

Artículo Original

Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie *Zantedeschia aethiopica* en Viquez – Lurigancho (Perú)

EFFICIENCY OF TREATMENT OF DOMESTIC WATERS THROUGH HAFSV WITH SPECIES OF *Zantedeschia aethiopica* IN VIQUEZ - CARAPONGO

YIRA YADIT CASTRO LEANDRO§*, WILBER PEREZ HUACHACA§, CRISTOFER MARIÑO CONDORI§, MILDA AMPARO CRUZ HUARANGA§

Recibido: 15 septiembre de 2018 / Aceptado: 07 noviembre de 2018

§EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de remoción de componentes químicos del agua doméstica así como de microorganismos mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical con la especie emergente de *Zantedeschia aethiopica* (cartucho). Los humedales artificiales son una tecnología viable para tratar aguas residuales domésticas en el sector rural debido a su bajo costo de operación y simplicidad en el manejo. Por ello el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticos es una alternativa viable y económica. El tratamiento a planta piloto con humedal subsuperficial de flujo vertical con la especie emergente de *Zantedeschia aethiopica* se logró una eficiencia de remoción al 49% de los componentes químicos y microbiológicos, para un caudal de 0.67 L/seg con un TRH de 48 horas. Los parámetros como; PH, OD, T°, µS/cm, DBO, DQO, nitritos y coliformes totales y fecales fueron comparados con el ECA (D.S N° 015-2015-MINAM) categoría 3 para riego de vegetales de tallo alto y bajo, los cuales cumplieron con lo establecido en la norma indicada. La especie ornamental usada entrega un valor estético al entorno, junto a un posible beneficio económico para la población usuaria del sistema.

Palabras clave: Humedal artificial, agua residual, especie emergente, remoción, filtro

Abstract

The objective of this research was to evaluate the efficiency of the removal of components of domestic water, as well as of the microorganisms by means of an artificial wetland of vertical subsurface flow with the emergent species of *Zantedeschia aethiopica* (cartridge). Artificial wetlands are a viable technology for treating domestic wastewater in the rural sector due to their low cost of operation and simplicity of management. For example, the use of artificial wetlands for the treatment of wastewater becomes a viable and economical alternative. The treatment of a pilot plant with subsurface vertical wetlands with the emergent species of *Zantedeschia aethiopica* involves a removal efficiency of 49% of the chemical and microbiological components, for a flow rate of 0.67 L/sec with HRT of 48 hours. The parameters like; PH, OD, T °, µS/cm, BOD, COD, nitrites and total and fecal coliforms were compared with the ECA (DS N ° 015-2015-MINAM) category 3 for the irrigation of high and low plants, which complied with the established in the indicated norm. The ornamental species.

Keywords: Artificial wetland, residual water, emergent species, removal, filter

Correspondencia de autor: km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima. E-mail: yiracastro@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso no renovable necesario para la subsistencia de los seres vivos en el planeta tierra (Espinoza y Verenice, 2015). Según Azcona (2012) es un elemento indispensable para la vida de todo ser vivo, la cual dependiendo de su calidad, cantidad, constitución y uso, puede convertirse en un factor de prevención o de transmisión de enfermedades, afectando o resguardando de manera importante la salud de la población (Alvarado, 2009). El agua ha condicionado, desde siempre, el desarrollo de las diferentes civilizaciones, de manera que el progreso y decadencia de la misma siempre se ha visto influenciado por la presencia de la misma (López, 2006).

En las últimas décadas los niveles de contaminación de ella se han incrementado a niveles estratosféricos, ocasionando la escasez de este líquido vital, la presencia de contaminantes en casi todos los acuíferos y aguas superficiales, así como la proliferación de enfermedades infecciosas (Espinoza y Verenice, 2015). El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor descarga de aguas residuales (Zambrano, Saltos y Villamar, 2004).

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargas al sistema de alcantarillado (Aguasistec, 2010), (Norma OS 090, s.f.), (Corrales, 2009). Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales (Corrales, 2009). Según Echarri, (2007) son peligrosas para la salud humana y dañina para la vida, Barba (2002) menciona que la contaminación ha aumentado en los últimos años, la actividad industrial ha incrementado la polución de las aguas de la superficie terrestre y subterránea.

Los humedales construidos, es una tecnología viable para tratar aguas servidas en el sector rural debido a su costo de operación y simplicidad en el manejo tecnológico. También son sistemas complejos en los que se lleva a cabo interacciones entre agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo, suelo y aire con la finalidad de mejorar la calidad del agua residual (Gonzales, 2015).

Según estudios realizados; Suárez, Agudelo, Rincón, y Millán (2014) menciona que los humedales artificiales de flujo subsuperficial fueron evaluados con el fin de establecer su aplicabilidad al tratamiento de aguas residuales domésticas de la Universidad Libre, sede Bosque Popular. El seguimiento se realizó durante un período de 2 meses, ejecutando análisis para determinar la disminución de materia orgánica, sólidos suspendidos totales, y fósforo y nitrógeno, entre otros parámetros físicos y químicos. También Espinoza y Verenice (2015) en sus resultados indica que elimina una cantidad significativa de contaminantes, disminución de DQO, DBO5, sólidos.

Son sistemas complejos en los que se llevan a cabo interacciones entre agua, planta, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire con la finalidad de mejorar la calidad del agua residual (Guerrero, 2011). Según Texas (2001) los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos (Maqueda,

2013).

Las tres funciones básicas que tienen los humedales artificiales y que les hacen poner un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales antes de su disposición cualquier cuerpo: fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos y lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento (Bahamonde, 2006).

Los Humedales de flujo vertical (FSSV) Son cargados intermitentemente por lo que el medio granular no está permanentemente inundado, de esta forma se estimula el suministro de oxígeno. El agua residual es aplicada de arriba hacia abajo por medio de tuberías, Los sistemas de flujo vertical operan con cargas superiores que las horizontales y llegan a producir efluentes más oxigenados y sin malos olores (Guerrero, 2011).

Según Jácome, Burgos y Reyes (2013) en estos sistemas ocurre un número importante de procesos físicos, químicos y biológicos interrelacionados, varios investigadores han informado sobre la aplicación de humedales como una opción eficaz de bajo costo para el tratamiento secundario y terciario de aguas residuales, y los consideran una opción adecuada para la depuración de aguas residuales de pequeños núcleos en áreas rurales. Los FSSV pueden ser una solución óptima para la depuración de aguas residuales con flujos discontinuos o intermitentes, como es el caso de segundas viviendas, escuelas e incluso reboses de alcantarillado unitario.

En un sistema de tratamiento con humedales se utilizan diversas plantas para el proceso, la elección depende del lugar de crecimiento y adaptación al clima de la vegetación, teniendo múltiples especies: Alpinia (*Alpinia purpurata*), carrizo (*Phragmites* spp.), espadaña (*Typha* spp.), junco (*Schoenoplectus* spp.), achira (*Canna* spp.), lirio (*Iris* spp), papiro (*Cyperus* spp.), cala (*Zantedeschia aethiopica*).

Los componentes principales de los humedales artificiales viene a ser el primer lugar el Sustrato. Es el material que sirve de soporte a las plantas y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la eliminación de contaminantes del agua (Gonzales, 2015). También es un medio filtrante, Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento (Norma OS 090, 2006), en segundo lugar agua. Es el agua residual procedente de industria general, doméstica, municipal, de drenajes ácidos de minas con diversos contaminantes que ingresa a los humedales para el tratamiento (Zambrano *et al.*, 2004) y tercero la vegetación. Se encuentra tres tipos; flotantes, planta que no está arraigada al sustrato tomando nutrientes del agua necesaria para su crecimiento; sus hojas se mantienen flotando, emergentes son las macrófitas enraízan en el suelo y que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la rizósfera, a la eliminación de nutrientes (absorción/adsorción) y desarrollo de biopelícula bacteriana (Gallegos, 1999).

Además el efluente del tratamiento con humedales es usada en procesos agrícolas y de acuicultura (Suárez *et al.*, 2014), por ello planteamos diseñar, construir y monitorear un humedal de tipo flujo subsuperficial vertical, utilizando alcatraces (*Zantedeschia aethiopica*) como plantas emergentes con el objetivo de evaluar la eficiencia de remoción de parámetros físicoquímicos y microbiológicos de las aguas domésticas mediante humedal de flujo subsuperficial con la especie emergente de *Zantedeschia aethiopica*.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

La construcción del sistema de humedales de flujo subsuperficial, se encuentra ubicado en el departamento de Lima, en distrito de Lurigancho - Chosica, en la asociación “Los Víquez” Mz. B Lt. 1 a 4695 msnm con longitud de 297575 y latitud de 867238. El área de trabajo está en una zona de cultivos de hortalizas y el afluente principal es la acequia que ingresa con un caudal de 57.8 m³/ día (Figura 1).



Figura 1. Ubicación Geográfica d la zona de estudio.

AFORAMIENTO DEL CAUDAL

Los materiales utilizados para el aforo del caudal fueron: balde de 4 lt, cronómetro, calculadora, GPS. El método usado fue el volumétrico, debido a que el sistema de recolección de agua es una tubería de PVC de 4 pulgadas el cual consistió en:

- Con ayuda del balde de 4 litros y el cronómetro se procedió a realizar la medición del caudal, el cual consistió en que tiempo se llenó con el agua residual (6, 6.07, 6.08, 5.84) segundos en la fuente (acequia) de agua doméstica.
- Finalmente, los datos obtenidos en campo (volumen y tiempo promedio) son aplicados mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

t = tiempo (segundo)

Q = caudal (m³/segundo)

V = volumen del recipiente (m³)

El caudal resultante fue de 0.67 L/s o 57 888 L/día (57.888 m³/día)

MUESTREO DE PARÁMETROS

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos (pH, turbiedad, temperatura, conductividad, OD, DBO₅ y fosfato) fueron analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión, ubicada en el km 19.5 de la carretera central, Ñaña, Lurigancho-Lima.

Nitrato y los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) fueron analizados en el Laboratorio de Ensayo acreditado por el Organismo peruano de acreditación INACAL – DA con registro N° LE-022. Para calcular el fósforo y P₂O₅ se multiplicó por una constante (0.326 y 1.495 mg/l) al resultado del fosfato. La tabla siguiente muestra el resumen de parámetros, unidad, método y equipo usado para el análisis en laboratorio.

Tabla 1. Resumen de parámetros, unidad, método y equipo usado para el análisis en laboratorio

Variable	Unidad	Método	Equipo
Parámetros físico químicos			
PH	Unidad de pH	Potenciómetro	PH metro
Oxígeno Disuelto	mg/L	Electrométrico	Oxímetro
Temperatura	°C	Lectura de multiparámetro	Multiparámetro
Conductividad	uS/cm	Lectura de electrodos	Multiparámetro
Sólidos disueltos Totales	mg/L	Lectura de multiparámetro	Multiparámetro
Turbiedad	UNT	Nefelometría	Turbidímetro HANNA
BBO ₅	mg/L	Lectura del equipo en 5 días	Oxi700 de Orbeco-Hellige
BQO	mg/L		
Nitrato	mg/L	EPA METHOD 300.1 Rev. 1 1997	
Nitritos	mg/L	EPA METHOD 300.1 Rev. 1 1997	
Fosfato	mg/L	Lectura de equipo automático	C 99 Multiparameter Bench Photometer – HANNA
Fósforo	mg/L	0.326	
Óxido de Fósforo	mg/L	1.495	
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes Totales	NMP/100 ml	SMEWW-APHAWWA- WEF Part 9221 B, 21st Ed. Approved by SM Committee 2006	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	SMEWW-APHAWWA- WEF Part 9230 B, 21st Ed. 2005	

IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA PILOTO

Se procedió a la implementación del humedal:

- Diseño de la planta piloto, con un área de 1 x 1.2 m y profundidad de 0.4 m para el humedal subsuperficial de flujo Vertical y se revocó con barro y arcilla para subsanar los huecos y superficies desniveladas.
- Para la implementación se colocó un plástico impermeable para evitar infiltraciones y contaminación. También colocación de tubos tanto para el afluente y efluente.
- Se realizó un lavado con agua a las gravas, piedra chancada y confitillo.
- Para evitar el ingreso de animales y posible daño a las plantas más adelante se cercó con carrizo y malla metálica alrededor de la planta piloto.
- Colocación cada 10 cm con capas de grava, piedra chancada y confitillo de forma uniforme. Finalmente, la para la plantación de los cartuchos tanto en cantidad de 16 y distancia se calculó con la fórmula siguiente:

$$n^{\circ} \text{ de especies} = \sqrt{\frac{A}{D}}$$

Dónde: A: área total del humedal (1.2 m²), D: diámetro de la base del cartucho (0.08 m)





Figura 2. Proceso de implementación del sistema de tratamiento



Figura 3. Diseño e implementación del humedal artificial Vertical.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros organolépticos se verificaron lo siguiente; el agua tenía olor a planta y abono, el color aparente era clara con presencia de sólidos y el sabor no era aceptable. Luego de los análisis del análisis físicoquímicos y microbiológicos de la muestra de agua residual doméstica de la acequia se obtuvo lo siguiente:

Tabla 2. Pre y post datos de parámetros físicoquímicos y microbiológicos analizadas.

Parámetros físico-químicos	Pre - tratamiento	Pos – tratamiento
Ph	7.5	7.1
OD (ppm)	9.41	6.67
Temperatura (°C)	18.8	19.4
Conductividad (uS/cm)	480	540
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	230	260
Turbiedad (UNT)	160	3.44
Fosfatos (mg/L)	0.66	0.54
Nitratos (NO ₃)(mg/L)	0.584	0.23
Nitritos (mg/L)	0.12	0.016
DBO ₅ (mg/L)	5	2.5
DQO (mg/L)	11	5
Fósforo (P) (mg/L)	0.22	0.18
Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅) (mg/L)	0.99	0.81
Parámetros Microbiológicos		

Coliformes totales	11000	790
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	11000	140

Tabla 3. Parámetros de eficiencia a la entrada y salida del humedal con cartucho

Parámetros físico-químicos	Entrada	Salida	Eficiencia (%) - Sistema	Eficiencia (%) – ECA
pH	7.5	7.1	5.33	100
OD (ppm)	9.41	6.67	29.12	100
Temperatura (°C)	18.8	19.4	3.19	100
Conductividad (uS/cm)	480	540	112.5	100
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	230	260	*13.04	
Turbiedad (UNT)	160	3.44	97.85	
Fosfatos (mg/lt)	0.66	0.54	18.18	
Nitratos (NO ₃) (mg/lt)	0.584	0.23	60.62	100
Nitritos (mg/lt)	0.12	0.016	86.67	100
DBO ₅ (mg/lt)	5	2.5	50	100
DQO (mg/lt)	11	5	54.55	
Fósforo (P) (mg/lt)	0.22	0.18	18.18	
Óx. de Fósforo (P ₂ O ₅) (mg/lt)	0.99	0.81	18.18	
Parámetros Microbiológicos	Entrada	Salida	Eficiencia %	Eficiencia %
Coliformes totales	11000	790	92.82	100
Coliformes fecales	11000	140	98.73	100
Total			49 %	100 %

Nota *Ineficiencia en el sistema

El DBO del agua doméstica de la acequia a tratar fue de 5 mg/lt, luego de pasar por el sistema de humedal con una especie ornamental *Zantedeschia aethiopica* fue de 2.5 mg/lt, con una eficiencia del 50%, el ECA D.S 0015-2015 MINAM categoría 3, exige 15 mg/lt, por ello estamos dentro de la norma indicada.

Otros estudios como los reportados por (Barrera, 2008) y (Jimenez, 2014) los HA resultaron altamente eficientes con estas especies en el tratamiento de aguas residuales, ya que presentan una remoción de DBO₅ del 90%, la vegetación utilizada (*Thalia geniculada* y *Paspalum paniculatum*) es nativa de la región lo cual le da un potencial. *Zantedeschia aethiopica*. Según Guerrero (2011) nuestra la cala es una planta popular en México, originaria de zonas templadas ubicadas al sur y este de África, crece en zonas húmedas. Es susceptible a heladas, plagas y enfermedades.

Las bajas velocidades que se produce en el sistema, la presencia de plantas y medio de soporte, hacen que se favorezcan la filtración y sedimentación de la MO que se encuentra suspendida. Al ser removidos, así como la vegetación muerta ejercen una demanda de

oxígeno y como resultado hay remoción de DBO rápidamente a medida que avanza el agua (Delgadillo, Camacho, Perez, y Mauricio, 2010).

Según Zurita y J. Belmont (2009) en un estudio con sistemas HSS a escala piloto que utilizaron tres especies, las eliminaciones promedio fueron de hasta 80, 52 y 50 % para DBO5, NT y PT. Morales y López (2013) concluyen que esta especie ornamental en humedales construidos eficientes en la eliminación de materia orgánica hasta 80 y 86 % para este parámetro.

Preliminarmente es posible indicar que las plantas ornamentales han mostrado una eficiencia de eliminación de materia orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) variando entre 70 y 93% (Morales y López, 2013).

Los humedales son eficaces en la reducción de demanda bioquímica de oxígeno hasta un 90% con un nivel de influente de 113 mg/l con lo que se ha obtenido un efluente de 11 mg/l, sólidos suspendidos, nitrógeno y metales (Setty, 1999).

En cuanto al DQO del agua doméstica de la acequia a tratar fue de 11 mg/l, luego de pasar por el sistema de humedal con una especie ornamental *Zantedeschia aethiopica* fue de 5 mg/l, con una eficiencia del 50%, el ECA D.S N° 015- 2015 MINAM categoría 3 (riego de vegetales de tallo alto) exige 40 mg/l, por ello estamos dentro de la norma indicada. En otros estudios como los reportados de en Atlixo (México) se trató aguas residual de lavado de vegetales, en HFSS con especies *Phragmites australis* y *Typha latifolia*, los resultados mostraron eficiencia al 90 % en DBO5 y DQO (Guerrero, 2011). En una evaluación de cartucho como planta emergente en un pantano de flujo HSS para tratamiento de aguas residuales de una granja porcícola incrementó una remoción: en un 13% en DQO de 13%, DBO5 de 13%, fosfatos de 17.67%, turbiedad de 11.02%, SST 9.62%, conductividad eléctrica 5.3%, coliformes totales 1.21%, coliformes fecales de 1.45% y otros (Gallegos, 1999), así que como hay eficiencias bajas también hay altos, por ende lo que importa es la remoción (Escobar, 2014).

El OD se comparó con el ECA, D.S 0015- 2015 MINAM categoría 3, el humedal artificial mostró valores que cumplieron con lo establecido, indicando un efecto positivo y una mejor calidad de agua residual tratada representando una eficiencia al 29.12%.

La concentración OD varía dependiendo de la temperatura, turbidez, presión atmosférica y actividad fotosintética de las algas y plantas. La temperatura y el OD son inversamente proporcionales: a mayor temperatura menor concentración de OD (Gonzales, 2014), para poder respaldar en los estudios realizados por Gonzales, (2014) los valores de oxígeno disuelto del humedal presentó un valor máximo de 4.24 mg/L en el tratamiento con *Zantedeschia aethiopica* y el mínimo de 2.94 mg/L, estos estudios coinciden con los valores obtenidos en el prototipo ya que en los valores finales baja 3 unidades esto se debe a los factores ambientales presentes el área de trabajo.

A pesar de que las raíces liberaron oxígeno, la cantidad ocupada para la respiración y los procesos llevados a cabo para descomponer la biomasa muerta no permitieron incrementar la concentración de oxígeno, al contrario bajo hasta 6.67mg/L que de acuerdo con Tanner y Headley (2011) es la cantidad adecuada que debe tener un efluente para permitir el desarrollo de una alta diversidad de organismos acuáticos.

Para la temperatura El ECA, D.S 0015- 2015 MINAM categoría 3, donde exige una variación más o menos 3 °C de la temperatura ambiental. En el tratamiento con humedal artificial de flujo subsuperficial con cartucho resultó eficiente al 3.19 %. Los factores que afectan directamente la temperatura del agua son; la ubicación geográfica del cuerpo de agua y a la estación del año. La temperatura afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran el agua, en especial afecta la solubilidad de muchos elementos principalmente el oxígeno disuelto (Stachetti, 2007). Según Tanner y Headley (2011) indica que la temperatura del agua puede ser de 2 a 4 °C menor que la temperatura ambiente debido a la sombra que ejercen las plantas, Cárdenas (2013) explica que para que exista una buena remoción de nitratos debe haber condiciones específicas de temperatura (>25° C). El cartucho tuvo un crecimiento lento pero seguro esto indica que independientemente de las condiciones (temperatura y clima), ésta especie se adapta y sobrevive sin problema, demostrando que es óptima para sistemas de tratamiento de aguas residuales en zonas con clima templado siendo que los diferentes grados afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que el proceso es más lento, 1 °C de temperatura del agua conduce a la formación corrientes de variación de la densidad, a bajas temperaturas en la decantación aumenta la viscosidad y por ende dificultad de sedimentación de floc (Fallis, 2013).

La conductividad según el ECA, D.S 0015- 2015 MINAM categoría 3 para riego de vegetales de tallo alto y bajo, exige 2500 uS/cm. Durante este estudio en el humedal artificial, los valores están dentro de lo indicado por la norma pero presenta con una eficiencia del 112.5% en el sistema.

La conductividad eléctrica se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas y más concretamente de sales disueltas. Las altas concentraciones de sales afectan la calidad del agua y también influyen en la biota acuática (Roldán 2013).

Según Gonzales, (2014) menciona que la exposición de las muestras a lechos de rocas o sustratos con gravas elevan la conductividad de las aguas a tratarse. Al comparar el resultado del efluente cumple con la teoría ya que la conductividad en el efluente fue mayor al influente.

En el parámetro del fosfato, se observa que en este parámetro hubo una remoción eficiente del 18.18 % en el sistema pero no se comparó con la normativa D.S 015-2015 categoría 3 ya que no lo exige. Según Pütz (2010) los compuestos de los fosfatos son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 g de fosfato-fósforo (PO₄-3-P) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 g. Según estudios de Zúñiga (2004) y Carranza (2014) que al utilizar grava fina como sustrato obtuvieron eficiencias de 69.8, 62.3 y 65.1 % respectivamente y concluyeron que para mayor remoción de fósforo es utilizar la grava junto con otro sustrato como la arena.

En cuanto a los nitratos se observa que en este parámetro hubo una remoción eficiente del 60.62%. No se comparó con la normativa D.S 015-2015 categoría 3 ya que no lo exige. Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro (BV, 2016). En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas. Las

concentraciones pueden alcanzar varios cientos de miligramos por litro, en algunos países, hasta un 10% de la población puede estar expuesta a niveles de nitratos en agua potable superiores a 50 mg/l, Sin embargo los sistemas de HA y su mecanismo de eliminación, aunque ocurre la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas pero solo una fracción puede ser eliminada por esta vía (aprox. 10 %), también alimentan el proceso de nitrificación. Se estima que se requieren entre 5-9 mg/l de BBO para desnitrificar 1 gr de N-NO₃, la mayor fuente de MO utilizada en humedales para este proceso son los detritos de plantas, es por esto generalmente los sistemas con flujo subsuperficial en la remoción de nitrógeno (Delgadillo, Camacho, F.Perez, y Mauricio, 2010).

Los nitritos que muestra el ECA, D.S 0015- 2015 MINAM categoría 3 exige 10 mg/l, durante este estudio en el humedal artificial, los valores están dentro de lo indicado por la norma con una remoción eficiente al 86.67% en el efluente del sistema. La nitrificación es un proceso aerobio donde las bacterias transforman el nitrógeno orgánico hasta convertirlo en nitrito, mientras que la desnitrificación es convertido a nitrógeno gaseoso que se desprende a la atmósfera (Claros, 2012)

El fósforo del agua doméstica de la acequia en el presente estudio la concentración en el influente fue de 0.22, luego de pasar por el sistema de humedal con *Zantedeschia aethiopica* fue de 0.18 mg/l con eficiencia de 18.18%. No se comparó con la normativa D.S. N° 015-2015-MINAM categoría 3 ya que no exige. La eliminación de fósforo es limitada en humedales, sus mecanismos de remoción son; la adsorción por materia orgánica o la presencia de hierro, aluminio o calcio en el suelo, la formación de complejos, la precipitación y la captura de las plantas (Delgadillo, Camacho y Serie, 2010).

Según Delgadillo, Camacho y Serie (2010), la eutrofización es un desequilibrio de un ecosistema (en su mayoría lagos, embalses y ríos de baja renovación) por la presencia excesiva de nutrientes disueltos (fósforo y nitrógeno), cuya consecuencia inicial es una mayor productividad algas, que más tarde termina con la muerte del ecosistema por la falta de oxígeno disuelto. Se observa en la tabla líneas arriba que el óxido de fósforo del agua doméstica tratada con humedal artificial de flujo subsuperficial vertical en el presente estudio la concentración en el influente fue de 0.22, luego de pasar por el sistema de humedal con *Zantedeschia aethiopica* fue de 0.18 mg/l, con una eficiencia del 18.18%. No se comparó con la normativa D.S. N° 015-2015-MINAM categoría 3 para riego de vegetales de tallo alto y bajo ya que no exige.

Este parámetro no se comparó con la normativa ya que no lo consideran en la categoría 3. Los sólidos disueltos comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio magnesio, potasio y sodio, etc.) y pequeñas cantidades de materia orgánica que estén disueltas en el agua, una de las principales vías de remoción de estas sales es la absorción (OMS, 2003). En otros estudios, el mayor porcentaje de remoción fue 35% en un humedal utilizando grava como sustrato, comparando con el trabajo se observó un déficit de remoción de -13.04% de STD, utilizando piedra chancada, confitillo y grava (Hernández, 2012). Como se puede apreciar los sustratos no fueron lo suficientemente efectivos para la remoción de STD, posiblemente fueron mal lavadas o el contacto con polvo del ambiente que alteró el sistema.

Los coliformes Fecales (CF) y totales en el agua doméstica tratada con humedal fue mayor que el efluente del sistema de humedal con *Zantedeschia aethiopica* (140 NMP/100 ml) presentando una eficiencia del 98.7 % en la primera y 92.82 % en la segunda, el ECA D.S 0015- 2015 MINAM categoría 3 (riego de vegetales de tallo alto y bajo) exige 1000 NMP/100 ml, por ello se menciona que está dentro de lo establecido en el decreto. En otras investigaciones como; los humedales obtuvieron remociones mayores del 90% en estaciones experimentales cerca del 99%), debido a los largos tiempos de retención hidráulica y biofiltración lo que propicia su sedimentación y muerte natural, por degradación por invertebrados y otros microorganismos y al ataque por antibióticos

excretados por las raíces de las plantas emergentes (Giselle, 2011). En conclusión, el humedal tiene la capacidad adicional de poder disminuir los coliformes fecales.

Recomendaciones

El humedal subsuperficial tiene que mantener siempre un flujo continuo.
 Lavar bien los sustratos antes de colocar al humedal.
 La selección de la vegetación a utilizar para los humedales debe tener las características de la región donde se realizará el proyecto así como las siguientes recomendaciones:
 Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones del sistema.
 La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de una biopelícula.
 Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir máxima asimilación de nutrientes.
 Debe tratarse de especies de elevada productividad.
 Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
 Utilizar especies nativas.
 Cambiar las plantas cuando se observen que estas han alcanzado su máximo crecimiento y reemplazarlas por nuevas que permitan el buen funcionamiento del sistema.

Agradecimientos

Nuestros sinceros agradecimientos al profesor Ing. Jaulis Raymundo Palomino de la asignatura de Hidrología por brindarnos su terreno incondicionalmente para realizar el trabajo experimental.

Referencias

- Aguasistec. (2010). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR.
 Alvarado, D. M. (2009). Agua. san jose: Universidad estatal a distancia.
 Azcona, Á. C. (2012). El agua para la salud.
 Barba, L. E. (2002). Conceptos básicos de la contaminación de agua. España: Universidad del Valle.
 Barrera, B. (2008). Dinámica y cinética de microalgas para el diseño de lagunas de estabilización facultativas en climas templadas. (Azcapotzalco, Ed.) Tesis Doctoral.
 BV, L. (2016). Obtenido de nitratos, nitritos y nitrógeno total
 Chung, A. K. (2008). Nitrogen and phosphate mass balanc in a sub-surface flow constructed wetlans for treating municipal wastewater. Elsevier, 32, 81-89
 Claros, A. (2012). Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amonacal. En Valencia (Ed.), Tesis Licenciatura, Universidad politécnica de Valencia. España: Valencia.
 Corrales, A. V. (2009). Contaminacion del agua.
 Echarri, L. (2007). Población, ecología y ambiente .
 EPA (1998). National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). Obtenido de Constructed Wetland for Animal Treatment. A manual on performance, Desing and Operation with Case Histories
 Escobar, A. F. (2014). Tratamiento de agua residual procedente de la industria de curtiembres mediante humedales subsuperficiales usando. Madrid: RIA.
 Espinoza, C., y Verence, D. (2015). Uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial para protratamiento de aguas residuales de la industria textil, 1427–1431.
 Fallis, A. (2013). Remoción de materia orgánica por medio de coagulación y floculación. Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 1689–1699.
 Giselle, A. (2011). Evaluacion de la eficiencia de un humedal artificial. Bucaramanga.
 Gonzales, M. T. (2014). Estudio de crecimiento de plantas y evaluación de la capacidad de remoción de contaminantes en aguas residuales en microcosmos de HA. Colombia: D y J.
 Guillermo. (2009). Potabilización y tratamiento de Agua. U.S.A.
 Hernandez. (2012). Propiedades sortivas del humedal ramsar-patzcuaro. Morelia.

- Hernández, A. C. (2008). Depuración con Humedales construidos. Catalunya: Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad.
- Jiménez, E. (2014). Humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. En Tesis de maestría. México: Montecillo. Obtenido de
- Katsenovich, Y. P. (2009). Performance evaluation of constructed wetlands in tropical region. *Ecological Engineering*, 35, 1529-1537. Obtenido de
- Lopez, C. p. (2006). Agua.
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., y Jacob-Lopes, E. (2014). Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. *Revista Ambiente E Agua*, 9(3), 445-458
- MINAM. (2015). Modifican los Estándares Nacionales de. Lima.
- Morales G., López D., V. I. y V. G. (2013). Humedales construidos con Plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas, 22(1), 33-46.
- Nevárez, G. J. (2014). Humedales Artificiales Subsuperficiales. Ecuador.: Dreams Magnet.
- Norma OS 090. (s.f.). Obtenido de Norma Técnica de Edificación OS 090 - Planta de tratamiento de aguas Residuales
- OMS. (2003). total dissolved solids in drinking water. suiza: WHO/SDE/WSH.
- Ortiz, C. E. (2014). Factibilidad del Diseño de un humedal de flujo subsuperficial. BOGOTÁ D.C.: Escuela colombiana de ingeniería.
- Paz, G. E. (2014). Análisis de la cadena de valor de los cartuchos.
- Pütz, P. (2010). interempresas. Obtenido de interempresas. Recuperado el 03 de agosto de 2018 de: <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>
- Suárez, A., Agudelo, N., Rincón, J., y Millán, N. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Mutis*, 4(1), 8-14
- Tanner, T., y Tania Headley. (2011). Floating Treatment wetlands: a new tool for nutrient management in lakes and waterways. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 6, 38.
- Zambrano, X., Saltos, X., y Villamar, F. (2004). Diseño del Sistema de Tratamiento para la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas de la Población San Eloy en la Provincia de Manabí por medio de un Sistema de Tratamiento Natural compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Libre. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/240/1/378.pdf>