

Universidad de Puerto Rico
Recinto de Río Piedras
Facultad de Ciencias Naturales
Departamento de Matemáticas

El Uso del Cloro en la Desinfección del Agua

Mate 3026
Prof. Rodríguez Esquerdo
Integrantes del grupo
Natalia Ocasio
Manuel E. López Diez

Introducción

El agua, siendo una necesidad absoluta para la vida, debe tener una calidad apropiada al utilizarse para beber o preparar comidas, por lo que tiene que estar libre de cualquier organismo que pueda causar enfermedades y de minerales y sustancias orgánicas que produzcan efectos fisiológicos adversos. Es por esto que la calidad del agua es una preocupación de todos.

Históricamente se ve la práctica de tratar el agua, ya sea hirviéndola, filtrándola, sedimentándola o tratándola con sales. Esto, sin embargo, sólo alude a los objetivos de mejorar su apariencia y sabor.

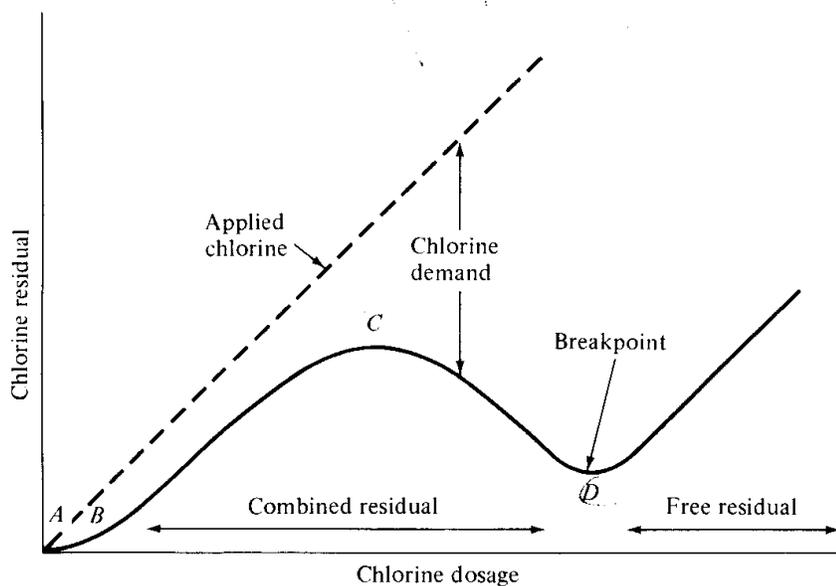
Como los seres humanos conocían muy poco sobre enfermedades, no fue hasta finales del siglo XIX que se le dio importancia a la necesidad de no sólo tener agua libre de color y sabores extraños, sino también de estar libre de organismos que causen enfermedades.

El cloro se descubre en el 1774 por el químico sueco Karl Wilhelm Scheele como producto de la reacción entre ácido hidrocloreídrico y dióxido de manganeso.

El cloro es una sustancia tan energética y activa que solo existe en la naturaleza en combinación con otros elementos. El carácter tóxico de cloro y algunos de sus compuestos se atribuye en gran parte a su capacidad oxidante. El cloro y los compuestos que contienen cloro son oxidantes muy potentes y se pueden disipar en reacciones con una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos en el agua antes de que se obtenga suficiente desinfección.

Las aguas que llegan a una planta de tratamiento de agua contienen agentes reductores (compuestos orgánicos e inorgánicos como nitritos, iones de hierro, plomo y sulfuros), así como microorganismos y bacterias. El cloro se aplica en exceso (aprox. 2mg/L) de manera que pueda satisfacer la demanda para oxidar estos compuestos y eliminar estas bacterias, y que así, reste una cantidad de cloro residual en los conductos de agua. Este cloro residual es el cloro libre que queda en el agua después que ha sido desinfectada en la planta. Su utilidad es de continuar desinfectando el agua desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llegue al consumidor.

La siguiente gráfica muestra la curva que produce el cloro residual al añadirse el cloro en la planta de tratamiento.



La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro que se le añade al agua, y el cloro residual. El punto **A** muestra la cantidad requerida para satisfacer la demanda de los agentes reductores. La adición de cloro en exceso resulta en la formación de cloraminas. Estas son desinfectantes efectivos contra las bacterias presentes. Cuando todos los agentes reductores han reaccionado, comienza a aumentar el cloro residual (**A-B**). Este cloro residual oxida las cloraminas antes formadas, por lo que comienza a disminuir otra vez (**B-C**). Cuando todas las cloraminas han sido eliminadas (**C**), es el punto en que el agua sale de la planta. De este punto en adelante el agua debe estar libre de contaminantes y debe contener una cantidad de cloro residual para asegurar que durante el trayecto entre la planta y el consumidor, se eliminen las bacterias más resistentes y otras impurezas químicas más complejas.

Este cloro residual es importante que se encuentre en niveles seguros para el consumo humano. Si este se encuentra en exceso, el cloro puede resultar tóxico para el consumo. Además, por ser una sustancia tan activa, un exceso de cloro puede reaccionar con distintos compuestos orgánicos, por lo que aumenta el riesgo de que se produzcan trihalometanos, que son compuestos carcinógenos para el humano.

Los trihalometanos se encuentran en el agua potable como un resultado de la interacción del cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua. Estos estarán presentes mientras el agua contenga cloro o hipoclorito, además de los precursores orgánicos. Es por esto que hay que mantener la cantidad de cloro residual dentro de unos límites. Estos son de 0.1mg/L a 0.3mg/L.

Por otro lado, si el cloro residual es menos del necesario, el agua puede retener bacterias, protozoas y virus patógenos que amenacen la salud del consumidor.

En respuesta a estas amenazas de salud, la *Environmental Protection Agency* (EPA) ha establecido legalmente los criterios necesarios para una buena calidad de agua potable. “*The Safe Drinking Water Act*”, según enmendada en 1986, establece que la cantidad de cloro residual en el agua potable no debe ser menor de 0.1mg/L ni mayor de 0.3mg/L.

A medida que el agua viaja através de los conductos, el cloro residual va reaccionando, por lo que va disminuyendo. Esto hace que los lugares más alejados a la planta reciban agua con menos cloro residual. Para mantener los niveles necesarios de cloro residual, existen varias estaciones en el trayecto que le inyectan más cloro al agua, para así suplir las áreas más alejadas.

En este experimento se trabajará con el agua que suple la planta de tratamiento de Sergio Cuevas en Trujillo Alto. Allí el agua es tratada con cloro y distribuida al área metropolitana hasta el casco de San Juan. A través de este trayecto existe una estación de bombeo de cloro en Sagrado Corazón, Santurce (parada 26 ½).

Problema

Este proyecto enfoca a la concentración de cloro residual en el agua potable. Se quiere determinar si la cantidad de cloro residual en el agua que suple la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados se encuentra dentro de los estándares establecidos por la EPA (0.1mg/L-0.3mg/L) o si por el contrario, se encuentra en niveles perjudiciales para la salud. La idea del proyecto es probar la efectividad del método utilizado por la AAA para desinfectar el agua que consumimos.

Hipótesis Nula

El cloro residual en el agua potable que suplen las plantas de tratamiento de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados para el área de Río Piedras y El Viejo San Juan, se encuentra dentro de los estándares establecidos por la EPA y por lo tanto no presenta peligro para el consumidor.

$$H_0 = 0.1\text{mg/L} \leq x \leq 0.3\text{mg/L}$$

Hipótesis Alterna

El cloro residual en el agua potable que suplen las plantas de tratamiento de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados para el área de Río Piedras y El Viejo San Juan, no se encuentra dentro de los estándares establecidos por la EPA y por lo tanto puede presentar peligro para el consumidor.

$$H_a = 0.1\text{mg/L} > x > 0.3\text{mg/L}$$

Procedimiento

Medimos el cloro residual en el agua a medida que se aleja de la planta de tratamiento. Para esto utilizamos un kit que mide el cloro residual del agua entre 0 y 0.6 mg/L.

Partiendo desde la planta de tratamiento en Trujillo Alto, tomamos muestras de agua aproximadamente cada 0.5 millas. Para esto utilizamos el odómetro del auto. Cabe mencionar que la mayoría de las tuberías de agua potable siguen las carreteras. Viajamos por de la Carr. 846, para luego tomar la Avenida Trujillo en dirección norte y la 65 de Infantería en dirección oeste. Luego pasamos a la Avenida Barbosa y cruzamos la Universidad de Puerto Rico via la Avenida Universidad hasta llegar a la Avenida Luis Ponce de León. Recorriendo esta avenida llegamos hasta la isleta de San Juan, donde tomamos la Avenida Muñoz Rivera y luego la calle San Francisco del Viejo San Juan. Obtuvimos 22 muestras. Estas fueron tomadas el 30 de marzo de 1998.

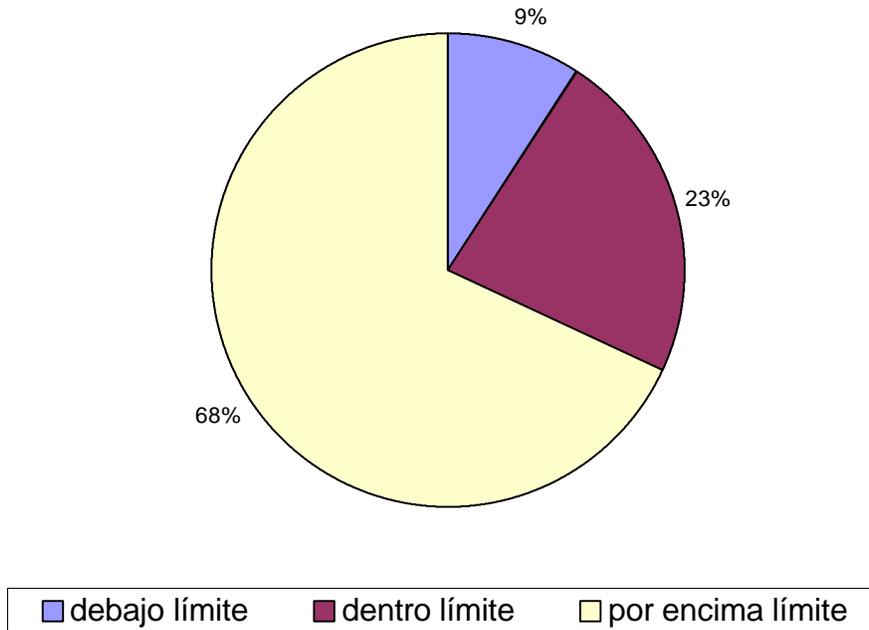
Tablas de Datos

Estadística	Valor (mg/L)
Media muestral	.377045
Desviación Estándar	.141679
Mediana	.4
Moda	.5
Valor mínimo	.025
Valor máximo	.55

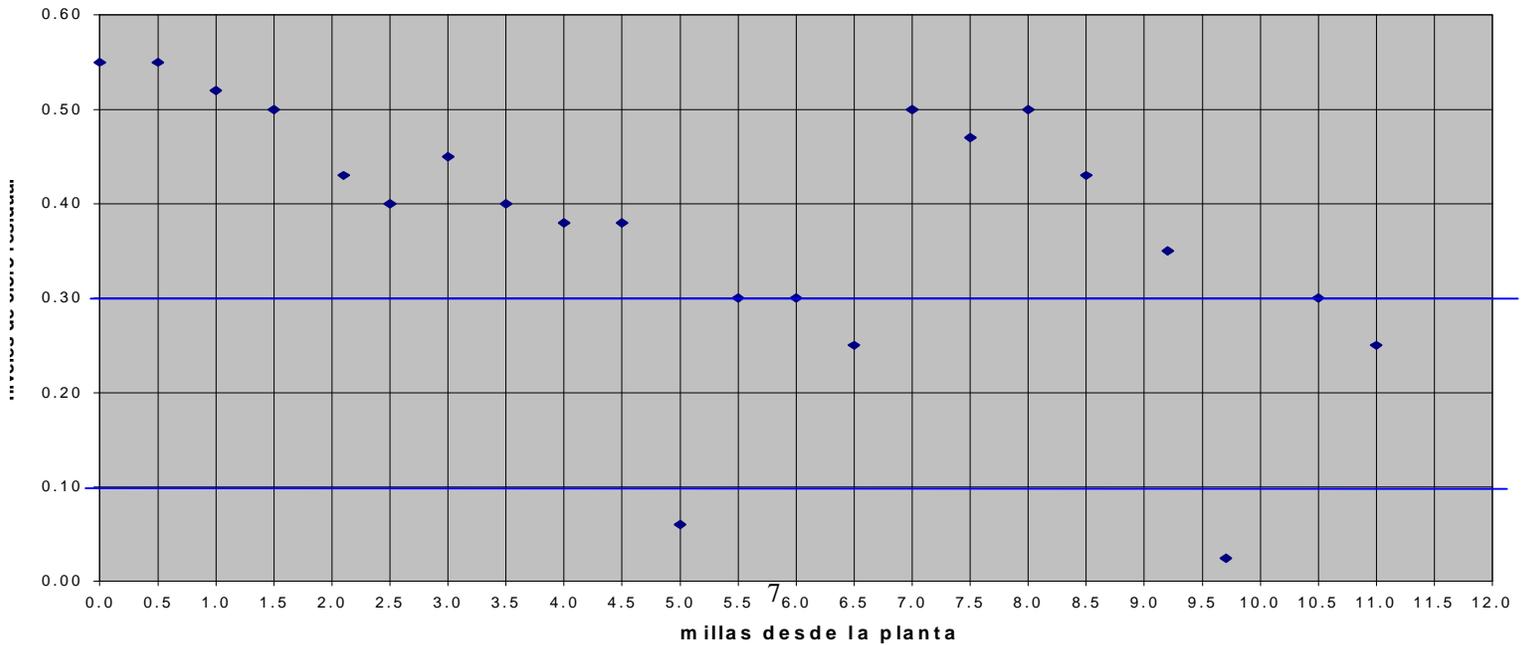
Lugar	Millas	Cloro residual (mg/L \pm.02)
Gas. Esso (Carr.846)	0	0.55
Gas. Gulf (Carr.846)	0.5	0.55
Panaderia Villa Andalucía (Ave. Trujillo)	1.0	0.52
Gas. P.R (Ave. Trujillo)	1.5	0.50
Gas Shell (65 Inf.)	2.1	0.43
Gas Esso (65 Inf)	2.5	0.40
Restaurante El Obrero (Ave. Barbosa)	3.0	0.45
Facultad CN, UPR	3.5	0.40
Museo UPR	4.0	0.38
Rest. El Canario (Ave. Ponce de León)	4.5	0.38
Plan de salud AEELA (Ave. Ponce de León)	5.0	0.06
Scotia Bank P.R. (Ave. Ponce de León)	5.5	0.30
Casa de Manuel	6.0	0.30
Gas. Esso (Ave. Ponce de León)	6.5	0.25
Hotel Runna (Ave. Ponce de León)	7.0	0.50
Taco Maker (Ave. Ponce de León)	7.5	0.47
Café Levis (Ave. Ponce de León)	8.0	0.50
Rest. Chino (Ave. Ponce de León)	8.5	0.43
Panadería Los Cidrines (Ave. Muñoz Rivera)	9.2	0.35
El Hamburger (Ave. Muñoz Rivera)	9.7	0.03
El Capitolio	10.5	0.30
Burger King (Calle San Francisco)	11.0	0.25

Gráficas

Análisis porcentual de las muestras comparado con los límites .1-3 mg/l de cloro residual



Niveles de cloro residual vs millas desde la planta



Discusión de Resultados y Conclusión

Respecto a los resultados se puede apreciar que mientras más cerca el lugar de muestreo de la planta de tratamiento, más cloro residual había presente en el agua. A su vez al alejarse de la planta la cantidad de cloro era menor.

La presencia de dos muestras con cantidades pequeñas del elemento, llevan a la conclusión que los lugares donde se tomo el agua deben tener su propio sistema de tratamiento. Este sea destiladores o cualquier otro sistema.

Al observar los datos obtenidos y compararlos con los estándares establecidos por la EPA, podemos notar que hay una notable diferencia. Según la gráfica, hay un 77% de las muestra que estan fuera del intervalo de 0.1-0.3 mg/L de cloro residual que se supone tenga el agua potable. Al observar las medidas de tendencia central, media 0.377 mg/L, moda 0.5 mg/L y mediana de 0.4 mg/L también podemos concluir que hay más cloro residual que el necesario en el agua potable.

Nuestra decisión es rechazar la H_0 a favor de la H_a al observar que $x > 0.3\text{mg/L}$.

Que hayamos observado un 68% de nuestras muestras por encima de los niveles establecidos por la EPA, puede representar un peligro para la salud. Este cloro residual en exceso puede llevar a la formación de trihalometanos.

Estudios del Instituto Nacional del Cáncer, concluyeron que el cloroformo es un carcinógeno para ratas y ratones y que tiene efectos en el humano. Estos son : daño al sistema nervioso central, a los riñones y al hígado. El cloroformo al igual que otro trihalometanos, se puede formar por la interacción del cloro con materia orgánica presente en el agua.

Los trihalometanos son solo una parte de los co-productos que se pueden formar durante la clorinación. Otros productos clorinados se generan al igual que productos de oxidación no-clorinados. Muchos de estos aún no se han identificado y resultará difícil hacerlo debido a problemas en solubilidad, estabilidad y estructura de los mismos.

Es por estas razones que la cantidad de cloro residual presente en el agua potable tienque ser constantemente monitoriada por las autoridades. No debe de ser una clorinación capricosa ya que puede tener efectos adversos en la salud de los usuarios.

Consideraciones Experimentales

Es nuestro deber mencionar que el instrumento utilizado es uno sencillo y que hay otras maneras de medir la cantidad de cloro residual en el agua.

Además, una buena desinfección del agua depende de otros factores. Por ejemplo, pH y temperatura de la misma. Estos factores no fueron tomados en consideración para la investigación.

Bibliografía

1. AWWA, "Water Quality and Treatment", Mc Graw-Hill Book Co., N. Y. 1971.
2. Laubusch, E. : "How Safe is Your Chlorine Residual", Public Works Publications, 1959.
3. Cotruvo, J: "THMS in Drinking Water", Environmental, Science and Technology, 15: March 1981.
4. APHA-AWWA-WPCF, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 17th ed. 1989.
5. Clark-Hammer-Viessman, "Water Supply and Pollution Control", 3rd ed. 1977.