



Fecha de presentación: octubre, 2021

Fecha de aceptación: diciembre, 2021

Fecha de publicación: febrero, 2022

EVALUACIÓN DEL HUMEDAL

ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL CON BERROS (NASTURTIUM OFFICINALE) EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA A ESCALA PILOTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE YAULI-HUANCAVELICA

EVALUATION OF THE HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW ARTIFICIAL WETLAND WITH WATERCRESS (NASTURTIUM OFFICINALE) IN THE REMOVAL OF ORGANIC MATTER ON A PILOT SCALE FROM THE WASTEWATER OF THE YAULI-HUANCAVELICA DISTRICT

Víctor Guillermo Sánchez Araujo¹

E-mail: victor.sanchez@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>

Wilfredo Sáez Huaman¹

E-mail: wilfredo.saez@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>

Pedro Antonio Palomino Pastrana¹

E-mail: pedro.pastrana@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7833-6805>

¹ Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Sánchez Araujo, V. G., Sáez Huaman, W., Palomino Pastrana, P. A., & Manrique Ruiz, A. R. (2022). Evaluación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*Nasturtium officinale*) en la remoción de materia orgánica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de Yauli-Huancavelica. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 641-649.

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*Nasturtium officinale*) en la remoción de materia orgánica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de Yauli - Huancavelica aplicado a la remoción de materia orgánica como Demanda Química de Oxígeno. El sistema diseñado a escala piloto fue investigado para las aguas residuales provenientes de la población del distrito de Yauli, el agua fue colectada de la Planta de Tratamiento de Yauli para posteriormente ser conducida al Humedal Artificial construida a escala laboratorio. Se evaluó la mejor eficiencia de remoción de materia orgánica para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 5 días con un caudal de circulación de 12.5 ml/min, donde se obtuvo una eficiencia mínima de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 28.77 % y una máxima eficiencia de 42.20 % todo ello en un rango de temperatura de agua residual de 11 °C y 13 °C. También para un TRH de 7 días con un caudal de circulación de 8.93 ml/min, obteniendo una eficiencia mínima de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 32.44 % y una máxima eficiencia de 78.13 % todo ello en un rango de temperatura de agua residual de 11 °C y 15 °C. El diseño se optimizó para un TRH de 7 días debido a que el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*Nasturtium officinale*) produce una mejor eficiencia de remoción de materia orgánica..

Palabras clave: Humedal artificial, berros, tiempo de retención hidráulico, carga orgánica.

ABSTRACT

In the present research, the horizontal subsurface flow artificial wetland with watercress (*Nasturtium officinale*) was evaluated in the removal of organic matter on a pilot scale from the wastewater of the Yauli - Huancavelica district applied to the removal of organic matter as Chemical Demand of Oxygen. The system designed on a pilot scale was investigated for wastewater from the population of the Yauli district, the water was collected from the Yauli Treatment Plant to later be conducted to the Artificial Wetland built on a laboratory scale. The best removal efficiency of organic matter was evaluated in a for a hydraulic retention time (HRT) of 5 days with a circulation flow of 12.5 ml / min, where a minimum removal efficiency of Chemical Oxygen Demand (COD) was obtained.) of 28.77% and a maximum efficiency of 42.20%, all in a residual water temperature range of 11 ° C and 13 ° C. Also, for a 7-day HRT with a circulation flow of 8.93 ml / min, obtaining a minimum removal efficiency of Chemical Oxygen Demand (COD) of 32.44% and a maximum efficiency of 78.13%, all in a temperature range of residual water of 11 ° C and 15 ° C. The design was optimized for a 7-day HRT because the horizontal subsurface flow artificial wetland with watercress (*Nasturtium officinale*) produces better organic matter removal efficiency.

Keywords: Artificial wetland, watercress, hydraulic retention time, organic load.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los recursos hídricos en la actualidad es un gran problema tanto en las zonas urbanas y rurales por la descarga de las aguas residuales sin un tratamiento eficiente, debido al desconocimiento de la operación y mantenimiento de los sistemas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, llegando así a contaminar los sistemas acuáticos y asimismo afectando la salud pública.

De acuerdo con Delgadillo, et al. (2010), las tecnologías naturales de depuración o sistemas blandos, como es el presente caso de los humedales artificiales, requieren en su puesta en marcha, extensiones importantes de terreno, pero este factor se contrapone, con los gastos de operación y mantenimiento de otros tipos de tecnología. En la actualidad, las ciudades vierten directamente sus aguas residuales parcialmente tratadas o sin un tratamiento previo en las aguas superficiales y subterráneas de las inmediaciones, ocasionando impactos negativos en la salud de las personas y en el medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas, 2017; Romero & Vargas, 2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos). El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; por ello es el compuesto químico más indispensable para el desarrollo de la vida (Romero, et al., 2015).

La contaminación de las aguas a gran escala, genera preocupación en los habitantes de las comunidades y ciudades, es por ello que se ha tratado de mitigar una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico e industrial. Los cuerpos receptores, como ríos, lagos y el mar, ubicadas en zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, de neutralizar la carga polucional que tales residuos generan, ocasionando la pérdida de sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada. (Centeno, et al., 2019).

Continuando con los mismos autores, los problemas originados además de ser de índole física o estética, han trascendido al campo de la sanidad, ya que los habitantes necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos, dando lugar a problemas epidemiológicos graves. Además, se estima que más de cinco millones de personas mueren anualmente de enfermedades gastrointestinales vinculadas con el suministro de agua contaminada, servicios sanitarios deficientes y una higiene atrasada

(Romero & Vargas, 2017) químicos y microbiológicos que se producen en las aguas tras la aplicación del producto Versaklin (constituido por estos microorganismos).

Se deben establecer alternativas eficientes y viables al proceso de las aguas residuales por medio de tratamientos biológicos que reducen los microorganismos perjudiciales (Hanna Instruments, 2019), ya que permiten depurar los residuos domésticos, minimizando el impacto de los contaminantes sobre el ambiente. El proceso de tratamiento biológico consiste en el control de medio ambiente de los microorganismos de modo que se consigan condiciones de crecimiento óptimas (Castillo, et al., 2012).

“Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente” (Delgadillo, et al., 2010, p.8). Esta investigación contribuirá a mejorar la eficiencia del sistema de las plantas de tratamiento de agua residual; la utilización de esta propuesta generará bajos costos de tratamiento y mantenimiento en menor tiempo, mantiene la calidad del agua tratada a un alto nivel y se garantiza la sostenibilidad del ambiente permitiendo un trabajo sistemático y optimizado.

La aplicación de humedales artificiales es de suma importancia, porque con ella se podrá evaluar la remoción de la materia orgánica después de su tratamiento. Además, reducirá parámetros organolépticos, la concentración de DBO₅ y DQO, las concentraciones de coliformes, los gases nocivos, el lodo sedimentado y el uso de productos químicos.

El esquema esencial del proyecto comprende la aplicación de humedales artificiales a las aguas residuales a escala piloto, las cuales son empleadas con diferentes dosificaciones y tiempos de retención hidráulica, demostrando lograr reciclar la fracción orgánica y convertirla en factor y fuente de recurso reutilizable. Benítez (2013), menciona que gran parte de las sustancias que transporta el agua residual, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica como carbohidratos, lípidos y proteínas de los cuales una parte importante es biodegradable. Es importante indicar que las materias orgánicas biodegradables son utilizadas por los microorganismos para su metabolismo y como fuente de energía a fin de cumplir con su ciclo vital.

Carpio (2014), establece que la contaminación debido a la materia orgánica es a menudo el que produce una

mayor perturbación en el ecosistema la mortalidad de peces, olores, efectos ornamentales, desagradables, la misma que es producida por la disminución del OD, la materia orgánica en términos de remoción o descomposición biológica puede ser biodegradable y no biodegradable.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y un diseño experimental (Hernández, et al., 2014).

En la investigación se consideró como población el efluente de las aguas residuales del distrito de Yauli-Huancavelica que presenta un caudal promedio de 23.242 m³/día.

Con una muestra de caudal que ingresa al humedal de 12.5 ml/min y 8.93 ml/min. Los instrumentos fueron el multiparámetro, termómetro y Fotómetro HI 83099. Se construyeron 2 humedales artificiales a escala piloto para un tiempo de retención hidráulica de 5 días y 7 días con un caudal de 12.5 ml/min y 8.93 ml/min respectivamente.

El humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal consta de un sistema en la que el agua residual circula horizontalmente a través del medio granular que fue construida a escala piloto para un tiempo de retención hidráulica de 5 días y 7 días (Figura 1).



Figura 1 Humedal artificial.

El medio granular consta de piedras que se colocaron en el fondo del humedal artificial a escala piloto, donde ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.

La especie vegetal conocida como berros (*Nasturtium officinale*) presenta adaptaciones especiales para vivir en

ambientes permanentemente anegados. La biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica

Los datos de temperatura fueron recolectados para los tiempos de retención hidráulica de 5 y 7 días con el equipo multiparámetro en el afluente y efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Los datos de pH fueron recolectados para los tiempos de retención hidráulica de 5 y 7 días con el equipo multiparámetro en el afluente y efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Las muestras de tiempos de retención hidráulica de 5 y 7 días. Fueron recolectadas en un recipiente estéril ámbar y transportado en el cooler al laboratorio, siguiendo el protocolo de monitoreo de agua residual.

En la presente investigación se compararon dos tratamientos correspondientes con tiempos de retención hidráulica de 5 y 7 días. Se instalaron dos humedales artificiales de flujo sub superficial a escala piloto con caudales de 12.5 ml/min y 8.93 ml/min

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos fueron el análisis de varianza ANOVA y la prueba de Tukey para determinar entre que tratamientos hay significancia estadística e identificar si alguna celda supera el valor planteado en la Hipótesis planteada, se trabajó con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta los resultados de las mediciones de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno, temperatura ambiental, temperatura del agua residual (Punto A y B), y pH (Punto A y B).

Los tiempos de retención hidráulica reales estudiados, dadas las condiciones de campo fueron de 5 días (del 03 de agosto al 08 de setiembre) y 7 días (del 05 de octubre al 30 de noviembre) (Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1. Características de la planta berro (*Nasturtium Officinale*) en el humedal artificial.

Berro (<i>Nasturtium Officinale</i>)	
Tamaño máximo de crecimiento (cm)	11 cm aproximadamente
Numero de berros (número de berros por cm ²)	3
Distancia entre berros (cm)	6

Tabla 2. Características de Construcción del Humedal Artificial para un Tiempo de Retención de 5 días.

Humedal artificial	
Caudal de entrada (ml/min)	12.5 ml/min
Tiempo de retención hidráulica-TRH (días)	5
Volumen (m ³)	0.09
Área superficial (m ²)	0.9
Profundidad útil del humedal (m)	0.1
Ancho del humedal (m)	0.7
Largo (m)	1.3

Tabla 3. Características de Construcción del Humedal Artificial para un Tiempo de Retención de 7 días.

Humedal artificial	
Caudal de entrada (ml/min)	8.93 ml/min
Tiempo de retención hidráulica-TRH (días)	7
Volumen (m ³)	0.09
Área superficial (m ²)	0.9
Profundidad útil del humedal (m)	0.1
Ancho del humedal (m)	0.7
Largo (m)	1.3

En la figura 2 se observa el desarrollo del berro (*Nasturtium Officinale*) en humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales para un tiempo de retención hidráulica de 5 días (Figura 3).

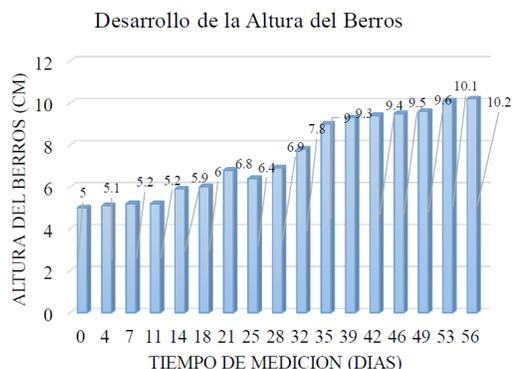


Figura 2. Desarrollo de la Altura del Berros para un TRH de 5 Días.

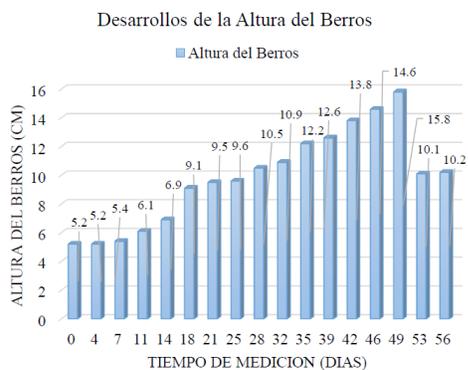


Figura 3. Desarrollo de la Altura del Berros para un TRH de 7 Días.

Los resultados de medición de la temperatura ambiente para un TRH de 5 días durante la investigación se muestran en la figura 4, donde se aprecia una temperatura mínima de 11 °C una temperatura máxima de 16 °C y una temperatura ambiental promedio de 13.4 °C durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial.

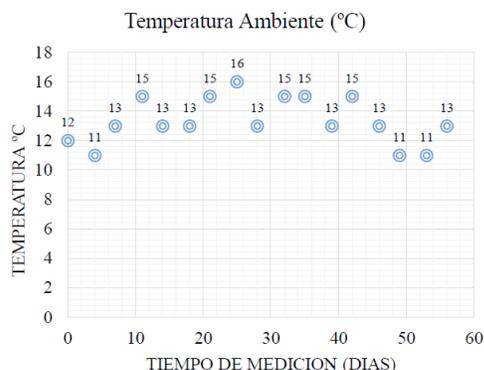


Figura 4. Temperatura Ambiente para un TRH de 5 Días.

Para la medición de la temperatura del agua residual se utilizó el instrumento multiparámetro marca HACH.

El punto A es el punto de ingreso del agua residual al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Los resultados de la medición se muestran en la figura 5, donde se obtuvo una temperatura máxima de 15.5 °C, mínima de 10.9 °C y promedio de 13.7 °C durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial.

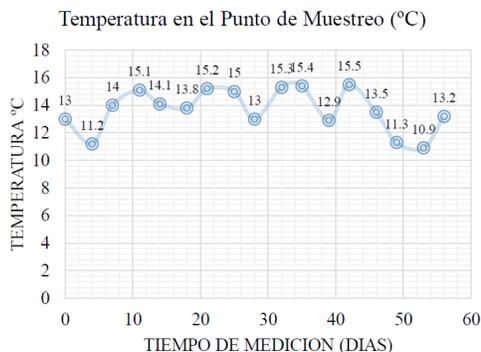


Figura 5. Temperatura en el Punto de Muestreo A del Humedal Artificial para un TRH de 5 Días.

El punto B es el punto de salida del agua residual del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Los resultados de la medición se muestran en la figura 6, donde se obtuvo una temperatura máxima de 16.7 °C, mínima de 11 °C y promedio de 14.3 °C durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial.

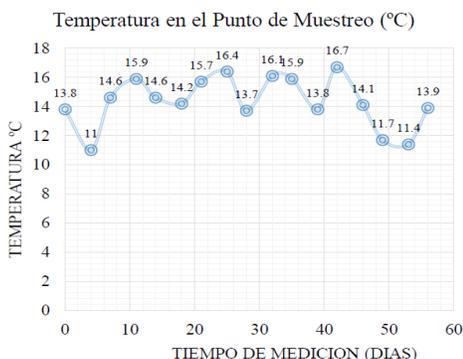


Figura 6. Temperatura en el Punto de Muestreo B del Humedal Artificial para un TRH de 5 Días.

Durante las pruebas experimentales se tomó dos puntos de muestreo para la medición del potencial de hidrogeno (pH)

En la Figura 7 se muestra para el punto A, punto de ingreso al humedal artificial se obtuvo un valor de pH mínimo de 6.57, máximo de 8.01 y un promedio de 7.38. Para el punto B, punto de salida del humedal artificial se obtuvo un valor de pH mínimo de 6.99, máximo de 8.32 y un promedio de 7.61 durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial (Tabla 4).

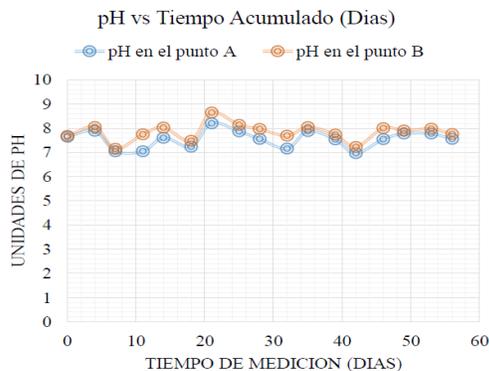


Figura 7. Ph vs Tiempo Acumulado para los Puntos de Muestreo A y B para un TRH de 5 Días.

Tabla 4. pH Mínimo, Máximo y Promedio del Efluente del Humedal Artificial para un TRH de 5 Días.

	Punto A (entrada al Humedal Artificial)	Punto B (salida del Humedal Artificial)
Mínimo	6.97	7.15
Máximo	8.21	8.65
Promedio	7.55	7.84

Para determinar la temperatura se utilizó un termómetro ambiental de bulbo seco.

Los resultados de medición durante la investigación se muestran en la figura 8, donde se aprecia una temperatura mínima de 11 °C una temperatura máxima de 15 °C y una temperatura ambiental promedio de 13.06 °C durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial.

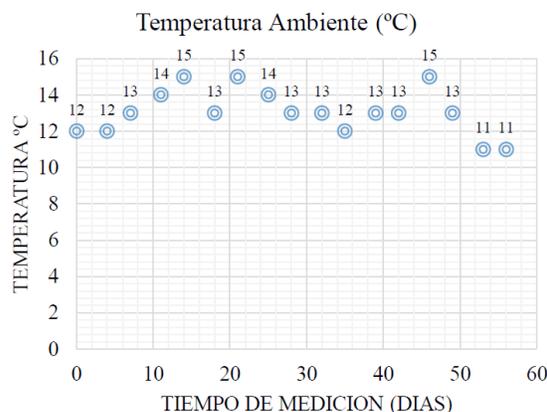


Figura 8. Temperatura Ambiente para un TRH de 7 Días.

Para la medición de la temperatura del agua residual se utilizó el instrumento multiparámetro marca HACH.

El punto A es el punto de ingreso del agua residual al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Los resultados de la medición se muestran en la figura 9, donde se obtuvo una temperatura máxima de 15.7 °C, mínima de 11.6 °C y promedio de 13.46 °C durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial.

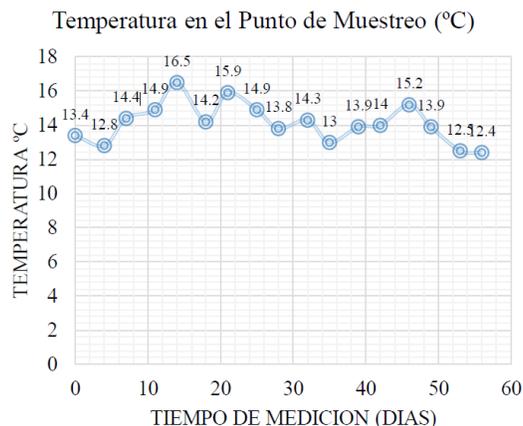


Figura 9. Temperatura en el Punto de Muestreo A del Humedal Artificial para un TRH de 7 Días.

El punto B es el punto de salida del agua residual del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Los resultados de la medición se muestran en la figura 10, donde se obtuvo una temperatura máxima de 16.5 °C, mínima de 12.40 °C y promedio de 14.2 °C durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial.

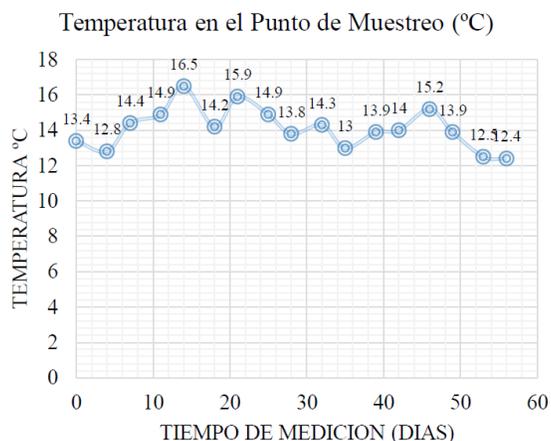


Figura 10. Temperatura en el Punto de Muestreo B del Humedal Artificial para un TRH de 7 Días.

En la Figura 11 se muestra para el punto A, punto de ingreso al humedal artificial se obtuvo un valor de pH mínimo de 7.11, máximo de 7.68 y un promedio de 7.37. Para el punto B, punto de salida del humedal artificial se obtuvo un valor de pH mínimo de 7.22, máximo de 8.25 y un promedio de 7.73 durante los 56 días que se llevó a cabo el funcionamiento del humedal artificial (Tabla 5).

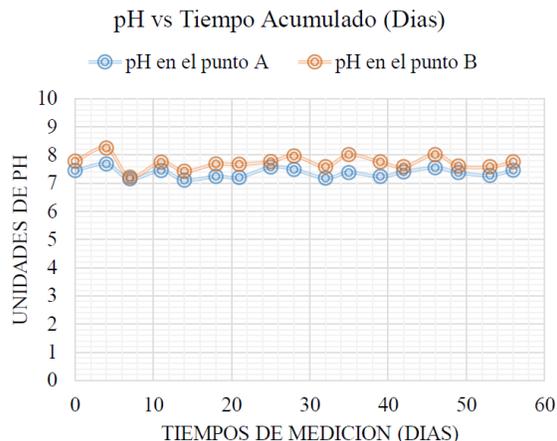


Figura 11. Ph vs Tiempo Acumulado para los Puntos de Muestreo A y B para un TRH de 7 Días.

Tabla 5. pH Mínimo, Máximo y Promedio del Efluente del Humedal Artificial para un TRH de 7 Días.

	Punto A (entrada al Humedal Artificial)	Punto B (salida del Humedal Artificial)
Mínimo	7.11	7.22
Máximo	7.68	8.25
Promedio	7.37	7.73

Evaluación de la calidad del efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berro (*Nasturtium Officinale*) en dos Tiempos de Retención Hidráulica

Se evaluó que para el tiempo de retención hidráulica de 5 días con un caudal de circulación de 12.5 ml/min. Como se muestra en la figura 12 se obtuvo para el punto A una DQO mínima de 812 mg/L, máxima de 1180 mg/L y en promedio 959.88 mg/L. Para el punto B una DQO mínima de 501 mg/L, máxima de 743 mg/L y en promedio 606.35 mg/L.

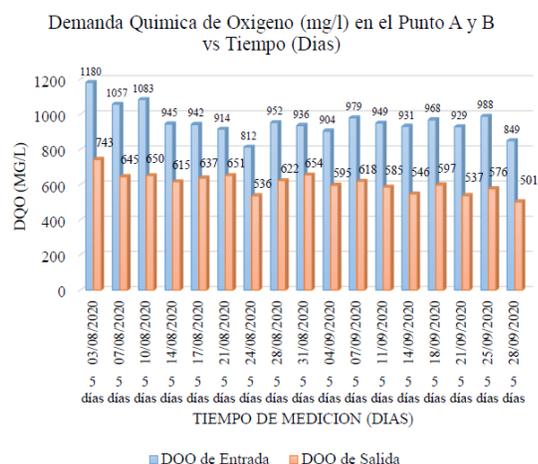


Figura 12. DQO en los puntos de Muestreo A y B en relación al TRH de 5 Días.

La figura 13 muestra la eficiencia de remoción de la DQO del Humedal Artificial de Flujo Ascendente para un tiempo de retención de 5 días, obteniendo una biosorción mínima de 29 % de DQO, máxima de 42 % y en promedio de 37 % durante los 56 días que se llevó a cabo la toma de muestras.

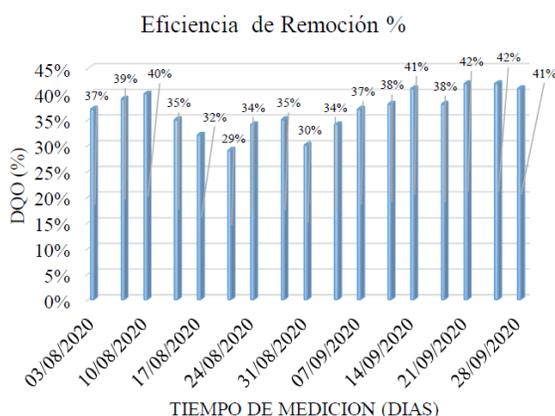


Figura 13. Eficiencia de Remoción de DQO para un TRH de 5 Días.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) en relación al tiempo de retención (TRH) de 7 días.

Se evaluó que para el tiempo de retención hidráulico de 7 días con un caudal de circulación de 8.93 ml/min. Como se muestra en la figura 14 se obtuvo para el punto A una DQO mínima de 247 mg/L, máxima de 1110 mg/L y en promedio 734.31 mg/L. Para el punto B una DQO mínima de 63 mg/L, máxima de 600 mg/L y en promedio 365.88 mg/L.

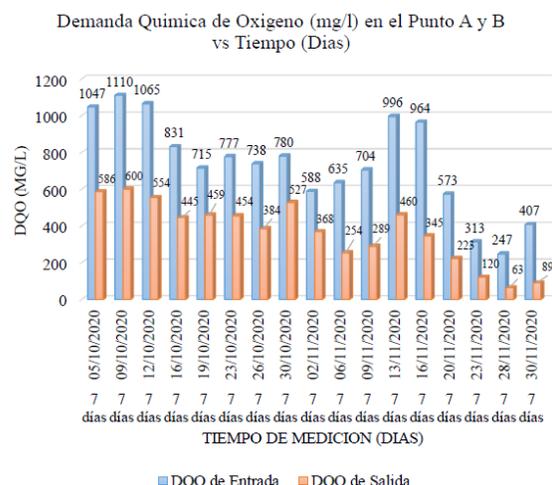


Figura 14. DQO en los puntos de Muestreo A y B en relación al TRH de 7 Días.

La figura 15 muestra la eficiencia de remoción de la DQO del Humedal Artificial de Flujo Ascendente para un tiempo de retención de 7 días, obteniendo una biosorción mínima de 32 % de DQO, máxima de 78 % y en promedio de 52 % durante los 56 días que se llevó a cabo la toma de muestras.

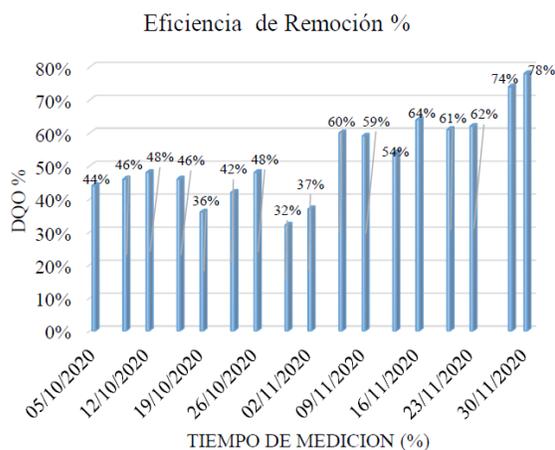


Figura 15. Eficiencia de Remoción de DQO para un TRH de 7 Días.

Respecto a la investigación realizadas se obtuvieron remociones óptimas de materia orgánica. El empleo de la tecnología de los humedales artificiales garantiza el cumplimiento de los LMP del Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, con respecto a los parámetros biológicos en todos los tratamientos experimentales a escala piloto. Se demostró que la metodología empleada es favorable para investigar nuevas biotecnologías de manera

natural y a la vez aplicando principios de la ciencia e ingeniería.

Para un tiempo de retención hidráulico de 5 días se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 42.20 % de DQO en el día 49 de la toma de muestra y para un tiempo de retención hidráulico de 7 días se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 78.10 % de DQO en el día 56 de la toma de muestra.

De la misma manera, en un proyecto donde se construyó un humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en un edificio, obtuvo eficiencias de remoción de materia orgánica como DQO de 39 % para un TRH de 3 días, esta eficiencia de remoción es similar al obtenido en los experimentos para un TRH de 5 días, esto debido a que la remoción de materia orgánica está directamente ligada al factor TRH.

Por otro lado, Rubio & Montenegro (2018), quienes realizaron la construcción de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con un DQO inicial de 12 mg/l, lograron la remoción de hasta 98 % del total, un mayor porcentaje al obtenido en la presente tesis. La diferencia de remoción se debe a que las concentraciones iniciales para la tesis realizada, tanto para el tiempo de TRH de 5 días y 7 días se encontraban alrededor de 959.88 mg/l y 734.70 mg/l, superiores a la presentada por el autor.

Linares (2015), emplea bofedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales obtuvo una eficiencia de remoción de DQO de 65.06 % para un TRH de 5 días, valores aproximados presentados en la presente tesis también para un TRH de 5 días. El autor menciona que mientras más tiempo permanezca en el humedal artificial el efluente mayor es la remoción. Concluyendo que existe una relación directa con el factor tiempo.

CONCLUSIONES

En la investigación se obtuvieron remociones óptimas de materia orgánica la cual es medida como Demanda Química de Oxígeno, para un tiempo de retención hidráulico de 5 días se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 42.20 % de DQO y un promedio de 36.80 % de DQO. Para un tiempo de retención hidráulico de 7 días se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 78.10 % de DQO y un promedio de 52.5 % de DQO. Lo cual se concluye que el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*Nasturtium officinale*) escala piloto remueve la materia orgánica del agua residual del distrito de Yauli Huancavelica.

La máxima eficiencia de remoción de materia orgánica se obtuvo para un tiempo de retención hidráulico de 7 días con una remoción máxima de 78.10 % de DQO,

concluyendo que la eficiencia de remoción de DQO en el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*Nasturtium officinale*) a escala piloto aumenta a en base al tiempo de retención hidráulico.

El desarrollo de humedales artificiales resulto ser eficiente en el tratamiento de aguas residuales de una manera segura, confiable y económica. Los humedales artificiales permitieron una eficiente remoción de materia orgánica, ya que no requieren de suministro de energía adicional, su funcionamiento se basa en la actividad combinada de plantas y microorganismos, que en conjunto propician una depuración eficiente.

Por último, el trabajo de investigación redundante en que se evitará la construcción de sistemas de alto costo y mantenimiento para el tratamiento de efluentes y con ello el costo operacional del sistema será económico, fácil de usar, seguro y ofrecerá resultados sostenibles en el tratamiento de efluentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benítez, G. (2013). Análisis y modelización de la inactivación de escherichia coli en aguas residuales. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid.
- Carpio, P. (2014). Análisis in vitro de la capacidad de remoción de materia orgánica de aguas residuales procedente de matanza y faenamiento de ganado, mediante la utilización de quitosato. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana.
- Castillo Borges, E. R., Bolio Rojas, A., Méndez Novelo, R. I., Osorio Rodríguez, J. H., & Pat Canul, R. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería*, 16(2), 83–91.
- Centeno, L. G., Quinatana, A., & López, F. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldo*, 26(1), 433–446.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, I., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.
- Hanna Instruments. (2019). Demanda Química de Oxígeno y materia orgánica. <http://www.hannaarg.com/blog/demanda-quimica-de-oxigeno-y-materia-organica/>
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana.

- Linares, J. A. (2015). *Empleo de bofedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales de baños portátiles*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>.
- Romero, T., & Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas', *Ingeniería Hidráulica Ambiental*, 28(3), 88–100.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2015). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157–167.
- Rubio, J. L., & Montenegro, A. M. (2018). Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3 ra Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Martín.