

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON LA ESPECIE VETIVER (*chrysopogon zizanioides*) EN HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER WITH THE SPECIE VETIVER (*chrysopogon zizanioides*) IN WETLANDS OF SUBSUPERFICIAL FLOW

María Ysabel Rojas Díaz¹
Celso Nazario Purihuamán Leonardo²

Fecha de recepción: 15 enero 2018

Fecha de aprobación: 26 marzo 2018

DOI: <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.125751>

Resumen

El objetivo de esta investigación fue, realizar el tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (Chrysopogon Zizanioides) en humedales artificiales de flujo subsuperficial. El agua residual utilizada para el tratamiento en el sistema, fue tomada de la red de alcantarillado de la comunidad Santa Rosa Bajo, perteneciente al distrito de Chota; el monitoreo y análisis de los parámetros de tratamiento de aguas se realizó de acuerdo al protocolo difundido por el ministerio de vivienda y construcción D.S. 003 – 2010, se evaluó el sistema, cada diez días durante dos meses mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos (turbidez, Ph, DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas) y microbiológicos (Coliformes Termotolerantes), el muestreo se realizó al afluente y efluente del humedal artificial. Los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de remoción de estos parámetros fueron los siguientes: 99,53% (turbidez), 95,51%(SST), 83,89% (DBO5), 72,97%(DQO) 88.89%, Aceites y grasas, 99.99%(Coliformes Termotolerantes), encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$), por lo que, al comparar estos resultados con los Límites Permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua, los valores están, por debajo de los establecidos. Concluyendo que el sistema humedal artificial con la especie vetiver (Chrysopogon Zizanioides) es eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Palabras clave: Humedal artificial, Vetiver, aguas residuales, parámetros.

Abstract

The objective of this investigation was to perform the treatment of domestic wastewater with the vetiver species (Chrysopogon Zizanioides) in artificial wetlands of subsurface flow. The wastewater used for the treatment in the system was taken from the sewerage network of the Santa Rosa Bajo community, belonging to the district of Chota; The monitoring and analysis of water treatment parameters was carried out according to the protocol issued by the Ministry of Housing and Construction D.S. 003 - 2010, the system was evaluated, every ten days for two months by analyzing the physicochemical parameters (turbidity, Ph, BOD5, COD, total suspended solids, oils and fats) and microbiological (Coliforms Thermotolerant), sampling was performed to the effluent and effluent of the artificial wetland. The results obtained regarding the percentage of removal of these parameters were the following: 99.53% (turbidity), 95.51% (SST), 83.89% (BOD5), 72.97% (COD) 88.89%, Oils and fats, 99.99% (Thermotolerant Coliforms), finding significant differences ($p < 0.05$), so, when comparing these results with the Permissible Limits of effluents for discharges to bodies of water, the values are below those established. Concluding that the artificial wetland system with the vetiver species (Chrysopogon Zizanioides) is efficient for the treatment of domestic wastewater.

Keywords: Artificial wetland, Vetiver, wastewater, parameters.

1. Introducción

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo, ysabelrdiaz@gmail.com

² Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, ingcelsop@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1270-0402>

La escasez de agua es uno de los mayores problemas que tiene que enfrentar el hombre, pues dicho recurso se reduce en cuanto a calidad y cantidad. Por ello, resulta necesario emprender acciones a favor de solucionar los problemas de agua potable y de saneamiento básico. Este último se debe dar tanto con las aguas residuales de las zonas urbanas como con las rurales, bien sea para reutilizarlas o simplemente para que los vertimientos de estas a las fuentes receptoras se realicen con menor carga contaminante (UNICEF, 2006).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina están muy distantes de lo requerido en materia ambiental. Muchas de las plantas de tratamiento convencionales operan por periodos limitados (y otras son abandonadas), debido a diferentes razones, entre ellas elevados costos de operación y mantenimiento (Hench, et al., 2003). Varios de los sistemas desarrollados tipo humedal construidos se caracterizan por ser relativamente económico y sencillos de elaborar, realizan los complejos naturales de depuración, físicos, químicos biológicos, son versátiles y estables ante diferente concentraciones y tipo de contaminantes, presentan menos disipación de energía, baja producción de residuos, bajo impacto ambiental y son más bien simples de operar, eliminando materiales disueltos como suspendidos a través de su retención hidráulica degradando hasta mineralizarlos (Luna y Arbutó, 2014). Los humedales construidos, en particular los de sistema de flujo subsuperficial horizontales, se han desarrollado prioritariamente para remover materia orgánica de aguas residuales domésticas (Kadlec, et al., 2000) y están diseñados para mantener el nivel del agua debajo de la parte superior de la cama, lo que minimiza la exposición humana (Zidan et al., 2015). En las eco tecnologías de tratamiento como el caso de los humedales artificiales, las plantas cumplen un papel preponderante en la transformación de las sustancias tóxicas que allí se depositan, estas deben adaptarse a una situación de estrés por cuanto están expuestas a la contaminación (Bragato et al., 2006; Wei et al., 2009).

La evaluación de parámetros fisiológicos como el potencial hídrico, retención y eliminación de nitrógeno (N) y las tasas fotosintéticas, sirven de indicadores de la capacidad de respuesta de la planta, por ser depuradores limpios ecológicos, mejoran el paisaje de la zona, sirviendo como huéspedes de flora y fauna silvestre incluso conservando especies en peligro de extinción, son tecnologías aceptables viables para proyectos de gran escala (Jaramillo et al., 2016). En el afluente del humedal, la materia orgánica contenida en el agua residual doméstica (ARD), se presenta en forma de material suspendido y disuelto, y abarca un gran número de compuestos químicos, la cantidad de estos compuestos es caracterizada por parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y sólidos suspendidos totales (SST) (Gómez & Segura, 2008; Peña-Salamanca et al., 2009). Los humedales artificiales es una ecotecnología que mediante procesos de biotransformación, adsorción, asimilación, sedimentación etc., nos ayuda a disminuir la concentración de contaminantes, es un sistema único en la tierra y es uno de los entornos de vida más importantes, así como diversidad biológica de paisajes naturales (Wenguan et al., 2011). El presente estudio de investigación tuvo como objetivo, realizar el tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) en humedal artificial en la comunidad de Santa Rosa Bajo –Chota, con el propósito de reducir la carga contaminante de las aguas residuales, y a mejorar la calidad de vida de los seres vivos del ecosistema, donde se detalla los resultados obtenidos y la eficiencia del sistema en la remoción de contaminantes de las aguas residuales, basados en la hipótesis H_i: Los humedales artificiales con la especie (*Chrysopogon Zizanioides*) vetiver disminuirá el nivel de contaminación de las aguas residuales domésticas en la comunidad de Santa Rosa Bajo –Chota.

2. Material y métodos

El proyecto de investigación se realizó entre los meses de setiembre a noviembre del 2017, en la comunidad de Santa Rosa Bajo localizada a latitud 6°33'29.28" S, y 78°38'1.53" O, a una

altura de 2558 m.s.n.m. y 2.1Km de distancia respecto a la ciudad de Chota, Región Cajamarca, con T° máx. 20°C, humedad 91% y precipitaciones de 75%.

2.1 Selección de la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)

La especie vetiver, fue adquirido de la Universidad Agraria la Molina, de los 10 esquejes, se seleccionaron cuatro. Alegre (2007) define al esqueje como material asexual compuesta de pedazos de tallos y hojas (20cm de alto) con una pequeña cantidad de raíces (no más de 5cm) teniendo en cuenta sus características, tamaño, color de sus hojas y el tamaño de sus raíces, se sembró en el humedal artificial a una profundidad de 5cm (Alegre, 2007), con distancia de planta a planta de 25cm, el vetiver fue regado frecuentemente mediante un sistema de tubería y en forma moderada por 15 días, en un inicio con agua dulce paulatinamente se agregó agua residual con la finalidad de adaptación y evitar la pérdida de ejemplares, (Marín y Osés, 2013) mencionan que, las macrofitas y otras especies vegetales tienen que pasar por un tiempo de aclimatación a las condiciones del humedal, debido a que estas son usadas en áreas inundadas. A la salida del humedal artificial se colocó un tubo de PVC ½ con válvula para el control del caudal y durante la retención hidráulica de 10 días, para el recojo de las muestras del agua del efluente y para la descarga del reactor.

2.2 Diseño experimental

El área para la estación experimental se acondicionó, realizando la limpieza para la excavación del humedal artificial, cuyas dimensiones fueron, 100 cm de largo, 80 cm de ancho y 50 cm de profundidad (EPA, 2000). Se rellenó con las siguientes capas: rocas de diámetro menor a 6 pulgadas a una altura de 10cm luego se adicionó piedra chancada de ½ pulgada, arena, seguido de tierra agrícola y finalmente una capa de humus, el cual sirvió como soporte a las plantas de vetiver, además, se instaló el sistema de riego, para el cual se utilizó un tanque PET, de capacidad de volumen 50 L, al cual se vertió el agua residual doméstica procedente del alcantarillado; a la entrada y salida del humedal artificial se colocó un tubo PVC de 1 pulgada, se anexó en cada tubo una llave de paso para el control del caudal durante la retención hidráulica de 10 días, también, para toma de las muestras del agua del efluente y para la descarga del reactor (fig. 1).

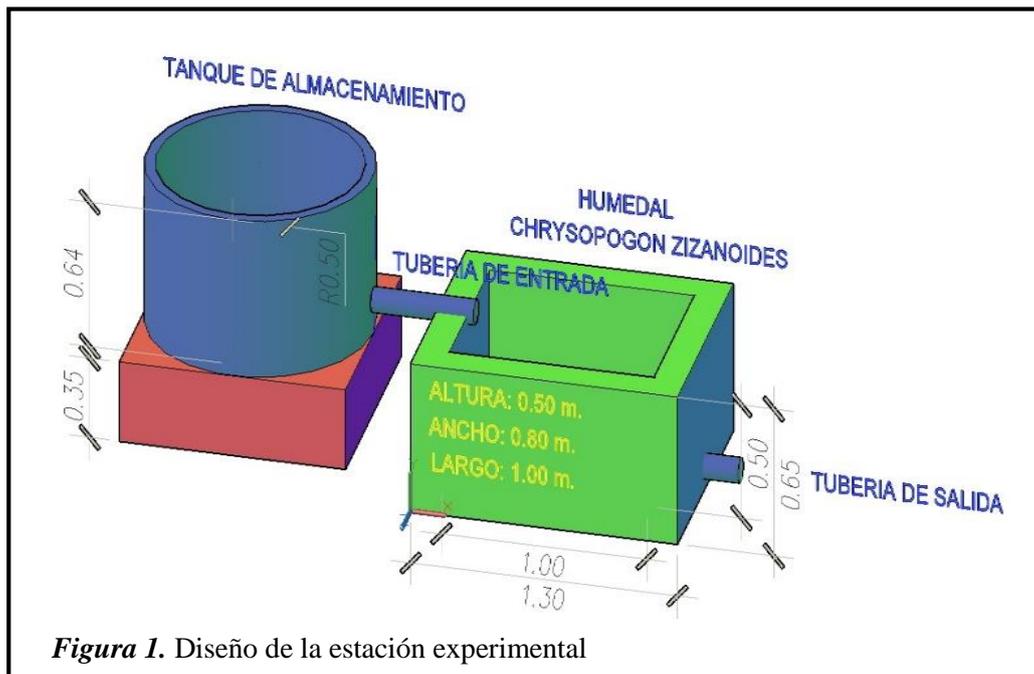


Figura 1. Diseño de la estación experimental

Toma de muestra de agua residual. Se recolectó una muestra del agua residual cruda de entrada al humedal artificial y tres muestras del agua efluente (agua tratada en el humedal), se vertieron las muestras en frascos de plástico de 1000mL previamente rotulados para el análisis de los parámetros: DQO, DBO, turbidez, SST y para el análisis de coliformes Termotolerantes, aceites y grasas se tomó las muestras en frascos de vidrio de 200mL, rotulados, de boca ancha, con cierre hermético, una vez tomadas las muestras para su preservación, se incorporó in-situ el reactivo (H_2SO_4), para los parámetros DQO 20 gotas con una proporción 1:1. , para Aceites y Grasas 40 gotas con una proporción 1:1. Las muestras de agua residual recolectadas, preservadas, y rotuladas se colocó en una caja térmica con refrigerante (ice pack) para cumplir con la temperatura de 4°C, indicada en el protocolo. La cadena de custodia permitió hacer un monitoreo de las condiciones de recolección de muestras, preservación, codificación, transporte y análisis, lo cual fue esencial para asegurar su integridad desde la recolección hasta el reporte de resultados (Bedoya et al., 2014). La toma de muestras se realizó de acuerdo con la Resolución Ministerial N° 273 – 2013 – MINISTERIO DE VIVIENDA: “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR”.

2.4 Medición de parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos

Los análisis de los parámetros se realizaron en el Laboratorio regional del agua-Cajamarca acreditado por INDECOPI-SNA con la norma internacional de calidad 17025, siguiendo los protocolos presentados en los métodos normalizados y establecidos en las más recientes ediciones de los métodos estándar para análisis de agua y agua residual por la Asociación pública norteamericana (APHA por sus siglas en inglés), Asociación norteamericana de servicios de Agua (AWWA) y la Federación para el control de contaminantes de agua (WPCF) 12 edición, 2012, empleado para aguas superficiales y aguas residuales.

2.5 Análisis estadístico

Determinar si la diferencia es significativa entre los resultados de las muestras (agua residual, tratamientos 1, 2 y 3) o si sólo representan la clase de variaciones que pueden esperarse en sus parámetros, que se obtiene al azar de la misma población, se analizó con la prueba Kruskal Wallis (Sidney, 1990). Para el contraste de variables se utilizó la prueba no paramétrica Chi-cuadrado.

3. Resultados

Tabla 4

ANAVA de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua residual domestica cruda y los tratamientos con la especie vetiver (chrysopogon zizanioides).

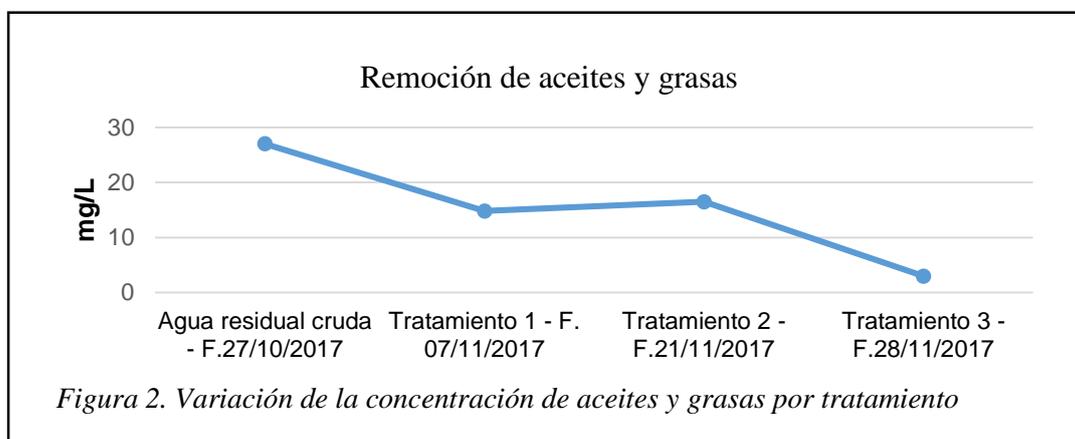
Parámetros	Agua residual cruda Fecha: 27/10/17	Tratamiento 1 fecha: 7/11/17	Tratamiento 2 fecha: 7/11/17	Tratamiento 3 fecha: 7/11/17
Aceites y Grasas mg/L	27,00	14,80	16,50	3,00
Coliformes Termotolerantes NMP/100mL	16×10^7	28×10^6	46×10^2	23×10^2
Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO5 mgO2/L	113,00	30,30	49,80	18,20
Demanda Química de Oxígeno: DQO mgO2/L	344,00	87,50	176,00	93,00
pH a 25 °C	8,26	7,99	7,77	4,35
Sólidos Suspendidos Totales: SST mg/L	152,00	25,50	6,80	6,83
Temperatura °C	23 °C	22 °C	22 °C	20 °C

Turbidez NTU	139,9	20,73	6,67	8,07
Prueba Kruskal Wallis : Chi-cuadrado=20,60, grados libertad = 6 valor p = 0,004 (p < 0.05)				

Se empleó el estadístico Kruskal Wallis, proponiendo la siguiente hipótesis nula; las medias de los parámetros de donde se extrajeron las muestras son idénticas.

Dado los valores de hipótesis $p = 0.004$, resultó significativo, por lo que implica que existe diferencias entre las valoraciones de los parámetros para agua residual domestica cruda de entrada y los tres tratamientos con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa Bajo, distrito Chota.

En las figuras 2 al 8, se muestra el comportamiento en función al tiempo de los parámetros: Turbidez NTU; pH a 25 °C; DBO₅ mgO₂/L; DQO mgO₂/L; SST mg/L; Aceites y Grasas mg/L; Coliformes Termotolerantes NMP/100mL, en el afluente y en cada uno de los tratamientos del agua residual en el humedal artificial con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*).



La concentración de los valores del parámetro de aceites y grasas del agua residual afluente del humedal artificial descendió desde 27.00 mg/L hasta 3.00mg/L registrado en tratamiento 3. Se obtuvieron estos resultados debido a que se realizó el tratamiento primario, donde agua residual antes de ser administrada al humedal paso por la acción de un tamiz, en el cual quedó adherido los aceites y grasas llegando al reactor biológico en menor cantidad (Crites y Tchobanoglous, 2000).

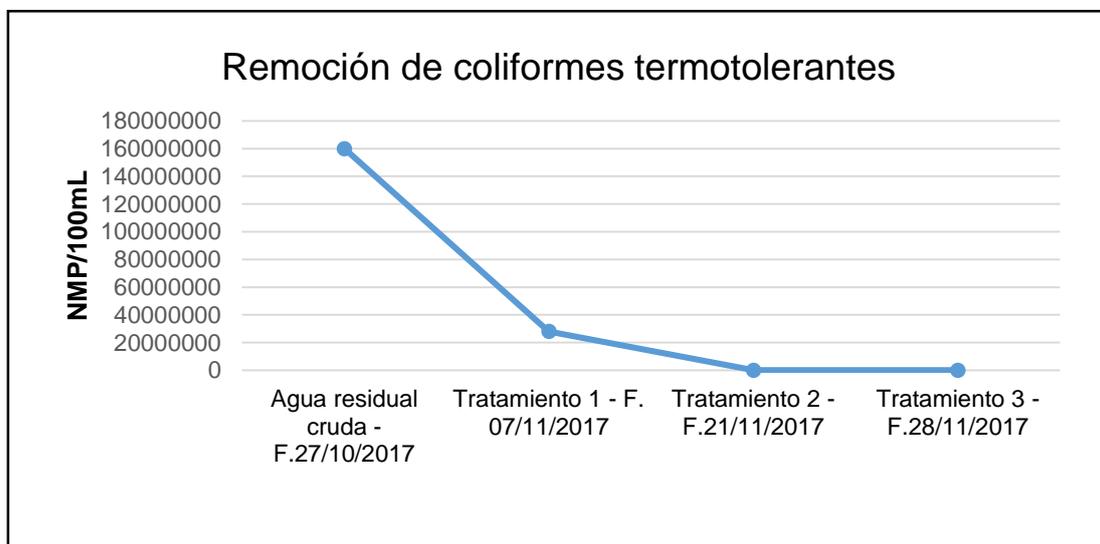
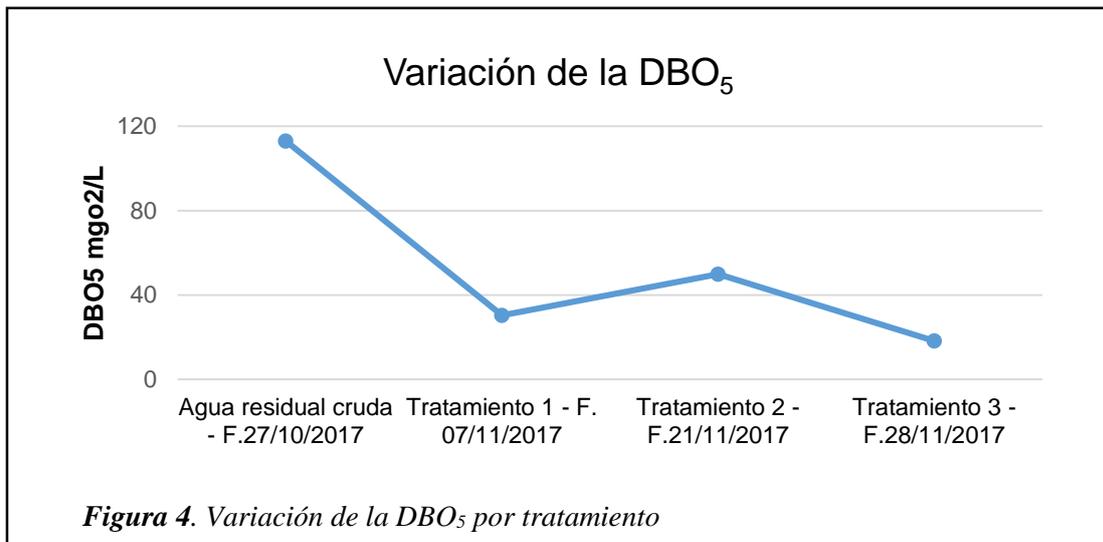
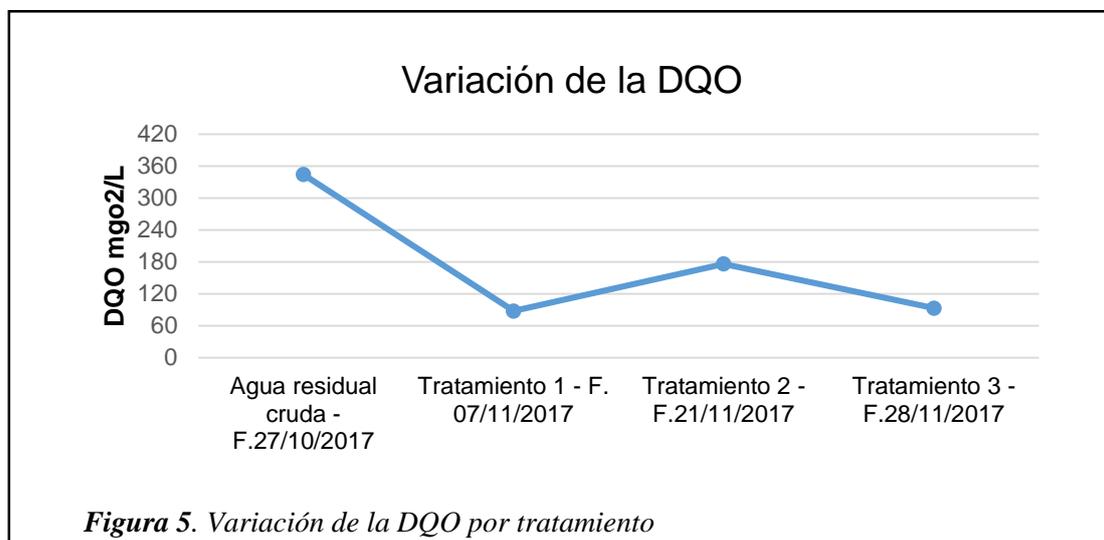


Figura 3. Variación de la concentración de coliformes termotolerantes por tratamiento

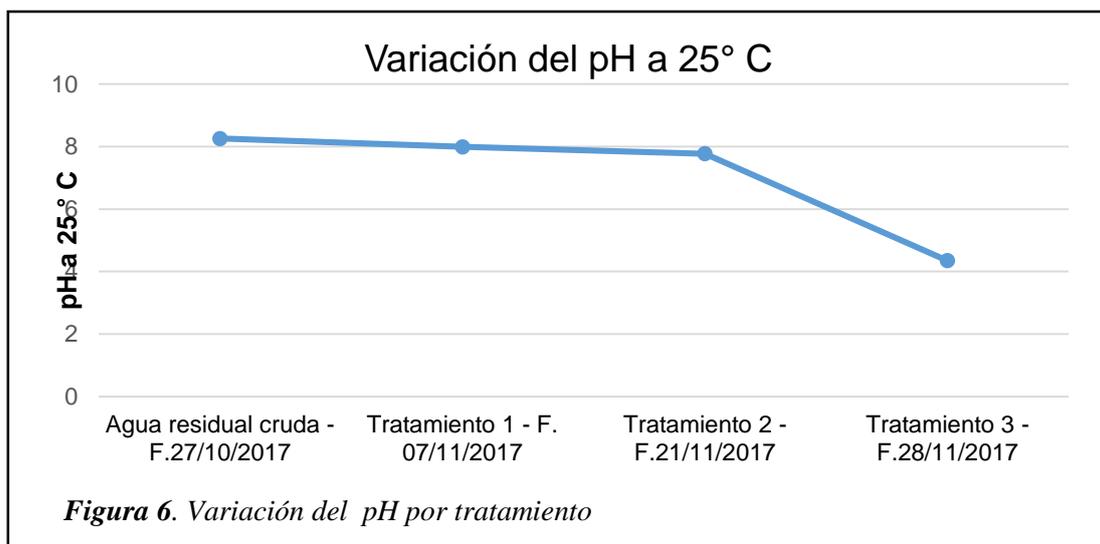
El parámetro de Coliformes Termotolerantes del agua residual afluyente del humedal artificial fue 16×10^7 NMP/100, que al ser tratada varió a 23×10^2 NMP/100 ; se logró estos resultados por el efecto de las plantas vetiver sobre las concentraciones de coliformes Termotolerantes entre los tratamientos, los periodos largos de inundación promueve la formación de aerenquima la cual mejora la difusión gaseosa (Oxígeno y etileno) promoviendo los procesos oxidativos de las bacterias bajo procesos de rizofiltración disminuyendo la concentración de coliformes en el agua (Susarla, et al., 2018).



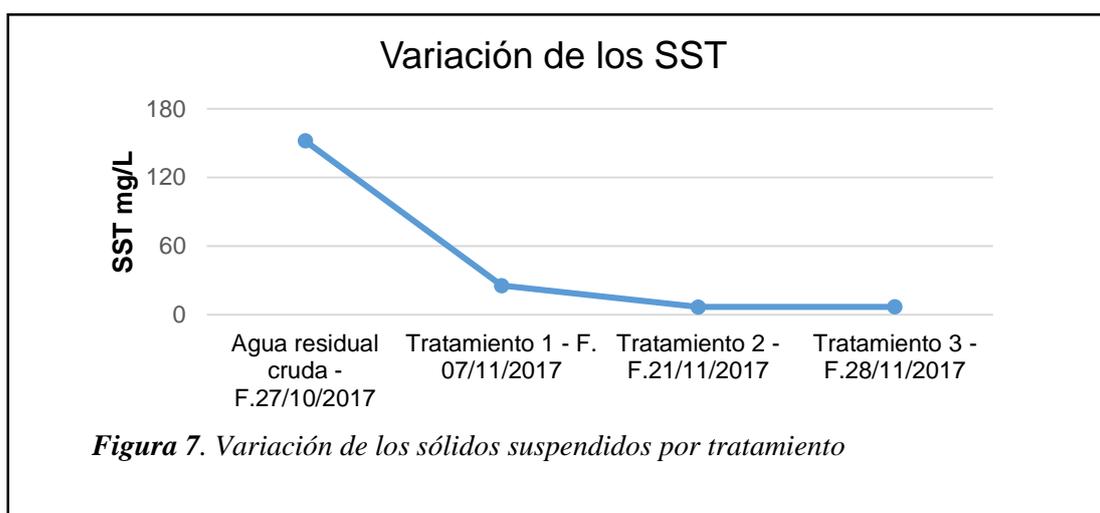
La concentración del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua residual afluyente del humedal artificial fue 113.00mg/L, que al ser tratada disminuyó a 18.20mg/L en el tratamiento 3. Los humedales con pasto vetiver han alcanzado en condiciones controladas hasta un 63% para remoción de DBO₅; esto se puede justificar a que las plantas sometidas a encharcamientos prolongados actúan como bombas de Oxígeno atmosférico, para luego ser usado por los microorganismos en el proceso de degradación (López, 2009).



La concentración del parámetro, Demanda Química de Oxígeno, del agua residual afluyente del humedal artificial fue 344,00mg/L, disminuyendo a 93,00mg/L. En los humedales, la remoción de DQO es rápida en los primeros metros, debido a la poca velocidad del afluyente, esta materia orgánica sedimentable es descompuesta aeróbica o anaeróbica por la biopelícula de microorganismos dependiendo del oxígeno disuelto, facilitando al sistema radicular para asimilar nutrientes (Martínez, 2014).



La concentración del parámetro potencial de Hidrogeno del agua residual cruda del humedal artificial fue 8,26, afluyente con pH alcalino al ser tratada en el humedal artificial disminuyó a 4,35, efluente con pH ácido, el material de relleno del humedal al estar en contacto con el agua ocasionaron estos resultados, los suelos de Chota se caracterizan por tener pH ácido por lo que antes de proceder con un tratamiento biológico se requiere de un análisis de agua para determinar si existe la necesidad de estabilizar el pH a través de métodos químicos (Hernandez, 1990), los valores no cumplieron con los Límites Máximo Permisible del DSN° 003-2010- MINAM L.M.P de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.



Los sólidos suspendidos totales, del agua residual afluyente del humedal artificial fue 152,00mg/L que al ser tratada disminuyó a 6,83mg/L. la utilización de compuestos orgánicos del agua para la producción de biomasa, proporcionan efectos que ayudan al proceso de tratamiento;

como es el crecimiento de la raíz para sostenimiento de microorganismos y propiedades hidráulicas del sustrato y el aporte de oxígeno hacia la rizósfera (Romero y Colín, 2009; Ríos y Gutiérrez, 2012). Tal condición incrementa la intervención de bacterias facultativas y anaeróbicas adheridas a las raíces y rizomas de las plantas, que con el tiempo de retención hidráulica y la acción filtrante del sustrato retienen los SST. Los principales mecanismos físicos que intervienen en la evolución de disminución de estos sólidos, son la sedimentación directa, floculación, filtración, e interceptación y resuspensión. La sedimentación directa y floculación se realiza por la acción de la gravedad, en ambos procesos han dependido del tamaño de partículas presentes en el agua dependiendo de la velocidad de sedimentación, de la forma de las partículas junto con la turbulencia y la viscosidad del fluido (Martínez, 2014).

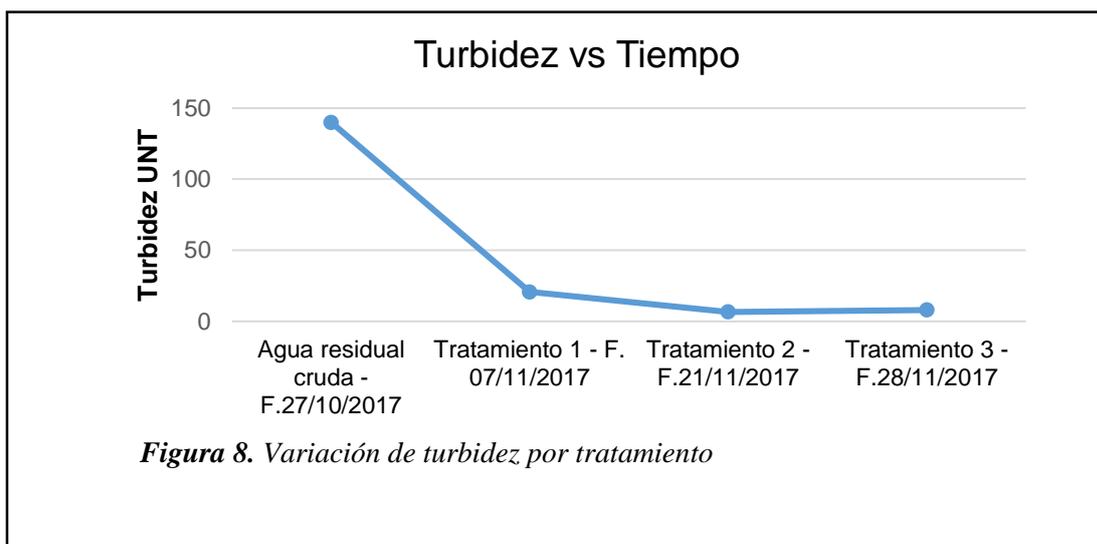


Figura 8. Variación de turbidez por tratamiento

La concentración del parámetro Turbidez en el agua residual afluyente del humedal artificial registró 39,9 Unidades Nefelométricas y mediante el tercer tratamiento el valor fue 8.07 UNT; previo al ingreso del humedal, el agua residual fue depositada en un tanque de almacenamiento facilitando la sedimentación, además permitió minimizar la retención hidráulica en la cual el medio filtrante y el sistema radicular de las especies vegetales son causantes que este parámetro disminuya las concentraciones iniciales.

4. Discusión

De los resultados obtenidos en la investigación se determinó que el humedal artificial con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*) tuvo eficiente remoción en los contaminantes de las aguas residuales domésticas los resultados coinciden con lo reportado por (Sepúlveda, 2013) quien afirma que la especie *Vetiveria zizanioides* es una planta detoxificante, apropiada para tolerar y remover altas concentraciones de contaminantes e incluso Mercurio en condiciones controladas y estáticas, además la materia orgánica es degradada por vías aerobias y anaerobias, la degradación aerobia la realiza las bacterias heterótrofas y se produce cerca de las raíces de las plantas debido a la disponibilidad de Oxígeno existente, por otro lado, de manera anaerobia, las bacterias fermentativas crecen originando sustratos que son degradados por microorganismos (Montoya, et al. 2010). Se debe considerar en las metodologías de diseño de humedales de flujo sub-superficial horizontal, los factores que influyen en el valor de la dispersión del flujo como son, la relación larga/ancho, la profundidad de raíces, la conductividad hidráulica, la temperatura del agua, la velocidad aparente del flujo además de la carga hidráulica, con el fin de asegurar la eficiencia en la remoción de carga orgánica esperada (Larriva, et al., 2017).

Experiencia realizada muestra la validez de usar esta tecnología para el tratamiento de aguas residuales de zonas rurales. (Morales, et al., 2013) afirma que los humedales construidos

es una tecnología viable con una temperatura de 26.7°C, la cual influye para que los mejores resultados se logren en los meses cálidos. los valores obtenidos de la investigación realizada, en el parámetro temperatura del agua de entrada fue (23°C) y en agua afluyente del humedal artificial se registró 22°C, lo cual dificulta en la remoción de contaminantes estos valores no concuerda con lo reportado por la literatura Romero (2010) el cual indica que la temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25°C a 35°C, el pH registrado fue de 4,35 moderadamente ácido el cual no está entre valores de pH mencionado por la literatura (Romero et al., 2010), enfatiza que el pH óptimo para diversos procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica generalmente es de 4,5 a 8,5.

La concentración del parámetro Demanda Química de Oxígeno del agua residual valor de entrada fue 344,00mg/L contra el valor de salida 93,00mg/L (García, y Corzo, 2008); quienes afirman que la diferencia entre los tratamientos evaluados se generó por efecto mineralizador de los microorganismos que transforman la materia orgánica utilizando el oxígeno disuelto para procesos de oxidación y liberando dióxido de Carbono. En el indicador DBO el porcentaje de remoción fue de 83,89% valor superior a lo reportado por (López, et al. 2009). Los humedales con pasto vetiver han alcanzado en condiciones controladas hasta un 63% para remoción de DBO; esto se puede justificar a que las plantas sometidas a encharcamientos prolongado actúan como bombas de Oxígeno atmosférico, para luego ser usado por los microorganismos en el proceso de degradación.

En el parámetro Coliformes Termotolerantes de 16×10^7 disminuyó a 2×10^2 se logró estos resultados por el efecto de las plantas sobre las concentraciones de coliformes termotolerantes entre los tratamientos, los periodos largos de inundación promueven la formación de aerenquima, la cual mejora la difusión gaseosa entre los tratamientos, promoviendo los procesos oxidativos de las bacterias bajo procesos de rizofiltración disminuyendo la concentración de coliformes en el agua. Según los resultados de los análisis del agua residual, se determinó que el efluente del humedal artificial alcanzó valores menores que los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua según DSN 003-2010-MINAM. Los resultados obtenidos coinciden con el estudio realizado por Cantoral (2015), quien obtuvo porcentajes similares con la especie paraguaitas *cyperus alternifolius* en humedales artificiales, en torno a estos parámetros: 97,66% (turbiedad), 79,68%(SST), 72,84% (DBO5) y 76,85%(DQO) de nivel de remoción. (Martínez, 2014) obtuvo resultados BBO5 90%, DQO 75%, SST 90%, Aceites y grasas 88%, Coliformes Termotolerantes 95%, resultados similares a nuestra investigación, pese a que el estudio se desarrolló en una zona árida del mediterráneo donde el recurso hídrico es escaso, pasando el agua por varios procesos de utilización y reutilización aumentando la concentración de contaminantes pero a pesar de estas limitaciones presentan tratamientos eficientes cumpliendo con la normatividad establecida en la zona de estudio, otra investigación de (Luna y Arbutó 2014) obtiene entre 80 y 90% de porcentaje de remoción de contaminantes, para los parámetros antes mencionados, estos resultados son similares a la presente investigación, esto debido a las similares condiciones climáticas, la utilización de macrófitas, sistemas de tratamiento de flujo subsuperficial y la participación de los microorganismos responsables de la biotransformación y mineralización de los contaminantes.

En conclusión, la investigación realizada fue significativa, teniendo como base los valores de hipótesis $p = 0.004$ por lo que existe diferencias entre las valoraciones de los parámetros para agua residual domestica cruda de entrada y los tres tratamientos, con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la mencionada comunidad.

5. Conclusiones

- Se tomaron las muestras, una del afluente y tres muestras del efluente del humedal artificial, siguiendo las especificaciones de los protocolos establecidos, tales como la ubicación del punto de monitoreo, etiqueta de las muestras, cadena de custodia y reporte de resultados del monitoreo del afluente /efluente del humedal artificial de acuerdo con la Resolución Ministerial N° 273 – 2013 – Ministerio de Vivienda: “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales–PTAR”
- Las características iniciales del agua residual afluente del humedal artificial presentaron color negro debido a la descomposición de materia orgánica emitiendo malos olores. Después de la retención hidráulica para el tratamiento en el humedal se observó cambios significativos en el agua como incolora e inodora por la disminución de contaminantes, por lo cual se corroboran los resultados de los parámetros, estos valores no excedieron a los LMP establecidos en el DSN° 003-2010-MINAM, especificado en la legislación ambiental peruana para PTAR, teniendo en cuenta estos resultados, el efluente se puede descargar a cuerpos receptores naturales de agua.
- El humedal artificial, es ambiental y económicamente viable, porque, los costos de construcción, operación y mantenimiento fueron mínimos ya que no requieren de infraestructura costosa ni de personal especializado, tampoco generó costos en el consumo de energía además mejora la estética del lugar donde se ubica.

6. Referencias

- Alegre, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon Zizanioides)*. MVCS. Peru. Recuperado de: http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf
- Bedoya J.C., Ardila A.N., Reyes J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la institución universitaria colegio mayor de Antioquia, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30 (2), 275-283. Recuperado de <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/45549>
- Bragato, C., Brix, H. & Malagoli, M. (2006). Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. *Environmental Pollution* 144 (3) p. 967 – 975. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749106000935>
- Brix H., Kadlec R.H., Knight R.L., Vymazal J., Cooper P. y Haberl R. (2000). *Constructed wetlands for pollution control : process, performance, design and operation*. Londres: IWA. Recuperado de <https://www.ircwash.org/resources/constructed-wetlands-pollution-control-process-performance-design-and-operation>
- EPA (US Environmental Protection Agency), (2004). *Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-04/108. Recuperado de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30006MKD.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000008%5C30006MKD.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C->

[&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL](#)

- García, J. y Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos*. Barcelona: UPC. Recuperado de: http://humedales-construidos-wetlands.fr/wp-content/uploads/2015/11/JGarcia_and_ACorzo.pdf
- García, J., Morató, J. y Bayona, J. M. (2004). *Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. Una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: CPET.
- Hench, K., Bissonnette, G., Sexstone, A., Coleman, J. & Garbutt, K. (2003). Fate of physical, and microbial contaminants in domestic waste water following treatment by small constructed Wetlands. *Water Research* 37 (4), 921 – 927. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/36b0/438cf04d3a4b5db237b69bb04fab8a7e32f2.pdf>
- Jaramillo, M. L., Agudelo, R. M. y Peñuela G. A. (2016). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 34(1), 20-29. Recuperado de <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/fnsp/article/view/20108>
- Larriva, J.B. y Gonzales O.A. (2017). Modelación hidráulica de humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental XXXVIII* (1), 3-16. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n1/riha01117.pdf>
- Luna, V.M. y Aburto, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. D.R. © TIP *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 17(1), 32-55. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v17n1/v17n1a3.pdf>
- Marín, A. y Osés, M. (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. México: CEA. Tomo II. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-con-el-proceso-de-lodos-activados-manual-de-procedimientos/>
- Marín, J. C. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 25(1), p. 27-42. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702015000100003&script=sci_abstract&tlng=es
- Martínez, P.A. (2014). *Evaluación y diseño de un humedal construido para depuración de aguas residuales domésticas*. Facultad de Química Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología Campus Universitario de Espinardo. 30100 Murcia. Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/286327>
- Montoya, J. I., Cevallos, L., Casas, J. C. y Morató, J. (2010). Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófita. *Revista EIA* 14, 75 – 84. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-12372010000200007

- Morales, G., López, D., Vera, I. y Vidal, G. (2013) Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutriente contenidos en aguas servidas. *Theoría* 22 (1), 33 – 46. Recuperado de http://www.redalyc.org/pdf/299/Resumenes/Abstract_29936198004_2.pdf
- OEFA. (2014). La Fiscalización ambiental en aguas residuales. Recuperado de <https://www.oefa.gob.pe/publicaciones/aguas-residuales>
- Ríos, C., Gutiérrez, L. and Aizaki, M. A. (2011). Case study on the use of constructed wetlands for the tratament of wasterwater an alternative for petroleum industry. *Dyna* 78 (170) 125 - 134
- Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. 3.^a ed. Escuela colombiana de ingeniería: Colombia. ISBN 958-8060-13-3. Recuperado de <https://catalogo.escuelaing.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12263>
- Sidney, S. (1990). *Estadística no paramétrica*. España: Trillas.
- Susarla, S., Medina, V. & Cutcheon. S. (2002). Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering* 18 (5), 647 – 658. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857402000265>
- Wuenwang, D., Yunrang, X., Ling, T., Jun, R., Lijun, W. (2011). A research on purification effect of the substrate of constructed wetlands with FS-G-CD-S-SS model on phosphorus pollution. *Procedia Environmental sciences* 10, p. 2645 – 2653. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029611006062>
- Zidan, A., Mahmoud, M., El-Gamal, Rashed, A., El-Hady, M. (2015). Wastewater treatment in horizontal subsurface flow constructed wetlands using different media (setup stage). *Water ScienceDirect* 29 (1), p. 26 – 35. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492915000065>