

FITODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS CON POACEAS: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum*, EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA

DOMESTIC WASTEWATER PHYTODEPURATION WITH POACEAS: *Brachiaria mutica*, *Panicum maximum* and *Pennisetum purpureum* IN POPAYÁN, CAUCA

PHYTODEPURATION ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS COM POACEAS: *Brachiaria mutica*, *Panicum maximum* e *Pennisetum purpureum* POPAYÁN, CAUCA

GIOVANI HERNÁN PALTA-PRADO¹, SANDRA MORALES-VELASCO²

RESUMEN

El asentamiento Brisas de San Isidro del Municipio de Popayán no presenta sistema de colección de aguas servidas, las cuales son vertidas directamente sobre la Quebrada Lame, ocasionando contaminación por la carga orgánica y detergentes provenientes del uso doméstico. El objetivo fue evaluar diferentes especies de gramíneas, buscando una alternativa de manejo de las aguas residuales domésticas con plantas útiles en la alimentación animal. Para tal fin se establecieron humedales artificiales bajo un diseño de muestreo temporal y un arreglo factorial de bloques al azar. Se tomaron las muestras de agua residual (pH, oxígeno disuelto (OD), concentración de CO₂, demanda biológica oxígeno (DBO), demanda química oxígeno (DQO), conductividad, amonio (NH₄⁺), nitritos (NO₃⁻), fosfatos (PO₄) y nitritos (NO₂⁻) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) cada quince días durante seis meses. El análisis estadístico, se realizó

Recibido para evaluación: 15/01/2014. Aprobado para publicación: 03/02/2014

1 Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Exactas Naturales y de la Educación. Biólogo.

2 Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias. Profesora Titular. Ecóloga. M.Sc.

Correspondencia: samorales@unicauca.edu.co

por medio de una ANOVA comparando los tratamientos expuestos y una prueba posthoc de Tuckey. El análisis de varianza, mostro diferencias estadísticas significativas para los parámetros oxígeno disuelto (OD), demanda química oxígeno (DQO), amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y coliformes totales; evidenciando que los mejores tratamientos fueron *B. mutica* y *P. maximun*.

ABSTRACT

*Brisas de San Isidro in the Municipality of Popayán settlement does not have system of collection of sewage, which is dumped directly on the Lame River, causing pollution by organic loading and from household detergents. The objective was to evaluate different species of grasses, looking for an alternative for management of domestic wastewater with useful plants in animal feed. For this purpose were established wetlands under a design by temporal sampling and a factorial arrangement of blocks at random. Residual water samples were taken (pH, dissolved oxygen (do) concentration of CO_2 , biochemical demand oxygen (DBO), oxygen chemical demand (COD), conductivity, ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-), phosphate (PO_4) and nitrite (NO_2^-) and biochemical demand of oxygen (BOD5) every two weeks for six months. The statistical analysis was performed by means of an ANOVA by comparing the exposed treatments and hoc Tuckey test. The analysis of variance showed differences significant statistics parameters for dissolved oxygen (do), oxygen chemical demand (COD), ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-) and total coliforms; demonstrating that the best treatments were *B. mutica* and *p. maximun*.*

RESUMO

*Brisas de San Isidro, no Município de Popayán liquidação não tem sistema de recolha de águas residuais, que são despejados diretamente sobre os Rio Lame, causando a poluição por carga orgânica e de detergentes domésticos. O objetivo foi avaliar as diferentes espécies de gramíneas, à procura de uma alternativa para a gestão de águas residuais domésticas com plantas úteis em alimentos para animais. Para este efeito foram estabelecidas zonas húmidas sob um design por amostragem temporal e um arranjo fatorial de blocos ao acaso. Foram coletadas amostras de água residual (pH, concentração de oxigênio dissolvido (DO) de CO_2 , oxigênio demanda bioquímica (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), condutividade, amônio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), fosfato (PO_4^-) e nitrito (NO_2^-) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO5) cada duas semanas para seis meses. A análise estatística foi realizada através de uma ANOVA, comparando os tratamentos expostos e teste de Tuckey hoc. A análise de variância mostrou diferenças estatísticas significativas parâmetros para oxigênio dissolvido (), oxigênio químico demanda (COD), amônio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e coliformes totais; demonstrando que os melhores tratamentos foram *B. mutica* e *P. maximun*.*

PALABRAS CLAVE:

Humedales artificiales, Flujo subsuperficial, Remoción.

KEYWORDS:

Wetlands, Subsurface flow, Removal.

PALAVRAS-CHAVE:

Wetlands construídos de fluxosubsuperficial, Remoção

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas son resultado de actividades humanas, que proceden de la evacuación de los residuos (desperdicios, residuos animales y vegetales, detergentes y partículas), de los lavados (jabones, detergentes, sales, etc.) y de la actividad general de las viviendas (celulosa, almidón, insecticidas, partículas orgánicas, etc.) [1].

La cantidad de agua residual fluctúa entre 486 y 131 L/hab/día, valores que están relacionados directamente con la población mundial, que se proyecta para el año 2050 de 9100 millones de personas, un 34 % superior a la de hoy en día frecuentemente descargada en ríos, arroyos, lagos o directamente al mar sin un tratamiento adecuado [2]; aportando materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos que contribuyen a la eutrofización y turbidez, fenómeno que incluye la proliferación de algas, cambios en la estructura de las comunidades acuáticas, disminución de la diversidad biológica y eventos de mortandad de peces por agotamiento de oxígeno [3].

En Colombia, aproximadamente 300 municipios no realizan depuración de las aguas que se están consumiendo y 450 no tienen planta de tratamiento, el caso crítico se presenta en la cuenca del Magdalena-Cauca (25% del área territorial), con un 70% de la población y sólo 11 % de la oferta hídrica del país, ocasionando que cerca de 1300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales [4].

En la actualidad existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales; van desde primarios, que mejoran las características físicas, hasta terciarios, que permiten el reúso del agua en diferentes actividades del hombre. Entre las tecnologías más utilizadas se hallan los humedales artificiales o Wetlands (Superficiales – Subsuperficiales) donde las especies vegetales frecuentemente utilizadas son *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y *Pistia stratiotes*, *Elodea canadensis*, *Cerato phyllid demersum*, *Alternanthera philoxeroides* y las especies emergentes *Scirpus l.*, *Juncos*, *Sagittaria sp.*, y *Phragmites australis* [5].

Algunos autores han realizado investigaciones con pastos, evaluando la capacidad fitorremediadora de *Echinochloa polystachya* en suelos contaminados con petróleo crudo, mostrando una reducción significativa de hidrocarburos en el suelo gracias a la asociación

microorganismo - rizosfera del pasto alemán, pero las características del contaminante limitan la utilización de la biomasa [6].

Las posibilidades de utilizar especies de gramíneas disponibles en la región para fitodepuración y con uso en la alimentación animal, permitió evaluar la capacidad de remoción de la carga orgánica de los pastos *Brachiaria mutica* (Pará), *Pennisetum purpureum* (Elefante) y *Panicum maximum* (Guinea), en las aguas residuales domésticas provenientes del asentamiento Brisas de San Isidro, Municipio de Popayán Cauca.

MÉTODO

El asentamiento Brisas de San Isidro se encuentra ubicado al nor-oriental del Municipio de Popayán, en el corregimiento de Las Piedras en la vía que conduce a la Vereda Las Guacas. El asentamiento está conformado por 30 viviendas, cada una con pozo séptico, pero como no cuentan con alcantarillado y vierten las aguas residuales - ARD (de lavado de ropa, de cocina y ducha) a la quebrada Lame sin tratamiento alguno. Para llevar a cabo esta investigación el gua fue conducida por el canal de desagüe hasta los filtros (Humedal de flujo subsuperficial) (Figura1).

Es de anotar, que no se realizó clarificación primaria, ni se construyó rejillas u otra estructura que contribuyera con la retención de material particulado; el diseño se realizó siguiendo las recomendaciones de Environmental Protection Agency. El volumen de un humedal artificial FWS es la cantidad potencial de agua (sin vegetación y residuos) que podría circular en el sistema (Ecuación 1):

$$V_w : A_w h \quad (\text{Ec.1})$$

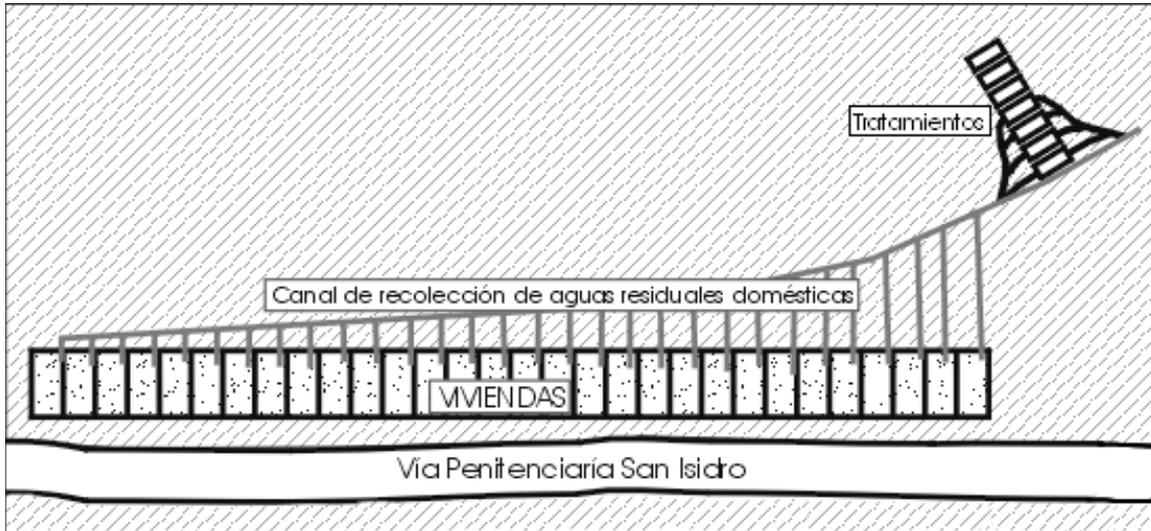
Dónde:

V_w : volumen del humedal.

A_w : área superficial.

h: profundidad promedio del agua.

Las dimensiones de los humedales artificiales fueron de un metro de ancho, tres de largo y 80 cm de profundidad (1m x 3 x 0,80 m), para un volumen de 0,24 m³, pendiente aproximada de 1%. Sé impermeabilizaron con plástico para disminuir el riesgo de posibilidad

Figura 1. Distribución de los humedales artificiales en la zona de estudio.

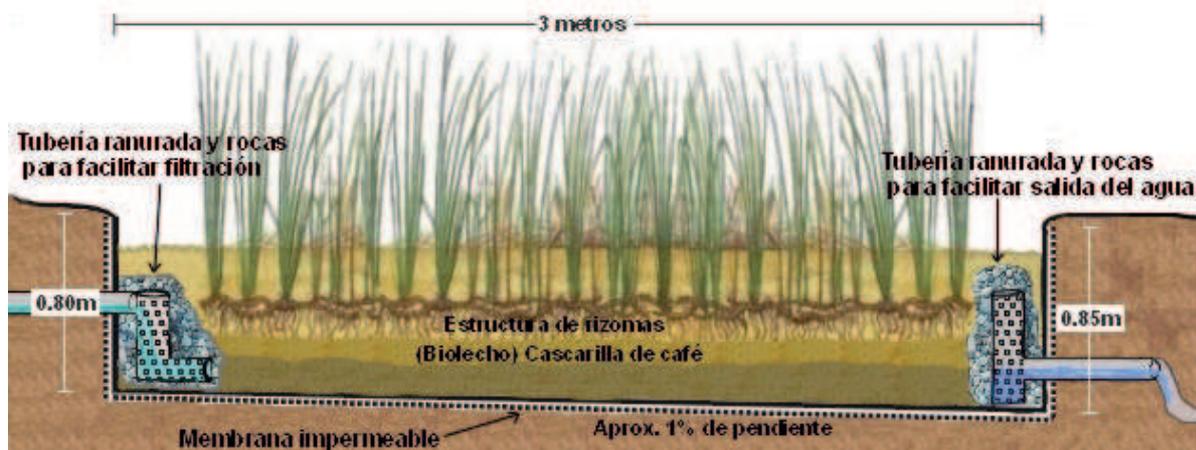
de infiltración y contaminación de las aguas subterráneas. Cascarilla de café para el biolecho donde se desarrollaron las bacterias que actúan de manera simbiótica con las especies vegetales a evaluadas (Figura 2).

Para un mejor establecimiento de las gramíneas, se tuvo una etapa de adaptación de seis meses, tiempo durante el cual los humedales no presentaron flujo de agua residual; con riego constante y libre de otras especies que compitieren con los pastos. Posteriormente, fueron conectados al flujo de agua residual doméstica, a partir de este momento, se inició una

segunda etapa de colonización, que duró dos meses, permitiendo el crecimiento de microorganismos en el biolecho y raíces de la plantas.

Diseño experimental. El diseño fue un muestreo temporal y un arreglo factorial de bloques al azar. La colecta de muestras de agua residual fue cada quince días durante seis meses. El análisis estadístico, se realizó por medio de una ANOVA (Análisis estadísticos de Varianza), comparando los tratamientos expuestos y una prueba posthoc de Tuckey.

Los parámetros químicos considerados fueron; pH, oxígeno disuelto (OD), concentración de CO_2 , deman-

Figura 2. Sección transversal de humedal artificial subsuperficial (SFS).

Fuente. Modificado Paz, 2005.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el estudio.

Tratamiento	
1	Suelo sin plantas
2	<i>Brachiaria mutica</i> (pasto Pará)
3	<i>Pennisetumpurpureum</i> (pasto elefante)
4	<i>Panicummaximun</i> (pasto guinea)

da biológica oxígeno (DBO), demanda química oxígeno (DQO), conductividad, amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{-3}) y nitritos (NO_2^-), para lo cual se usó el kit de análisis de Aquamerck, electrodo para análisis de DB05 OXITOP C208204001 y sonda multiparamétrica YSI ADV6600; y número más probable en 100 mL para coliformes totales.

Para los parámetros seleccionados se calculó el porcentaje de remoción de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

VPi: Valor Parámetro Inicial.

VPf: Valor Parámetro final.

RESULTADOS

Características del Agua Residual Doméstica

Aunque el efluente no presente clarificación parcial (Tratamiento primario o sedimentación primaria), la composición del agua residual doméstica – ARD corresponde a un agua entre débil y media concentración, de acuerdo a lo registrado en la cuadro 2 [8].

El carácter débil del agua residual, pudo darse a las precipitaciones durante el periodo de estudio que ocasionaron dilución de los nutrientes presentes en el efluente. El único parámetro con una condición fuerte fue el cloruro con un valor promedio de 163,17 mg/L, evidenciando la utilización de detergentes, desinfectantes y suavizantes por los habitantes del asentamiento [8].

El análisis de varianza ANOVA, mostro diferencias estadísticas significativas para los parámetros oxígeno disuelto (OD), demanda química oxígeno (DQO),

Cuadro 2. Características del agua residual doméstica en el asentamiento Brisas de San Isidro.

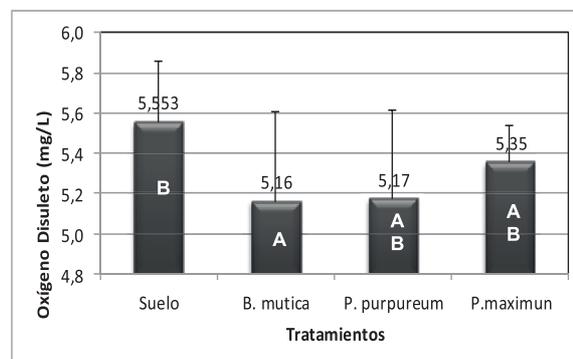
Parámetro	Promedio	Desviación Estándar
pH	7,43	0,12
Temperatura (°C)	20,89	1,17
Conductividad (μ)	95,33	3,08
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,67	0,38
Dióxido de Carbono (mg/L)	16,17	1,6
Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L)	186,25	16,86
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	612,5	33,73
Amonio NH_4 (mg/L)	0,79	0,01
Nitritos NO_2 (mg/L)	0,7	0,24
Nitratos (mg/L)	2,72	0,25
Cloruros(mg/L)	163,17	53,11
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	9042,83	44,22

amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y coliformes totales.

Oxígeno disuelto. Como se observa en la figura 3, la prueba posthoc de tuckey presenta dos grupos, donde el tratamiento con suelo (5,5 mg/L) presenta mayores registros a diferencia del *B. mutica*, que registró el menor valor (5,1 mg/L).

Los procesos aerobios son el principal componente en la remoción de la carga orgánica, pero la efectividad dependerá de la cantidad disponible de oxígeno; que

Figura 3. Valores promedio y desviación estándar del Oxígeno Disuelto (mg/L) en los tratamientos.



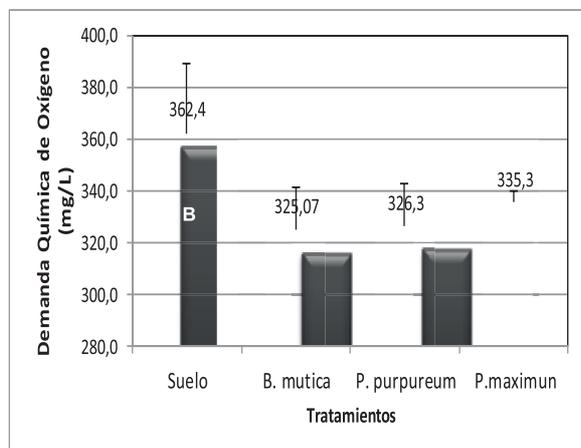
para la presente investigación es transportado a través de tallos de las gramíneas (huecos a semisólidos), que proporcionan una eficaz transferencia de este elemento, debido a la penetración vertical por medio de los rizomas; lo que explica la disminución del oxígeno disuelto en *B. mutica* por los procesos de oxidación de los microorganismos asociados a esta especie; de otro modo el proceso anaerobio sería el mecanismo de degradación (reducción) ocasionando presencia de metano y de malos olores en el sistema humedal [11].

Demanda Química de Oxígeno. En la figura 4, se observa al tratamiento 1 con mayor registro, a diferencia de los provenientes con gramíneas que presentan menores valores.

La diferencia entre los tratamientos evaluados, se generó al efecto mineralizador de los microorganismos que transforman la materia orgánica utilizando el oxígeno disuelto para procesos de oxidación y liberando dióxido de carbono [9, 10]; por lo que se puede inferir una mayor actividad microbiológica en los tratamientos con pastos, dado a la simbiosis entre la rizósfera y los efectos de degradación de la materia orgánica.

La figura 4, demuestra el efecto de las gramíneas (*B. mutica*) en la remoción de cargas orgánicas; dado a que presenta estructuras adaptativas como el desarrollo de raíces adventicias y tejidos aerenquimáticos que permiten el intercambio de gases entre la parte aérea de la planta y la raíz [12], por lo que la utilización de compuestos orgánicos del agua para la producción de biomasa, juega un papel menor en el tratamiento

Figura 4. Valores promedio y desviación estándar de la Demanda Química de Oxígeno (mg/L) en los tratamientos.



de las aguas residuales, pero proporciona efectos que ayudan al proceso de tratamiento; como es crecimiento de la raíz para sostenimiento de microorganismos, propiedades hidráulicas del sustrato y el aporte de oxígeno hacia la rizósfera [13, 14]. 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 hidráulico y la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos [15, 16], se pudo obtener un porcentaje de remoción del 46,92 %; aunque no cumple con lo establecido por la norma es un valor importante en el tratamiento de aguas residuales [17].

Ciclo del Nitrógeno. Aunque los sistemas de humedales no son buenos depuradores de nitrógeno debido a las diferentes conversiones posibles del elemento y volatilización del mismo [15], los resultados muestran variaciones entre los tratamientos evidenciando la actividad biológica asociada a la rizósfera de las plantas (Figura 5).

Las variaciones muestran la transformación del nitrógeno, donde parte se volatiliza como gas amoniacal por los cambios de temperaturas que se efectúan en el humedal, otra parte es absorbida por los microorganismos o las raíces de las plantas, ya que permanece soluble en el agua del humedal [11].

El nitrato ha sido eficientemente removido en humedales artificiales con *Typha sp* bajo condiciones anóxicas, lo que se refleja en mejores resultados para gramíneas como *B. mutica* y *P. maximum* los cuales por requerimientos nutricionales y asociación de bacterias fijadoras de nitrógeno contribuyen a la dinamización del ciclo en el sistema [15, 18].

Coliformes Totales. En la figura 5 se observan las variaciones entre los tratamientos, donde se evidencia el efecto de las plantas sobre las concentraciones de coliformes totales entre los tratamientos, el mayor registro fue el en el tratamiento sin gramíneas (8434 NMPL) y el de menor registro para los pastos *Bracharia mutica* y *Penisetum purpureum*.

El pará (*B. mutica*), bajo periodos largos de inundación promueve la formación de aerenquima la cual mejora la difusión gaseosa (oxígeno y etileno) [18], promoviendo los procesos oxidativos de las bacterias bajo procesos de rizofiltración disminuyendo de esta manera la concentración de coliformes en el agua [22].

Figura 5. Valores promedio y desviación estándar del Nitrógeno (mg/L) en los tratamientos.

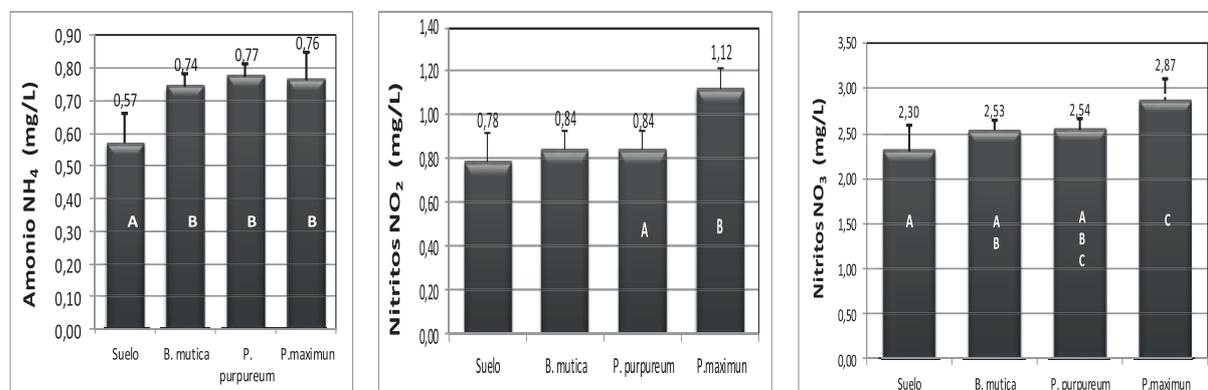
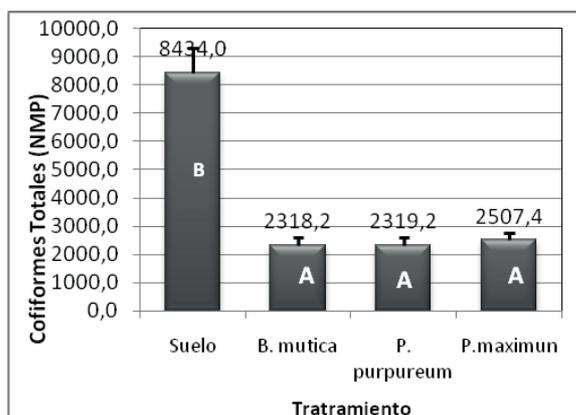


Figura 5. Variación de Coliformes Totales (NMP) en los tratamientos



Remoción. Los resultados presentados en el cuadro 3., evidencian la variación en los porcentajes de remoción en los diferentes parámetros.

Los porcentajes de remoción para coliformes totales fueron para la especie *B. mutica* 74, 36%, *P. purpureum* con 74, 35% y *P. maximum* con 72, 27 %; valores

similares a los obtenidos en investigaciones con *Arunodonax* (Poaceae) que registró 76 % [18].

En estaciones experimentales se han registrado porcentajes de remoción por encima del 90%, dada por adsorción sobre las partículas del sustrato así como por el efecto deletéreo que sobre los organismos patógenos, ejercen los antibióticos producidos por las raíces de las plantas y por la acción depredadora de bacterias y protozoos [20], como Las micorrizas que exudan sustancias antibióticas que previenen y desalojan patógenos en la germinación y luego en las raíces, suministrando vitaminas y otros componentes que benefician el crecimiento de las gramíneas[21].

Humedales con pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*) han alcanzado en condiciones controladas hasta un 63% para remoción de DBO, valor comparable con los registros obtenidos para las gramíneas evaluadas; esto se puede justificar a que las plantas sometidas a encharcamientos prolongados actúan como bombas de oxígeno atmosférico, para luego ser utilizado por los microorganismos en procesos de degradación [21].

Cuadro 3. Porcentaje de remoción de los diferentes tratamientos.

Parámetro - Tratamiento	Suelo %	<i>B. mutica</i> %	<i>P. purpureum</i> %	<i>P.maximum</i> %
DBO	1,23	20,34	19,73	16,84
DQO	40,80	46,90	46,86	45,22
NH ₄	27,95	5,80	2,53	3,48
NO ₂	-11,90	-20,24	-20,24	-60,12
NO ₃	15,44	6,86	6,62	-5,39
Cloruros	27,33	27,27	27,27	28,50
Col. Totales	6,73	74,36	74,35	72,27

CONCLUSIONES

Los pastos utilizados en los tratamientos son un medio para el reducir la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, proporcionando de esta manera humedales multipropósitos para el manejo del agua residual doméstica y la alimentación animal.

Las variaciones que se presentaron entre los tratamientos, demuestran que la mayor efectividad se registró con *Brachiaria mutica* y *Penisetum purpureum*.

Se recomienda establecer estrategias de sedimentación primaria, al igual que realizar cortes periódicos a los pastos, para evaluar el movimiento de nitrógeno hacia el forraje y evaluar la producción en materia seca del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los habitantes del Asentamiento Brisas de San Isidro quienes permitieron el establecimiento los humedales. A la Universidad del Cauca y la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por apoyar el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] GONZÁLEZ, F.D. Diseño de una planta de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas para el conjunto residencial Matisse utilizando un humedal artificial [Tesis Ingeniería Civil]. Quito (Ecuador): Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías "El Politécnico", 2011, p. 145.
- [2] ASOCIACIÓN DE ENTES REGULADORES DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LAS AMÉRICAS (ADERASA). Base de datos e indicadores de desempeño para agua potable y alcantarillado. Tegucigalpa (Honduras): Grupo Regional de Trabajo de Benchmarking, 2009, 64 p.
- [3] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Caribbean Islands, GIWA Regional assessment 4. Fortnam, M. and P. Blime (eds.) Kalmar (Sweden): University of Kalmar, 2004, p. 132.
- [4] COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Acciones prioritarias y formulación del plan de nacional de manejo de aguas residuales [online]. 2003 Available: <http://www.minambiente.gov.co>. [Citado en 15 Julio de 2010].
- [5] PENA, E.J., PENA, M y GUTIERREZ C. The role of *Heliconia psittacorum* in the removal of nutrients at a constructed wetland for domestic wastewater treatment. Science of the total environment 384(3), 2007, p. 50 – 54.
- [6] RIVERA, M., PROMETEO, R., VOLKE, V. y REFUGIOL. F. Descontaminación de suelos con petróleo crudo mediante microorganismos autóctonos y pasto alemán [*Echinochloa polystachya* (h.b.k.) hitchc.]. Agrociencia, 38(1), 2004, p. 1-12.
- [7] PAZ G.M. Biorremediación aplicable: humedales artificiales. Premio argentino júnior del agua. Buenos Aires (Argentina): AIDIS-comisión WEF, 2005, p. 13.
- [8] METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3 ed. Madrid (España): McGraw-Hill, 2003, p. 45-80, 250.
- [9] ALVAREZ, S. La descomposición orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología Terrestre, 14(1), 2005, p.17 – 29.
- [10] LLAGAS, W. y GUADALUPE, E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Revista del Instituto de Investigaciones Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica, 15 (2), 2006, p. 85-96.
- [11] GARCÍA, J. y CORZO, A. Depuración con humedales construidos [Tesis Ingeniería Ambiental]. Catalunya (España): Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y ambiental, 2008, p.108.
- [12] YIN, D., CHEN, S., CHEN, F., GUAN, Z. and FANG, W. Morpho-anatomical and physiological responses of two *Dendranthema* species to waterlogging. Environmental and Experimental Botany, 68 (2), 2010, p.122-130,
- [13] ROMERO, M., COLIN, A., SÁNCHEZ, E. y ORTIZ, M. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 23(1), 2009, p. 157 – 167.
- [14] RIOS, C., GUTIÉRREZ, L. and AIZAKI, M. A case study on the use of constructed wetlands for the treatment of wastewater as an alternative for petroleum industry. Revista Bistua, 5(1), 2008, p. 25 – 41.
- [15] VELASCO, F. y ESPINOSA, C.E. Evaluación de la fitorremediación en términos de remoción de

- carga orgánica, tratando aguas residuales contaminadas con hidrocarburos [Tesis Tecnología en Química]. Pereira (Colombia): Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Escuela de Química Pereira, 2010, p. 126.
- [16] RODRIGUEZ-MONROY, J. y DURÁN-DE BAZÚA, C. Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 21(1), 2006, p. 25-33
- [17] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). Decreto 4728 de diciembre de 2010: por la cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010. Bogotá (Colombia): 2010, 3 p.
- [18] CHON, K., KIM, Y., CHANG, N. and CHO, J. Evaluating wastewater stabilizing constructed wetland, through diversity and abundance of the nitrite reductase gene nirS, regard to nitrogen control. *Desalination*, 264(1), 2010, p. 201 – 205.
- [19] ROMERO-AGUILAR, M., COLÍN-CRUZ, E., y ORTIZ-HERNADEZ, M. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 2009, p.157-157.
- [20] HERRERA, S.G. y RODRIGUEZ, L.M. Evaluación de la eficiencia de un humedal artificial con fragmites para el tratamiento de aguas residuales de la empresa Colombo-Italiana de curtidos Ltda [Tesis Especialización en Ingeniería Ambiental]. Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, 2011, p 54.
- [21] LÓPEZ, M.L., FRANCO, K., ÚSUGA, C. y CASTAÑEDA, D. Efecto de La inoculación de hongos micorriza arbuscular y aplicación de fertilizantes sobre la Calidad nutricional de Pasto Kikuyo. *Revista Politécnica*, 5(9), 2009, p 100 - 106.
- [22] SUSARLA, S., MEDINA, V. and Mc CUTCHEON. S. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(1), 2002, p. 647 – 658.