

COMPARACIÓN DE EFECTIVIDAD EN REMOCIÓN DE PATÓGENOS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS Y TRATAMIENTOS FÍSICOS POR RADIACIÓN UV

COMPARISON OF EFFECTIVENESS IN REMOVAL OF PATHOGENS FROM DOMESTIC WASTEWATER WITH BIOLOGICAL TREATMENTS AND PHYSICAL TREATMENTS BY UV RADIATION

Vera-Marmanillo, Verónica Isela

Verónica Isela Vera-Marmanillo
vveram@uandina.edu.pe
Universidad Andina del Cusco., Perú

Revista sinergia
Colegio Mayor de Antioquia, Colombia
ISSN-e: 2665-1521
Periodicidad: Semestral
núm. 9, 2021
revista.sinergia@colmayor.edu.co

Recepción: 20 Febrero 2021
Aprobación: 15 Mayo 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/675/6753948004/>

Resumen: El presente artículo de investigación muestra la evaluación de la efectividad de la remoción de patógenos en aguas residuales domésticas con tratamientos biológicos mediante bacterias facultativas (consorcio de organismos) y tratamientos físicos mediante radiación ultravioleta, haciendo una comparación entre ambos tratamientos, mediante un alcance experimental. Para evidenciar lo suscrito, se tomó muestras del Rio Huatanay, río colector de los efluentes residuales de la ciudad del Cusco, (2000 ml para cada reactor), equipos de medición de parámetros fisicoquímicos de pH Temperatura, Electro conductividad, Oxígeno disuelto (Multiparámetro), turbidez (Turbidímetro), reactivos colorimétricos para DQO, bacterias facultativas y consorcio de organismos activados (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Saccharomyces cereviceae*) para tratamiento de aguas residuales (biomasa), 2 electrodos de radiación UV de 7watts y microscopio Amscope 2000x. Dentro de la metodología se hace referencia a la selección de parámetros biológicos (UFC-coliformes fecales) aplicación de modelos experimentales biológicos y físicos, evaluación y monitoreo de parámetros fisicoquímicos cada 3 días y biológicos a los 15 días para verificación de remoción de patógenos con ambos tratamientos. Resultados.

El proceso de oxidación avanzada nos permite evidenciar que los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron ligeramente estables en las mediciones consecutivas realizadas a los efluentes en tratamiento, donde se observa una diferencia en la disminución de turbidez, es en el reactor UV a diferencia del biorreactor, se evidencia el porcentaje de remoción de coliformes fecales en ambos tratamientos llegando al 89.04% con tratamiento físico en el reactor UV y al 85.54 % en el biorreactor, considerando ambas opciones eficientes en la remoción de patógenos y la generación de biosólidos es mínima en el biorreactor y casi nula en el reactor UV.

Palabras clave: bacterias facultativas, radiación ultravioleta, aguas residuales, tratamiento de aguas residuales..

Abstract: This paper show to the evaluating of the effectiveness of the removal of pathogens in domestic wastewater with biological treatments using facultative bacteria (consortium of organisms) and physical treatments using ultraviolet radiation, making a comparison between both treatments, through an experimental scope. To demonstrate what was signed, samples were taken from the Huatanay River, the collector river of the residual effluents of the city of Cusco, (2000 ml for each reactor), equipment for measuring physicochemical parameters of pH Temperature, Electroconductivity, Dissolved oxygen (Multiparameter), turbidity (Turbidimeter), colorimetric reagents for COD, facultative bacteria and consortium of activated organisms (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Saccharomyces cereviceae*) for wastewater treatment (biomass), 2 7watt UV radiation electrodes and Amscope 2000x microscope. Within the methodology, reference is made to the selection of biological parameters (CFU-fecal coliforms), application of biological and physical experimental models, evaluation and monitoring of physicochemical parameters every 3 days and biological parameters after 15 days to verify the removal of pathogens with both treatments. Results. The advanced oxidation process allows us to show that the physicochemical parameters remained slightly stable in the consecutive measurements carried out on the effluents under treatment, where a difference is observed in the reduction of turbidity, it is in the UV reactor unlike the bioreactor, it is evident the percentage of removal of fecal coliforms in both treatments reaching 89.04% with physical treatment in the UV reactor and 85.54% in the bioreactor, considering both efficient options in the removal of pathogens and the generation of biosolids is minimal in the bioreactor and almost null in the UV reactor.

Keywords: facultative bacteria, ultraviolet radiation, sewage water, treatment of sewage water..

INTRODUCCIÓN

Se estima que, en el orden mundial, más del 80 % de las aguas residuales e incluso más del 95 % en algunos países en desarrollo, son vertidas al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2017).

Actualmente, en la ciudad del Cusco los efluentes residuales generados por más de 400.000 cusqueños son depuradas por una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que basa su tratamiento principal en filtros percoladores y biodigestores para lodos, siendo una de las plantas más eficientes del Perú. La posibilidad de mejorar procesos de tratamiento de efluentes residuales nos lleva a plantear este trabajo de investigación a fin de evidenciar la eficacia de los tratamientos biológicos y físicos en la depuración.

El reúso de las aguas residuales depuradas no es precisamente una realidad, debido a que no se tiene un adecuado tratamiento de estas. Una propuesta totalmente óptima para la limpieza de estas aguas residuales son tratamientos físicos, químicos y biológicos según las características intrínsecas del agua residual. La radiación UV es una alternativa de desinfección de aguas residuales que mejora procesos depurativos y de desinfección evitando la generación de subproductos peligrosos como las cloraminas, los trihalometanos y otros compuestos orgánicos clorados que afectan la salud humana y el ambiente.

Los microorganismos son inactivados por la radiación UV-C como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos, debido a la inducción de la formación de dímeros de pirimidina que alteran las hélices de ADN y los bloques de replicación de las células microbianas, que destruyen la capacidad reproductiva y otras funciones de la célula. La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda, con los valores más altos cerca de 200 y 260 nm (Sonntag & Schuchmann, 1992).

La desinfección UV es efectiva para una amplia variedad de virus y bacterias con un rango de dosis menor que en el caso del cloro o el ozono. A diferencia de los desinfectantes químicos, las tasas de inactivación microbiana por UV no dependen del pH ni de la temperatura. (Wright & Cairns, 2008)

La propuesta experimental permitió evaluar la efectividad de los tratamientos biológicos con un consorcio de microorganismos facultativos para la remoción de patógenos presentes en los efluentes en comparación con los tratamientos físicos mediante la aplicación de radiación ultravioleta UV-C para el mismo objetivo, en el contexto de que la radiación UV tiene la característica de inactivar a los microorganismos patógenos a nivel de ADN, produciendo lesiones a nivel de material genético por medio de los compuestos que se ven vulnerables a absorber de manera directa los fotones.

Es entonces que a partir de los cambios foto inducidos, se desencadenan una serie de eventos a nivel molecular.

Las principales lesiones son consideradas directas y son dímeros formados por pirimidinas adyacentes. Los factores intrínsecos y extrínsecos como la longitud de onda y el tiempo de exposición a la radiación serán los factores que determinen dicha actividad a nivel genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo de Investigación se desarrolla íntegramente en la Universidad Andina del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, otorgando los derechos de autoría al CIAS - Círculo de Investigaciones Ambientales para la Sostenibilidad.

MATERIALES

Dentro de los materiales y equipos utilizados en el experimento son los siguientes: Muestras simples del río Huatanay del Cusco (2000ml para cada reactor), equipos de medición de parámetros fisicoquímicos de pH, Temperatura, Electroconductividad, Oxígeno disuelto (Multiparámetro), turbidez (Turbidímetro), reactivos colorimétricos para DQO, bacterias facultativas y consorcio de organismos activados (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Saccharomyces cereviceae*) para tratamiento de aguas residuales (biomasa), 2 electrodos de radiación UV de 7watts con una longitud de onda de 260nm y microscopio Amscope 2000x.

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La investigación tiene un alcance descriptivo. Se establece de acuerdo con la propuesta de protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (RM. 273-2013-vivienda), considerando la recolección de muestras simples, selección de parámetros biológicos, (UFC-coliformes fecales), selección de parámetros fisicoquímicos.

Aplicación del modelo experimental biológico por inoculación de un consorcio de microorganismos facultativos (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Saccharomyces cereviceae*) a concentración de 1.3×10^{10} UFC/g.

Evaluación y monitoreo de parámetros fisicoquímicos (Conductividad, DQO, Temperatura, Turbidez, pH, Oxígeno Disuelto) cada 3 días.

Evaluación y monitoreo de parámetros biológicos a los 15 días para verificación de remoción de patógenos con ambos tratamientos y determinación de remoción por análisis microbiológico en aguas en UFC de coliformes fecales.

La filtración y sedimentación fueron realizadas antes de proceder con la implementación de los tratamientos físico-biológicos, con el fin de favorecer la absorbancia de la luz UV por el ADN bacteriano y se realice un rompimiento de nucleótidos y dimerización del ADN, eliminando en línea base barreras físicas que impidan la absorbancia.

Las UFC determinadas en los procesos biológicos tanto en el tratamiento biológico de remoción de patógenos por un consorcio de microorganismos facultativos y en tratamiento físico de radiación UV, fueron contabilizadas por campo, luego de un barrido de siembra estratificado y aisladas por cuadrante

Se implementó 2 reactores, que contenían las muestras tomadas del río Huatanay para verificación de tratamientos, el primer reactor físico UV de elaboración propia con las siguientes características:

TABLA 1
Características del Reactor UV

Características	Especificaciones
Potencia del electrodo	7 watts
Intensidad de la corriente eléctrica	220 voltios
Frecuencia	60Hz
Longitud de onda	260nm
Vida media de funcionamiento	9000 horas
Medidas del reactor	30x15x15
Longitud del electrodo	185mm
Diámetro del electrodo	16 mm
Material del electrodo	Cristal de cuarzo

Fuente: Elaboración propia El segundo reactor biológico de elaboración propia con las siguientes características:

TABLA 1
Características del Reactor biológico

Características	Especificaciones
Medidas del reactor Bacterias facultativas y levaduras - inoculante biológico de alta concentración	30x15x15 Biomerck AR (<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Saccharomyces cereviceae</i>) 1.3×10^{10} UFC/g

Fuente: Elaboración propia

Se hizo la caracterización de los métodos analíticos y equipos de verificación de parámetros biológicos y fisicoquímicos, descritos a continuación:

TABLA 2
Métodos Analíticos

Parámetros	Unidades	Equipo - Método
Coliformes fecales	UFC x 10 ³	Placas con agar McConkey (Conteo de UFC)
Conductividad	mS/cm	Conductímetro
DQO	mg/l	Reactivo para DQO
Temperatura	°C	Termómetro
Turbidez	NTU	Turbidímetro
pH	Unidades de pH	pHmetro - potenciómetro
Oxígeno Disuelto	%	Electrodo de Oxígeno

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

LA DIMERIZACIÓN DEL ADN

Los microorganismos son inactivados por la radiación UV-C como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos, debido a la inducción de la formación de dímeros de pirimidina que alteran las hélices de ADN y los bloques de replicación de las células microbianas, que destruyen la capacidad reproductiva y otras funciones de la célula. La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda, con los valores más altos cerca de 200 y 260 nm (Sonntag & Schuchmann, 1992).

La radiación UV-C absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. Si bien la formación de dímeros de tiamina-timina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina, citosina-timina, y dimerización del uracilo. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microbio impide que éste replique su ADN y ARN, lo que impide su reproducción (Jagger, 1967).

TABLA 3
Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la radiación UV-C

Parámetro	Efluente antes de la aplicación de radiación UV-C (longitud de onda 260nm)	Efluente después de la aplicación de radiación UV-C (longitud de onda 260nm)
Conductividad	3.410 mS/cm	3.010 mS/cm
DQO	150 mg/l	50 mg/l
Temperatura	19.1 °C	21.7 °C
Turbidez	18.8 NTU	14.4 NTU
pH	7.45 pH	6.60 pH
Oxígeno Disuelto	5.4%	6.1%

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4 del análisis de resultados da agua de las características fisicoquímicos, antes del tratamiento y después de la aplicación de la radiación UV-C, a una longitud de onda 260nm constante, donde los resultados de antes de tratamiento son: Conductividad es 3.410 mS/cm, DQO de 50 mg/l, Temperatura de

19.1°C, Turbidez de 18.8 NTU, pH de 7.45 y Oxígeno Disuelto de 5.4 % realizando la comparación después del tratamiento cuyos resultados son: Conductividad es 3.010 mS/cm, DQO de 150 mg/l, Temperatura de 21.7° C, Turbidez de 14.4 NTU, pH de 6.60 y Oxígeno Disuelto de 6.1 %

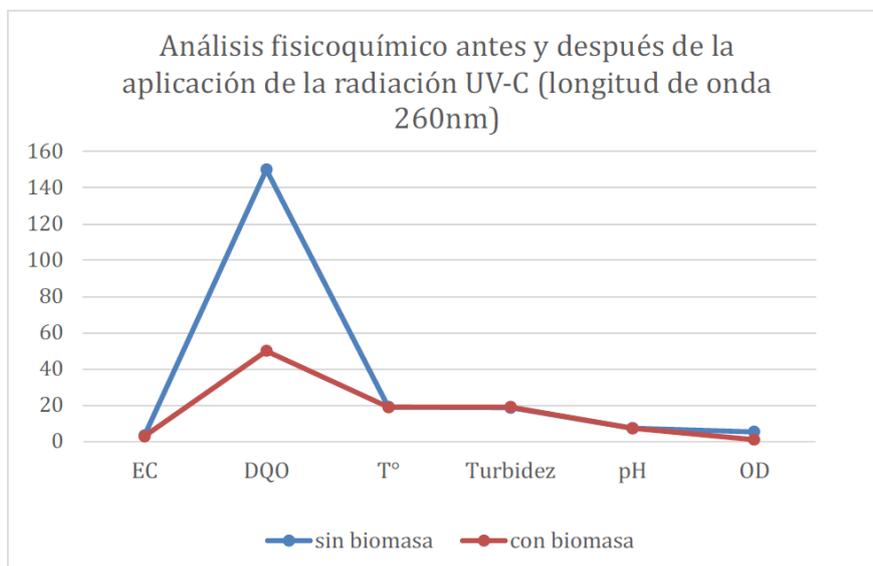


FIGURA 1
Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la radiación UV-C
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4
Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de bacterias facultativas y consorcio de organismos

Parámetro	Efluente antes de la aplicación de biomasa	Efluente después de la aplicación de biomasa
Conductividad	3.410 mS/cm	2.991 mS/cm
DQO	150 mg/l	50 mg/l
Temperatura	19.1°C	19 °C
Turbidez	18.8 NTU	19.1 NTU
pH	7.45 pH	7.4 pH
Oxígeno Disuelto	5.4%	3.1%

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 5 del análisis de resultados da agua de las características fisicoquímicos, antes del tratamiento y después de la aplicación de las bacterias facultativas, donde los resultados de antes de tratamiento son: Conductividad es 3.410 mS/cm, DQO de 150 mg/l, Temperatura de 19.1°C, Turbidez de 18.8 NTU, pH de 7.45 y Oxígeno Disuelto de 5.4 % realizando la comparación después del tratamiento cuyos resultados son: Conductividad es 2.991 mS/cm, DQO de 50 mg/l, Temperatura de 19.1° C, Turbidez de 7.4NTU, pH de 7.4 y Oxígeno Disuelto de 3.1 %

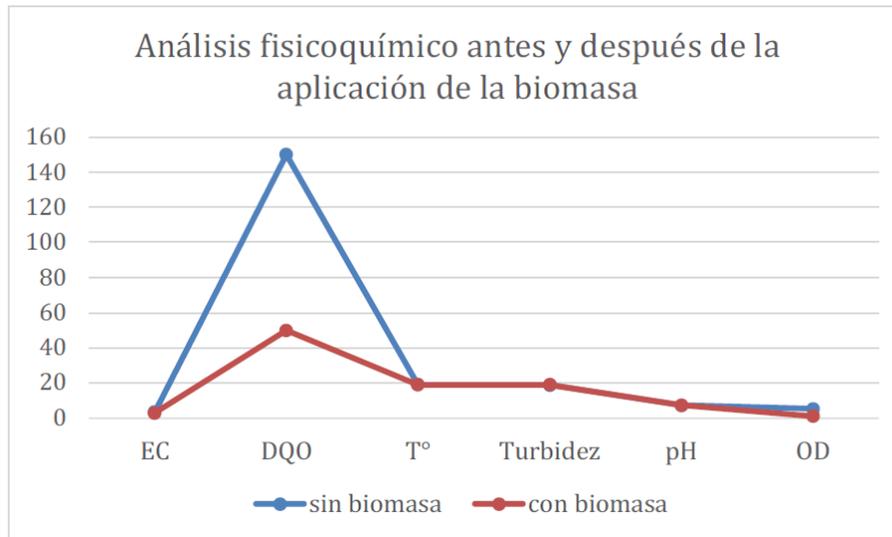


FIGURA 2
Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la biomasa
Fuente: Elaboración propia

Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron ligeramente estables en las mediciones consecutivas realizadas a los efluentes en tratamiento, donde se observa una diferencia en la disminución de turbidez, es en el reactor UV a diferencia del biorreactor.

La temperatura en el reactor UV se ve incrementada aludiendo a la actividad propia de la luz que genera energía calórica.

Para el análisis microbiológico precedimos a determinar la presencia de organismos patógenos, aislando coliformes fecales, la siembra se realizó en placas Petri con Agar McConkey y evidenciar la formación de colonias antes del tratamiento biológico en el reactor biológico y en el reactor UV. Los resultados fueron los siguientes:

TABLA 5
Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C (longitud de onda 260nm)

Coliformes fecales iniciales UFC x 10 ³	Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 10 ³	Remoción en %
73 x campo	8 x campo	89.04%

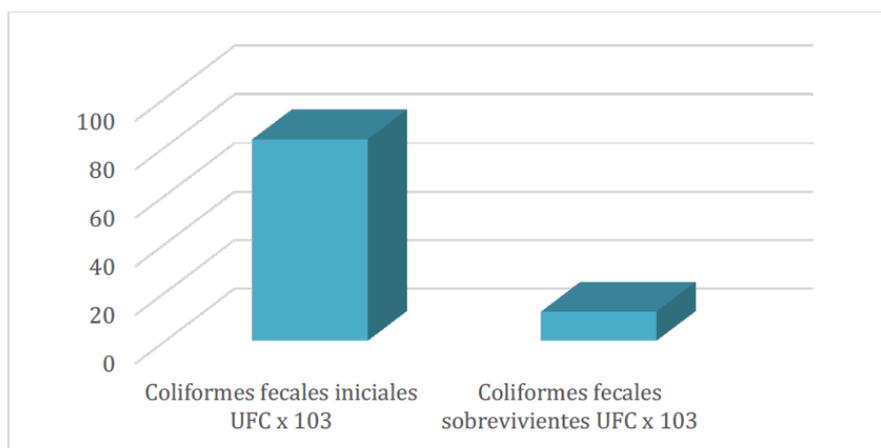


FIGURA 3

Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C (longitud de onda 260nm)

Fuente: Elaboración propia

TABLA 6

Análisis de UFC antes y después de la aplicación de bacterias facultativas

Coliformes fecales iniciales UFC x 103	Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 103	Remoción en %
83 x campo	12 x campo	85.54%

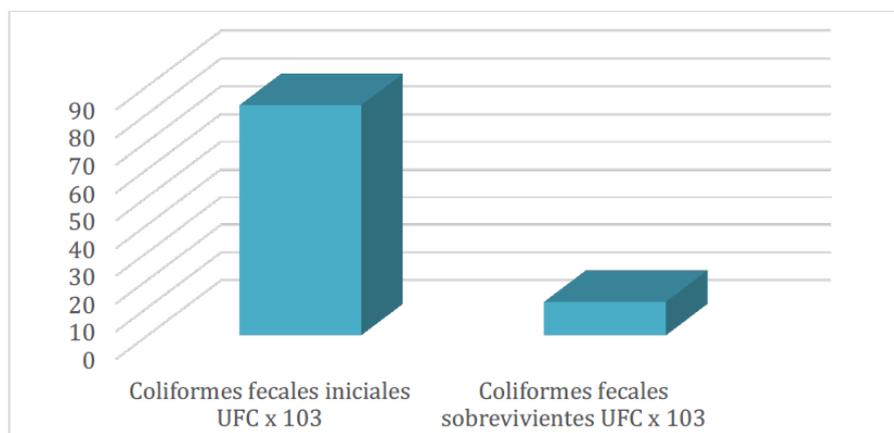


FIGURA 4

Análisis de UFC antes y después de la aplicación de bacterias facultativas y consorcio de organismos

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 3 y 4, se evidencia el porcentaje de remoción de coliformes fecales en ambos tratamientos llegando al 89.04% con tratamiento físico en el reactor UV y al 85.54% en el biorreactor, considerando ambas opciones eficientes en la remoción de patógenos.

La generación de biosólidos es mínima en el biorreactor y casi nula en el reactor UV. En la figura 3 del Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C (longitud de onda 260nm), se muestra los Coliformes fecales iniciales UFC x 103 y Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 103, dando como resultado en remoción en %, de 89.04 %.

DISCUSIÓN

Ambos tratamientos evidenciaron alta efectividad, siendo el tratamiento físico por radiación UV-C ligeramente superior, en la remoción de patógenos, llegando casi a un 90% en 15 días de tratamiento.

Según la EPA (1999) La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm, sin embargo, en nuestro trabajo de investigación, evidenciamos que a una longitud de onda estable de 260nm, la eficacia de remoción de patógenos es precisa.

Lo particular de la investigación fue observar que el reactor de UV clarificaba el efluente a diferencia del biorreactor, en las 2 semanas de experimentación el efluente había reducido su turbidez, por tratarse de un proceso de oxidación avanzada, a medida que el reactor UV sigue funcionando el efluente evidencia clarificación sustancial a diferencia del biorreactor.

Raúl G. (2015) hace una comparación sobre la efectividad de la radiación UV en agua filtrada y agua sin filtrar, sin duda alguna, y tal como lo evidenciamos en el trabajo de investigación, la efectividad es incrementada en ausencia de TSS.

Según Acevedo (2015) señala que obtuvo valores mínimos de colifagos somáticos de 0 UFP/100 mL con una intensidad promedio de 2,5 mW/cm² en tiempos de contacto entre 3 a 5 minutos, lo que nos permite aseverar la eficacia del tratamiento físico por radiación UV

La investigación permite implementar ecotecnologías para el tratamiento de aguas residuales, siendo más viables y eficientes, permite implementar sistemas de tratamiento en fuente y mejorar procesos a nivel de Plantas de tratamiento, eliminando uno de los principales problemas de contaminación de efluentes que son los patógenos.

Es necesario seguir observando el comportamiento del tratamiento físico y la eliminación de coloides y TDS midiendo otros parámetros siendo punto de partida para otras líneas de investigación.

CONCLUSIONES

La efectividad de la remoción de patógenos en aguas residuales domésticas con tratamientos biológicos mediante un consorcio de microorganismos facultativos y tratamientos físicos mediante radiación ultravioleta a una longitud de onda constante de 260nm, es óptima para ambos tratamientos, alcanzando en ambos casos más del 85% de remoción de coliformes fecales. En el caso del tratamiento físico por aplicación de radiación UV-C la remoción fue del 89.04% y con el tratamiento de bacterias facultativas fue de 85.54%.

La longitud de onda de rayos UV donde se da la inactivación microbiana por destrucción de ADN aplicados al tratamiento físico de remoción de patógenos en 2000 ml de efluente fue de 260nm de absorbancia por especificaciones técnicas del electrodo de cuarzo a una potencia de 14 watts en base a que para producir una dimerización de ADN es necesario más de 12 watts de potencia de luz UV, a una frecuencia de 60 Hz, determinado por espectrofotometría.

El tiempo de exposición de los rayos UV-C para la inactivación microbiana por destrucción de ADN aplicados al tratamiento físico de remoción de patógenos en un volumen de 2000 ml de efluente fue de 12 horas/día de manera constante por un período de 15 días, sin considerar TRH (tiempo de retención hídrica), por contar sólo con volumen específico y no con el caudal. Cabe recalcar que el tratamiento en el reactor UV debía ser en fase oscura para evitar que se active la fotoliasa como enzima reparadora natural del ADN y rompa los dímeros de timina formados durante la exposición a la radiación UV.

El tratamiento físico con radiación UV es eficiente con relación a la remoción de patógenos al igual que el tratamiento biológico con el consorcio de microorganismos facultativos, pero el valor agregado del tratamiento físico es la disminución en la generación de olores y la ausencia de sedimento. Así mismo la clarificación del efluente y disminución de turbidez, a diferencia del tratamiento biológico con bacterias facultativas.

REFERENCIAS

- Acevedo, L. (2015). *Evaluación de procesos de desinfección (Cloro y UV) en tratamiento de aguas servidas descentralizados*. Tesis. Universidad de Concepción Chile.
- ANA, R. J.-2. (2013). Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reusos de aguas residuales tratadas. *El Peruano*.
- Cairnis, H. W. (2007). *Luz Ultravioleta Trojan Technologies*. London, Ontario, Canadá N5V 4T7.
- EPA, A. E. (1999). *Folleto Informativo de tratamiento de aguas residuales. Desinfección con UVA*. Epa 832-F-99-064.
- Millan D., R. G.-V. (2015). Luz ultravioleta: Inactivación microbiana en frutas. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la universidad del Oriente*, pp. 454-469.
- MINAM. (2010). D.S. N° 003-2010. aprueban LMP para efluentes de PTAR. *El Peruano* N° 469446-2.
- MVCS, R. 2.-2. (2013). *Aprueban el protocolo de monitoreo de la calidad de plantas de tratamiento de aguas residuales doméstica so municipales - PTAR*. Perú.
- Orta T., I. M. (1999). Desinfección de Agua residual por luz ultravioleta proveniente de tratamiento fisicoquímico o biológico para reuso agrícola. *Instituto de Ingeniería UNAM*.
- Raúl R., G. E. (2018). Desinfección del efluente secundario de la planta de tratamiento de agua residual de Ayacucho con Radiación UV para la reutilización agrícola. (F. d. metalurgia, Ed.)
- Sonntag, L., Schuchmann, (1992). *Algunos aspectos de la química de radicales libres inducida por radiación de moléculas biológicamente importantes*. Revista internacional de aplicaciones e instrumentación de las radiaciones. 39(6), 477-483
- Tapia B., C. C. (2006). Identificación y Evaluación de las principales fuentes de contaminación del río vilcanota en el sector Calca Urubamba. (U. N. Marcos, Ed.) *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 9(17), 97-106.
- UNESCO. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos. Aguas Residuales: El Recurso desaprovechado*. (Soledad Insiburo, trad.). París. Francia. Obtenido de unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf
- Wright y W. L. Cairns. (2008) *Desinfección del agua por medio de radiación ultravioleta*. Trojan Technologies Inc. 3020 Gore Road, London, Ontario, Canadá N5V 4T7