

Evaluación de Equipo Ozonizador Doméstico para Tratamiento de Agua

Por E. Véliz, L. A. Fernández, M. Bataller, A. Amador, C. Hernández, I. Fernández, C. Mora, C. Pérez, C. Álvarez y E. Sánchez

Resumen

Los ozonizadores domésticos son equipos de reducido tamaño que pueden ser utilizados para obtener pequeños volúmenes de agua potable de elevada calidad, lo que permite obviar la necesidad de hervir el agua o consumir agua embotellada. En el Centro de Investigaciones del Ozono de Cuba, se diseñó, construyó y evaluó una línea de ozonizadores domésticos que permiten dar una solución local al tratamiento del agua que se va a consumir. En este trabajo se realizó la evaluación de los principales parámetros que caracterizan el funcionamiento de estos equipos: presión de agua de trabajo, flujos de agua y de gas, tiempo óptimo de funcionamiento continuo y concentraciones de ozono en el gas y en el líquido como parámetros fundamentales, así como la calidad microbiológica del agua obtenida. En las condiciones de operación recomendadas el equipo fue capaz de eliminar totalmente del agua altas concentraciones de varios tipos de microorganismos, lo que permite obtener un volumen de agua adecuado para uso domestico con excelentes cualidades microbiológicas. Este estudio permitió que este equipo obtuviera el registro sanitario emitido por las instituciones regulatorias del Ministerio de Salud Publica de Cuba.

Introducción

Actualmente gran parte del agua potable es servida a través de acueductos, pero los sistemas de tratamiento y las redes de distribución no siempre garantizan la óptima calidad del agua (sobre todo microbiológica). Además, aunque reciba tratamiento, en muchos lugares antes de consumirla se almacena en cisternas o tanques elevados que pueden dar lugar a una posterior contaminación.

Como parte de las soluciones para garantizar la calidad del agua potable en el punto final de uso, se han desarrollado equipos

ozonizadores domésticos, pequeños y sencillos, que pueden ser utilizados en los hogares, oficinas, escuelas, hospitales, hoteles, lugares apartados, etc., lo que permite eliminar la necesidad de hervir el agua o consumir agua embotellada.

Una gran ventaja del ozono en comparación con otros desinfectantes se aprecia al analizar el concepto CT (especifica los niveles de concentración del desinfectante a utilizar y el tiempo de contacto efectivo para cada microorganismo). Por ejemplo para quistes de *Giardia* (microorganismos muy resistentes), a 25°C solo se necesita un valor CT de 0,48 mg/L⁻¹ min, mientras otros desinfectantes como el cloro, el dióxido de cloro y las cloraminas tienen valores de CT de 61, 11 y 750 mg/L⁻¹ min respectivamente, para un mismo porcentaje de inactivación.¹⁻⁴ Al mismo tiempo, el ozono no presenta ninguno de los inconvenientes del cloro.⁵⁻⁹

Teniendo en cuenta todo lo anterior, en el Centro de Investigaciones del Ozono de Cuba, se diseñó y construyó una línea de pequeños ozonizadores, que permiten dar una solución local al tratamiento del agua que se va a consumir. En el mercado internacional existe una gran variedad de estos equipos,¹⁰⁻¹³ pero no se han obtenido buenos resultados con su instalación en nuestro país.

Por lo anterior, se decidió someter a los equipos desarrollados a un riguroso estudio para obtener las mejores condiciones de operación: presión de agua de trabajo, flujos de agua y gas, tiempo de funcionamiento continuo, concentración de ozono en el gas y en el líquido como parámetro fundamental, así como determinar la calidad microbiológica del agua obtenida.

Materiales y métodos

La tecnología de tratamiento que utiliza el equipo (Figuras 1 y 2)

Figura 1. Esquema general del equipo de ozonización doméstico

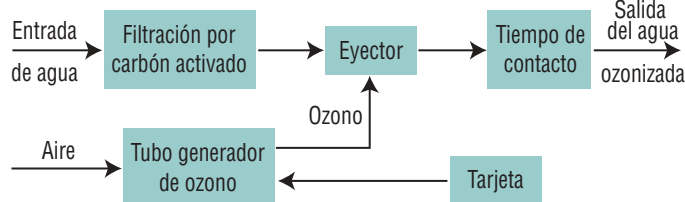


Figura 2. Foto del ozonizador doméstico estudiado y sus características técnicas



Características técnicas del ozonizador doméstico:

- Alimentación: 110 V ± 10 por ciento, 50 a 60 Hz
- Potencia de consumo: 10 VA (máximo)
- Flujo de agua recomendado: 1 L/min
- Dimensiones: (270 x 150 x 195) mm
- Peso neto: 1,67 kg
- Peso bruto (embalado): 1,94 kg

consta fundamentalmente de:

- Etapa de filtración: Filtro de carbón activado colocado en la línea de entrada del agua al equipo, para la eliminación del posible cloro residual en el agua de entrada.

- Etapa de ozonización: Se realiza por descarga eléctrica silente en un tubo generador de ozono, conectado a una tarjeta electrónica que emplea el método de alta frecuencia.

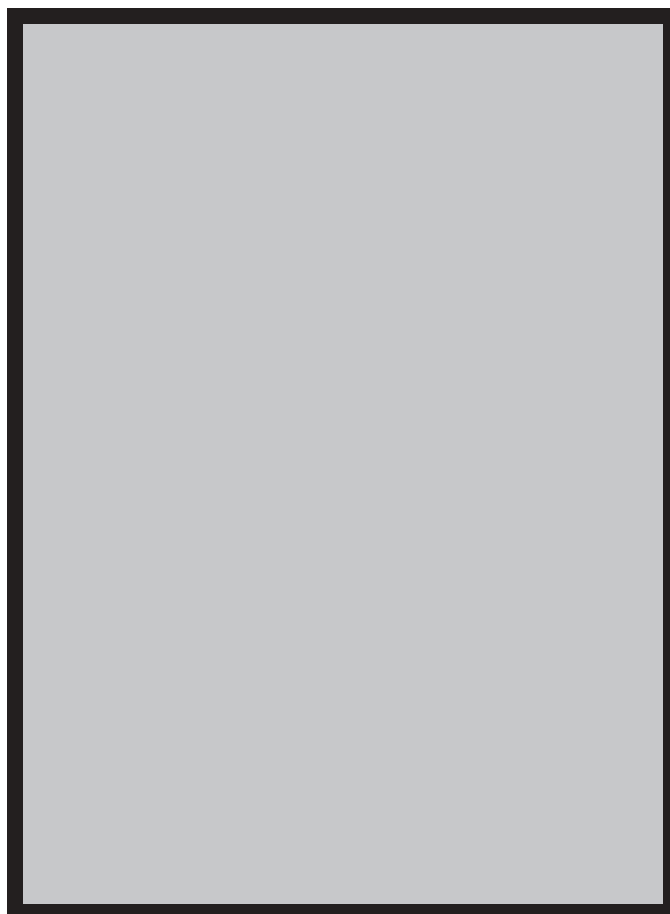
- Sistema de contacto gas líquido: Conformado por un eyector que introduce el aire ozonizado en el flujo de agua, lo que garantiza una buena mezcla y una adecuada transferencia de ozono de la fase gaseosa a la líquida.¹⁴

De un lote de 50 equipos, empleando el procedimiento para la selección de muestras aleatorias,¹⁵ se extrajo una secuencia de cinco números aleatorios para escoger los equipos a evaluar.

El estudio se realizó en los meses de junio a agosto que correspondió a la época de lluvias, con temperatura promedio en el agua de 30 a 31°C, para tres valores de presión de agua a la entrada a los equipos (0,5; 1,0 y 1,5 kg/cm²), ya que en la práctica este es el parámetro fundamental a considerar para instalar un equipo ozonizador de este tipo.

Tabla 1. Intervalos de flujo de líquidos y de gas, para las tres de presión de agua de entrada a los ozonizadores

Presión de agua a la entrada (kg/cm ²)	Flujo de líquido (L/min)	Flujo de gas (L/min)
0,5	0,73 - 0,75	0.18 - 0.30
1,0	0,94 - 1,07	0.27 - 0.60
1,5	1,30 - 1,63	0.50 - 0.80



Parámetros medidos

- Presión de agua: Se realizó mediante un manómetro colocado a la entrada de agua del equipo.

- Flujo de líquido (Q_L): Se realizó en la salida de agua del equipo, midiendo el tiempo en que se llena un volumen conocido y aplicando la expresión $Q_L = \text{Volumen} / \text{tiempo}$.

- Flujo de gas (Q_G): Se realizó utilizando un flujómetro de pompa de jabón. Se conectó la entrada del eyector a la salida del flujómetro y la entrada de este a la salida del tubo generador.

- Concentración de ozono en el gas: Se midió con un espectrofotómetro marca Ultrospec III (Pharmacia), por medición directa del ozono a una longitud de onda de 256 nm, conectando la salida del tubo generador a la entrada de la cubeta de flujo de 1mm y la salida de esta, a la entrada del eyector.

- Concentración de ozono en el líquido: Se midió durante los 10 primeros minutos de ozonización en un espectrofotómetro marca Ultrospec III (Pharmacia), empleando el método del índigo trisulfonato de sodio.¹⁶

- Constante de consumo de ozono en agua (k'): Se realizó una cinética de disminución de la concentración de ozono disuelto en el agua, por medición directa en un espectrofotómetro a 256 nm.¹⁷ El análisis estadístico se realizó con el estadígrafo t de student.

$$k' = \frac{2(A_i - A_f)}{t(A_i + A_f)} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

donde:

A_i : absorbancia inicial

A_f : absorbancia final

t: tiempo de medición entre A_i y A_f (s)

Desinfección microbiológica

Se realizaron varios retos microbiológicos, que consistieron en la inoculación en aguas de acueducto de cuatro cepas por separado:

Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853, *Streptococcus fecalis* ATCC 10541, *Escherichia Coli* ATCC 10536, *Salmonella tiphimurium* (aislamiento clínico) y heterótrofos totales, se utilizó un tanque de 50 L de capacidad como reservorio, ubicado aproximadamente a 10 m de altura para obtener suficiente presión de agua en la entrada del equipo. Las concentraciones iniciales de los microorganismos oscilaron entre 10^2 y 10^4 UFC/mL, siendo superiores a las que se pueden encontrar habitualmente en el agua potable. Los retos se realizaron en diferentes centros: Centro de Investigaciones del Ozono, Departamento de Contaminación Ambiental del CNIC, e Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología del Ministerio de Salud Pública.

Para la toma de muestras se consideró como tiempo cero el que correspondía con el llenado completo del frasco de muestra de 500 mL. El tiempo de treinta minutos correspondió a la muestra que se tomó cuando habían transcurrido treinta minutos de haberse llenado el frasco de 500 mL, lo que consideró un tiempo de contacto de media hora entre el ozono disuelto y el microorganismo presente en el agua. Se realizaron tres réplicas por punto.

Resultados y discusión

Efecto de la presión del agua de entrada en los equipos sobre el flujo de agua y de gas

Los resultados evidencian que los equipos entregan un flujo adecuado

Figura 3. Variación en el tiempo de la concentración de ozono en el gas para las tres presiones de entrada de agua

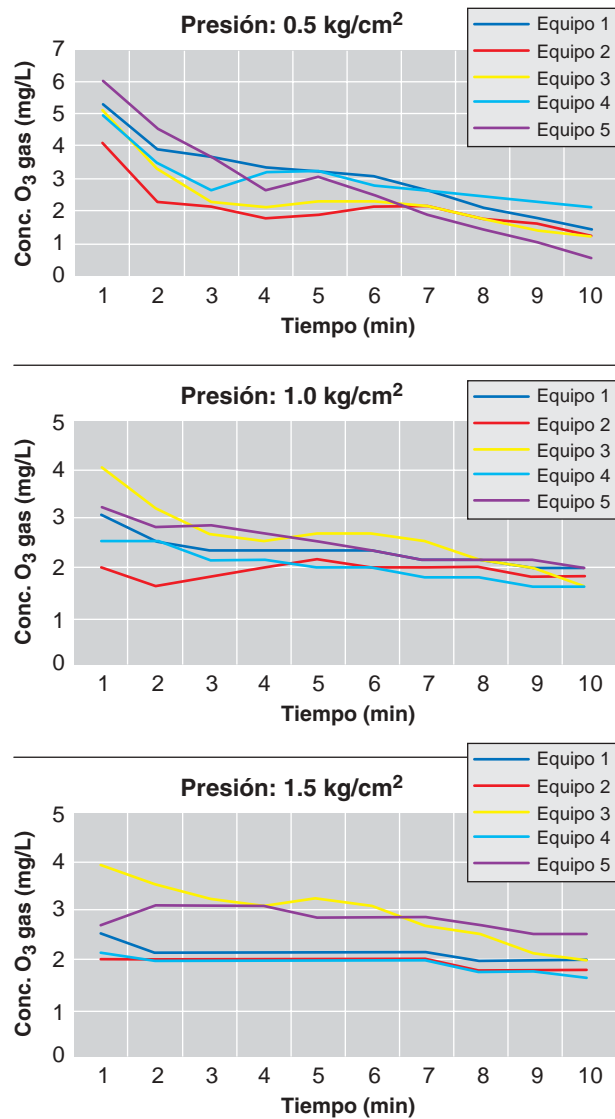


Tabla 2. Constante de consumo de ozono disuelto (k') (s^{-1}) a diferentes temperaturas, pH = 7

Parámetro estadístico	Temperatura del agua °C					
	20	-	25	25	-	30
Media	$9,19 \cdot 10^{-4}$		$14,15 \cdot 10^{-4}$	$14,15 \cdot 10^{-4}$		$23,73 \cdot 10^{-4}$
Varianza (S^2)	$8,95 \cdot 10^{-9}$		$1,41 \cdot 10^{-8}$	$1,41 \cdot 10^{-8}$		$7,50 \cdot 10^{-8}$
Desviación estándar (S)	$9,46 \cdot 10^{-5}$		$1,19 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$		$2,74 \cdot 10^{-4}$
Error absoluto (E_a)	$9,93 \cdot 10^{-5}$		$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$		$2,53 \cdot 10^{-4}$
Error relativo (d)	8,80 %		8,80 %	8,80 %		10,67 %
F calculada	1,574		5,322		8,375	
F tabla	5,050		4,950		4,950	
t calculada	8,003		8,378		13,156	
t tabla	2,228		2,469		2,462	
Diferencias significativas	sí		sí		sí	

n = 11, p = 0,05

de agua ozonizada para uso doméstico (Tabla 1).

Análisis del efecto del aumento de la temperatura del agua sobre la concentración de ozono disuelto.

Para determinar este efecto, se determinó el valor de la constante de consumo de ozono en el agua (k) a tres temperaturas, empleando una misma muestra de agua, a pH constante e igual a 7 (Tabla 2). Al aumentar la temperatura del agua en 5°C, la constante de consumo de ozono aumenta entre 1,6 y 1,7 veces. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los valores de k obtenidos, lo que significa que en el intervalo de temperaturas en el que se ha evaluado el equipo, el aumento en la temperatura del agua de entrada influye negativamente en la cantidad de ozono que se disuelve.

Caracterización de la concentración de ozono en el gas

Se observó que las mayores concentraciones de ozono en el gas se obtienen durante el primer minuto de ozonización (entre 2 y 6 mg/

Tabla 3. Tasa de concentraciones de ozono en el líquido y el gas para presión de 1 kg/cm² y temperatura 30°C

t (min)	CO _{3g} /CO _{3L}				
	Equipo				
	1	2	3	4	5
1	7,95	7,22	13,41	6,73	7,80
3	6,60	6,32	8,31	5,32	6,60
5	6,79	8,52	8,87	4,53	6,70
7	6,66	13,00	6,22	4,78	5,76
10	6,09	12,64	7,62	5,00	4,53

L), luego ocurre una disminución paulatina en este valor durante el tiempo de ensayo (Figura 3). Esto se debe a que el equipo no dispone de sistema de enfriamiento del tubo generador, lo que provoca que el aire que circula por su interior se caliente progresivamente (debido al alto voltaje aplicado) y por tanto disminuye la concentración de ozono en el transcurso del tiempo, por descomposición térmica del gas.

Caracterización de la concentración de ozono en el líquido

En cuanto a la concentración de ozono en el líquido (Figura 4), se observa que los mayores valores se obtienen para las presiones superiores a 1 kg/cm². La posterior disminución observada en el tiempo es atenuada y permite que en todos los casos, el valor final sea superior a 0,2 mg/L, con lo que se cumple con la norma establecida por la International Bottled Water Association (IWBA) de mantener una concentración entre 0,2 a 0,4 mg/L de ozono en el líquido antes de envasarse.¹⁸⁻¹⁹

La tasa que relaciona la concentración promedio de ozono en el gas con respecto a la del líquido para presión de entrada de agua igual a 1 kg/cm² se representa en la Tabla 3 .

Es de señalar que en general los valores de tasas observados muestran una adecuada incorporación del ozono de la fase gaseosa a la líquida, considerando que la temperatura promedio del agua fue de 30°C.

El análisis estadístico realizado a las concentraciones de ozono disuelto, para las tres presiones de agua estudiadas en los cinco equipos, se presenta en la Tabla 4. El análisis de los resultados demostró que no existían diferencias significativas entre las concentraciones de ozono disuelto obtenidas para las presiones de agua de 1 y 1,5 kg/cm², siendo significativa la diferencia al compararse con la presión de 0,5 kg/cm².



El tiempo óptimo de funcionamiento continuo de los equipos resultó ser de 10 min, con los cuales se pueden obtener alrededor de 10 litros de agua ozonizada. Es necesario un período de descanso de los equipos antes de volverse a conectar de por lo menos 15 min, esto se debe a que el equipo no dispone de sistema de enfriamiento propio.

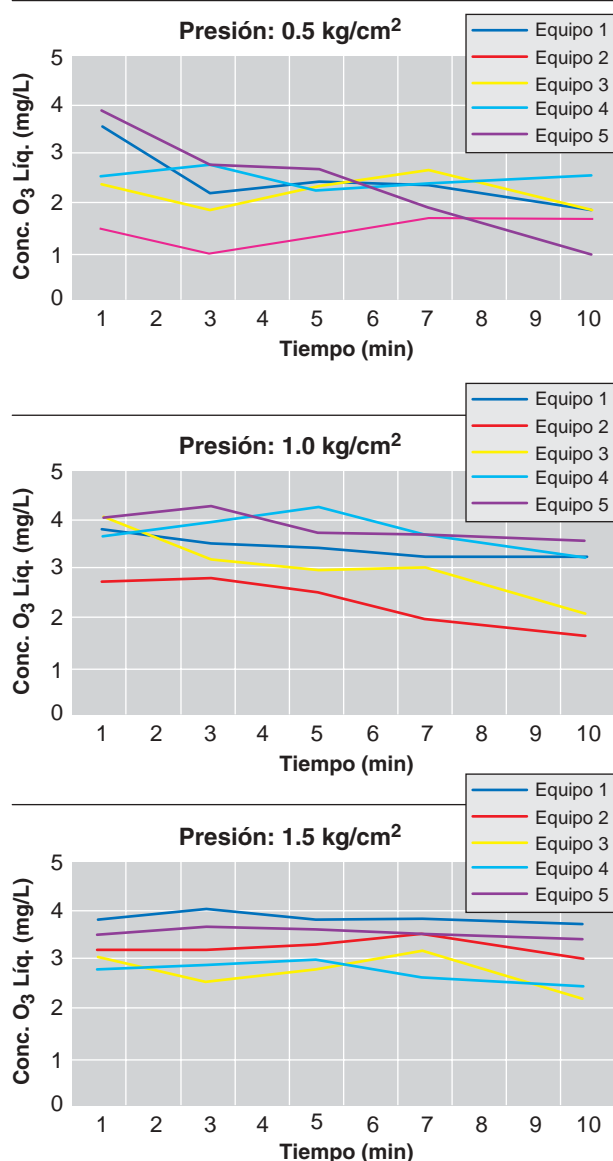
Evaluación microbiológica

Durante las pruebas microbiológicas se verificó que las concentraciones de ozono disuelto fueron superiores a 0,3 mg/L en el momento del llenado de los frascos, con lo que se cumplió con lo establecido por la norma de la International Bottled Water Association (IWBA).^{18,19}

En todos los casos se obtuvo una eliminación importante de los microorganismos presentes (Tabla 5), siendo total para los últimos cuatro microorganismos, a los 30 min de envasada el agua, y de más de un 99 por ciento para los Heterótrofos totales, lo que permite cumplir con la norma cubana de agua potable para estos microorganismos.²⁰ Considerando que las concentraciones iniciales de microorganismos con que se realizaron los retos, son elevadas y características de aguas con gran contaminación microbiológica, el resultado obtenido es muy positivo, con una eficiencia de tratamiento muy elevada. Se puede afirmar que con estos equipos se garantiza un agua de excelente calidad en el punto final de uso, frente a posibles contaminaciones microbiológicas de aguas de acueducto que no fueron suficientemente tratadas o que

pueden recibir una posterior recontaminación antes de llegar a los usuarios.

Figura 4. Variación en el tiempo de la concentración de ozono en el líquido para tres presiones de entrada de agua, en los cinco equipos, a T = 30°C, pH = 6.95



Conclusiones

1. Las mejores condiciones de operación del equipo se obtienen para presiones de agua superiores a 1 kg/cm², ya que a presiones inferiores las concentraciones de ozono disuelto son estadísticamente diferentes de las obtenidos con esta presión.

2. Los niveles de concentración de ozono disuelto fueron suficientes para obtener un 100 por ciento de desinfección para *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp y *Streptococcus faecalis* y una desinfección superior al 99 por ciento para los Heterótrofos totales, en todos los casos después de 30 min de envasada el agua.

3. Con estos equipos ozonizadores (funcionando con las condiciones de operación recomendadas), se puede obtener un volumen de agua adecuado para uso domestico con excelente calidad microbiológica, lo que permite eliminar la necesidad de hervir el agua o añadir cloro antes de consumirla.

Bibliografía

- U.S. Environmental Protection Agency. National primary drinking water regulations, filtration, disinfection, turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, *Legionella*, and heterotrophic bacteria; Final Rule, Federal Register 54 (124): 27485, 1989.
- Roustan M., Stambolieva Z., Duguet J.P., Wable O. and Mallevalle J. Research note: Influence of hydrodynamics on *Giardia* cyst inactivation by ozone. Study by kinetics and by "CT" approach. *Ozone Science & Engineering*, 13, 451, 1991.

Tabla 4. Análisis estadístico realizado a las concentraciones de ozono disuelto, para las tres presiones de agua, en los cinco equipos estudiados

Parámetro estadístico	Presiones de agua (kg/cm ²)								
	0,5	–	1,0	0,5	–	1,5	1,0	–	1,5
Media (mg/L)	0,22		0,33	0,22		0,32	0,33		0,32
Varianza (S ²)	0,005		0,006	0,005		0,002	0,006		0,002
Desviación estándar (S)	0,07		0,08	0,07		0,05	0,08		0,05
Error absoluto (E _a)	0,029		0,033	0,029		0,019	0,033		0,019
Error relativo (d)	12,81 %		9,85 %	12,81 %		5,87 %	9,85 %		5,87 %
F calculada	1,285			2,293			2,946		
F tabla	1,980			1,980			1,980		
t calculada	5,053			5,943			0,394		
t tabla	2,000			2,064			2,064		
Diferencias significativas	sí			sí			no		

n = 48, p = 0,05

Tabla 5. Resultados obtenidos en el reto microbiológico realizado a las aguas al ser tratadas con el ozonizador doméstico

Microorganismos	UFC/mL				
	Inicial	0 minuto	% eliminación	30 minutos	% eliminación
Heterótrofos totales	9 300	—	—	19	99,79
	6 400	115	98,20	16	99,75
	5 755	16	99,72	7	99,88
	4 690	46	99,02	29	99,38
	3 023	80	93,75	18	99,40
	2 036	27	98,67	15	99,26
	1 695	16	00,05	8	99,52
	760	—	—	0	100
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	825	235	71,52	0	100
	580	—	—	0	100
	350	—	—	0	100
	134	34	74,63	0	100
	25	6	76	0	100
<i>Escherichia coli</i>	1 600	1 500	6,25	0	100
<i>Salmonella</i> spp	20 000	200	99	0	100
<i>Streptococcus faecalis</i>	20 000	200	99	0	100

3. Finch G.R., Black E.K. and Gyüreck L. Ozone disinfection of *Giardia* and *Cryptosporidium*. American Water Works Association Research Foundation, American Water Works Association, Denver, 1994.
4. Overbeck P.K. Regulatory environment impact on small systems. 14th Ozone World Congress, Michigan, 1, 259-261, 1999.
5. Bataller M. Determinación de parámetros de diseño en columnas de burbujeo. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Málaga, España, 1995.
6. DeMarini D.M., Abu-Shakra A., Felton C.F., Patterson K.S. and Shelton M.L. Mutation Spectra in Salmonella of Chlorinated, Chloraminated or Ozonated Drinking Water Extracts: Comparison to MX. Environmental and Molecular Mutagenesis, 26, 270, 1995.
7. Rice R.G. Chemistries of ozone for pools and spa water treatment, Proceeding 9th Ozone World Congress, Vol 2, New York, 2, 390-401, 1989.
8. International Agency for Research on Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, chlorinated drinking water; chlorination by-products, some other halogenated compounds, Vol. 52. Lyon, 1991.
9. Huck P. and Anderson W.B. Pilot scale evaluation of ozone and other drinking water disinfection using mutagenicity testing. 8th Ozone World Congress, Zurich, Vol. 1, 29-35, 1987.
10. www.ozonic.com /drinksml.htm. 06/09/03.
11. www.promolife.com /products/ozoneh2o.htm. 06/09/03.
12. www.wellnesstools.com /Merchant2/merchant.mv. 06/09/03.
13. www.appliedozone.com /product.html. 06/09/03.
14. Fernández LA, Márquez A, Amador A, Lezcano I, Bataller M. Uso de eyectores para el tratamiento de agua potable. Revista CENIC Ciencias Químicas, 29, 71, 1997.
15. NC 92-09 / 1979. Selección de muestras aleatorias. Comité Estatal de Normalización. Cuba.
16. Bader H. y Hoigné J. Determination of ozone in water by the indigo method. Water Research, 15, 419, 1981.
17. Bataller M. Caracterización de columna de burbujeo para el tratamiento de agua con ozono. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. 2000.
18. www.bottledwater.org . International Bottled Water Association (IWBA).
19. Mork D., Tecnología en la generación de ozono. Pasado, presente y futuro. Conferencia regional, IOA, Ciudad México, 4, 2002.
20. NC 93-02 / 1985. Agua Potable, Requisitos Sanitarios y Muestreo. Comité Estatal de Normalización. Cuba.

Datos de los autores

M. Sc. Eliet Véliz Lorenzo. Master en Ingeniería en Saneamiento Ambiental, Investigador Agregado con 8 años de experiencia en el diseño y evaluación de sistemas de tratamiento de aguas con ozono. E-mail: ozono@infomed.sld.cu

Dra. Lidia Asela Fernández García. Doctora en Ciencias Técnicas, Investigadora Titular con 20 años de experiencia en el campo de las aplicaciones tecnológicas del ozono. Jefa del Departamento de Tecnologías de tratamiento con ozono. E-mail: asela.fernandez@cnic.edu.cu

Dra. Mayra Bataller Venta. Doctora en Ciencias Técnicas, Investigadora Titular con 20 años de experiencia en el campo de las aplicaciones tecnológicas del ozono en el tratamiento de aguas. Jefa del Laboratorio del Tratamiento de Agua. E-mail: mayra.bataller@cnic.edu.cu

Ing. Adolfo Amador Fernández. Ingeniero mecánico con 20 años de experiencia en construcción y desarrollo de equipos generadores de ozono y en el montaje de sistemas de tratamiento de agua con ozono. E-mail: ozono@infomed.sld.cu

Dr. Carlos Hernández Castro. Doctor en Ciencias Químicas, Investigador Titular con más de 25 años de experiencia en investigaciones relacionadas con la cinética de reacciones químicas y la Química Física. Miembro del Tribunal Permanente de Grados Científicos (Química). E-mail: carlos.hernandez@cnic.edu.cu

Ing. Carlos Pérez Gómez. Ingeniero en controles automatizados de dirección con 15 años de experiencia en diseño electrónico y construcción de equipos generadores de ozono de baja, media y alta frecuencia, además en la automatización de sistemas de tratamiento de aguas con ozono. E-mail: ozono@infomed.sld.cu

Lic. Irán Fernández Torres. Licenciado en microbiología con 4 años de experiencia en cinéticas de inactivación de microorganismos con ozono. E-mail: ozono@infomed.sld.cu

Centro de Investigaciones del Ozono (Centro Nacional de Investigaciones Científicas). Dirección: Avenida 15 y calle 230, # 1313, Siboney, Playa, C. Habana, Cuba. CP: 6904. Teléfono: (537) 271-1157, 271-2089. Fax: (537) 271-0233. E-mail: evelizl@yahoo.es, asela.fernandez@cnic.edu.cu

¿Busca empleo?

¿Su negocio está a la venta?

¿Ofrece o busca un servicio?

¡Anúncielo en la sección de Anuncio Clasificado de *Agua Latinoamérica!*

US \$1.25 por palabra, mínimo US \$55.00

Anuncios clasificados estilizados US \$60.00

por pulgada de columna

info@agualatinoamerica.com

+1(520) 327-6469