de Salud. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación, 22 de noviembre de 1994.
- Sibille, I., Sime-Ngando, T., Mathieu, L., & Block, J. C. (1998). Protozoan bacterivory and *Escherichia coli* survival in drinking water distribution systems. *Applied and Environmental Microbiology*, *64*(1), 197-202.
- Waak, M. B., LaPara, T. M., Halle, C., & Hozalski, R. M. (2018). Occurrence of *Legionella* spp. in water-main biofilms from two drinking water distribution systems. *Environmental science & technology*, *52*(14), 7630-7639.
- Wang, W., Yuan, W., Chen, Y., & Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters of dongting lake and hong lake, China. *Science of the Total Environment*, *633*, 539-545.
- Wolf, J., Hunter, P. R., Freeman, M. C., Cumming, O., Clasen, T., Bartram, J., ... & Prüss-Ustün, A. (2018). Impact of drinking water, sanitation and handwashing with soap on childhood diarrhoeal disease: updated meta-analysis and meta-regression. *Tropical medicine & international health*, *23*(5), 508-525.
- World Health Organization. (2019). Water, sanitation, hygiene and health: a primer for health professionals (No. WHO/CED/PHE/WSH/19.149). World Health Organization.