

# Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de tipo vertical para el tratamiento del lixiviado producto del compostaje

## Evaluation of artificial wetlands for the treatment of leachate composting product

Arroyo Díaz, María Alejandra<sup>1</sup>, Mantilla Giraldo, Jennyfer Patricia<sup>1</sup>, Patiño Roa, Carolina Andrea<sup>1</sup>,  
Torres Solano, Diana Patricia<sup>2</sup> y Estupiñán Pinto, Rafael Antonio<sup>3</sup>  
Fundación Universitaria de San Gil, Unisangil  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental  
San Gil, Colombia

mariaarroyo@unisangil.edu.co  
jennyfermantilla@unisangil.edu.co  
carolinapatino@unisangil.edu.co  
dtorres@unisangil.edu.co  
restupinan@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: noviembre 29 de 2021  
Fecha de aceptación: marzo 08 de 2022

**Resumen** — A través de este estudio experimental se evaluó el tratamiento de los lixiviados generados por descomposición de la materia orgánica, con humedales artificiales verticales de flujo sub superficial ascendente a escala piloto. Se estudiaron criterios de diseño como: clase y cantidad de especies vegetales, concentración del lixiviado, TRH y dimensiones técnicas; evaluando su eficiencia mediante el análisis físico-químico preliminar del lixiviado y posterior al tratamiento de variables como: DBO<sub>5</sub>, DQO, turbiedad, pH, macronutrientes, sólidos, entre otros. A través de ello se logró la identificación de características técnicas, constantes de operación, masa orgánica asimilada y porcentajes de remoción para las cargas contaminantes. Pudiendo establecer que la especie de mejor adaptación y mayor asimilación de masa orgánica a una concentración del lixiviado de 1:10 fue la especie vegetal Pasto vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*); cada unidad de esta especie genera una asimilación de 283.50 mg/día de materia orgánica presente en el agua. Para los humedales se pudo establecer que el tiempo de retención hidráulica óptimo en la remoción de DBO<sub>5</sub> fueron 3 días (Q = 7 L/día) alcanzando una remoción promedio del 93%. El efluente resultante del tratamiento se encuentra entre los límites permisibles de la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 para los parámetros evaluados en la presente investigación y para el parámetro de coliformes totales según la Resolución 1207 del 2014 es superior en 1, 8 E(+5).

**Palabras clave** — Agua residual, remoción, DBO<sub>5</sub>, fitorremediación.

**Abstract** — This experimental study evaluates the leachate's treatment generated by decomposition of organic matter, through the construction and implementation of vertical artificial wetlands of ascending subsurface flow at pilot scale. During the artificial wetlands' operation, design criteria are studied such as: class and quantity of plant species, leachate concentration, HRT and technical dimensions. Through the preliminary physical-chemical leachate, post treatment, the analysis of variables such as: BOD<sub>5</sub>, COD, Turbidity, pH, macronutrients, solids, among others; identification of technical characteristics, operation constants, assimilated organic mass and removal rates for pollutant charges are achieved. The study determined that: the species with the best adaptation and greater assimilation of organic mass at a leaching concentration of 1:10 was the plant species *Chrysopogon Zizanioides* or Vetiver Pasture, the optimal HRT in the removal of BOD<sub>5</sub> was 3 days (Q = 7 L/day) with a removal of 93% and it was also possible to show the leachate treated is among the permissible limits of resolution 631 of March 17, 2015 for the parameters evaluated at present investigation and total coliforms parameter according to resolution 1207 of 2014 is higher by 1, 8 E (+5). Besides, the study showed that each unit of Vetiver Pasture generates assimilation of 283.50 mg /day of organic matter present in water.

**Keywords** — Artificial wetland, leaching, DBO<sub>5</sub>, phytoremediation.

<sup>1</sup> Ingeniero Ambiental, Unisangil.

<sup>2</sup> Ingeniera Ambiental, Especialista en química ambiental, Magíster en tecnología avanzada. Directora Programa Ingeniería Ambiental, Unisangil.

<sup>3</sup> Ingeniero Químico, Coordinador Laboratorio de Aguas Unisangil.

## I. INTRODUCCIÓN

Los lixiviados se generan como resultado de la degradación de materia orgánica a partir del compostaje. Estos líquidos presentan una gran heterogeneidad, pero por lo general se caracterizan por contener concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, además de sales inorgánicas [1]. Estos lixiviados se convierten en un problema de contaminación al omitir su captación como líquidos residuales; parte de este líquido se filtra lo que ocasiona deterioro de la calidad de los cuerpos hídricos y contaminación de suelos, la otra parte queda expuesta en la superficie generando desprendimiento de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera [2]. En la actualidad existen múltiples formas de tratamiento de lixiviados y una de ellas son los humedales artificiales (HA), que son sistemas para la depuración de aguas residuales, que tienen las condiciones propias de los humedales naturales y a través de procesos físicos.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el uso de humedales artificiales para el tratamiento de los lixiviados producto del compostaje a través del establecimiento de los criterios de diseño de los humedales artificiales basados en la caracterización físico química inicial del lixiviado, la evaluación de los criterios de diseño seleccionados de forma preliminar y la determinación del porcentaje de eficiencia del funcionamiento de humedales artificiales verticales de flujo sub superficial ascendente a escala piloto.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso experimental se lleva a cabo con los lixiviados producto del compostaje de la empresa Ecosangil S.A.S., ubicada en el municipio de San Gil – Santander, mediante el desarrollo de tres fases; preliminar, evaluación de criterios y evaluación de eficiencia de los humedales artificiales como se ilustra en la Figura 1.

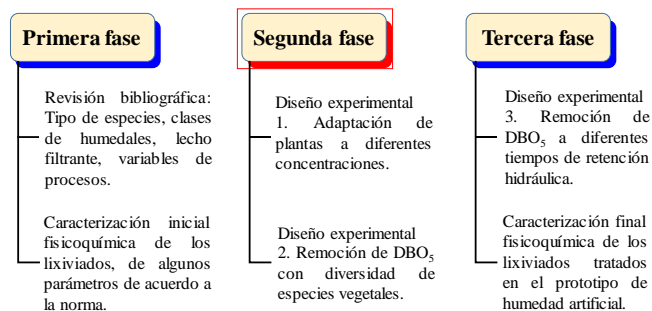


Fig. 1 Diseño metodológico.

### A. Primera fase

Se realiza la caracterización preliminar de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del lixiviado producto

del compostaje y seguidamente se compara con los valores máximos permisibles de la Resolución 631 del 2015.

### B. Segunda fase

Se desarrolló un proceso experimental para verificar la respuesta de las especies vegetales caña de castillo (*Arundo Donax*) y vetiver (*Chrysopogon Zizanoides*) frente al suministro de lixiviado a concentraciones 1:10, 1:20 y 1:50; las diluciones se realizan con el fin de facilitar la remoción de los contaminantes presentes en el lixiviado y acelerar las reacciones que ocurren en el interior del humedal, además para determinar la capacidad adaptativa de las especies vegetales a las condiciones del lixiviado.

Posteriormente se construyeron 3 prototipos experimentales de humedales con flujo ascendente con las siguientes características: profundidad del lecho filtrante es de 0.15 m con 0.05 m de borde libre y pendiente de 1% en dirección a la salida de agua [4], ancho de 0.1 m, largo de 0.3 m.; como se observa en la Figura 2. El lecho filtrante está compuesto por: capa superficial de arena con profundidad de 0.05 m y diámetro efectivo de 2 mm; capa intermedia de grava fina con profundidad de 0.05 m y diámetro efectivo de 5 mm; capa profunda de grava gruesa con profundidad de 0.05 m y diámetro efectivo de 20 mm [5]. En el primer humedal se dispusieron 3 unidades de pasto vetiver, el segundo 3 unidades de caña de castilla y el tercero denominado “blanco” no contó con especie vegetal. Los humedales operaron en una dilución de lixiviado 1:10, con un tiempo de retención hidráulica de 5 días y a un caudal 1.21 L/día durante 10 días. En los tres prototipos se efectuaron las mediciones de la concentración de DBO<sub>5</sub> final; de este modo se determinó la especie vegetal óptima para el tratamiento de lixiviado.



Fig. 2 Diseño humedales artificiales.

### C. Tercera fase

Se llevó a cabo la construcción y puesta en marcha de 4 humedales de flujo sub superficial vertical ascendente con las siguientes características de diseño; descritas en la Figura 3, la profundidad del lecho filtrante de 0.50 m, con 0.10 m de borde libre y una pendiente de 1% en dirección a la salida de agua [4], ancho de 0.20 m y largo de 0.60 m. El lecho

filtrante está compuesto por: capa superficial de arena con profundidad de 0.25 m y diámetro efectivo de 2 mm, capa profunda de grava fina con profundidad de 0.25 m y diámetro efectivo de 5 mm; distribución de grava gruesa con profundidad de 0.50 m, 0.10 m largo, 0.20 ancho y diámetro efectivo de 20 mm; drenaje de grava gruesa con profundidad de 0.25 m, 0.10 m largo, 0.20 ancho y diámetro efectivo de 20 mm [5].

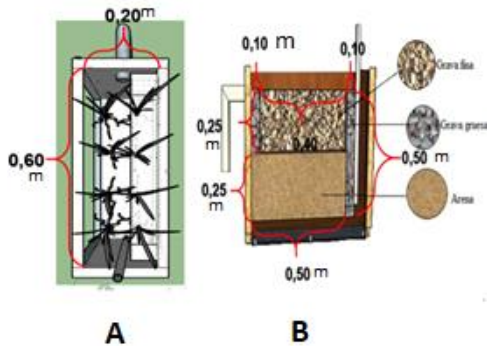


Fig. 3 Diseño humedales artificiales.

La especie vegetal utilizada corresponde a aquella que mejor se adaptó al proceso de tratamiento en los experimentos antes descritos. Durante un período de tiempo se evaluó el comportamiento de los humedales artificiales a diferentes tiempos de retención hidráulica determinando el tiempo más adecuado para el tratamiento analizando el parámetro de control de la cantidad de DBO<sub>5</sub> en el efluente, luego se realizó un monitoreo continuo para analizar el comportamiento de los humedales artificiales. Por último, se llevó a cabo el análisis de los parámetros físicos químicos y microbiológicos con el fin de determinar el porcentaje de eficiencia en remoción de carga contaminante.

### III. RESULTADOS

Los valores de la caracterización preliminar de los parámetros físico-químicos y microbiológicos se presentan en la Tabla 1 comparando con la normatividad de vertimientos, Resolución 631 del 2015.

TABLA 1. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL LIXIVIADO

Parámetro	Unidad	Resultados	Rango norma
pH	Unidades de pH	4,31	6,00 a 9,00
Turbiedad	NTU	3110	-
Conductividad	uS/cm	3040	1500
Oxígeno disuelto	Mg O.D./L	3,75	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	28768	2000
DQO	mg/L	79856	2000
Sólidos totales	mg/L	81195	
Sólidos sedimentables	ml/L	4	5
Fósforo total	mg/L	1581	
Nitrógeno total	mg/L	490	
Sulfatos	mg/L	1151	600
Potasio	mg/L	2861	-
Coliformes totales	UFC/100	40 E(+5)	

Los resultados anteriores para cada uno de los parámetros no cumplen la normativa de acuerdo con los valores máximos de la norma; el DBO<sub>5</sub> presente en el lixiviado es de 26768 mg/L O<sub>2</sub> por encima del máximo permisible, aunque se encuentra en un rango menor a los resultados de la literatura en un orden de 69300 mg/L [6]. Lo cual puede deberse a las condiciones socio económicas de la zona de influencia en la generación de los residuos orgánicos.

#### A. Adaptación de las especies vegetales

La especie que presenta una mejor adaptación a las diversas concentraciones (1:10; 1:20; 1:50) en un lapso de 15 días es el pasto vetiver; es de resaltar que los resultados de este experimento se determinaron por medio de observación visual, es decir, mediante la imagen directa de las especies, dando una calificación de “Adaptación favorable” a las especies que presentaron mayor número de hojas vivas (Figura 2); y “Adaptación desfavorable” a las especies vegetales que haya presentado pérdida total o parcial de hojas así como muerte de la especie vegetal.

#### B. Remoción de carga orgánica de las especies vegetales

Mediante el experimento de los humedales de la Figura 4 se puede determinar la cantidad de DBO<sub>5</sub> al culminar el tratamiento durante un período de funcionamiento de 10 días, permitiendo observar el comportamiento de las especies; para el caso del pasto vetiver la cantidad de DBO<sub>5</sub> disminuyó 623 mg/L al quinto día y 1023 g/L en el décimo día, mientras que la caña de castilla presentó una leve disminución de 327 mg/L al quinto día y un aumento de 304 mg/L en DBO<sub>5</sub> en el décimo día; esto se presentó porque estas especies presentaron decaimiento y muerte. Se tomaron como parámetro de control los resultados obtenidos en el humedal sin especies vegetales (blanco) el cual presentó una disminución de 550 mg/L al quinto día y de 959 mg/L en el décimo día de DBO<sub>5</sub>, con un funcionamiento mejor que el de caña.



Fig. 4 Diseño humedales artificiales.

#### C. Remoción de carga contaminante a diferentes tiempos de retención hidráulica

Se trabajó mediante condiciones de dilución de lixiviado de 1:10, y un flujo de agua en tiempo de retención hidráulica

de 3 días con un caudal de 7 L/día, 5 días con un caudal de 4.2 L/día y 7 días con un caudal de 3 L/día, al transcurrir cada uno de los tiempos se realiza la recolección de las muestras para evaluar el parámetro de control DBO.

En la Figura 5 se ilustran los prototipos de humedales artificiales utilizados en la siguiente fase experimental. Para mayor facilidad durante el manejo de los datos los humedales fueron nombrados de la siguiente manera: tres humedales con 8 unidades de plantas vetiver H3.1, H3.2, H3.3 y el humedal sin plantas “Blanco”.



Fig. 5. Humedales artificiales de subsuperficial de flujo vertical ascendente.

Los resultados de la fase experimental se evidencia en la Figura 6; en los tres prototipos con especies vegetales se logra una remoción para un TRH de 3 días ( $Q = 7$  l/día) del 93 % en promedio, en el segundo TRH de 5 días ( $Q = 4.2$  L/días) se observa una remoción menor del 85% para los humedales H3.1 y H3.2 a comparación del TRH de 3 días, en el tercer TRH de 7 días ( $Q = 3$  L/día) se presentó una remoción de carga orgánica superior al 95%, pero no es una diferencia significativa con el TRH de 3 días.

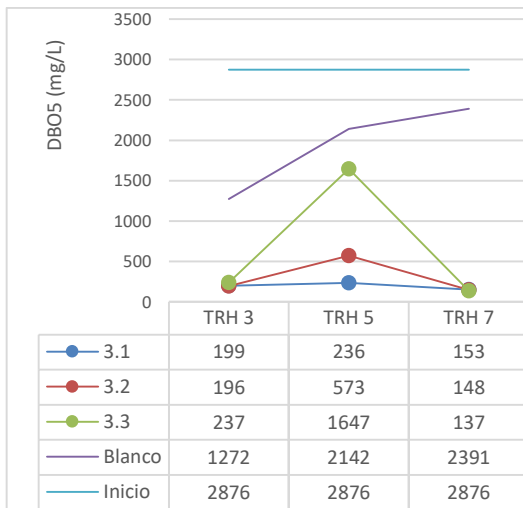


Fig. 6. Variación de los resultados de DBO<sub>5</sub> vs. TRH.

A partir de estos datos se realizó el cálculo de la masa asimilada ( $DBO_5 \text{ inicial} - DBO_5 \text{ final}$ ) \* ( $Q * 0.001$ ), por los humedales con especie vegetal y el blanco en los diferentes TRH con el fin de determinar el porcentaje de remoción de una manera más explícita. Para los humedales de TRH de 3 días se denota una asimilación en los humedales con vetiver de 18.66 g/día y el blanco de 11.23 g/día con un promedio de asimilación de 93%; para un TRH de 5 días de 14,4 g/día y 5,14 g/día con un promedio de asimilación de 86%, por último, el TRH de 7 días con 8,19 g/día y 1,46 g/día con un promedio de asimilación de 41%. Se estableció para la siguiente fase experimental el TRH de 3 días porque es más significativo y el TRH de 7 días requiere mayor tiempo para remover una cantidad similar de DBO<sub>5</sub>, además se obtiene mayor cantidad de masa orgánica asimilada.

#### D. Remoción de carga orgánica

Después de determinar, con base en los resultados anteriores, la idoneidad del TRH de 3 días para este experimento se realiza el tratamiento del lixiviado en una dilución de 1:10 con caudal de 7 L/día, en seguida se procede a realizar el análisis de los parámetros físicos a las muestras tomadas en el transcurso de los días 3, 5 y 7 con el fin de verificar la disminución o aumento en la DBO<sub>5</sub> en el funcionamiento de los humedales en dicho lapso de tiempo.

Los resultados obtenidos se evidencian en la Figura 7, el análisis de la gráfica permite observar la efectiva reducción de DBO<sub>5</sub> por los diferentes humedales, se observan variaciones en la reducción a lo largo del tiempo y también se evidencia la diferencia en los humedales H3.1 y H3.2 respecto al blanco, este comportamiento se asemeja a los presentados en la literatura, en la cual los valores de DBO<sub>5</sub> se mantienen relativamente constantes a lo largo del tiempo, el humedal H3.2 presentó pérdida de vegetación durante el proceso experimental, por consiguiente los valores son superiores al blanco.

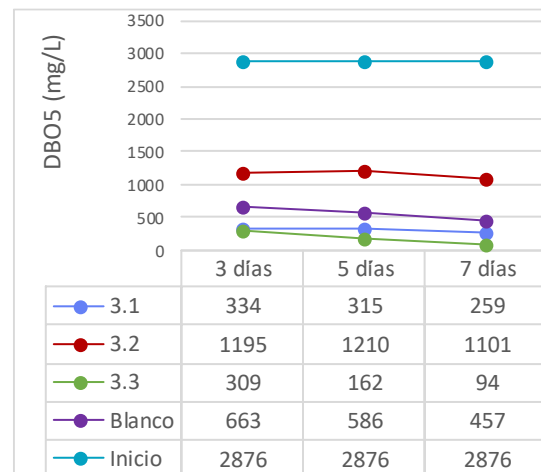


Fig. 7. Resultados de DBO<sub>5</sub> vs. Días de tratamiento.



Las eficiencias promedio de eliminación de DBO<sub>5</sub> para los humedales con vetiver en los días 3, 5 y 7 son 89%, 92% y 94%; para el humedal de control blanco son 77%, 80% y 84% respectivamente. El análisis estadístico permite evidenciar que la reducción de la materia orgánica medida en DBO<sub>5</sub> por medio del uso de humedales artificiales es significativo en los humedales con el uso de plantas vetiver comparado con el blanco, ya que el valor  $P < 0.05$ , y un valor de  $F: 80,72$ .

### E. Caracterización final del tratamiento de lixiviado

Tras el tratamiento se realiza la caracterización de otros parámetros físico-químicos y microbiológicos para el efluente. En la Tabla 2 se encuentran los resultados promedio para los humedales con vetiver (HV), el humedal sin vegetación o blanco (HB) y los valores iniciales, de esta manera se determina la eficiencia en la eliminación de carga contaminante.

TABLA 2. RESULTADOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Parámetro	Unidad	Inicial dilución 1:10	Final humedal sin vegetación	Final humedal con vegetación
pH	pH	4,85	7,36	7,77
Turbiedad	NTU	311,00	146,00	78,40
Conductividad	uS/cm	3040,00	1554,00	1179,67
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	2876,00	569,00	245,00
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	7986,00	845,00	515,00
Sólidos totales	mg/L	8119,50	1191,00	822,50
Fósforo total	mg/L	158,06	14,74	6,36
Nitrógeno total	mg/L	49,00	8,15	5,11
Potasio	mg/L	115,10	107,55	86,33
Sulfatos	mg/L	286,12	21,00	10,50
Coliformes totales	UFC/100	4,00E+05	1,00E+06	2,87E+05

Los valores permiten identificar la mejora en las condiciones de pH con un aumento promedio de 2.92 unidades de pH en ambos humedales sin tener diferencia significativa; los valores de turbiedad generan una disminución en 165 NTU en el HB, y de 233 NTU en el HV logrando remociones promedio de 53% y 75%. La conductividad presenta una reducción de 1486 uS/cm en el HB y de 1860 uS/cm HV, logrando remociones promedio de 49% y 61%. En cuanto a sólidos totales se presenta una disminución de 6929 mg/L en el HB, y de 7297 mg/L en el HV, logrando remociones promedio de 85% y 90%, lo cual no representa mayor variación al ser removidos en el proceso de filtración y actividad microbiana que se efectúa en el medio granular [5]. El potasio significa una remoción baja en promedio de 7% en el HB y 25% en el HV. Los sulfatos logran un promedio de remoción de 93% en el HB y 96% en el HV.

La remoción de materia orgánica representó una disminución en DBO<sub>5</sub> de 2307 mg/L para el HB y superior en un valor de 2631 mg/L para el HV. Este proceso es rápido debido a los procesos de filtración, deposición y el aporte de

la vegetación mediante procesos microbiológicos en las raíces y rizomas además de procesos de descomposición anaerobia [6], el promedio de remoción se estimó en 80% en el HB y 91% en el HV comparado con la investigación de Bakhshoodeh, Alavi, Majlesi & Paydary [6], el cual determinó una eficiencia promedio de 26.2% y 53.7% respectivamente manejando un afluente de 12268 mg/L; lo que representa mayores eficiencias a valores menores de DBO<sub>5</sub> [7]. La DQO presentó una eliminación promedio de 89% para el HB y 94% para el HV, por otro lado, de acuerdo con la literatura, estas se encuentran en un orden de 26.2% y 53.7%, además para humedales en serie hasta un 90% [8]; en síntesis, los resultados obtenidos se mantienen en los rangos esperados.

El proceso de reducción de nitrógeno se presenta por procesos de nitrificación y desnitrificación [5] los resultados obtenidos presentan una disminución de nitrógeno total de 83% en los HB y de 90% en los HV. Al verificar la literatura, indica un orden del 25 al 85% [7], seguida por otras investigaciones en humedales por etapas las cuales mostraron concentraciones de amoníaco, nitrato y nitrógeno total de 91.5, 87.9 y 87.8 %, respectivamente [8], es decir, que los resultados estuvieron dentro de los rangos esperados.

La eficiencia de remoción del fósforo en promedio se registró en 91% para el HB y de 96% para el HV, la eficiencia en la eliminación depende de los valores de pH y la presencia del fósforo en sal soluble o mineral insoluble, de acuerdo con la literatura el aporte de las plantas es mínimo, pues representa alrededor de un 3%, el restante es realizado por procesos de adsorción, complejización y reacciones de precipitación [5].

Adicionalmente, se realizó análisis de coliformes totales que presentan una particularidad especial, muestra un aumento promedio de 150% en el humedal blanco y una remoción promedio de 28% en el humedal con vetiver lo que lo hace considerar un porcentaje bajo. De acuerdo con la literatura la reducción de coliformes depende del tiempo de retención hidráulica, pues se estima una reducción de 3 a 4 logaritmos en tiempos mayores de 14 días [7], mediante la exposición de toxinas fijadas por otros micro organismos y exudadas por las raíces de las plantas [5].

En la Tabla 3 se relacionan los resultados obtenidos después del tratamiento efectuado por los humedales artificiales con vetiver comparado con los rangos máximos permisibles de la Resolución 631 del 2015 para vertimientos de aguas residuales, y la Resolución 1207 del 2014 para hacer reuso del agua en diversas actividades (uso agrícola e industrial).

TABLA 3. COMPARATIVO DE RESULTADOS CONFORME CON LA NORMA

Parámetro	Unidades	Resolución 631/2015	Resultado final
pH	pH	6,00 a 9,00	7,77
Conductividad	uS/cm	1500,00	1179,67
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	800,00	245,00
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	2000,00	515,00
Sulfatos	mg/L	600,00	10,50
Coliformes totales	UFC/100	1,0 E(+5)	2,87E(+5)
Sulfatos	mg/L	500,00	10,50

#### IV. CONCLUSIONES

La especie vegetal *Chrysopogon Zizanoides* (pasto vetiver) presenta una adaptación favorable a diversas concentraciones de lixiviado, adicionalmente se determinó que cada unidad asimila 283,5 mg/día de materia orgánica, permitiendo obtener un porcentaje de remoción del 91% en DBO<sub>5</sub>.

La obtención de resultados favorables se presentó en un humedal artificial sub superficial de flujo vertical con pasto vetiver, en un tiempo de retención hidráulica de 3 días de concentración de 1:10, presentando una eliminación promedio de 91% en DBO<sub>5</sub>, 94% en DQO, 61% en conductividad, 91% para sólidos totales, 90% en nitrógeno total, 96% de fósforo total, 25% en potasio, 96% para sulfatos y 28% en coliformes totales.

El efluente resultante del tratamiento cumple con los lineamientos de la Resolución 631 del 2015; en cuanto a coliformes se encuentra por encima de la Norma 1207 del 2014 para reuso agrícola o industrial. De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda realizar un diseño con las dimensiones necesarias para el uso de 71 unidades vegetales, con el fin de remover, en su totalidad, la carga orgánica del lixiviado.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Sancha. Repositorio institucional Universidad de Oviedo. (U. d. Oviedo, Ed.). 2013. [En línea]. Disponible en: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM\\_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM_MelaniaSanchaAntu%C3%B1a.pdf)
- [2] C. Granada and Y. Prada. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (R. d. Ambiental, Ed.) 2015. [En línea]. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/14>
- [3] Kolb. Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós, Diplomarbeit. Universitat für Bodenkultur. 1998.
- [4] H. Hoffmann and Platzer, C. (2011). ecotec.unam.mx. [En línea]. Disponible en: <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Revision-T--cnica-de-Humedales-Artificiales.pdf>
- [5] O. Delgadillo; A. Camacho; L. Pérez, and M. Andrade (2010). [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- [6] R. Bakhshoodeh; N. Alavi, M. Majlesi, and P. Paydary (2017). sciencedirect. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect->

com.bdigital.udistrital.edu.co/science/article/pii/S0925857417302422

- [7] J. Lara. *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.
- [8] B. Reza, A. Nadali, and P. Pooya. Composting plant leachate treatment by a pilot-scale, three-stage, horizontal flow constructed wetland in central Iran. *Wetland: Springer-Verlag GmbH Germany* Bakhshoodeh. 2017.