

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Implementación de un sistema de cloración para el agua de consumo humano en el centro poblado de Viejo San Martín, Distrito de Campanilla

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Samuel Acuña Coronel
Luis Miguel Ramírez Ruíz

Asesor:

Mtro. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, diciembre 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo Mg. Carmelino Almestar Villegas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO VIEJO SAN MARTÍN, DISTRITO DE CAMPANILLA”** constituye la memoria que presenta a los Bachilleres, Samuel Acuña Coronel y Luis Miguel Ramírez Ruíz para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 26 días del mes de diciembre del año 2022.



Mtro. Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a...14... día(s) del mes de..... diciembredel año 2022.. siendo las... 11:00.. horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo el (la) secretario(a): Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado y los demás miembros: Ing. Ericka Nayda Perales Domínguez

..... y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almaraz Villegas con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Implementación de un sistema de cloración para el agua de consumo humano en el centro poblado Viejo San Martín, distrito de Campanilla"

..... del(los) bachiller(es): a) Samuel Acuña Coronel b) Luis Miguel Ramírez Ruiz

..... conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Samuel Acuña Coronel

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b): Luis Miguel Ramírez Ruiz

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a


Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

RESUMEN

El objetivo del artículo fue analizar la eficiencia de remoción de parámetros microbiológicos del agua de consumo humano en el centro poblado Viejo San Martín, distrito de Campanilla, Mariscal Cáceres, San Martín. Los parámetros de calidad del agua que se analizaron fueron coliformes totales (CT), coliformes termotolerantes (CTe), *E. coli* (EC), algas (AL), huevos de helmintos (HH), pH y cloro libre residual (CLR). Para reducir la carga microbiológica del agua se diseñó un clorador por goteo. Antes de implementar el sistema de cloración, se encontró que los parámetros microbiológicos no cumplieron el LMP de calidad de agua de consumo. Por otro lado, luego de implementar el clorador, todos los parámetros microbiológicos, el CLR y el pH cumplieron con el LMP. Las eficiencias de remoción de contaminantes microbiológicos del agua para CT, CTe, EC, AL y HH fueron del 100%. Se concluye que el sistema de cloración por goteo es una alternativa eficiente para la eliminación de microorganismos patógenos del agua y es promisoria debido a su bajo costo, fácil aplicación y su potencial de dejar un efecto residual.

Palabras clave: Agua potable, hipoclorador de goteo, microorganismos patógenos

ABSTRACT

The objective of the article was to analyze the efficiency of removal of microbiological parameters from water for human consumption in the Old San Martín populated center, district of Campanilla, Mariscal Cáceres, San Martín. The water quality parameters that were analyzed were total coliforms (TC), thermotolerant coliforms (TCe), *E. coli* (EC), algae (AL), helminth eggs (HH), pH and residual free chlorine (FLC). To reduce the microbiological load of the water, a drip chlorinator was designed. Before implementing the chlorination system, it was found that the microbiological parameters did not meet the LMP for drinking water quality. On the other hand, after implementing the chlorinator, all the microbiological parameters, the CLR and the pH complied with the LMP. The removal efficiencies of microbiological contaminants from the water for CT, CTe, EC, AL and HH were 100%. It is concluded that the drip chlorination system is an efficient alternative for the elimination of pathogenic microorganisms from water and is promising due to its low cost, easy application and its potential to leave a residual effect.

Keywords: Drinking water, drip hypochlorinator, pathogenic microorganisms

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, aproximadamente el 30% de la población no cuenta con acceso a agua potable (1), condición que los expone a sufrir varios tipos de enfermedades graves transmitidas por el agua, como la diarrea, la fiebre tifoidea y el cólera, las cuales pueden volverse endémicas y representan una grave amenaza para la salud pública (2). Asimismo, la carencia de higiene y saneamiento, conlleva a que diariamente mueran aproximadamente 800 niños (1). En el Perú, esta realidad afecta en su mayoría a las zonas rurales, donde solo el 1% del agua para consumo llega ser clorada (3). A pesar de los logros en el campo de las técnicas de potabilización del agua, el principal desafío para la salud humana sigue siendo la presencia de patógenos transmitidos por el agua, siendo el principal indicador de contaminación fecal, la E. coli (4). Entre los desinfectantes más utilizados en la potabilización del agua están los compuestos clorados, debido a su bajo costo, fácil aplicación y su capacidad oxidante (5). El abastecimiento de agua segura, principalmente en la población rural, tiene un impacto positivo en la salud pública, a través de la mejora de los indicadores de salubridad de la población (6). El centro poblado Viejo San Martín, distrito de Campanilla, cuenta con un sistema de abastecimiento de agua para una población de 288 habitantes, sin embargo, al realizar un análisis previo del agua, se encontró valores de los parámetros microbiológicos, superiores al límite máximo permisible establecido en el D.S. 031-2010-DIGESA, lo cual significa que la población está consumiendo agua con calidad deficiente. Por esta razón, el objetivo del artículo fue evaluar la eficiencia de eliminación de microorganismos patógenos del agua mediante un hipoclorador de goteo, en el centro poblado Viejo San Martín, distrito de Campanilla.

PARTE EXPERIMENTAL

Población y muestra

El estudio se desarrolló en el centro poblado Viejo San Martín, distrito de Campanilla, provincia de Mariscal Cáceres. Las coordenadas UTM del reservorio son 316877 (este) y 9141072 (norte) y una altitud de 618 m.s.n.m. La población estuvo conformada por un caudal de 1,39 L/s de agua del sistema de abastecimiento del centro poblado Viejo San Martín, con el cual se atiende a 288 beneficiarios. El sistema de abastecimiento es por gravedad, tipo de fuente superficial (quebrada Ushulla) y cuenta con las siguientes componentes línea de conducción con tubería de HDPE 1 ½"; planta de tratamiento con

sedimentador y filtro lento; reservorio de concreto con 11 m³ de capacidad, sistema de cloración por goteo, línea de aducción, redes de distribución y conexiones domiciliarias. Por otro lado, la muestra estuvo conformada por 3 litros de agua, volumen que permitió analizar los siguientes parámetros de calidad del agua coliformes totales, coliformes termotolerantes, *E. coli*, algas, huevos de helmintos, pH y cloro libre residual (7).

Diseño del clorador

Para reducir la carga microbiológica del agua se diseñó un clorador por goteo. El caudal del clorador fue 27 mL/min (1.62 L/h), el cual es un valor menor a 12 L/h, recomendado para sistemas de cloración para poblaciones rurales (8). El volumen de clorador fue 600 L. Asimismo, la cantidad de hipoclorito de calcio con una pureza de 70% para la recarga fue 4 kg y el tiempo de recarga de 15 días. Con estos datos se obtiene una solución madre de 0,47%; una concentración de hipoclorito de calcio de 1,52 mg/L y una concentración de ácido hipocloroso de 1,1 mg/L, el cual se considera la sustancia responsable de la eliminación e inactivación de microorganismos patógenos. El caudal del clorador de 27 mL/min se suministró al reservorio de 11 m³ de volumen de agua a clorar. El tiempo de contacto fue de 30 minutos.

Análisis estadístico

Los parámetros del agua fueron analizados utilizando procedimientos de estadística descriptiva como tablas de frecuencias y gráficos de barras. Asimismo, para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes microbiológicos del sistema de cloración, se utilizó la siguiente ecuación. Siendo, ε : eficiencia porcentual, C_o : concentración inicial del contaminante y C_f : concentración final del contaminante

$$\varepsilon = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua sin el sistema de cloración

Al realizar el análisis microbiológico del agua del sistema de abastecimiento antes de implementar el sistema de cloración, se encontró una concentración de coliformes totales de 94 UFC/100 mL, el cual es superior al LMP (0 UFC/100 mL), de igual modo los parámetros coliformes termotolerantes, *E. coli* y algas sobrepasaron el LMP; mientras que la concentración de huevos de helmintos fue el único parámetro microbiológico que cumplió el LMP de calidad de agua de consumo (tabla 1). Asimismo, el cloro libre

residual tuvo un valor 0,06 mg/L, el cual no cumple con el valor de referencia; mientras que el valor de pH tuvo un valor de 7,2, el cual está dentro del rango indicado por el D.S. 031-2010. Como el agua del sistema de abastecimiento no cumple los valores de referencia de los parámetros microbiológicos, lo cual justifica la implementación del sistema de cloración por goteo, a fin de reducir la carga microbiológica y hacerla potable.

Tabla 1. Calidad del agua sin clorar

Parámetro	Unidad	Valor	LMP
Coliformes totales	UFC/100 mL	94	0
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	22	0
<i>E. Coli</i>	UFC/100 mL	17	0
Algas	Organismos/L	540	0
Huevos de helmintos	Huevos/L	0	0
pH	Und	7,2	6,5-8,5
Cloro libre residual	mg/L	0,06	>0,5

Calidad del agua con el sistema de cloración

Después de implementar el sistema de cloración del agua, se encontró una concentración de coliformes totales de 0 UFC/100 mL, el cual es un valor que cumple el LMP (0 UFC/100 mL), de igual modo los parámetros coliformes termotolerantes, *E. coli*, algas y huevos de helmintos cumplen con el valor de referencia del D.S. 031-2010 (tabla 2). Asimismo, el cloro libre residual tuvo un valor 0,97 mg/L, el cual cumple con el rango de calidad del agua de consumo humano; mientras que el valor de pH fue 7,3; el cual también está dentro del rango adecuado de potabilidad.

Tabla 2. Calidad del agua clorada

Parámetro	Unidad	Valor	LMP
Coliformes totales	UFC/100 mL	0	0
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	0	0
<i>E. Coli</i>	UFC/100 mL	0	0
Algas	Organismos/L	0	0
Huevos de helmintos	Huevos/L	0	0
pH	Und	7,3	6,5-8,5
Cloro libre residual	mg/L	0,97	>0,5

Eficiencia de remoción de contaminantes

Las eficiencias de remoción de contaminantes microbiológicos del agua de los parámetros CT, CTe, EC, AL y HH fueron del 100% (figura 1); es decir el sistema de cloración permitió remover toda la carga microbiológica, de tal manera que después de clorar el agua, se cumplió con los estándares de potabilidad.

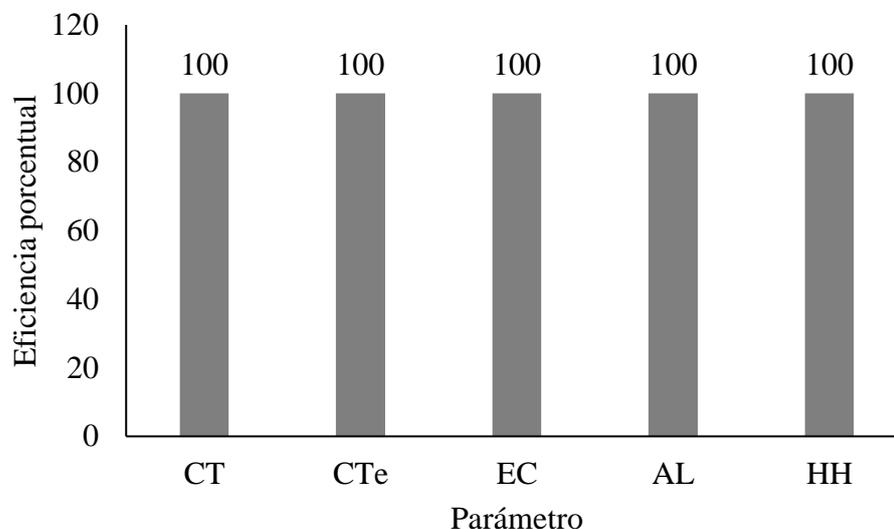


Figura 1. Eficiencias de remoción de contaminantes

Nota. CT: Coliformes totales, Cte: Coliformes termotolerantes, EC: *E. coli*, AL: Algas, HH: Huevos de helmintos

Cloro libre residual (CLR) en el sistema de abastecimiento

El cloro libre residual se analizó en cuatro puntos del sistema de abastecimiento: Salida del reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda, en cuyos puntos se encontró valores respectivamente de CLR de 0,97; 1,10; 0,91 y 0,82. Se observa que en la primera vivienda aumentó la concentración de CLR debido a la falta de homogeneización del compuesto clorado; asimismo, luego, la concentración de CLR fue disminuyendo a lo largo de la red de distribución. Es importante resaltar que en todos los puntos el CLR fue superior a 0,5 mg/L, con lo cual se asegura la desinfección ante posible re-contaminación del agua en la red de distribución.

Tabla 3. CLR en el sistema de abastecimiento

Punto	Coordenadas UTM			CLR (mg/L)
	Este	Norte	Altitud (m)	
Salida del reservorio	316877	9141072	618	0,97

Primera vivienda	316640	9141186	596	1,10
Vivienda intermedia	316521	9141239	615	0,91
Última vivienda	316167	9141187	559	0,82

Discusión

La calidad del agua sin clorar tuvo las siguientes características 94 UFC/100 mL de coliformes totales, 22 UFC/100 mL de coliformes termotolerantes, 17 UFC/100 mL de *E. coli*, 540 organismos/L de algas y 0 huevos de helmintos por litro; siendo este último el único parámetro que cumplió el LMP de calidad e agua de consumo. La presencia de estos microorganismos patógenos puede provocar enfermedades como diarrea y otras enfermedades gastrointestinales (9). Asimismo, el cloro libre residual tuvo un valor 0,06 mg/L, el cual no cumple con el valor de referencia; mientras que el valor de pH tuvo un valor de 7,2, el cual está dentro del rango indicado por el D.S. 031-2010. Si bien, se tuvo una cantidad de cloro libre residual de 0,06 mg/L, sin que se haya agregado un compuesto clorado a propósito de la desinfección, este puede ser de procedencia de las fuentes superficiales que reciben efluentes con desinfectantes domiciliarios (10). Como el agua del sistema de abastecimiento no cumplió con los valores de referencia de los parámetros microbiológicos, se procedió a la implementación del sistema de cloración por goteo, a fin de reducir la carga microbiológica y hacerla potable. La cloración por goteo es un sistema que permite obtener un agua libre de microorganismos, a través de un caudal constante de una solución clorada en forma de gotas, que se descarga en la cámara de cloración o en el reservorio (8).

Luego de implementar el sistema de cloración del agua, se encontró una concentración de coliformes totales de 0 UFC/100 mL, el cual es un valor que cumple el LMP (0 UFC/100 mL), de igual modo los parámetros coliformes termotolerantes, *E. coli*, algas y huevos de helmintos cumplieron con el valor de referencia del D.S. 031-2010. Entre los métodos químicos de desinfección se encuentra la aplicación de sustancias cloradas como el hipoclorito de calcio (CaClO), en cuya reacción se produce el ácido hipocloroso que actúa produciendo una ruptura de la membrana y consecuentemente la muerte de los microorganismos patógenos (4). Además, los compuestos clorados siguen siendo los más utilizados debido a su facilidad de aplicación, bajo costo, reacción con la membrana y por dejar un residual para contrarrestar una posible re-contaminación del agua

Por otro lado, el cloro libre residual tuvo un valor 0,97 mg/L, el cual cumple con el rango de calidad del agua de consumo humano; la concentración de cloro libre residual es un

parámetro de especial interés para garantizar la calidad microbiológica del agua de consumo humano (11). Con la desinfección del agua se busca dos propósitos claros, en primer lugar, la inactivación de los microorganismos patógenos y la de proveer un efecto residual para prevenir la re-contaminación del agua, durante su permanencia en las redes de distribución antes de su consumo (12).

Por otro lado, el valor de pH después durante la cloración tuvo un valor de 7,3, el cual también está dentro del rango adecuado de potabilidad; ya que valores superiores a 8, pueden conllevar a la formación de hipoclorito en vez de ácido hipocloroso, siendo favorable este último por ser responsable de la inactivación de los microorganismos (13). Es importante resaltar que, antes de realizar el proceso de cloración es importante la remoción de materia orgánica para evitar la formación de trihalometanos y ácidos haloacéticos, los cuales son potencialmente cancerígenos (14), por esta razón antes de la implementación del sistema de cloración se tienen las unidades de sedimentación y filtración; ya que las fuentes superficiales por lo general, contienen mayor cantidad de sólidos orgánicos, los cuales pueden permanecer y reaccionar con los compuestos clorados y formar así trihalometanos, los cuales pueden provocar efectos carcinogénicos en los usuarios (12).

CONCLUSIÓN

Del análisis microbiológico del agua del sistema de abastecimiento antes de implementar el sistema de cloración, se encontró 94 UFC/100 mL de coliformes totales, 22 UFC/100 mL de coliformes termotolerantes, 17 UFC/100 mL de *E. coli*, 540 organismos/L de algas y 0 huevos de helmintos por litro; siendo este último el único parámetro que cumplió el LMP de calidad de agua de consumo. Asimismo, el cloro libre residual tuvo un valor 0,06 mg/L, el cual no cumple con el valor de referencia; mientras que el valor de pH fue 7,2, el cual está dentro del rango indicado por el D.S. 031-2010. Luego de implementar el sistema de cloración del agua, se encontró una concentración de coliformes totales de 0 UFC/100 mL, el cual es un valor que cumple el LMP (0 UFC/100 mL), de igual modo los parámetros coliformes termotolerantes, *E. coli*, algas y huevos de helmintos cumplieron con el valor de referencia del D.S. 031-2010. Por otro lado, el cloro libre residual tuvo un valor 0,97 mg/L, valor que cumple con el rango de calidad del agua de consumo humano; mientras que el valor de pH tuvo un valor de 7,3, el cual también está

dentro del rango adecuado de potabilidad. Las eficiencias de remoción de contaminantes microbiológicos del agua de los parámetros CT, CTe, EC, AL y HH fueron del 100%. El cloro libre residual en los cuatro puntos del sistema de abastecimiento: Salida del reservorio, primera vivienda, vivienda intermedia y última vivienda fue superior a 0,5 mg/L, con lo cual se asegura la desinfección ante posible re-contaminación del agua en la red de distribución. Se concluye que el sistema de cloración por goteo es una alternativa eficiente en la eliminación de microorganismos patógenos del agua y es promisorio debido a su bajo costo, su fácil aplicación y su potencial de dejar un efecto residual después de la desinfección.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial al Sr. Feliciano Collantes Fonseca, alcalde de la municipalidad distrital de Campanilla, por permitirnos la autorización de realizar el estudio sobre la implementación del sistema de cloración en el centro poblado Viejo San Martín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización de las Naciones Unidas. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Agua y saneamiento – Desarrollo Sostenible. 2020.
2. Acharya K, Halla FF, Massawa SM, Mgana SM, Komar T, Davenport RJ, et al. Chlorination effects on DNA based characterization of water microbiomes and implications for the interpretation of data from disinfected systems. *J Environ Manage.* 2020 Dec;276:111319.
3. Instituto Nacional de Informatica e Estadistica. Encuesta Demográfica y de Salud Familiar- ENDES. *Inst Nac estadística e informática.* 2014;190.
4. Mohammed A. Resistance of bacterial pathogens to calcium hypochlorite disinfectant and evaluation of the usability of treated filter paper impregnated with nanosilver composite for drinking water purification. *J Glob Antimicrob Resist.* 2019;16(1).
5. Rodríguez M, Rodríguez G, Serodes J, Sadiq R. Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *INCI [Internet].* 2007;32(11). Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007
6. Stout J, Tellinghuisen DJ, Wunder DB, Tatko CD, Rydbeck B V. Variations in sensitivity to chlorine in Ecuador and US consumers: Implications for community water systems. *J Water Health.*

- 2019;17(3):428–41.
7. MINSA. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano [Internet]. 2010. Available from: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf
 8. GIZ. Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural [Internet]. 2017. Available from: [https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ_2017_Manual_para_la_cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ_2017_Manual_para_la_cloracion_del_agua_en_sistemas_de_abastecimiento_de_agua_potable.pdf)
 9. Pandey PK, Kass PH, Soupir ML, Biswas S, Singh VP. Contamination of water resources by pathogenic bacteria. *AMB Express*. 2014;4(1):1–16.
 10. Li Z, Song G, Bi Y, Gao W, He A, Lu Y, et al. Occurrence and Distribution of Disinfection Byproducts in Domestic Wastewater Effluent, Tap Water, and Surface Water during the SARS-CoV-2 Pandemic in China. *Environ Sci Technol*. 2021;55(7):4103–14.
 11. Goyal R V., Patel HM. Analysis of residual chlorine in simple drinking water distribution system with intermittent water supply. *Appl Water Sci*. 2015 Sep;5(3):311–9.
 12. Rodríguez M, Rodríguez G, Serodes J, Sadiq R. Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia* [Internet]. 2007;32(11). Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007
 13. Hanna. La desinfección del agua mediante el uso del Cloro [Internet]. 2015. Available from: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/la-desinfeccion-del-agua-mediante-el-uso-de-cloro>
 14. Mazhar MA, Khan NA, Ahmed S, Khan AH, Hussain A, Rahisuddin, et al. Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *J Clean Prod*. 2020 Nov;273:123159.