

Vol. 8 N° 2 • julio - diciembre 2018



REMOCIÓN DE PATÓGENOS DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL TRATADA UTILIZANDO PROCESOS DE DESINFECCIÓN CON CLORACIÓN Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Removal of treated municipal waste pathogens using disinfection processes with chlorination and ultraviolet radiation

Yesenia Dávila¹, Nancy Angulo², Alida Beltrán², Penelope Melo² e Ismenia Araujo²

Estudiante del Postgrado de Ingeniería, programa Ciencias del Ambiente, Universidad del Zulia¹. Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo-Venezuela².
ainesity_222@hotmail.com

RESUMEN

El agua es un recurso vital para el desarrollo de la vida y de las actividades cotidianas del ser humano. Su disponibilidad disminuye en gran medida debido al consumo, como producto del incesante crecimiento poblacional, generando grandes cantidades de agua residual, ya sean de origen doméstico o industrial. Este hecho ha llevado a la implementación de tecnologías que permitan aprovechar el uso de las aguas residuales. El objetivo de esta investigación fue comparar dos sistemas de desinfección: cloro y radiación ultravioleta en aguas residuales municipales tratadas por un sistema biológico combinado. En la aplicación del sistema de desinfección con cloro, los tratamientos fueron de 10, 30 y 40 mg/L de cloro con tiempos de contacto entre 20 y 30 min; para la desinfección con radiación UV, el agua se sometió a diferentes potencias (30, 45 y 60 vatios) y tiempos de exposición de 420 y 600 s. Se realizó una caracterización al agua tratada en relación a sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Después de la aplicación de la desinfección los parámetros fisicoquímicos presentaron cambios muy leves. En el caso de los parámetros microbiológicos para cloro el mejor tratamiento fue

el tratamiento 6 (40 mg/L Cl- 30 min), presentando una reducción considerable en la densidad de los microorganismos. Para radiación UV el mejor tratamiento fue el 5 (60000 mW-420s), mostrando una baja remoción de microorganismos patógenos, Por lo tanto, el mejor sistema de desinfección fue el de cloro.

Palabras clave: desinfección, cloro, radiación ultravioleta, patógenos.

ABSTRACT

Water is a vital resource for the development of life and the daily activities of the human being. Its availability decreases greatly due to consumption, as a result of the constant population growth, generating large amounts of wastewater, whether domestic or industrial. This fact has led to the implementation of technologies that allow to take advantage of the use of wastewater. The objective of this research is to compare two systems of disinfection: chlorine and ultraviolet radiation in municipal wastewater treated by a combined biological system. In the application of the chlorine disinfection system, the treatments were 10, 30 and 40 mg / L of chlorine with contact

times between 20 and 30 min; for disinfection with UV radiation, the water was subjected to different powers (30, 45 and 60 watts) and exposure times of 420 and 600 s. A characterization of treated water was carried out in relation to its physicochemical and microbiological parameters. After the application of disinfection, the physicochemical parameters showed very slight changes. In the case of microbiological parameters for chlorine the best treatment was treatment 6 (40 mg / L Cl-30 min), presenting a considerable reduction in the density of microorganisms. For UV radiation the best treatment was 5 (60000 mW-420s), showing a low removal of pathogenic microorganisms. Therefore, the best disinfection system was chlorine.

Keywords: Disinfection, chlorine, ultraviolet radiation, pathogens.

INTRODUCCIÓN

El agua representa uno de los recursos naturales más importante para la vida del ser humano, empleada para el consumo, aseo, uso doméstico, industrial y comercial, su extenso uso genera la disminución de su disponibilidad como recurso.

En el marco más general, la situación preocupante del consumo del agua es provocada por el crecimiento acelerado de la demanda impulsada por el aumento de la población y el creciente desarrollo económico y concentración urbana, lo que potencia las exigencias para satisfacer sus distintos usos, sean éstos los relacionados con los requerimientos básicos para la vida, la producción de alimentos, la higiene, la conservación del ambiente natural o el desarrollo en su sentido más amplio y porque al mismo tiempo empiezan a encontrarse limitaciones en la oferta de los recursos hídricos desde el punto de vista de cantidad y calidad del agua. Cisneros y Tundisi, (2012).

Los impactos que causan estas aguas residuales podrían ser minimizados mediante la implementación de mecanismos multi-barreras que consideren riesgos aceptables basados en metas de salud. Dichos mecanismos tienen que ver con la implementación de plantas de tratamiento de agua residual, métodos de aplicación de riego, restricción de cultivos, manejo de alimentos regados con aguas residuales domésticas tratadas, y aplicación de inmunizaciones en algunos casos. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, (2013).

Esta situación ha llevado a la búsqueda de alternativas que permitan aprovechar el agua residual,

mediante su reúso para diversos fines; esto ha permitido el desarrollo de investigaciones relacionadas a los diferentes tratamientos de agua residual para la reutilización de las mismas.

Evaluar la remoción de microorganismos patógenos en tratamientos de desinfección con cloro y con radiación ultravioleta en aguas residuales municipales tratadas por un sistema combinado de tratamiento biológico.

METODOLOGÍA

La unidad de estudio experimental consistió en un sistema de desinfección utilizando cloro, ubicado en el Centro de Investigación del Agua (CIA) perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Se empleó agua residual municipal tratada con un sistema combinado de tratamiento biológico, compuesto por un reactor anaerobio de doble cámara (RADCA), sistema de aireación de cascada (SAC) y un filtro biológico (FB), proveniente del colector C de la ciudad de Maracaibo.

Se realizó una caracterización inicial del agua residual municipal tratada, con el fin de determinar su calidad bacteriológica, cuantificando las bacterias patógenas (*Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*), según la metodología establecida en el Método Estándar (Tabla 1). Para ello se capturaron muestras del agua proveniente del sistema de tratamiento biológico, específicamente del filtro biológico, durante un tiempo de 10 meses para un total de 8 caracterizaciones.

Tabla 1. Métodos utilizados en la caracterización bacteriológica del agua residual tratada

Variable Microbiológica	Método*	Número
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Técnica de tubos múltiples	9213F
<i>Salmonella sp.</i>	Técnica de tubos múltiples	9260B
<i>Shigella sp.</i>	Técnica de tubos múltiples	9260B
<i>Vibrio cholerae</i>	Técnica de tubos múltiples	9260H

*APHA, AWWA y WEF. (2012).

Fuente: Elaboración propia (2017).

El diseño experimental consistió en la aplicación de 6 tratamientos con cloro, empleando tres réplicas respectivamente (R1, R2, R3). Se utilizaron tres

diferentes dosis de cloro (10, 20 y 30 mg/L), cada una con dos tiempos de contacto distintos (20 y 30 min) y 6 tratamientos con radiación UV, empleando 3 intensidades (30, 45 y 60 vatios) y utilizando tiempos de exposición de 420 y 600 s. (Tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos de desinfección con cloro y radiación UV

	Tratamiento Cloro	Tratamiento UV
T1	Dosis: 10 mg/L Tiempo de exposición: 20 min	Intensidad: 30000mW Tiempo de exposición 420 s
T2	Dosis: 10 mg/L Tiempo de exposición: 30 min	Intensidad: 30000mW Tiempo de exposición 600 s
T3	Dosis: 30 mg/L Tiempo de exposición: 20 min	Intensidad: 45000mW Tiempo de exposición 420 s
T4	Dosis: 30 mg/L Tiempo de exposición: 30 min	Intensidad: 45000mW Tiempo de exposición 600 s
T5	Dosis: 40 mg/L Tiempo de exposición: 20 min	Intensidad: 60000mW Tiempo de exposición 4200 s
T6	Dosis: 40 mg/L Tiempo de exposición: 30 min	Intensidad: 60000mW Tiempo de exposición 600 s

Fuente: Elaboración propia (2017).

RESULTADOS

Caracterización del agua residual municipal tratada

El agua residual municipal tratada presenta altas concentraciones de microorganismos patógenos, aunque en la normativa venezolana no se mencione un límite máximo permisible, su presencia en agua debería ser nula, debido a que estos causantes de enfermedades, lo cual amerita que sea aplicado un tratamiento de desinfección (Tabla 3).

Puede observarse la variabilidad en las concentraciones de estos microorganismos durante los muestreos (desde ausentes hasta >1600 NMP/100mL), debido a que la disposición del agua residual municipal es muy heterogénea, es por esto que en algunos muestreos los géneros *Salmonella* y *Shigella* están ausentes. Tondera *et al.*, (2015), encontraron concentraciones bajas de *Salmonella* en el flujo de entrada de agua municipal en comparación con las otras bacterias medidas. Los valores de flujo de salida fueron 1 o <1 NMP/100mL.

Tabla 3. Caracterización bacteriológica del agua residual tratada

Microorganismos	Muestrs							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Pseudomonas</i> (NMP/100mL)	>1600	1600	433	433	1600	170	350	62
<i>Salmonella</i> (NMP/100mL)	430	59	>1600	>1600	280	0	0	430
<i>Shigella</i> (NMP/100mL)	430	64	>1600	>1600	1600	0	0	430
<i>Vibrio</i> (NMP/100mL)	280	52	>1600	>1600	555	13	45	64

Fuente: Elaboración propia (2017).

Desinfección con cloro del agua residual municipal tratada

En la tabla 4, se observa que para *Salmonella sp.* El tratamiento 6 comparado con los tratamientos 1 y 2 fue el que mejor resultado presentó, pasando de una densidad de $1,6 \times 10^4$ a 4 NMP/100

mL, obteniendo una reducción de 4 unidades logarítmicas. Así como, para *Shigella sp.* También el tratamiento 6 comparado con los tratamientos 1 y 2 fue el que mejor resultado presentó, pasando de una densidad de $1,6 \times 10^4$ a 7,7 NMP/100 mL, obteniendo una reducción de 4 unidades logarítmicas. El tratamiento 6 presentó diferencia significativa

tanto para *Salmonella* como para *Shigella*. Los tratamientos 3, 4 y 5 no pueden ser comparados, ya que ambos microorganismos no se presentaron en la muestra de entrada al sistema de desinfección, esto debido a que el agua residual es muy variada en su composición y la presencia de patógenos no siempre se encuentra en la misma.

Un estudio realizado por Jiménez et al., (2001) mostraron resultados en la desinfección con cloro de una agua residual de *Salmonella* sp. La cual pasó de $5,0 \times 10^8$ NMP/100 mL hasta por debajo del límite de detección, esto utilizando una concentración de cloro baja, de 12 mg/L, en comparación con la utilizada en la presente investigación, pero con un mayor tiempo de contacto de 3 horas.

En el caso de *Vibrio cholerae*, los tratamientos 3, 4, 5 y 6 son los que presentan diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos y presentan mejores resultados, pasando de una densidad poblacional de $1,6 \times 10^4$ a < 1 NMP/100

mL, para los tratamientos 3 y 4; de $1,6 \times 10^4$ a 4 NMP/100 mL para el tratamiento 5 y de 220 a < 1 NMP/100 mL

Por consiguiente, este microorganismo presenta una menor resistencia al cloro en comparación con los indicadores de contaminación fecal; no se puede comparar con los patógenos *Salmonella* y *Shigella* ya que no se obtuvieron valores para estos en los tratamientos 3, 4 y 5. Para *Pseudomonas aeruginosa* el tratamiento 5 fue el que mejor resultado mostró, pasando de una densidad poblacional de $1,6 \times 10^3$ a 4 NMP/100 mL, reduciendo 3 unidades logarítmicas y presentando diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos. Un estudio similar, realizado por Jiménez et al., (2001) en el cual se usó una menor concentración de cloro, pero un mayor tiempo de contacto, se observó que *Pseudomonas aeruginosa* pasó de $2,0 \times 10^5$ NMP/100 mL hasta por debajo del límite de detección.

Tabla 4. Densidad de bacterias patógenas en los tratamientos de desinfección con cloro.

Microorganismos (NMP/100 mL)		Tratamientos					
		10 mg/L Cl 20 min	10 mg/L Cl 30 min	30 mg/L Cl 20 min	30 mg/L CL 30 min	40 mg/L Cl 20 min	40 mg/L Cl 30 min
<i>Salmonella</i> sp	ME	4,3E+02	5,9E+01	Ausentes	Ausentes	Ausentes	1,6E+04
	Promedio	5,1E+01	3,0E+01	Ausentes	Ausentes	Ausentes	4,0E+00
	DE	9,2E+00	2,7E+01	Ausentes	Ausentes	Ausentes	2,3E+00
<i>Shigella</i> sp.	ME	4,3E+02	6,4E+01	Ausentes	Ausentes	Ausentes	1,6E+04
	Promedio	2,3E+02	5,7E+01	Ausentes	Ausentes	Ausentes	7,7E+00
	DE	3,1E+01	8,7E+00	Ausentes	Ausentes	Ausentes	6,1E+00
<i>Vibrio cholerae</i>	ME	2,8E+02	5,2E+01	1,6E+04	1,6E+04	1,6E+04	220
	Promedio	2,0E+01	5,0E+01	1,0E+00	1,0E+00	4,0E+00	1,0E+00
	DE	1,0E+01	4,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ME	1,6E+04	1,6E+03	4,5E+01	4,5E+01	1,6E+03	1,7E+02
	Promedio	9,1E+02	2,4E+02	5,6E+00	3,1E+00	4,0E+00	3,2E+00
	DE	1,2E+01	1,8E+02	0,0E+00	2,2E+00	3,2E+00	2,0E+00

Fuente: Elaboración propia (2017).

Desinfección con radiación UV del agua residual municipal tratada

En la tabla 5, se observa que para *Salmonella* sp. El tratamiento 5 presentó mejores resultados

pasando de $1,6 \times 10^4$ a 11 NMP/100 mL reduciendo 3 unidades logarítmicas y presentando diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos. Mientras que los demás tratamientos no redujeron ninguna unidad logarítmica y los tratamientos

3, 4 y 6 no pudieron evaluarse debido a la ausencia de estos microorganismos en el agua residual municipal tratada. Un estudio realizado por Tondera et al., (2015) presentaron una reducción para *salmo-*

nella de 1,5 unidades logarítmicas en un reactor UV consistió en tres bancos con 12 lámparas UV, cada uno con una potencia de 150 W de salida UVC a 254 nm.

Tabla 5. Densidad de bacterias Patógenas en los tratamientos de desinfección con radiación ultravioleta

Microorganismos (NMP/100 mL)		Tratamientos					
		30000mW 420 s	30000mW 600 s	45000 mW 420 s	45000mW 600 s	60000 mW 420 s	60000 mW 600 s
<i>Salmonella</i> sp	ME	5,9E+01	4,3E+02	0,0E+00	0,0E+00	1,6E+04	0,0E+00
	Promedio	2,6E+01	2,2E+02	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+01	0,0E+00
	DE	2,1E+01	2,1E+02	0,0E+00	0,0E+00	8,9E+00	0,0E+00
<i>Shigella</i> sp	ME	5,9E+01	4,3E+02	0,0E+00	0,0E+00	1,6E+04	0,0E+00
	Promedio	2,6E+01	1,7E+01	0,0E+00	0,0E+00	3,3E+01	0,0E+00
	DE	8,1E+00	2,4E+02	0,0E+00	0,0E+00	6,5E+00	0,0E+00
<i>Vibrio cholerae</i>	ME	5,2E+01	4,7E+01	1,6E+04	1,6E+04	2,3E+01	1,6E+04
	Promedio	3,7E+01	1,9E+01	1,1E+04	5,0E+01	1,3E+01	1,6E+04
	DE	1,2E+01	2,1E+00	9,2E+03	5,2E+01	7,5E+00	0,0E+00
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ME	1,6E+04	1,6E+04	1,6E+03	9,0E+02	1,7E+02	5,4E+01
	Promedio	5,5E+02	2,7E+02	4,6E+01	1,4E+01	2,4E+01	2,1E+01
	DE	9,1E+02	2,1E+02	4,4E+01	2,5E+00	4,0E+00	1,2E+01

Fuente: .Elaboración propia (2017).

Para *Shigella* sp el tratamiento 5 presentó mejores resultados pasando de $1,6 \times 10^4$ a 33 NMP/100 mL reduciendo 3 unidades logarítmicas y presentando diferencias significativas en relación a los demás tratamientos. Mientras que el tratamiento 2 solo redujo 1 unidad logarítmica y el tratamiento 1 no redujeron alguna unidad logarítmica, al igual que para salmonella los tratamientos 3, 4 y 6 no pudieron ser evaluados

En el caso de *Vibrio cholerae* no se llegó a reducir alguna unidad logarítmica del microorganismo. Para *Pseudomonas aeruginosa* todos los tratamientos redujeron unidades logarítmicas, siendo el 1, 2 y 3 los que mejores resultados presentaron reduciendo 2 unidades, pasando de $1,6 \times 10^4$ a $5,5 \times 10^2$ NMP/100 mL, de $1,6 \times 10^4$ a $2,7 \times 10^2$ NMP/100 mL y de $1,6 \times 10^3$ a $4,6 \times 10^1$ NMP/100 mL respectivamente. Mientras que los demás tratamientos evaluados solo redujeron 1 unidad logarítmica. Comparando con un estudio realizado por Hassen et al. (2000) en un sistema piloto de UV mostraron que con una dosis de 108

mW-s/cm² la reducción de *Pseudomona aeruginosa* siempre era inferior a 1,1 unidades logarítmicas. También Tondera et al.,(2015) presentaron una reducción para *Pseudomonas aeruginosa* de 2,3 unidades logarítmicas, en un reactor UV consistió en tres bancos con 12 lámparas UV, cada uno con una potencia de 150 W de salida UVC a 254 nm.

CONCLUSIONES

El agua residual municipal procedente de un tratamiento biológico combinado, presentó altas concentraciones de microorganismos, lo cual ameritó la aplicación de un tratamiento de desinfección.

La mayor eficiencia en la remoción de microorganismos patógenos del agua residual municipal tratada se obtuvo en los tratamientos de desinfección con cloro, siendo la dosis óptima y el tiempo de contacto de 40mg de cloro durante 30 minutos, en comparación con los tratamientos de desinfección con radiación UV, donde se consiguió la mayor remoción de microorganismos en el tratamiento

5, con una intensidad y tiempo de exposición de 60000 mW-420s; sin embargo, los resultados no fueron significativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA y WEF. (2012) Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Edition. Washington DC. USA.
- Cisneros B. y Tundisi J. (2012). Diagnóstico de agua en las américas. Mexico.
- Hassen, Abdennaceur; Mahrouk, Meryem; Ouzari, Hadda; Cherif, Mohamed; Boudabous, Abdellatif; Damelincourt, Jean Jacques (2000). UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. *Bioresource Technology*. Volume 74, Issue 2, September, pp. 141-150.
- Jiménez, B; Chávez, A; Maya, C; Jardines, L. (2001). Removal of microorganisms in different stages of wastewater treatment for Mexico City. *Water Sci Technol*. 43(10), pp. 155-62.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2013). Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. Bolivia.
- Tondera K., Klaera K., Gebhardt J., Wingender J., Koch C., Horstkott M., Strathmanne M., Jurzik L., Hamzaf I., Pinnekampa J. (2015). Reducing pathogens in combined sewer overflows using ozonation or UV irradiation. Germany.