

Evaluación comparativa de la capacidad de desinfección de equipos generadores de ozono domésticos para el tratamiento de agua

Irán Fernández, Elaine Sánchez, Lidia Asela Fernández, Mayra Bataller y Caridad Álvarez.

Departamento de Microbiología, Dirección de Medio Ambiente, Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Avenida 25 y 158, Apartado Postal 6414, La Habana, Cuba. iran.fernandez@cnic.edu.cu

Recibido: 31 de octubre de 2013.

Aceptado: 12 de febrero de 2013.

RESUMEN. Este trabajo tuvo como objetivo comparar la capacidad de desinfección de un equipo generador de ozono para uso doméstico de fabricación cubana (equipo C) con dos equipos similares de fabricación extranjera (equipos A y B) sobre la base de las exigencias microbiológicas que se establecen en la norma oficial mexicana NOM-180-SSA1-1998, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipos de tratamiento de tipo doméstico. Requisitos sanitarios. Los ensayos de inactivación en agua potable fueron realizados con *Escherichia coli* ATCC 25922 como microorganismo indicador de la contaminación a concentraciones iniciales que variaron de $5 \cdot 10^4$ a $8 \cdot 10^4$ Unidades Formadoras de Colonias/mL. Los resultados de la curva de inactivación de *E. coli* ATCC 25922 mostraron que los equipos A y B de fabricación extranjera no cumplieron con la norma oficial mexicana que exige la eliminación de cuatro unidades logarítmicas de la concentración inicial del microorganismo en los 3 min establecidos para el ensayo. Todos los equipos mostraron una cinética de inactivación de primer orden. El equipo C presentó los mayores porcentajes de eliminación de *Escherichia coli* ATCC 25922, los cuales fueron superiores al 99,99 % de inactivación y a una velocidad que fue de $0,165 \text{ s}^{-1}$ superior al resto.

ABSTRACT. The main objective of this work was the comparison results of domestic ozone generator equipment for water treatment made in Cuba (equipment C), with two similar equipment made abroad (equipment A and B). The comparison was based on the microbiological requirements established in the Mexican Official Standard NOM -180-SSA1- 1998, Environmental Health. Water for human use and consumption. Treatment equipment household type. Health requirements. Inactivation assays were performed using drinking water contaminated with *Escherichia coli* ATCC 25922 as the indicator organism at initial concentration between $5 \cdot 10^4$ a $8 \cdot 10^4$ FCU/mL. The results of the *E. coli* ATCC 25922 inactivation curve showed that the equipment A and B, of foreign manufacture, did not fulfill the requirements of the official Mexican Standard because it's were incapable of remove 4 log units of the initial concentration during three minutes of assay. All tested equipment showed inactivation kinetics of first order. In relation to inactivation efficiency, C ozonator presented the highest percentages of removal of *E. coli* ATCC 25922 above 99.99 % inactivation and also highest mortality rate of 0.165 s^{-1} .

INTRODUCCIÓN

Actualmente, gran parte del agua de abasto que se consume por la población es servida a través de acueductos, pero los sistemas de tratamiento y las redes de distribución no siempre garantizan una óptima calidad del agua, fundamentalmente desde el punto de vista microbiológico. Por otra parte, el agua, aunque reciba un tratamiento adecuado, en muchos lugares antes de su consumo se almacena en cisternas o tanques elevados, lo cual favorece potencialmente su contaminación. Ante esta situación el consumo de agua embotellada ha resultado ser una alternativa generalizada en muchos países.^{1,2}

La necesidad de la población de consumir agua libre de microorganismos patógenos ha propiciado que en los últimos años muchos investigadores y empresas desarrollen y comercialicen equipos que permiten un tratamiento rápido y efectivo del agua de consumo.

Los equipos generadores de ozono constituyen una alternativa para el tratamiento de agua por su elevada eficiencia en la desinfección y bajo costo de producción. Estos pueden ser utilizados en los hogares, oficinas, escuelas, círculos infantiles, hospitales, hoteles, etc., lo que elimina los gastos de hervir el agua o consumirla embotellada.³

El ozono presenta un gran poder oxidante, lo que permite que sea muy efectivo en la reducción o eliminación del color, olor y mejoramiento del sabor, en la oxidación de hierro y manganeso, así como en la mejora de la eficiencia de otras etapas del tratamiento de potabilización.^{2,4,5} Es un agente oxidante más potente que el cloro, permite que gérmenes muy resistentes a este último, como los virus, sean inactivados con relativa facilidad.⁶⁻⁷ La efectividad del ozono ha quedado demostrada en la eliminación de quistes de *Giardia Lamblia*, para lo cual a temperatura ambiente se requiere una concentración de ozono disuelto de 0,48 mg/L, mientras que de otros desinfectantes como el cloro se necesitan concentraciones superiores entre 3,2 y 4,8 mg/L.^{8,9}

Este trabajo tuvo como objetivo comparar la capacidad de desinfección de un equipo generador de ozono para uso doméstico de fabricación cubana (equipo C) con dos equipos similares de fabricación extranjera (México y España) sobre la base de las exigencias microbiológicas que se establecen en la norma oficial mexicana NOM-180-SSA1-1998, Salud ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se compararon las capacidades de desinfección de tres equipos generadores de ozono, uno diseñado y construido en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas y otros dos pertenecientes a firmas extranjeras que se comercializan actualmente en el mundo. Equipo A (México), Equipo B (España) y Equipo C (Cuba).

Etapas del proceso de desinfección. Determinación de la concentración de ozono

Los procesos de desinfección con ozono constan en su generalidad de tres etapas principales (Figura 1), filtración, generación de ozono y el sistema de contacto. Estas etapas deben funcionar de manera eficiente para obtener buenos niveles de desinfección.

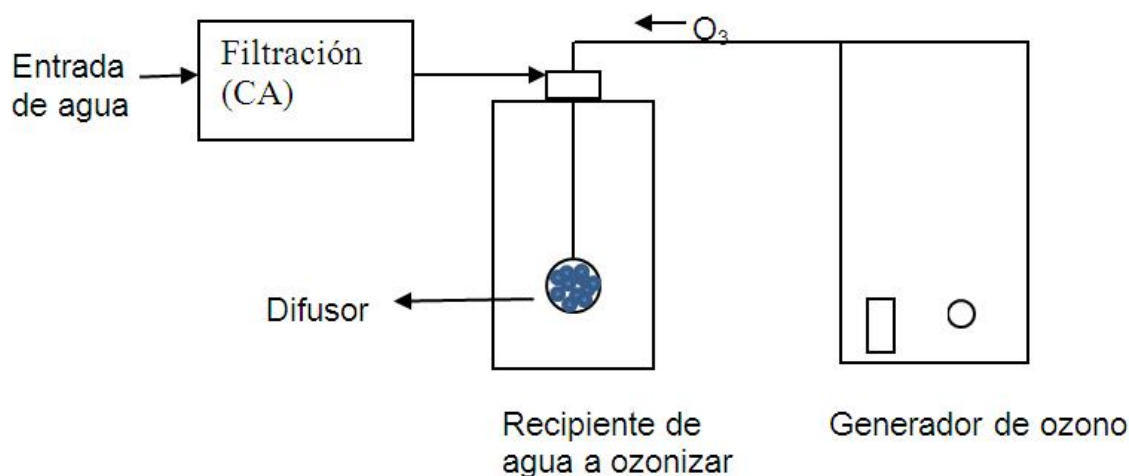


Fig.1. Esquema general simplificado del sistema de ozonización de agua.

Donde:

CA ¿?

La determinación de la concentración de ozono en el gas se realizó mediante un espectrofotómetro Ultrospec III, por medición directa del ozono a longitud de onda de 256 nm. Para ello, se conectó la salida del gas del tubo generador a la entrada de la cubeta de flujo de 1 mm de paso óptico. El flujo de gas se midió con un flujómetro colocado a la salida del ozonizador.

La concentración de ozono en el líquido se determinó mediante el espectrofotómetro Ultrospec III, y con el empleo del método del indigo trisulfonato de sodio al final del tiempo de desinfección.¹⁰

Ensayo Microbiológico de las muestras tratadas.

En este estudio, se siguieron los indicadores establecidos en la Normalización Oficial Mexicana [NOM-180-SSA1-1998, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipos de tratamiento de tipo doméstico. Requisitos sanitarios].¹¹

Se tomaron dos recipientes de 2 L, los que se llenaron de agua de acueducto previamente filtrada a la presión del grifo a través de carbón activado a una velocidad de 2 L/min. Para el inoculo, se tomaron de 3 a 4 colonias de un cultivo (18 a 24 h) de *Escherichia coli* ATCC 25922, se inoculó en 4,5 mL de medio de cultivo estéril (Caldo Müller-Hinton) hasta alcanzar una concentración de células equivalente a 0,5 de la escala McFarland.¹² Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas para obtener las concentraciones iniciales de microorganismos para cada equipo, las cuales estuvieron en el orden de $5 \cdot 10^4$ a $8 \cdot 10^4$ Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/ mL. De esta manera, podría observarse la capacidad de desinfección que poseía cada equipo. Los tiempos de ozonización fueron ajustados a 3 min, tiempo estimado por los fabricantes respectivos en los cuales los equipos son capaces de eliminar el 99,99 % de los microorganismos presentes en el agua.

Se tomaron muestras de agua a diferentes tiempos durante el proceso de ozonización, con el objetivo de obtener las cinéticas de inactivación y la velocidad de eliminación del microorganismo de cada equipo estudiado. Se realizó un conteo de microorganismos mediante la técnica de conteo en placas. Todas las pruebas fueron realizadas por triplicado para un total de 45 muestras.^{13,14}

RESULTADOS Y DISCUSION

Los parámetros de concentración de ozono en el gas, concentración de ozono disuelto en el agua al final del proceso de desinfección y la producción de ozono para los tres equipos evaluados son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Cambiar los equipos ozonizadores.

Equipo	Concentración de ozono en el gas (mg/L)	Producción de ozono (mg/h)	Concentración de ozono en el líquido (mg/L)
A	$0,51 \pm 0,001$	$35 \pm 0,02$	$0,036 \pm 0,011$
B	$0,32 \pm 0,016$	$10,85 \pm 0,021$	$0,09 \pm 0,013$
C	$2,6 \pm 0,012$	$115,76 \pm 0,018$	$0,72 \pm 0,018$

La variación de la concentración de ozono en el líquido durante el tiempo de ensayo se muestra en la Figura 2.

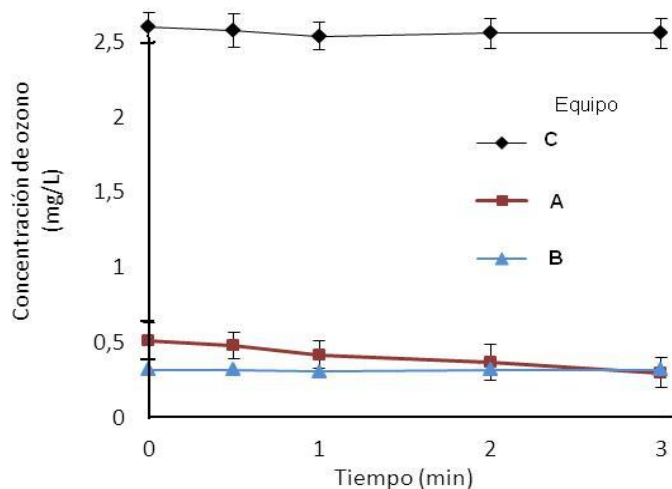


Fig. 2 Variación de la concentración de ozono en el gas. Correspondiente a cada generador de ozono estudiado.

El equipo A presentó al inicio una concentración de ozono en el gas de 0,5 mg/L y una producción de ozono de 35 mg/h. Esta concentración de ozono en el gas es muy baja, sobre todo, teniendo en cuenta que con un eficiente sistema de contacto gas-líquido la solubilidad del ozono es aproximadamente 1/5. Este equipo no alcanzó la concentración de ozono en el gas que establece su fabricante en el manual de usuario del equipo dentro de sus características técnicas, (2,5 mg/ L). Por otro lado, se observó que a medida que pasa el tiempo la concentración de ozono en el gas

disminuye, lo que pudo estar dado por un calentamiento en la celda de generación ya que el equipo no presentaba ningún sistema de enfriamiento. La concentración final de ozono en el líquido para este equipo fue de 0,036 mg/ L.

El equipo B, alcanzó una máxima de concentración de ozono en el gas de 0,32 mg/L y una producción de 10,85 mg/h. La concentración de ozono en el gas para este equipo se mantuvo estable durante los 10 min que duró el proceso de desinfección. Sin embargo, la concentración de ozono disuelto en el líquido resultó insuficiente para eliminar los microorganismos debido principalmente al sistema de contacto gas-líquido.

El equipo C de fabricación cubana, presentó una concentración máxima de ozono en el gas de 2,6 mg/L y una producción de 115 mg/h, las que se mantuvieron constantes después de los dos minutos hasta completar los tres minutos de ozonización. La concentración de ozono en el líquido alcanzó los 0,72 mg/L. Este equipo está provisto de un sistema de ventilación para evitar un exceso de calor en la celda de generación, lo que garantiza mantener la concentración de ozono mucho más estable en el tiempo que los equipos anteriores. Además de esto, en el equipo C el sistema de contacto gas - líquido es mucho más eficiente que en los equipos A y B, elemento fundamental a tener en cuenta en los procesos de desinfección.

El análisis de las cinéticas de muerte para el microorganismo estudiado puede observarse en la figura 3.

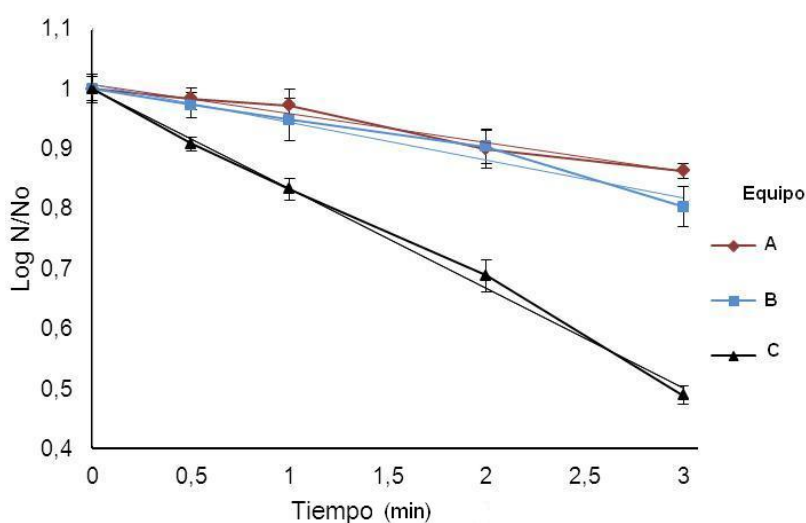


Fig 3. Cinéticas de inactivación de *E. Coli* ATCC 25922 correspondiente a cada equipo.

En el caso de los equipos A y B la disminución de ...no fue mayor de una unidad logarítmica, por lo que no se cumplió lo establecido en la Norma Oficial Mexicana en la que se precisa que los equipos de tratamiento de agua deben garantizar una disminución de tres unidades logarítmicas en El equipo B aseguró una mayor producción de ozono y de manera más estable, sin embargo la desinfección no fue efectiva debido que el sistema de contacto gas-líquido no es lo suficientemente eficaz para lograr una adecuada transferencia del gas al seno del líquido, lo que disminuye su efectividad. Los sistemas de contacto gas-líquido deben garantizar que la mayor parte del gas que se produce en la celda de generación se transfiera al líquido a fin de lograr que la eficiencia de este paso sea lo suficientemente adecuado como para asegurar el desarrollo de un proceso de desinfección más efectivo.^{15,16}

En el caso del equipo C, se produjo una reducción importante del número inicial de microorganismos, la cual fue superior a tres logaritmos (99,9 %) de muerte. La inactivación se desencadenó desde los primeros instantes y la velocidad con que se llevó a cabo resultó mucho mayor que en los equipos restantes (Tabla 2).

Tabla 2. Constantes cinéticas de inactivación correspondientes.

Equipo	K $\pm$ DS (s^{-1}) n = 3	R ²
A	0.048 $\pm$ 0.003	0,9744
B	0.062 $\pm$ 0.001	0,9658
C	0.165 $\pm$ 0.003	0,9959

A los tres minutos de estudio, el equipo C cumplió lo establecido en la Norma Oficial Mexicana, de eliminación de cuatro unidades logarítmicas, por la cual fueron evaluados los equipos.

Bajo las condiciones estudiadas, los tres equipos presentaron cinéticas de inactivación de primer orden respecto a la concentración de microorganismo, la que puede ser descrita por la ecuación:

$$-\frac{dN}{dt} = kN$$

Integrando: $\log N/N_0 = -k t$

donde:

k es la constante de primer orden.

No Número inicial de microorganismos.

Resultados similares fueron reportados por Lezcano y cols, al ozonizar diferentes otros microorganismos en agua, como *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella* y *Salmonella*, pero con el empleo de otros tipos de ozonizadores para el tratamiento de agua.^{17,18}

Los resultados experimentales obtenidos para los tres equipos estudiados, revelan que los equipos A y B no cumplen con las mínimas condiciones para garantizar una adecuada desinfección del agua contaminada según la norma oficial mexicana¹¹, la cual establece la eliminación de cuatro unidades logarítmicas. Esta norma fue seleccionada por ser de una gran exigencia en relación con los niveles de eliminación de microorganismos que propone.

Hasta el presente, Cuba no cuenta con una norma oficial para evaluar los equipos de tratamiento de agua. Los estándares internacionales solo establecen los límites microbianos que deben cumplir los distintos tipos de agua para que puedan ser utilizados en procesos o para el consumo, pero estas evaluaciones son sobre la calidad del agua y no sobre las potencialidades desinfectantes de los equipos de tratamiento de agua. Es por ello que se impone la necesidad de establecer una norma cubana que rija las pautas para la evaluación de los equipos domésticos de tratamiento de agua, no solo para los que generan ozono, sino para todos aquellos diseñados para eliminar la contaminación presente en el agua. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que los equipos de tratamiento de agua domésticos están diseñados para ubicarse en el punto final de distribución de la red de acueducto, lo que implica que el agua de entrada a ellos debe haber sido previamente tratada, premisa que permite que estos equipos garanticen los niveles de desinfección exigidos al agua potable.¹⁹⁻²⁰

El estudio realizado en el presente trabajo pudiera ser considerado como un ensayo microbiológico que permite evaluar la máxima capacidad de eliminación de microorganismos posible para los equipos de tratamiento. Se considera que debido a la elevada concentración inicial de microorganismos con el que se realizó el ensayo microbiológico a los equipos de ozono para uso doméstico, la evaluación de su funcionamiento debe realizarse considerando las unidades logarítmicas que han sido capaces de disminuir.

CONCLUSIONES

Para lograr una desinfección adecuada del agua, superior a la de los equipos A y B de fabricación mexicana y española respectivamente, los cuales no cumplen con los requerimientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana para la evaluación de equipos de tratamiento de agua. El equipo de generación de ozono de fabricación cubana presenta una elevada capacidad de desinfección del agua (elimina más del 99,99 % de la concentración inicial de microorganismos). Con todos los equipos se obtuvieron cinéticas de inactivación de primer orden, siendo el de fabricación cubana el que asegura una mayor concentración de ozono en el gas así como una velocidad de muerte superior a los otros equipos evaluados, por lo que ofrece una mayor garantía y seguridad en el tratamiento del agua de consumo al final de la red de distribución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Diduch M, Polkowska Z and Namieśnik J. Factors affecting the quality of bottled water. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2013; 23: 111-119.
2. Larocque R. Ozone applications in Canada: A state of the art review. *Ozone Science and Engineering*. 1999; 21(2):119.
3. Christensen PA, Yonar T and Zakaria K. The Electrochemical Generation of Ozone: A Review. *Ozone Science and Engineering*. 2013; 35: 149-167.
4. Cengiz M, Uslu M.O and Balcioglu A.I. Treatment of *E. coli* HB101 and the tetM Gene by Fenton's Reagent and Ozone in Cow Manure." *Journal Environmental Manage*. 2010; 91(12): 2590-2593.
5. Barry L, Thompson C, Dragob J, Takaharac H and. Worldwide Ozone Capacity for Treatment of Drinking Water and Wastewater: A Review. *Ozone Science and Engineering*. 2012; 34(1): 64-77.
6. Finch GR, Black EK and Gyureck L. Ozone disinfection of *Giardia* and *Cryptosporidium*. American Water Works Association Research Foundation, American Water Works Association, Denver, 1994.

7. Cho M, Chung H and Yoon J. Disinfection of water containing Natural Organic Matter by using ozone-initiated radical reactions. *A.E Microbiology*. 2003; 69: 2284-2291.
8. Roustan M, Stambolieva Z, Duguet JP, Wable O and Mallevialle J. Research note: Influence of hydrodynamics on *Giardia* cyst inactivation by ozone. Study by kinetics and by "CT" approach. *Ozone Science & Engineering*. 1991; 13: 451.
9. Cervantes G, Cortina C, Navarro A, Gutierrez M, Ávila G, Garcia G and Torres B. Effect of Ozone and Peroxone on Helminth *Hymenolepis nana* Eggs. *Ozone Science & Engineering*. 2013; 35: 201-207.
10. Guizaa M, Ouedernia A and Ratel A. Decomposition of Dissolved Ozone in the Presence of Activated Carbon: An Experimental Study. 2004; 26 (3): 299-307.
11. NOM-180-SSA1-1998, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipos de tratamiento de tipo doméstico. Requisitos sanitarios.
12. Fugelsang C, Edwards CG. *Wine Microbiology. Practical Applications and Procedure*. 2007; 2th Editions: Springer Editorial.
13. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 1998; 20th edition APHA, AWWA WEF. USA.
14. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. 2006; 3rd Ed. Vol 1. Recommendations. Geneva: WHO.
15. Cheryl FS. Mechanism of the participation of the contact system in the Vroman effect. Review and summary. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*. 1991; 2(3):173-181.
16. Zhu Q, Liu C. and Xu Z. A Study of Contacting Systems in Water and Wastewater Disinfection by Ozone. 1. Mechanism of Ozone Transfer and Inactivation Related to the Contacting Method Selection. *Ozone: Science and Engineering*. 1989; 11(2): 169-188.
17. Lezcano I, Rey P, Baluja Ch, Sánchez E. Ozone Inactivation of *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Shigella sonnei*, and *Salmonella typhimurium* in Water. *Ozone Science & Engineering*. 1998; 21: 293-298.
18. Favourite N, Johnson L and Jonnalagadda SB Kinetics of inactivation of *Pseudomonas aeruginosa* in aqueous solutions by ozone aeration. *Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 2009; 44(10): 929-935.
19. US Environmental Protection Agency. National primary drinking water regulations, filtration, disinfection, turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, Legionella, and heterotrophic bacteria; Final Rule, Federal Register. 1989; 54(124): 274-285.
20. Christopher R, Christy Clarkson D, Bonacquistic T and Navratild R. The Impacts of New CT Requirements for Designing Ozone Systems for *Cryptosporidium* Inactivation. *Science and Engineering*. 2005; 27(2): 129-138.