

# COMPARACIÓN EN LA EFICACIA DE REMOCIÓN DE PATÓGENOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS POR BACTERIAS FACULTATIVAS Y TRATAMIENTOS FÍSICOS POR RADIACIÓN UV.

Teodoro Huarhua Chipani<sup>1,a</sup>, Verónica Isela Vera Marmanillo<sup>1,b</sup>

## RESUMEN

**Objetivo.** Evaluar la efectividad de la remoción de patógenos en aguas residuales domésticas con tratamientos biológicos mediante bacterias facultativas y consorcio de organismos facultativos y tratamientos físicos mediante radiación ultravioleta. **Materiales y Métodos.** La investigación es experimental. Se empleó recipiente con capacidad de 2Lt, muestras del Río Huatanay (2000 ml para cada reactor), equipos de medición de parámetros pH T ° EC OD (Multiparámetro Graigar), Turbidímetro, frasco de plástico boca ancha, reactivos colorimétricos para DQO, bacterias Facultativas y consorcio de organismos activados para tratamiento de aguas residuales (biomasa), 2 electrodos de radiación UV de 7watts, microscopio Amscope 2000x para diagnóstico y palcas petri, Agar McConkey para siembra de muestra. La metodología consistió en la recolección de las muestras, selección de parámetros biológicos, 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.** Los parámetros físico químicos 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.

## COMPARISON IN THE EFFECTIVENESS OF REMOVAL OF PATHOGENS IN DOMESTIC WASTEWATER WITH BIOLOGICAL TREATMENTS BY OPTIONAL BACTERIA AND PHYSICAL TREATMENTS BY RADIATION

### ABSTRACT

**Objective.** To evaluate the effectiveness of the removal of pathogens in domestic wastewater with biological treatments by means of facultative bacteria and consortium of facultative organisms and physical treatments by ultraviolet radiation. **Materials and methods.** The research is experimental. Container with 2Lt capacity, samples from the Huatanay River (2000 ml for each reactor), pH T ° EC OD (Multiparameter Graigar) parameters, Turbidimeter, wide mouth plastic bottle, colorimetric COD reagents, Optional bacteria were used and consortium of activated organisms for wastewater treatment (biomass), 2 7watts UV radiation electrodes, 2000x Amscope microscope for diagnosis and petri dishes, McConkey Agar for sample planting. The methodology consisted of sample collection, selection of biological parameters, application of biological and physical experimental models, evaluation, and monitoring of physical-chemical parameters every 3 days and biological at 15 days for verification of pathogen removal with both treatments. **Results** The physical chemical parameters remained slightly stable in the consecutive measurements made to the effluents in treatment, where a difference in the turbidity decrease is observed, it is in the UV reactor unlike the bioreactor, the percentage of fecal coliform removal is evidenced 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 zero in the UV reactor.

**Keywords:** Facultative bacteria; Ultraviolet radiation; Sewage water; Treatment.

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Andina del Cusco, Perú.

<sup>a</sup> Ingeniero agrónomo, docente universitario.

<sup>b</sup> Biólogo, docente universitario, asesora del CIAS-Cusco.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en la ciudad del Cusco las aguas residuales generadas por más de 400 000 cusqueños son depuradas por una planta de tratamiento de aguas residuales que son generadas por las distintas actividades urbanas provenientes de colegios, universidades, hospitales, centros de negocio, etc.

Se estima que, a nivel 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.<sup>(1)</sup>

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo pleno de la vida, es primordial en nuestras actividades diarias, que pasó de ser un recurso natural renovable a un recurso agotable. El reúso de las aguas residuales depuradas y/o no es precisamente una realidad, debido a que no tenemos 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, una alternativa 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.<sup>(2,3,4)</sup>

El incremento de contaminación de las aguas del río Vilcanota es una de las principales preocupaciones, ya que, es un lugar donde se vierten las aguas residuales de los pueblos del Valle Sagrado de los Incas, de la misma forma la ciudad del Cusco, el río Vilcanota es de gran importancia para la agricultura, consumo humano y de recreación.<sup>(5)</sup>

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.<sup>(6)</sup>

La propuesta experimental nos permitió evaluar la efectividad de los tratamientos biológicos con bacterias facultativas 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 fotoinducidos, 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.<sup>(7)</sup>

## 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 centro de estudios. Las integrantes investigadoras pertenecen al CIAS – Círculo de Investigaciones Ambientales para la Sostenibilidad, cuya asesora del proyecto es la Dra. Blga. Verónica Vera Marmanillo.

### Tipo de estudio y análisis estadístico

Se realizó un estudio experimental y se realizó el análisis estadístico. El diseño experimental de pre-prueba con un solo grupo (planta de tratamiento).

## Materiales

Dentro de los materiales y equipos utilizados en el experimentos son los siguientes: Recipiente con capacidad de 2 lt, Muestras del Rio Huatanay (2000ml para cada reactor), Equipos de medición de parámetros pH T° EC OD (Multiparámetro Graigar), Turbidímetro, Frasco de plástico boca ancha, Reactivos colorimétricos para DQO, Bacterias Facultativas y consorcio de organismos activados para tratamiento de aguas residuales (biomasa), 2 Electrodo de radiación UV de 7watts, Microscopio Amscope 2000x para diagnóstico, Palcas Petri, Agar McConkey para siembra de muestra.

## Metodología del estudio

En cada uno de los procedimientos se ha realizado de acuerdo a los protocolos existentes, a continuación se describe cada una de ellas: Recolección de las muestras, Selección de parámetros biológicos, Aplicación de modelos experimentales biológicos y físicos, Evaluación y Monitoreo de parámetros físico-químicos 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 por microscopía.<sup>(8,9)</sup>

**Tabla 1.** Características del Reactor UV.

Características	Especificaciones
Potencia del electrodo	7 watts
Intensidad de la corriente eléctrica	220 voltios
Frecuencia	60Hz
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.

**Tabla 2.** Características del Reactor biológico.

Características	Especificaciones
Medidas del reactor	30x15x15
Bacterias facultativas y levaduras - inoculante biológico de alta concentración	Biomerk AR (Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens, Saccharomyces cereviceae)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Métodos Analíticos.

Parámetros	Unidades	Equipo - Método
Coliformes fecales	UFC x 10 <sup>3</sup>	Placas con Agar Mc Conkey
Conductividad	mS/cm	Conductímetro
DQO	mg/l	Reactivo para DQO
Temperatura	°C	Termómetro
Turbidez	NTU	Turbidímetro
pH	Unidades de pH	pHmetro
Oxígeno Disuelto	%	Electrodo de Oxígeno

Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS

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.<sup>(10)</sup>

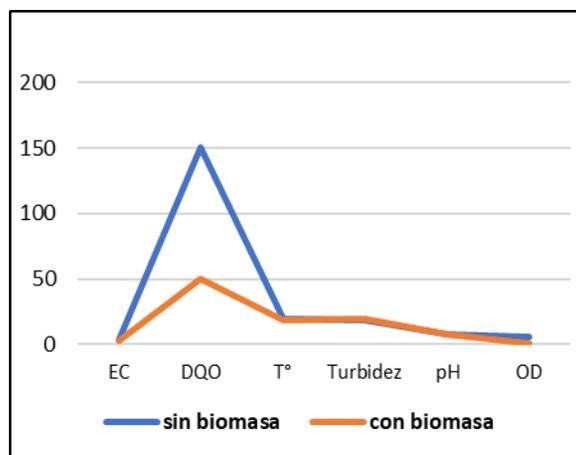
Según la tabla 4 del análisis de resultados da agua de las características fisicoquímicos, antes del tratamiento y después de la aplicación de la radiación UV-C, donde los resultados de antes de tratamiento son: Conductividad es 3.410 mS/cm,

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 tratamientos 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 2.1 % .

**Tabla 4.** Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la radiación UV-C.

Parámetro	Efluente antes de la aplicación de radiación UV-C	Efluente después de la aplicación de radiación UV-C
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%	2.1%

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.** Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la radiación UV-C.

Fuente: Elaboración propia.

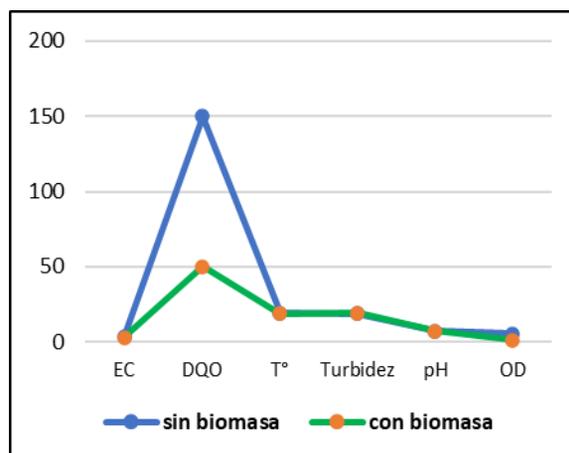
Según la figura 1 del análisis fisicoquímico del antes y después de aplicación de la radiación UV-C, donde se puede observar que la Conductividad es 3.410 mS/cm, DQO de 150 mg/l, Temperatura de 31.7°C, Turbidez de 14.4 NTU, pH de 6.60 y Oxígeno Disuelto de 2.1 % .

**Tabla 5.** 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%	1.1%

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 5 análisis de resultados da agua de las características fisicoquímicos, antes del tratamiento y después de la aplicación de bacterias facultativas y consorcio de organismos, 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 tratamientos cuyos resultados son: Conductividad es 2.991 mS/cm, DQO de 50 mg/l, Temperatura de 19 °C, Turbidez de 19.1 NTU, pH de 7.4 y Oxígeno Disuelto de 1.1 % .



**Figura 2.** Análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la biomasa.

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 2 del análisis fisicoquímico antes y después de la aplicación de la biomasa, donde se puede observar que la Conductividad es 2.991 mS/cm, DQO de 50 mg/l, Temperatura de 19 °C, Turbidez de 19.1 NTU, pH de 7.4 y Oxígeno Disuelto de 1.1 %.

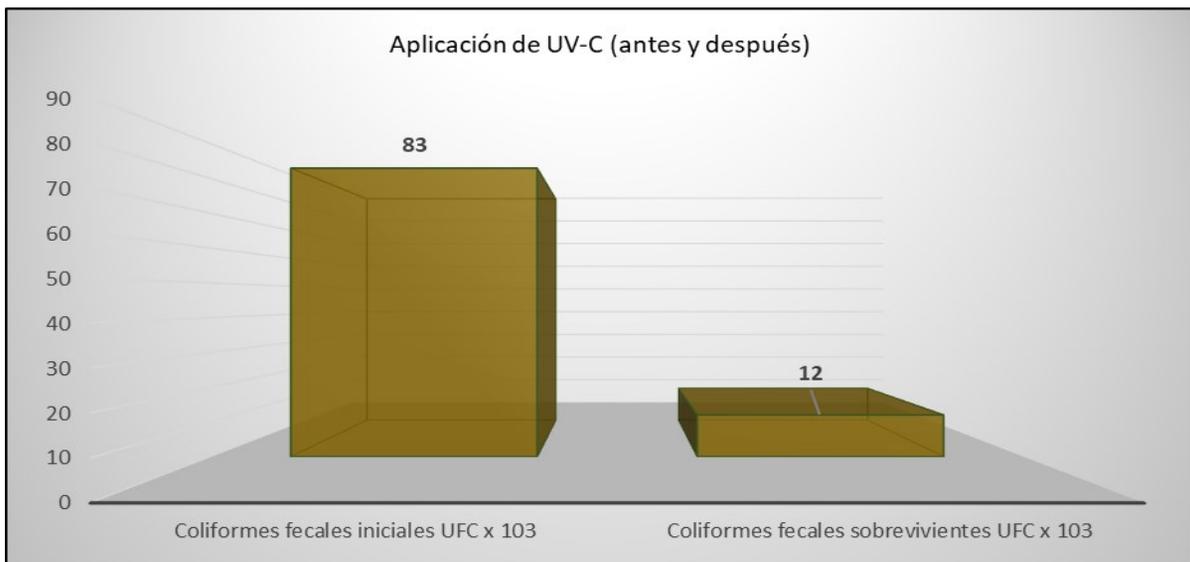
Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron ligeramente estables en las mediciones consecutivas realizadas a los efluentes en tratamiento, donde se observa una diferencia en la disminución de turbidez, es en el reactor UV a diferencia del biorreactor. La temperatura en el reactor UV se ve incrementada 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 tal como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C.

Coliformes fecales iniciales UFC x 10 <sup>3</sup>	Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 10 <sup>3</sup>	Remoción en %
73 x campo	8 x campo	89.04%

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.** Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C.

Fuente: Elaboración propia.

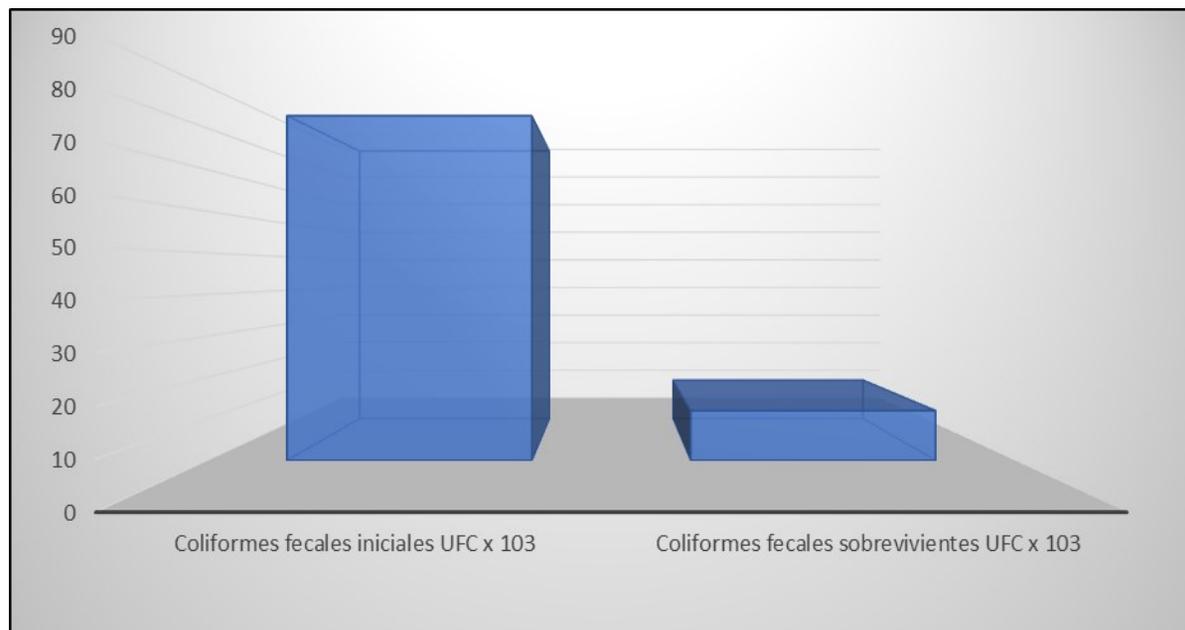
Según la figura 3 del Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C, se muestra los Coliformes fecales iniciales UFC x 103 y Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 103, dando como resultado en remoción en %, de 89.04 %.

Según la tabla 7 Análisis de UFC antes y después de la de la aplicación de bacterias facultativas, se muestra los Coliformes fecales iniciales UFC x 103 y Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 103 , dando como resultado en remoción en %, de 85.57 %.

**Tabla 7.** Análisis de UFC antes y después de la aplicación de bacterias facultativas.

Coliformes fecales iniciales UFC x 10 <sup>3</sup>	Coliformes fecales sobrevivientes UFC x 10 <sup>3</sup>	Remoción en %
73 x campo	8 x campo	85.54%

Fuente: Elaboración propia.



**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. Según la figura 3 del Análisis de UFC antes y después de la aplicación de UV-C, 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.

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.

Las operaciones unitarias de 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.

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.

La investigación posibilita la implementación de 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.<sup>(5,11)</sup>

Con respecto a los olores generados por ambos tratamientos, se evidencia una clara diferencia entre los emitidos por el reactor UV y el biorreactor, siendo el segundo el emisor de olores en mayor cantidad.

Posteriormente se sugiere seguir con operaciones unitarias de coagulación-floculación y regulación de pH para tener un resultado óptimo en el tratamiento de efluentes.

## CONCLUSIONES

La efectividad de la remoción de patógenos en aguas residuales domésticas con tratamientos biológicos mediante bacterias facultativas y tratamientos físicos mediante radiación ultravioleta 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.<sup>(6)</sup>

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

El tratamiento físico con radiación UV es eficiente en relación con la remoción de patógenos al igual que el tratamiento biológico con bacterias facultativas, 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.

De los tres enraizadores y dos tipos de sustratos en estacas de rosa del patrón Natal Brier en condiciones de vivero del Instituto de Educación Rural del distrito de San Salvador, Provincia Calca en el departamento de Cusco, el enraizador a3 Root-Hor<sup>®</sup> logró el mayor efecto sobre el enraizamiento de los patrones de rosa con un promedio de 35 unidades de número de raíces por estaca, así mismo con un promedio de 176,83 mm de longitud de raíces en base a la mayoría de las variables estudiadas. En cuanto al sustrato b2 Arena (40 %) + humus (30 %) + tierra negra (30 %) obtuvo el mayor promedio con 29,19 unidades de número de raíces por estaca, así mismo con un promedio de 155,15 mm de longitud de raíces logró el mayor efecto sobre el enraizamiento de los patrones de rosa a los 60 días de evaluación.

A demás cuando se hizo la interacción AxB en relación de longitud de raíces, al efectuar el análisis de efectos simples se observa que cuando se combina a3b2 logró mayor promedio con 190,62 mm de longitud de raíces seguido del a3b1 con 163,05 mm, así mismo en relación de número de raíces por estaca, la combinación a3b2 logró mayor promedio con 37 unidades de raíces y en base a la mayoría de las variables estudiadas tuvo mayor efecto a los 60 días de evaluación.

## Agradecimientos

Los autores agradecemos a Dios y Agradecemos a la Escuela de Ingeniería Ambiental de la UAC y al CIAS por las facilidades a la realización de nuestro trabajo de investigación, facilitando las instalaciones de laboratorios y manejo de muestras, investigación que servirá de línea base a otros proyectos.

## Financiamiento

Autofinanciamiento.

## Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Programa Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos [482]. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; 2020.
2. Cairns. HBWyWL. Luz Ultravioleta. 1999 Septiembre..
3. Ma. Teresa Orta V JMRIMR. Desinfección de agua residual por luz ultravioleta proveniente de tratamiento físico-químico o biológico para reúso agrícola. Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510. México D.F.: UNAM, Instituto de Ingeniería; 1999.
4. Millán D. RG,RVA. Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente. 2015 Julio-Septiembre; 27(3): p. 454-469.
5. Taipe Bolaños M, Cabrera Carranza CF. Identificación y evaluación de las principales fuentes de Contaminación de río Vilcanota en el Sector Calca Urubamba. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. 2006; 9(17): p. 97-106.
6. Nese C, Z Yuan , M N Schuchmann , C Von Sonntag. Electron Transfer from Nucleobase Electron Adducts to 5-bromouracil. Is Guanine an Ultimate Sink for the Electron in Irradiated DNA? International Journal of Radiation Biology. 1992 Diciembre; 62(5): p. 527-41.
7. MINAM - PERÚ. D.S. N° 003-2010/MINAM - Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Publicada en el diario El Peruano N° 469446-2, del 17 de marzo de 2010. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/>. Decreto Supremo. Lima: Ministerio del Ambiente; 2010.
8. ANA. Resolución jefatural N° 224-2013-ANA. Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúsos de aguas residuales tratadas.. Diario El Peruano. 2018 Diciembre.
9. Veliz Flores RR, Arones Medina EG, Palomino Malpartida YG, Huincho Rodriguez R. Desinfección del efluente secundario de la planta de agua residual de Ayacucho con radiación ultravioleta para su reutilización en riego agrícola. Revista de la Sociedad Química del Perú. [online]. 2018; 84(1): p. 41-56.
10. Jagger J. Introduction to research in ultraviolet photobiology Dallas: Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall; 1967.
11. MVCS. R.M. 273-2013-VIVIENDA. protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR. Perú: República. Recuperado el 26 de junio de 2018, de <http://www.vivienda.gob.pe>. Resolución Ministerial. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; 2013.
12. EPA. Environmental Protection Agency. Folleto informativo de tratamiento de aguas residuales. Desinfección con UVA. 1999; ( 832-F-99-064).

**Correspondencia:** Teodoro Huarhua Chipani.

**Dirección:** Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Andina del Cusco, Perú.

**Correo electrónico:** [thuarhua@uandina.edu.pe](mailto:thuarhua@uandina.edu.pe); [vveram@uandina.edu.pe](mailto:vveram@uandina.edu.pe).