

## HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ.

### CONSTRUCTED WETLAND OF VERTICAL FLOW TO IMPROVE BOGOTA RIVER WATER QUALITY

T. Rodríguez Chaparro<sup>1</sup>, Ivonne Maritza Ospina<sup>2</sup>  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia

#### RESUMEN

El propósito de esta investigación consistió en evaluar la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos en un humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio alimentado con agua del río Bogotá tomada a la altura del campus universitario "Río Grande" en Cajica para determinar la viabilidad de emplear este tipo de tecnología en control de la contaminación hídrica. El prototipo se diseñó y construyó con base en las recomendaciones de autores como Arias (2003) y Cooper (1990). Los resultados que se obtuvieron permitieron determinar reducciones de  $DBO_{5}^{20} = 37\%$ ,  $DQO = 10\%$ ,  $CT = 49\%$ ,  $ST = 16\%$ ,  $SST = 27\%$ ,  $NO_2 = 83\%$ ,  $NO_3 = 30\%$ . De lo anterior se concluye que a escala laboratorio el humedal artificial de flujo vertical mejora la calidad del agua del río Bogotá a la altura del campus "Río Grande" en Cajica.

#### Palabras Claves

Río Bogotá, Agua Residual, Humedal Artificial, Flujo vertical.

#### ABSTRACT

This research consisted of evaluating the capacity of organic and inorganic compound reduction in an experimental constructed wetland of vertical flow fed with water on the Bogota river taken to the height from the university campus "Río Grande" in Cajica to determine the viability to use this type of technology in control of the water pollution. The prototype design and I am constructed with base in the recommendations of authors like Arias (2003) and Cooper (1990). The results that were obtained allowed to determine  $COD_{5}^{20}$  reductions = 37%,  $BOD = 10\%$ ,  $CT = 49\%$ ,  $ST = 16\%$ ,  $SST = 27\%$ ,  $NO_2 = 83\%$ ,  $NO_3 = 30\%$

---

<sup>1</sup> Profesor Asistente, Programa de Ingeniería Civil. MSc. Ingeniería Civil Autor Corresponsal : [trodri@umng.edu.co](mailto:trodri@umng.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante Ingeniería Civil.

Of the previous thing concludes that on scale laboratory the artificial wetland of vertical flow improves the water quality of Bogota river next to "Río Grande" in Cajica.

### Key words

Bogotá River, Wastewater, Constructed Wetland, Vertical Flow

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación ambiental ocupa uno de los primeros lugares de atención pública ante la creciente escasez de los recursos naturales que se esta presentando en diferentes regiones y el deterioro continuado del entorno, debido al vertido indiscriminado no controlado por las entidades gubernamentales responsables. Las tecnologías para el control de la contaminación hídrica están evolucionando con rapidez y a medida que se hacen más eficientes se tiende a afectar más el recurso. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizando tecnologías sostenibles se han desarrollado vertiginosamente en estas últimas décadas principalmente en Europa, una de estas tecnologías son los humedales artificiales.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Diseño y construcción

El humedal artificial de flujo vertical fue desarrollado a partir de las recomendaciones dadas por Arias (2003) y Cooper (1990), se construyó en acrílico, las dimensiones son  $0.50\text{m} * 0.50\text{m} * 0.30\text{m}$  ( $L * H * A$ ) para un área superficial efectiva de  $0.15\text{m}^2$ .



Figura 2. Humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio

El sistema de distribución consta de dos tanques de capacidad (20 l ) adaptados a una red de tubos en pvc que distribuyen uniformemente un caudal de  $12l/d$  en toda la superficie por pulsos . El sistema de drenaje consta de una placa perforada en acrílico en la base que sirve además de soporte del cuarzo lechoso, esta placa distribuye uniformemente el agua tratada hacia una tolva con pendiente  $< 1\%$  , el agua recolectada es conducida a un tanque receptor.

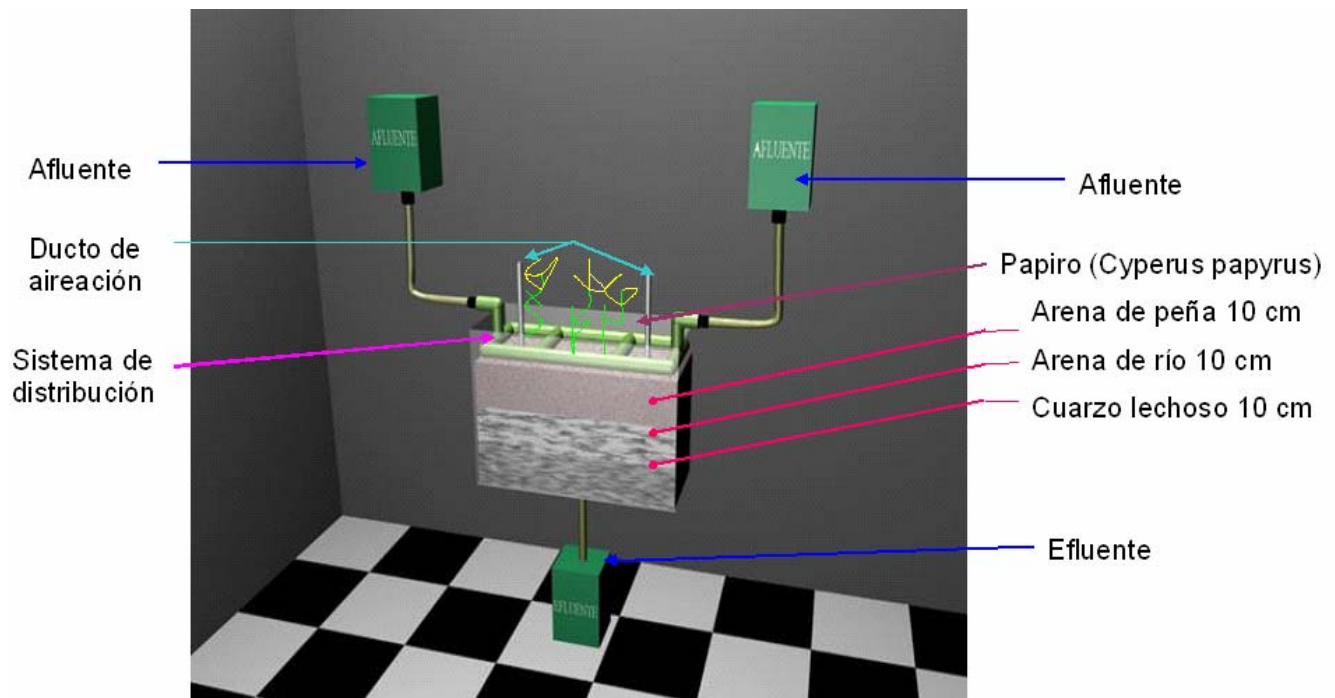


Figura 3. Humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio

El sistema de ventilación consta de dos tubos en acero (toberas) unidos a la placa perforada descrita anteriormente que cumplen la función de transferir oxígeno atmosférico al sustrato. El sustrato utilizado fue: 10cm de arena de peña, 10cm de arena de río en el intermedio y de base 10cm de cuarzo lechoso; las características de este sustrato se observan en la tabla 1. La vegetación plantada fue papiro decorativo (*Cyperus papyrus*).

Tabla 1. Características del sustrato utilizado.

Parámetros	Unidad	Arena de peña	Arena de río	Cuarzo lechoso (como soporte)
Gravedad específica	$g / cm^3$	2.61	2.50	2.57
Ds (sss)	$g / cm^3$	2.63	2.56	2.59
% absorción	%	0.79	2.36	0.86
Granulometría	(mm-mm)	2.38-0.074	4.76-0.074	19.0-12.0
T.M (tamaño máximo)	mm	4.76	9.51	25.4
T.M.N (tamaño máximo nominal)	mm	0.59	4.76	19
D <sub>10</sub>	mm	0.17	0.17	11.7
D <sub>60</sub>	Mm	0.4	1.27	16
Cu (D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> )		2.35	7.47	1.36

El agua a tratar se tomo del río Bogotá a la altura del campus universitario “ Río Grande” en Cajica, en este sitio se llevo a cabo un programa de muestreo (compuesto, frecuencia semanal) para determinar las características físicas, químicas y microbiológicas. Este muestreo tuvo una duración de 1 mes y se presenta en la tabla 3.

## B. Operación

Una vez diseñado y construido el sistema se planteó y ejecutó el programa de operación y control del humedal; durante 30 días consecutivos se tomaron muestras puntuales Diarias del afluente y efluente para evaluar la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos, esta evaluación se realizó sin vegetación como control y con vegetación, de esta forma también se observó el efecto este tipo de plantas. Los ensayos analíticos se llevaron a cabo *in-situ* y en laboratorio siguiendo la metodología descrita en el **standar methods** (ed. 1989). Los resultados se presentan en las figuras 4 a 8.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Caracterización del agua del río Bogotá a la altura del campus universitario “río Grande” (Cajica)

Tabla 3. calidad del agua río Bogotá a la altura del campus universitario “río Grande” (Cajica).

Parámetro	Media
<b>Físicos</b>	
Temperatura (°C)	18,68
ST (mg/l)	220.83
SST (mg/l)	63.33
SDT (mg/l)	157,58
SSV (mg/l)	30.00
SSF (mg/l)	33.33
SDV (mg/l)	48.75
SDF (mg/l)	108.75
<b>Químicos</b>	
pH	6.34
Alcalinidad (mg/l)	81.78
Acidez (mg/l)	51.23
Sulfatos (mg/l)	22.63
Cloruros (mg/l)	3,67
Nitratos (mg/l)	24,58
Nitritos (mg/l)	0,08
Fósforo (mg/l)	0,19
<b>Biológicos y microbiológicos</b>	
DBO (mg/l)	58,04
DQO (mg/l)	560.01
CT (colonias)	1,9*10 <sup>4</sup>

A partir de la tabla No 2 se observa que el agua analizada presenta contaminación de tipo inorgánico (principalmente debido a sales), que se ve reflejado en las concentraciones altas de SDT y DQO comparado con los valores de DBO y SSV; así mismo presenta concentraciones altas de nitratos, lo cual indica que se ha completado parcialmente el proceso de la degradación de la materia orgánica.

#### B. Operación del sistema

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la operación del sistema con y sin vegetación.

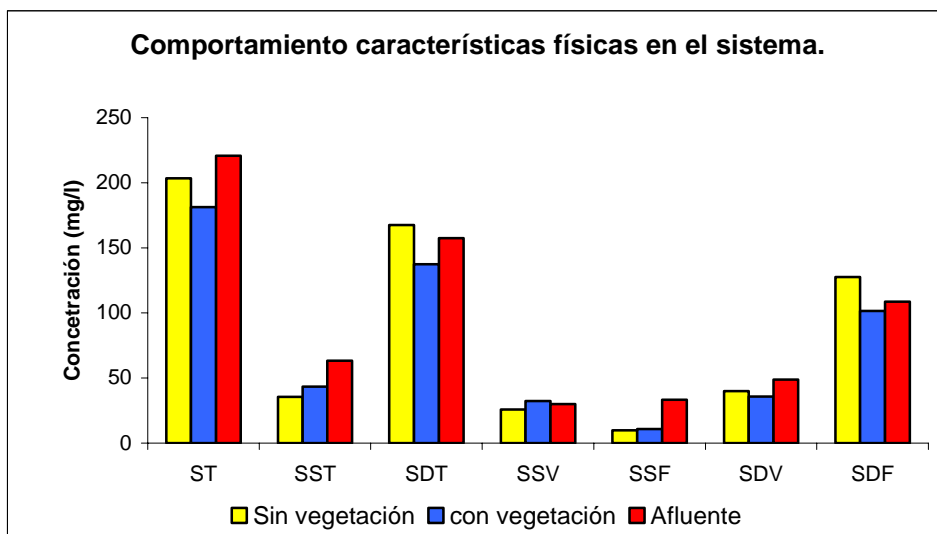


Figura 4. Comportamiento características físicas en el sistema.

La importancia del análisis de las características físicas en un agua radica principalmente en su componente estético; sin embargo algunas de estas, muestran de forma directa como sería el comportamiento en particular del contenido orgánico (SST y SSV) e inorgánico (SDT, SSF). En la figura 4 se observa que la reducción de los sólidos presentes en el efluente del humedal se llevo a cabo principalmente cuando el sistema opero con vegetación, sin embargo también se observa que el contenido de sales medido por los SDT(SDF+SDV) se comporto diferente al incrementarse su concentración cuando el sistema operó sin vegetación, esto puede explicarse debido a que mientras el sistema se aclimata existe un lavado del sustrato (suelo) haciendo que las sales presentes en él también percolen y se combinen con el agua a tratar.

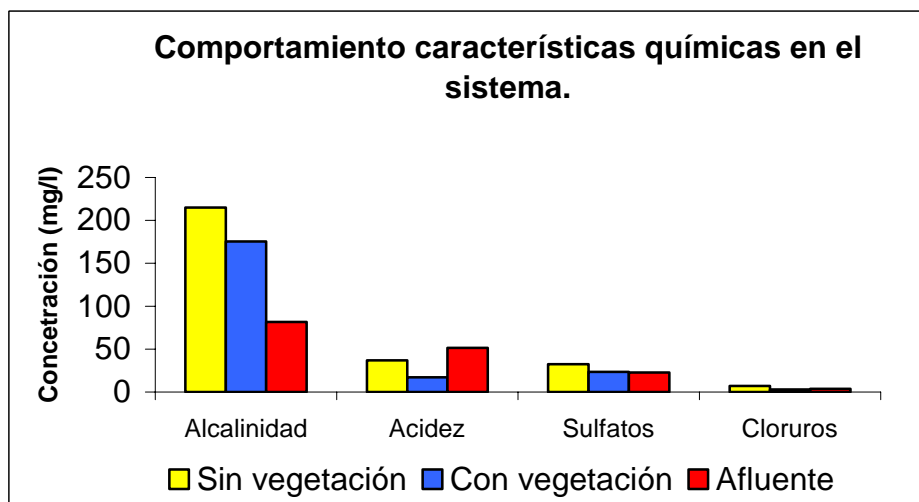


Figura 5. Comportamiento características químicas en el sistema.

Las características químicas medidas en este estudio corroboran el comportamiento analizado anteriormente en cuanto a que durante la operación sin vegetación se presenta un incremento del contenido de sales principalmente bicarbonatos ; de nuevo se observa la importancia de la vegetación en la reducción de compuestos.

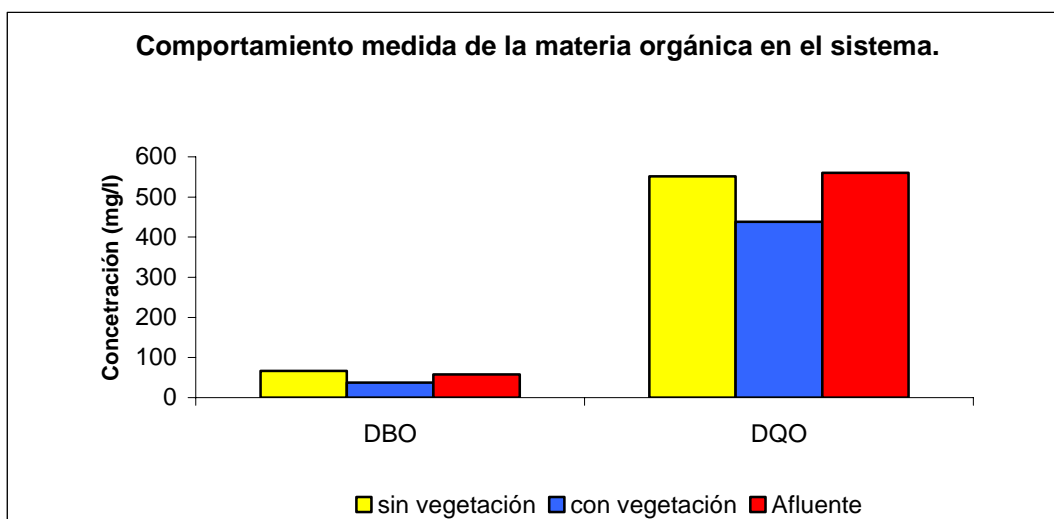


Figura 6. Comportamiento medida de la materia orgánica en el sistema.

Tanto la DBO como la DQO miden en forma indirecta el contenido de materia orgánica presente en el agua, sin embargo la DQO muestra además el contenido de materia inorgánica. Como se observa en la figura 6 y se describió anteriormente la contaminación del agua a tratar es de tipo inorgánico, sin embargo el sistema mostró una eficiencia aceptable en la reducción de este tipo de compuestos.

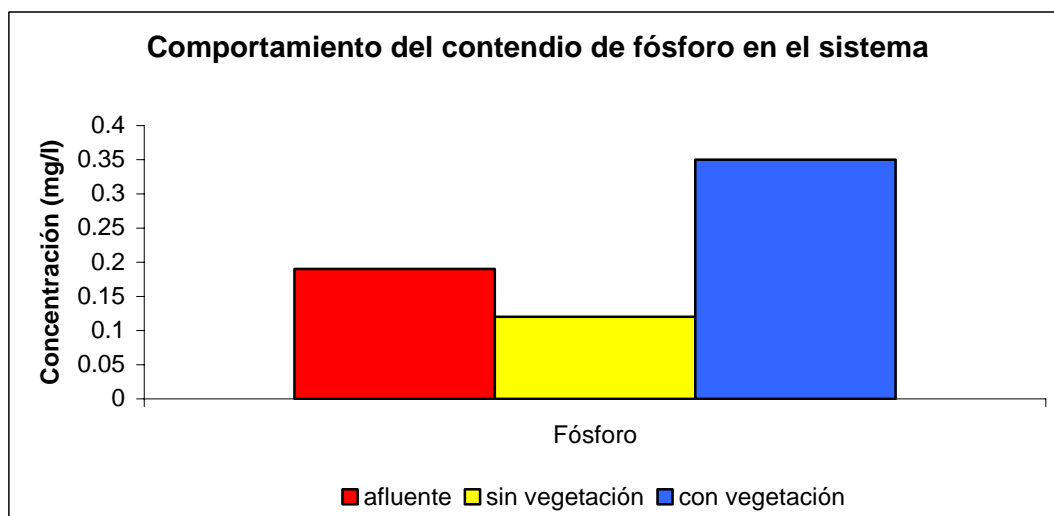


Figura 7. Comportamiento del contenido de fósforo en el sistema.

El contenido de fósforo en los cuerpos de agua es una preocupación reciente de la ingeniería ambiental, las consecuencias que generan las altas concentraciones pueden ser definitivas y deteriorar por completo el recurso. La reducción de fósforo en humedales artificiales en particular el flujo vertical se ha venido estudiando principalmente en países Europeos; estudios recientes (Arias C, Cooper, Kadlec B 2003, 2004) muestran que la reducción del fósforo se lleva a cabo principalmente debido al fenómeno de adsorción y que este depende directamente de las características físico-químicas del sustrato (suelo) ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Al}^{+}$ ); así mismo estos autores afirman que una vez la capacidad de adsorción del sustrato se satura, la eliminación del fósforo se reduce.

Como se observa en la figura 7, la reducción del fósforo se presentó cuando el sistema operó sin vegetación, esto indica que el papel del sustrato en este caso tal como afirman los autores citados anteriormente es fundamental para la reducción de este elemento. La vegetación no tuvo ninguna influencia en este aspecto, al contrario, durante este periodo se incrementó la concentración de P, probablemente por la saturación del medio.

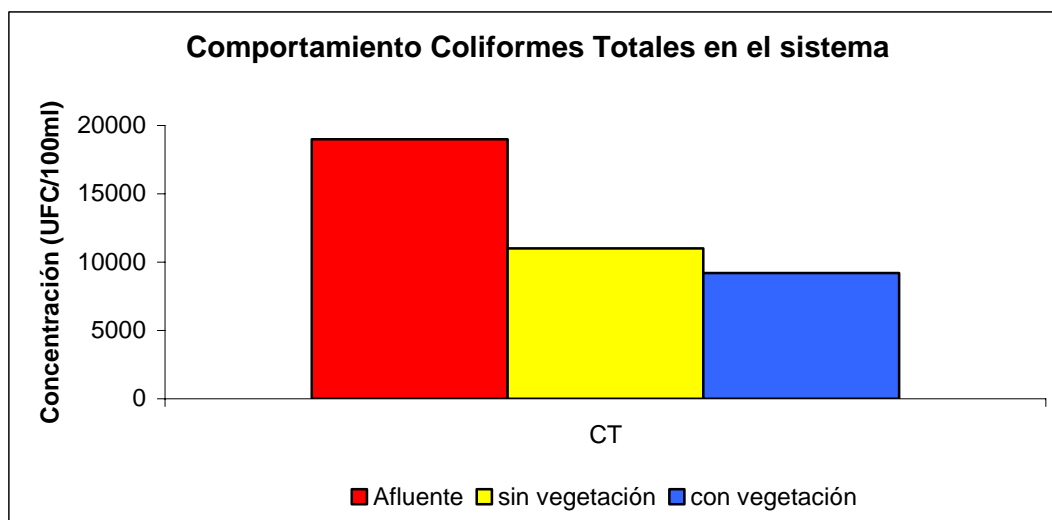


Figura 8. Comportamiento coliformes totales en el sistema.

El análisis de las características microbiológicas del agua es uno de los factores con mayor influencia en la salud pública y en el potencial reuso o reciclaje del recurso, esta es la razón por la cual uno de los retos actuales de la ingeniería ambiental es lograr que la mayor parte de los cuerpos del agua sean recuperados y que el agua residual sea integrada nuevamente



al ciclo productivo. En el humedal estudiado respecto a este parámetro se analizó el contenido de coliformes totales; sin lugar a dudas con este sólo parámetro no se puede dar una conclusión definitiva sobre la reducción de microorganismos indicadores de contaminación fecal, sin embargo los resultados que se observan en la figura 8 muestran una reducción moderada de este parámetro, esto indica que este tipo de tecnologías pueden ser apropiadas cuando se piense en reusar o reciclar el agua tratada.

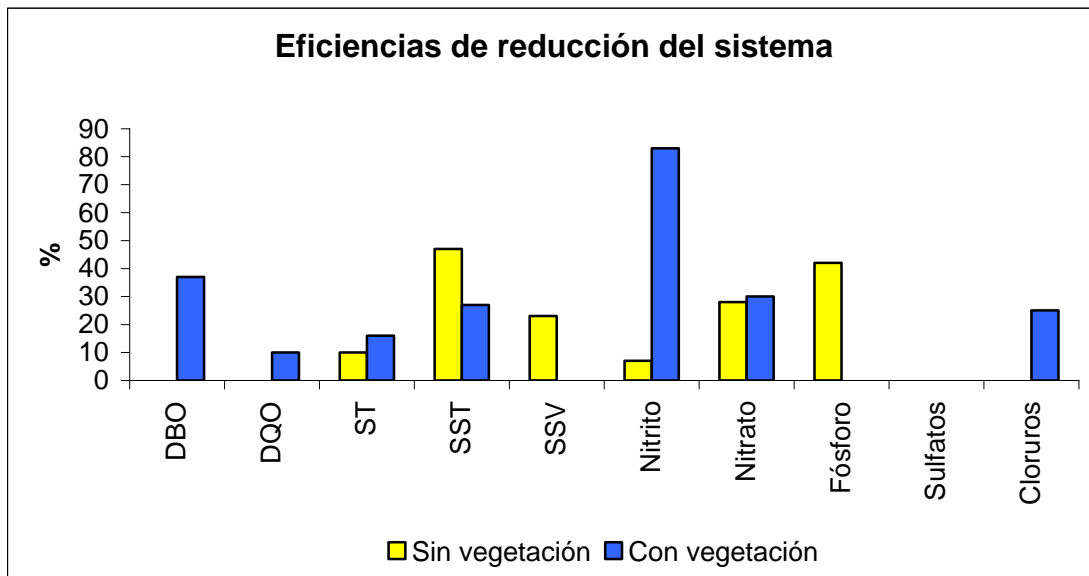


Figura 9. Eficiencias de reducción del sistema

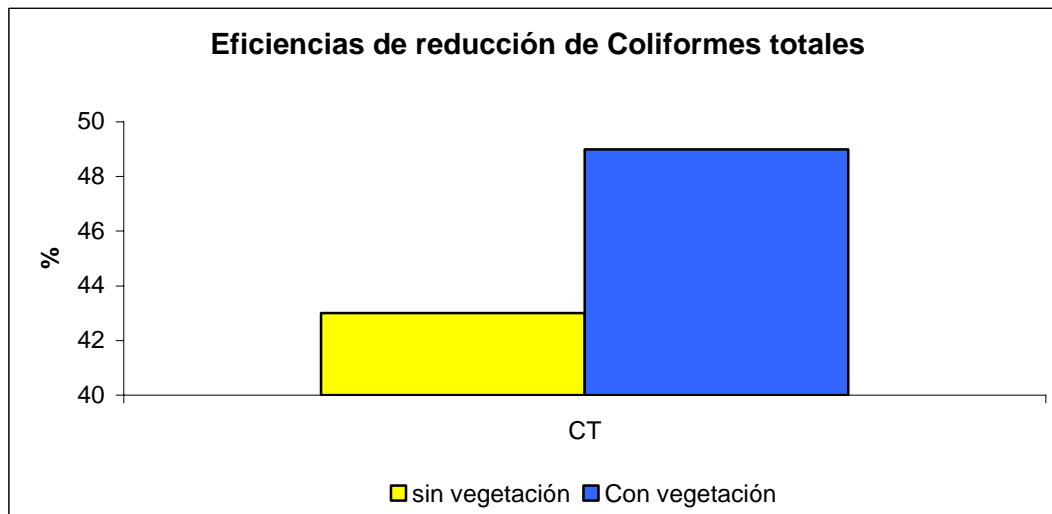


Figura 10. Eficiencias de reducción del sistema

Finalmente se observa que el estudio y posterior implementación de tecnologías sostenibles (en este caso humedales artificiales) es viable desarrollarlo en países como Colombia no

sólo para tratar aguas residuales sino también para mejorar la calidad de los cuerpos de agua y contribuir con la solución de los problemas de contaminación del recurso hídrico.

#### **IV. CONCLUSIONES**

Se encontraron mayores capacidades de reducción de materia orgánica, inorgánica y microorganismos durante la operación del sistema con vegetación.

Así mismo se encontraron capacidades de reducción aceptables de fósforo cuando el sistema operó sin vegetación debido principalmente a la composición química del sustrato y la influencia de esta en el proceso de adsorción, sin embargo la capacidad de eliminación de P no se mantendrá, lo cual sugiere buscar una alternativa diferente para reducir este parámetro.

Los resultados obtenidos indican que este tipo de sistemas podrían ser utilizados para mejorar la calidad del agua y de esta forma contribuir a la descontaminación del recurso hídrico o inclusive para tratar aguas residuales.

#### **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos al Doctor Carlos Alberto Arias, al técnico Jesús Ramos Castiblanco y al centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería por su colaboración para el desarrollo de esta investigación.

#### **REFERENCIAS**

- [1] ARIAS, C, BRIX, H, "Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales". En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Bogotá, Julio 2003.
- [2] ARIAS, C, BRIX, H .," Phosphorus removal in constructed wetlands: Can suitable alternative media be identified?". En: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Wetland system for water pollution control. Avignon, France. 2004
- [3] A.P.H.A., A.W.W.A.,W.P.C.F., "Estándar Methods for the examination of water and wastewater". 1989.

[4] LANGERGRABER, G, HABERL, R., "Constructed Wetland Technology". 1999.