

**DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE MEDIOS DE SOPORTE EN  
HUMEDALES ARTIFICIALES (HAFSSH) PILOTO EN LA GRANJA BOTANA.**

**IVANA ALEJANDRA AYALA OSORIO  
ANDRÉS RICARDO MORÁN GUÍO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2017**

**DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE MEDIOS DE SOPORTE EN  
HUMEDALES ARTIFICIALES (HAFSSH) PILOTO EN LA GRANJA BOTANA.**

**IVANA ALEJANDRA AYALA OSORIO  
ANDRÉS RICARDO MORÁN GUÍO**

**ASESOR  
MG. JAMES ROSERO CARVAJAL**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2017**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**PRESIDENTE JURADO**

---

**PRESIDENTE JURADO**

---

**ASESOR**

**San Juan de Pasto, febrero de 2018.**

# **DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE MEDIOS DE SOPORTE EN HUMEDALES ARTIFICIALES (HAFSSH) PILOTO EN LA GRANJA BOTANA<sup>1</sup>**

## **DETERMINATION OF EFFICIENCY OF SUPPORTING MEDIA IN ARTIFICIAL WETLANDS (HAFSSH) PILOT IN THE BOTANA FARM**

**Ivana Ayala O, Ricardo Moran G<sup>2</sup>, James Rosero<sup>3</sup>**

### **RESUMEN**

Los humedales artificiales como tratamiento terciario de las aguas residuales pecuarias desempeñan un importante papel en la optimización y reducción de los contaminantes, por lo tanto, la presente investigación determinó la eficiencia de dos medios de soporte reutilizados (caucho y escombros) como materia prima, los cuales redujeron los costos de inversión inicial del proyecto y contribuyeron al cuidado del medio ambiente. Los parámetros de remoción evaluados fueron SST, DBO y DQO en unidades de flujo subsuperficiales horizontal para aguas residuales provenientes de actividades pecuarias de la granja Botana, Universidad de Nariño. Los resultados indicaron que para el humedal con escombros los porcentajes de remoción fueron de 84% en SST, 80% DBO y 42,2% DQO, mientras que para el humedal con cauchos fueron de 70% en SST, 81% DBO y 42,2% DQO. Estos valores fueron comparados con el medio de triturado el cual cuenta con una remoción de 83,9% en SST, 83,9% DBO y 50% DQO. Lo anterior evidenció la eficiencia de los humedales, puesto que se aproximan a los parámetros del humedal de referencia.

**Palabras clave:** Humedales artificiales, DBO, DQO, SST, remoción.

---

<sup>1</sup> Esta investigación pertenece al proyecto de determinación de la eficiencia de tres medios de soporte en la remoción de contaminantes en las aguas residuales de la granja de la Universidad de Nariño.

<sup>2</sup> Estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, ivanaalejandraayala@gmail.com, anrichmn95@gmail.com.

<sup>3</sup> Docente de tiempo completo, M. Sc. Gestión ambiental local, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

## **ABSTRACT**

Artificial wetlands as a tertiary treatment in the optimization and reduction of contaminants of waste water is one treatment method that can play an important role in environmental conservation. This article seeks to find the effectiveness of the substratum medium (rubber and debris from a construction site). These raw materials not only reduce the costs of the project, but also, they help the environment with the elimination parameters SST, BOD and COD through horizontal subsurface flow units for wastewater from livestock activities of the Botana farm, University of Nariño. The research concluded that each of the parameters' removal percentages were that of 84% in TSS, 80%, BOD and 42.2% COD in the wetland with debris and the wetland constructed of rubbers resulted in 70% TSS, 81% BOD and 42.2. % COD; that when both compared to the crushed stone medium had an 83.9% removal in SST, 83.9% BOD AND 50% COD. Due to the previously stated result of the wetlands, and their nearly similar results to the parameters obtained in the stone, we concluded that the effectiveness was optimal.

**Keywords:** Wetland, TSS, BOD, COD, removal

## **TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN	8
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Fase 1 - Caracterización de aguas residuales.	12
Fase 2 - Diseño de Humedales artificiales.	12
Fase 3 - Montaje y estabilización del sistema.	14
Fase 4 - Muestreo laboratorio y Análisis de resultados.	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Fase 1 - Caracterización de aguas residuales pecuarias de la granja	16
Fase 2 - Diseño de humedales artificiales.	16
Fase 3 - Montaje y estabilización	17
Fase 4 - Muestreo laboratorio y Análisis de resultados	19
CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria porcícola en Colombia es desde hace tres décadas una de las actividades agropecuarias de mayor importancia en la producción y comercialización de ganado porcino, con gran impacto en la generación de fuentes de trabajo para aquellos granjeros y agricultores que ven en esta actividad una fuente de sustento económico para sus familias (Arias *et al.*, 2010). Las Aguas residuales provenientes de industrias porcinas, generan severos problemas en el medio ambiente, el impacto más significativo de las excretas y el agua residual (AR) porcina es sobre el recurso agua (Pérez, 2006).

En este sentido, el tratamiento de aguas residuales desempeña un papel importante en la calidad del recurso hídrico, puesto que la presencia de los componentes DBO, DQO, Sodio, Fosforo, Potasio, Cobre, Zinc, Hierro, puede afectar la calidad física, química y microbiológica del agua si es vertida a un cuerpo receptor (arroyo, río, laguna, canal) y de igual manera, si son dispuestos en el suelo sin un adecuado control. (Barceló *et al.*, 2014).

La implementación de tratamientos convencionales de aguas residuales son una alternativa muy común pero costosa en comparación con tratamientos no convencionales; es por eso, que los humedales artificiales son una alternativa de bajo costo y excelente remoción de contaminantes (Delgadillo *et al.*, 2011) que además, de replicar sistemas naturales para disminuir los daños causados por material orgánico, compuestos químicos, y contaminantes, han evidenciado eficiencias en el control de la contaminación de aguas residuales originadas por actividades agrícolas y agroganaderas en general (Vázquez *et al.*, 2011).

En otras palabras, los humedales construidos tienen una alta contribución a fines agrícolas puesto que la calidad del agua proporcionada es adecuada para el riego según lo mencionan Cui *et al* (2003), Morari y Giardini (2009) y Becerra-Castro *et al.* (2015) citados por Al-Isawi *et al.*, (2016). Estos sistemas, menciona Murray y Ray (2010) citado por Al-Isawi *et al.*, (2016), potencializan los rendimientos agrícolas, preservan el agua dulce, compensan la demanda de fertilizantes químicos y reducen los costos del tratamiento de aguas residuales evitando las unidades de eliminación de nutrientes.

Vale destacar que la eficiencia de los humedales naturales ha sido observada por científicos e ingenieros durante muchos años, y ha llevado al desarrollo de humedales artificiales



construidos, los cuales pueden clasificarse basados en el tipo de vegetación(emergente, sumergente, flotante), hidrología (flujo libre superficial, flujo subsuperficial); y pueden clasificarse de acuerdo a la dirección (vertical, horizontal) (Vymazal, 2010), para el presente estudio se profundizó en humedales de flujo subsuperficial (FS, *subsurface flow wetlands*) los cuales están diseñados específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento; sin embargo, los costos del medio de roca o de grava de estos son altos (EPA, 2000), razón por la cual han surgido como alternativa la implementación de humedales artificiales con variación de medio.

Hay que tener en cuenta, que el medio cumple con la función de soporte para las plantas, existen medios porosos no convencionales como el carbón mineral y el plástico de material reciclable, que pueden ser utilizados ya que tienen buenas propiedades de porosidad, conductividad hidráulica y absorción (Díaz, 2014), esta investigación en pro de reducir los costos y medir la eficiencia de medios no convencionales implementó dos humedales artificiales de flujo subsuperficial piloto como tratamiento terciario de pulimento, en los cuales se realizó el aprovechamiento de residuos tales como caucho, escombros y botellas plásticas que cumplen con buenas condiciones de porosidad y que al ser inertes no intervienen negativamente en el proceso de descontaminación del agua.

De la misma forma, las intervenciones de las plantas emergentes dentro del tratamiento de aguas residuales es la estabilización del sustrato (EPA, 1993); para EPA (2000) sus raíces como parte del sostenimiento fijan microorganismos para desplegar los procesos microbianos y apoya al sistema con oxígeno transportado desde las hojas hasta las raíces por lenticelas presentes en los rizomas y raíces, proceso expresado por Brix (1994) como intercambio gaseoso entre atmósfera y entorno para el transporte interno del oxígeno.

Así pues, la vegetación comúnmente utilizada en humedales incluye las espadañas y aneas (*Typha spp.*), los juncos (*Scirpus spp.*) y los carrizos (*Phragmites spp.*)(EPA, 2000), las cuales adaptadas a los ecosistemas acuáticos entre ellas la Totorá, están en capacidad de estabilizarse en suelos encharcados, adaptarse a profundidades variables del agua y cuentan con la propiedad de almacenar nutrientes (Alzate, 2014).

Así mismo, entre otras funciones cumplidas por la vegetación macrófita está (EPA 1993): Canalizar el flujo de agua, distribuir y regular la velocidad del agua, favorecer la

sedimentación de los sólidos suspendidos y aumentar el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación, amortiguar los cambios de temperatura, permitiendo temperaturas más cálidas en invierno y más frías en verano, mantener condiciones aeróbicas o anóxicas necesarias y componer fuentes de carbono suficientes para la eliminación eficaz de DBO, SST, metales y algunos compuestos orgánicos; igualmente, los restos orgánicos de la vegetación sirven de sustrato para el crecimiento de la biopelícula donde se agrupan composiciones microbianas responsables de gran parte del tratamiento de aguas residuales. (Roeselers *et al.*, 2008).

Por otra parte, en cuanto a lo que se refiere a los procesos productivos de la Granja Botana de la Universidad de Nariño el aporte de aguas residuales más representativo proviene de la actividad porcina, el cual está conformado por la sección de los cerdos reproductores y hembras de cría, proseguido de la zona de levante donde los cerdos se alimentan en una canoa y tienen a su disposición el agua, se realiza un barrido en seco de los residuos sólidos los cuales son llevados a la zona de compostaje. Por otra parte, los residuos líquidos se conducen por medio de tubería a un primer biodigestor, el cual se conecta a un segundo biodigestor y da paso a la planta de tratamiento de aguas residuales que se compone de trampa de Grasas, Tanque Séptico, Filtro reactor de flujo ascendente FAFA y cajilla final de aforo (CORPONARIÑO, 2012).

Así pues, para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta algunas investigaciones exitosas como la realizada en Fompedraza (Valladolid) con un sistema piloto basado en la aplicación de humedales artificiales, para el tratamiento terciario de residuos ganaderos. Según Castilla y León (2004) citados por Cortijo *et al.*, (2004) los valores medios de reducción de DBO y DQO son del 65,5% y 57,34% respectivamente. Por otra parte, en el trabajo realizado por Laseva *et al.*, (2000) en costa mediterránea de Marruecos citado por Cortijo *et al.*, (2004), obtiene unos resultados en eliminación de 47% para SST, 29% para DQO y 51% para DBO.

Por otro lado, La universidad Nacional de Bogotá se desarrolló un prototipo de humedal artificial conformado por macrofitas nativas y comunes apoyadas sobre un sustrato constituido de un material plástico reciclado adaptado a una forma esfero elipsoidal de múltiples planos con porosidad de 94%, la remoción lograda fue de 85% de DBO<sub>5</sub> , el 63% en DQO y el 88% de SST (Otálora, 2011).

Otras de las experiencias se llevaron a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira en donde implementaron a la planta de tratamiento de aguas residuales la construcción de dos humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal, uno de ellos acondicionado con lecho de arena y el otro con lecho de grava compartiendo la especie vegetal sembrada: *Guadua angustifolia Kunth*; la evaluación de los sistemas concluyó que con el humedal 1, construido con lecho de arena se obtuvo una mayor eficiencia, logrando porcentajes de remoción de 92,21% en DBO, 84,31% en DQO en comparación con el humedal 2 (con lecho de grava) que presentó un porcentaje de remoción de 72,88% en DBO, 64,35% en DQO (Marín y Correa, 2010).

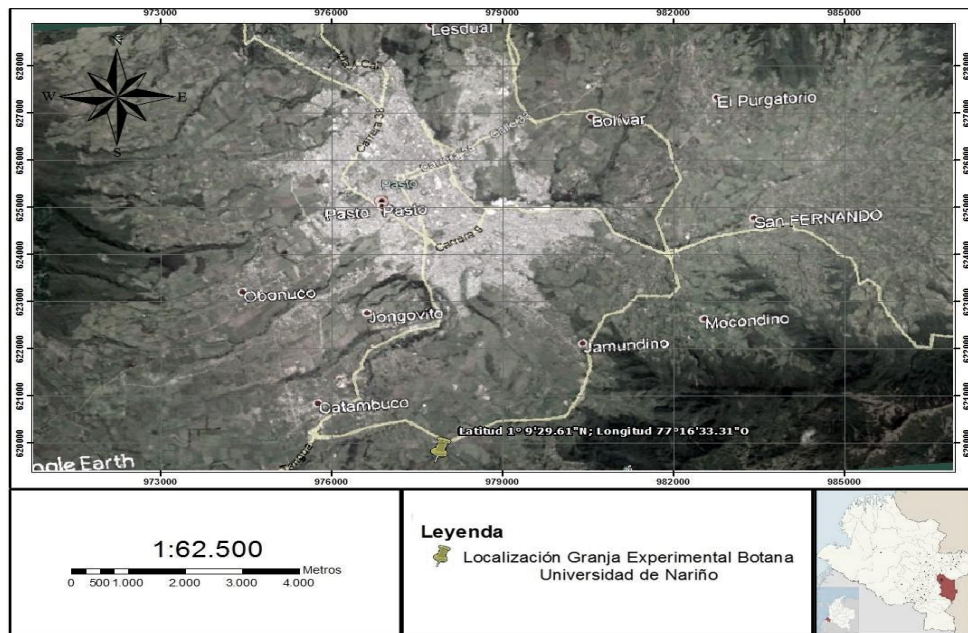
Es importante resaltar, que a nivel regional tenemos la investigación realizada por Zamora *et al.*, (2009) quienes evaluaron la remoción de cargas contaminantes, en términos de DBO y DQO de lixiviados, mediante humedales artificiales piloto como tratamiento terciario del Relleno Sanitario Antanas. En este estudio se obtuvo que las eficiencias de remoción de DQO y DBO para el humedal H1 son menores en comparación con el humedal H2 (alimentado por lixiviado proveniente de la laguna anaerobia,) en el cual existe mayor remoción de DQO y DBO, ya que en dicho lixiviado hay mayor cantidad de materia orgánica disponible.

Además, tenemos la investigación de Pantoja y Tarapues (2017), realizada en la granja Botana con su proyecto remoción carga contaminante con humedales artificiales de tipo piloto sub-superficial horizontal (HAFSSH), Granja Botana, Nariño en los cuales se realizó la variación de plantas y obtuvieron que la Totorá muestra hasta 12% más de remoción en SST y DBO<sub>5</sub>, y un 22% más de remoción en DQO respecto a la estación sin plantar.

En este sentido, la presente investigación determinó la eficiencia de dos medios de soporte alternativos dentro de los parámetros de remoción de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales(SST) en dos unidades de flujo subsuperficiales horizontal para aguas residuales provenientes de actividades pecuarias de la granja Botana, Universidad de Nariño a través de el diagnóstico, diseño, implementación y determinación de la eficiencia de los humedales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño en el Municipio de Pasto, localizada en el corregimiento de Catambuco, a nueve kilómetros sobre la vía panamericana sur que conduce al municipio de Ipiales, desviándose al sector izquierdo de la carretera que comunica a la vereda “El Campanero”, en el kilómetro 77 (Erazo, 2008) a 2.820 msnm, en las coordenadas 01°09'12" LN y 77°18'31" LO, con temperatura promedio de 13°C (Morillo *et al.*, 2011) (Figura 1); cabe resaltar, que el efluente tratado del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño se une al Arroyo Botana y a su vez desemboca en la quebrada Miraflores (CORPONARIÑO, 2012).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la Granja Experimental Botana, Google Earth 2017.

La investigación se dividió en cuatro fases metodológicas que son las siguientes:

**Fase 1 - Caracterización de aguas residuales.** Con el fin de realizar la respectiva caracterización se utilizó los datos históricos proporcionados por la Granja Experimental Botana y posteriormente se realizaron dos muestreos de agua adicionales, además se realizó el cálculo de promedio para poder trabajar con referencia a estos valores.

**Fase 2 - Diseño de Humedales artificiales.** Después de la pertinente revisión bibliográfica se identificó el área para la implementación del sistema, con el fin de establecer los

beneficios presentados en el momento de construir y poner en ejecución el humedal artificial a escala real, con la revisión de diversas fuentes bibliográficas de artículos y estudios relacionados se seleccionó la especie acuática y se determinó las características más relevantes para facilitar la extracción y adaptación de las especies. Las variables que jugaron un papel fundamental en el diseño de los humedales según lo recomendado por Kadlec (2014) citado por Espinosa (2014) en el documento factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales y los documentos RAS (2000) Y EPA (2000) fueron pendiente, temperatura, caudal, el TRH, volumen, entre otras.

Para el diseño se tuvo en cuenta lo mencionado por Espinosa, (2014), como se evidencia en la Tabla 2, en donde la profundidad del lecho varía entre 0,45m a 1m y tiene una pendiente de entre 0,5% a 1%, el agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50mm a 100mm La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, entre 3mm a 32mm.

**Tabla 2.** Fórmula para la estimación de área superficial (As).

<b>Fórmulas de cálculo de áreas superficiales</b>		
<b>Kadlec</b>	<b>Reed</b>	<b>RAS 2000</b>
$As = \frac{Q}{K_A} \ln\left(\frac{C_0 - C^*}{C_e - C^*}\right)$	$As = \frac{Q \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T * (h) * (n)}$	$As = \frac{Qd (Ln C_0 - Ln C_e)}{K_T * (D) * (n)}$

As= área superficial, Q= caudal,  $C_0$  = caudal inicial,  $C_e$  = caudal de entrada,  $C^*$  = caudal de salida,  $K_T$  = constante de temperatura, n= porosidad, D= diámetro. Fuente: Espinosa, 2014.; UPME, 2015.

Siguiendo lo establecido por el documento RAS 2000 para el diseño de los humedales se determinaron las dimensiones de estos, de tal manera que cumplieran con los parámetros establecidos; para ello, se realizó el respectivo cálculo de la porosidad tanto para los escombros como para el caucho. Esto aplicando la siguiente fórmula, propuesta por Alonso (2010):

$$n = \left(\frac{V_v}{V_t}\right) * 100 \quad \text{Donde: } V_v: \text{ volumen ocupado por los espacios vacíos; } V_t: \text{ volumen total del material}$$

Para obtener los valores de los volúmenes requeridos, se tomó un recipiente con un volumen de 2 litros ( $V_t$ ), en el cual se introdujo el material hasta su tope, posteriormente se introdujo agua lentamente en el recipiente mencionado, de tal manera que se conociera el volumen de agua utilizado ( $V_v$ ), con estos valores se aplicó la formula anterior y para realizar el cálculo de los volúmenes de los humedales, volúmenes útiles y caudales se aplicaron las siguientes formulas:

$$\text{Vol. humedal} = \text{Largo} * \text{ancho} * \text{alto}$$

$$\text{Vol. útil} = \text{Vol. filtro} * \text{porosidad}$$

$$\text{TRH} = \frac{\text{Vol. útil}}{Q}$$

$$Q = \frac{\text{Vol. útil}}{\text{TRH}}$$

**Donde:** TRH: tiempo de retención hidráulica, Q: Caudal.

**Fase 3 - Montaje y estabilización del sistema.** En esta fase se realizó la adecuación de la zona, revisión de pendiente, ubicación adecuada para los humedales, se prosiguió con la excavación del área necesaria, luego se hizo la conducción de las aguas y las respectivas pruebas con el fin de corroborar el adecuado funcionamiento hidráulico de caudales transportados hacia el humedal; además, se tuvo en cuenta la colocación y ajuste de los tubos. Después, éste fue revestido por geomembrana y se realizó su fijación. Para los medios de soporte de los humedales se aprovecharon residuos sólidos como los son caucho, botellas plásticas y escombros, adaptando y adecuando las recomendaciones según lo estipulado en el documento EPA (2000).

Las recomendaciones sugieren que la profundidad del medio en estos humedales este en un rango de 0,3 a 0,9 metros (1 a 3 pies), siendo el valor más común el de 0,6 metros (2 pies). El tamaño del medio en Estados Unidos va desde la grava fina ( $\geq 0,6$  cm o  $\geq 0,25$  pulgadas) hasta roca grande triturada ( $\geq 15,2$  cm o  $\geq 6$  pulgadas); La combinación de tamaños de 1,3 a 3,8cm (0,5 a 1,5 pulgadas) es la más comúnmente usada. Siguiendo estos parámetros se verificó las dimensiones de los cauchos y escombros (EPA 2000).

En cuanto a la vegetación usada fue *Schoenoplectus californicus* o más comúnmente conocida como Totora la cual fue extraída del lago Guamuez y transportadas hasta la granja Botana. Inicialmente, las plantas pasaron por un proceso de acondicionamiento que permitió su adaptación al clima y a las condiciones del agua a las que serían expuestas. Para el efecto se las sometió a bajas concentraciones de agua residual y paulatinamente las

concentraciones aumentaron para poder posteriormente ser introducidas sin ningún problema al humedal; luego, el humedal paso por un tiempo de estabilización y se hizo un seguimiento para observar la evolución de las especies, medio y en general el funcionamiento del humedal.

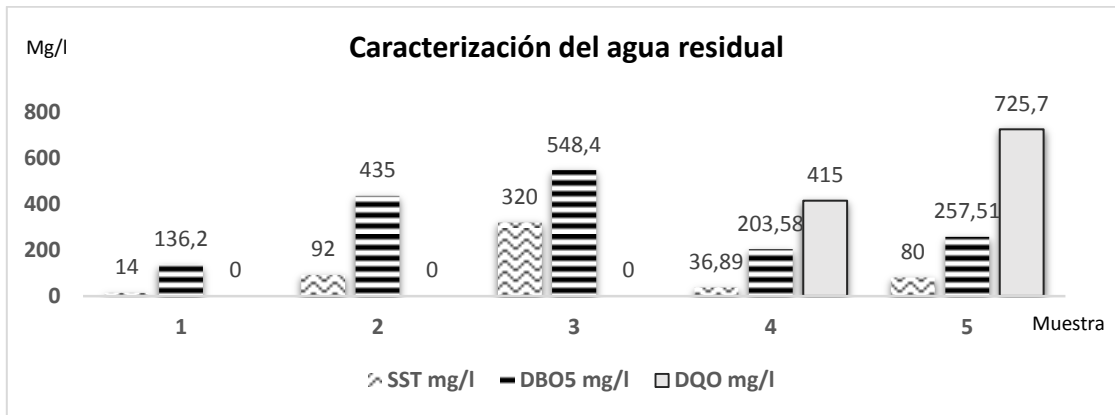
**Fase 4 - Muestreo laboratorio y Análisis de resultados.** Se determinó la periodicidad y cantidad de las muestras de los parámetros a evaluar DBO, DQO Y SST, y se prosiguió con la respectiva toma de muestras siguiendo lo establecido por la norma técnica Colombiana NTC- ISO 5667-2 (ICONTEC, 1995), estas fueron analizadas en el laboratorio de agua de La Universidad de Nariño, lo cual se realizó según Estandar Métodos Edición No 22 2540 – D, una prueba Gravimetrica para el cálculo de SST., según Estandar Métodos Edición No 22 5210- B ASTM D888-05 una prueba de Luminiscencia con el fin de determinar la DBO y finalmente según Estandar Métodos Edición No 22 5220- D una prueba de Colorim. Ref. Cerrada para determinar la DQO. Cabe anotar, que debido a las restricciones de presupuesto se realizó un promedio de muestreos a la entrada de los humedales a diferencia de los muestreos realizados a la salida.

Además, en esta fase se realizó el análisis de los resultados obtenidos en las muestras de laboratorio en cuanto a la eficiencia de remoción de los parámetros evaluados; primero se determinó los porcentajes de remoción con ayuda del software Excel 2010, luego se hizo un análisis estadístico de varianza ANOVA con las pruebas de normalidad requeridas en el software SPSS versión 2.0.

En el análisis de varianza ANOVA en el software SPSS se cuantificó la asociación o independencia entre una variable cuantitativa y una categórica. Las pruebas paramétricas exigen ciertos requisitos previos para su aplicación: la distribución Normal de la variable cuantitativa en los grupos que se comparan, la homogeneidad de varianzas (Rubio y Berlanga 2012), para ello se desarrolló la prueba de Shapiro Wilk, la cual se basa en la correlación entre los datos y los puntajes normales correspondientes y arrojan unos buenos datos de potencia que es la más frecuente medida de variables en la prueba para normalidad. Algunos investigadores recomiendan la prueba de Shapiro-Wilk como una de las mejores pruebas de normalidad (Ghasemil y Zahedias, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Fase 1 - Caracterización de aguas residuales pecuarias de la granja.** Se realizó la toma de dos muestreos de agua residual en periodos diferentes a la salida de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) y se incluyeron datos históricos de la granja, como se evidencia en la Figura 2, posteriormente se promedió los datos obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 1:



Fuente: Granja Botana y este estudio, (2018).

**Figura 2.** Caracterización de agua residual en la Granja Botana.

**Tabla 1.** Límites de vertimiento y concentración de vertimiento antes de los humedales.

Parámetros	Límites de vertimiento Pecuario Cría	Promedio de concentraciones de vertimiento
SST mg/l	400	108,578
DBO <sub>5</sub> mg/l	450	316,138
DQO mg/l	900	570,35

Fuente: Granja Botana y este estudio, (2018), Ministerio del Medio Ambiente Resolución 631 de 2015.

Según la anterior caracterización se identificó que las aguas tienen alto contenido en los parámetros de DBO y DQO; sin embargo, debido al área destinada para el proyecto se tuvo en cuenta como parámetro de Diseño DBO; Además de ello cabe resaltar que como se evidencia en la tabla los vertimientos de las aguas cumplen con la normatividad vigente.

**Fase 2 - Diseño de humedales artificiales.** Siguiendo lo establecido por Espinosa (2014) se compilan las principales fórmulas de diseño para el dimensionamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial en base a la remoción de DBO, se tuvo en cuenta las ecuaciones de Kadlec, Reed citados en Espinosa (2014) y RAS 2000, se obtuvo que los



humedales tienen una longitud de 3m, un ancho de 1m y una profundidad de 0,5. Los resultados y formulas aplicadas se resumen en la siguiente Tabla 2.




**Tabla 2.** Estimación de área superficial (As).

<b>Resultados de estimación de área superficial (As)</b>		
<b>Kadlec</b>	<b>Reed</b>	<b>RAS 2000</b>
<i>As segun DBO = 2,92 ≈ 3 m</i>	<i>As segun DBO = 3m</i>	<i>As segun DBO = 2,99 ≈ 3m</i>

Fuente: Espinosa, 2014.; UPME, 2015.

Para determinar los caudales a trabajar después de establecer el valor de As se obtuvieron los cálculos de funcionamiento del humedal para cada medio como lo indica la Tabla 3.

**Tabla 3.** Cálculos de funcionamiento del humedal.

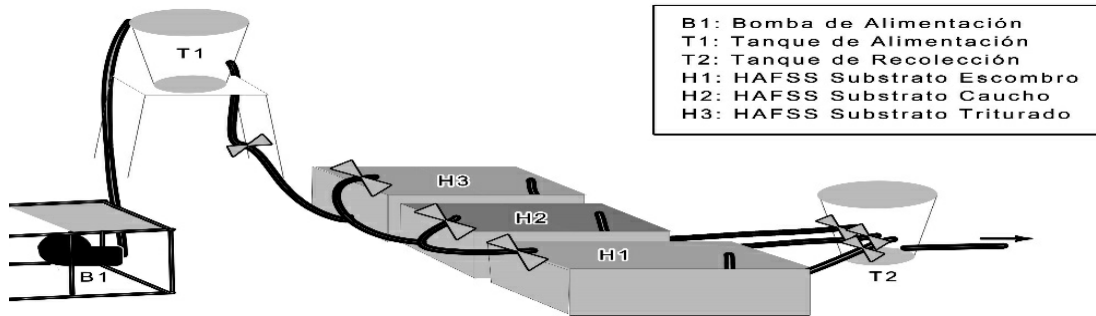
<b>Escombros</b>	<b>Caucho</b>	<b>Triturado</b>
n=55%	n=75%	n=67%
Vol.útil=0.825m <sup>3</sup>	Vol.útil=1,125m <sup>3</sup>	Vol.útil=1,5m <sup>3</sup>
Q=0,30m <sup>3</sup> /día	Q=0,41m <sup>3</sup> /día	Q=0,37m <sup>3</sup> /día
TRH= 2,7 Días	TRH= 2,7 Días	TRH= 2,7 Días
		

Fuente: este estudio, 2018.

**Fase 3 - Montaje y estabilización.** Para esta etapa primero se realizó la excavación del área, se corrobora el buen funcionamiento hidráulico, se impermeabilización del área, introdujo el medio y finalmente se introdujeron las plantas. Es importante resaltar que para el funcionamiento hidráulico se hizo necesario ubicar una bomba después de la PTAR, el sistema se conecta con una manguera que transporta las aguas residuales desde la bomba hacia un tanque de reserva del cual se transporta el agua por otras mangueras hacia los humedales, los cuales a su entrada cuentan con tubos de policloruro de vinilo (PVC) Y válvulas que permiten el respectivo control de caudales de entrada y a su vez el humedal en su salida también cuenta con mangueras que se dirigen hacia un tanque donde se reúnen

con el fin de facilitar en el tanque de recolección la toma de muestras de aguas lo anteriormente mencionado se puede evidenciar en la Figura 3.

**Figura 3.** Distribución del sistema. Este estudio, 2018.



En cuanto los dos medios de materiales reutilizados, cabe resaltar que en el medio con escombros se realizó un lavado con el fin de evitar el taponamiento y en cuanto al medio de caucho se aprovechó la parte central de las llantas, la cual fue adaptada en forma de rollos; además, para darle la condición subsuperficial al humedal se adicionaron botellas plásticas en la parte superior como se evidencia en las Figuras 4, 5 y 6.



**Figura 4.** Humedal Escombros



**Figura 5.** Humedal Cauchos



**Figura 6.** Humedal Triturado

**Fase 4 - Muestreo laboratorio y Análisis de resultados.** Con lo anterior y después de realizados los muestreos de agua por los laboratorios de la universidad de Nariño como se evidencia en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Resultado de muestreos a la salida de los humedales.

Escombro			Caucho			Triturado		
SST Mg/l	DBO Mg/l	DQO Mg/l	SST Mg/l	DBO Mg/l	DQO Mg/l	SST Mg/l	DBO Mg/l	DQO Mg/l
25,5	82,72	455,7	61	94,32	469	10	46,81	275,7
10	74,25	337,3	26	79,61	402,3	10	40,78	272,3
16,3	65,5	405,7	38,3	40,3	355,7	16	38,46	262,3
22	76,8	402,3	32	96,98	352,3	23	33,46	225,7
16	53,2	277,33	31	31,94	219	17,25	31,96	320,33
20,7	61,32	295,7	37,3	48,51	322,33	15,5	75,3	350,3
13	52,9	215,7	10	49,4	219	30,4	89,97	269
15,5	33,27	249	25,3	26,35	280,67			

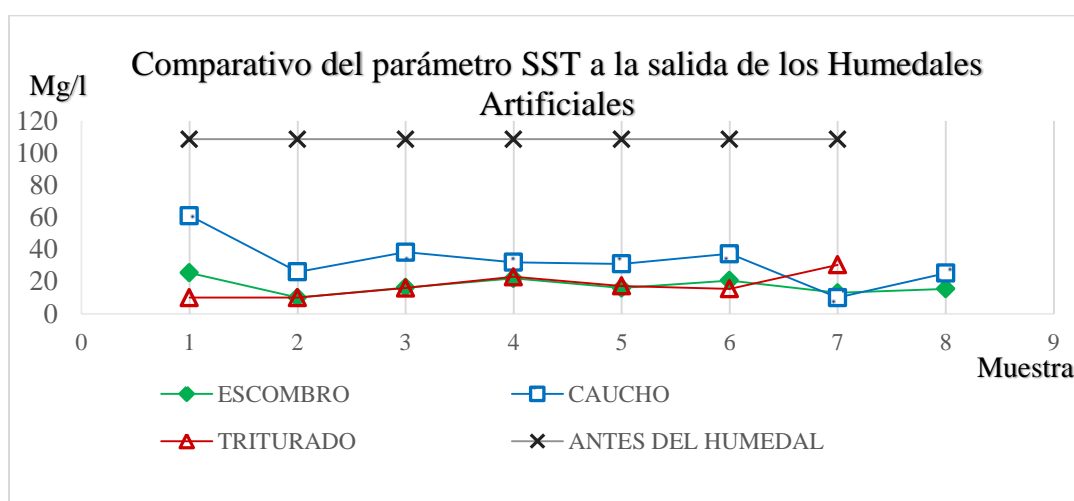
Fuente: este estudio, 2018.

Cabe anotar que los datos obtenidos en la anterior tabla evidencian que los humedales aún se encuentran en una etapa de arranque, ya que las concentraciones fluctúan, incrementan y descienden y no se mantienen lineales; sin embargo se evidencia una diferencia significativa de remoción en comparación con las concentraciones de entrada; según Land *et al.*(2013) Citado por Luna y Castañeda, (2014) la etapa inicial de operación del HA es crucial para lograr alcanzar su estabilización en un menor tiempo (aproximadamente un año). El tiempo de estabilización de los sistemas de HA, también está influenciado por las características estructurales de cada sistema, así como por las condiciones climáticas prevalecientes. Para el caso de Europa, se ha reportado que el tiempo de estabilización puede llegar a ser de hasta tres años, mientras que en México se ha logrado conseguir en un lapso de un año o año y medio.

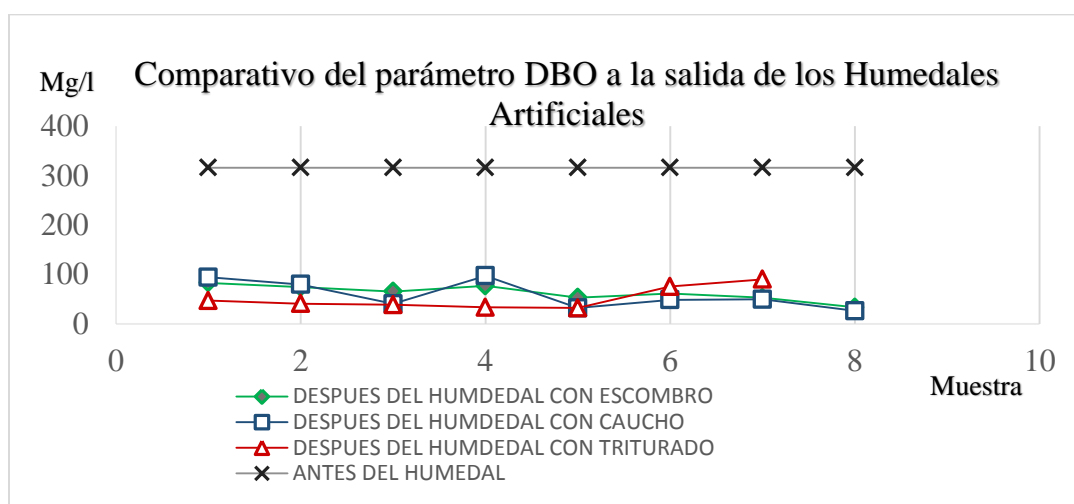
También es importante tener en cuenta factores como lo menciona la EPA (1988) citado por Gutiérrez (2010); dentro de los cuales están la lluvia, la infiltración, la evapotranspiración, la tasa de carga hidráulica, y la profundidad del agua pueden afectar la eliminación de la materia orgánica, los nutrientes, y oligoelementos presentes en las aguas residuales, no sólo mediante la alteración del tiempo de detención hidráulico, sino también por la dilución de la concentración de las aguas residuales. Por esta razón, también se puede

explicar que la remoción incrementa o no, con todo lo anteriormente mencionado se concluyó que con el paso del tiempo la remoción puede ser mayor al alcanzar la etapa de estabilización de los humedales.

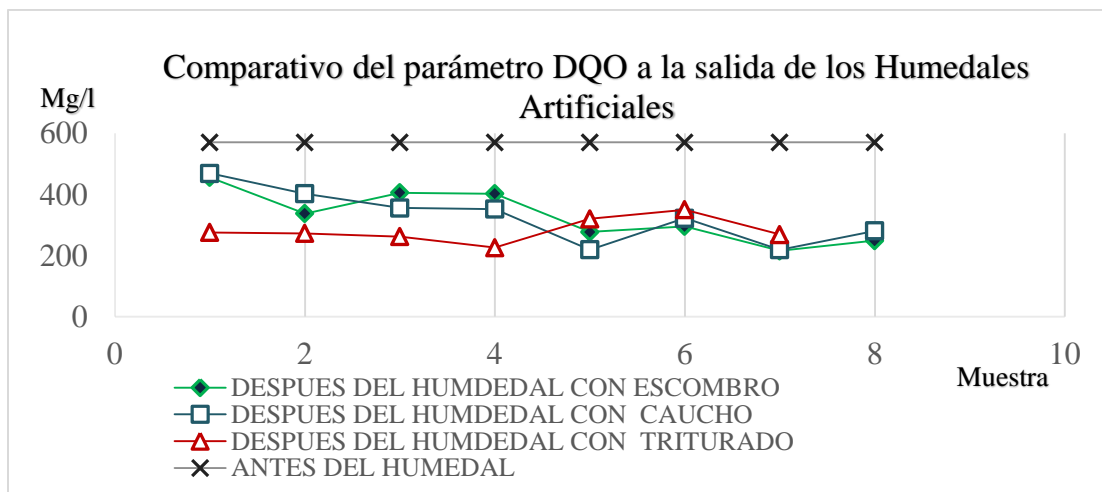
En cuanto a las Figuras 7, 8 y 9 anteriores se concluyó que son muy similares entre ellas que se mantiene en rangos parecidos lo que permite concluir que los dos medios de soporte en comparación poseen buenas características para ser implementados , que no se presenta una diferencia significativa entre las remociones de los contaminantes y además de ello al aprovechar los medios (residuos) como materias primas del humedal se contribuye con el ambiente y se reducen los costos de implementación en los humedales.



**Figura 7.** Graficas comparativa del parámetro SST.



**Figura 8.** Graficas comparativa de DBO



**Figura 9.** Graficas de comparativos DQO.

Como se evidencia en la Figura 7 los humedales artificiales piloto con diferenciación de sustrato lograron remover eficientemente SST, según Pidre (2010) se da por tres motivos: la baja velocidad del agua, las fuerzas de adhesión entre partículas y las constricciones del flujo producidas tanto por el medio granular como por el entramado de raíces y rizomas, en este proceso se destacó el sistema con medio de soporte de triturado, proseguido por el escombro y finalmente el caucho.

A demás cabe resaltar que por Laseva *et al.*, (2000) citado por Cortijo *et al.*, (2004), en su investigación realizada obtuvo remociones de 29% inferiores y La Universidad Nacional de Bogotá se obtuvieron remociones superiores de 88% en comparación a las obtenidas en este proyecto. Sin embargo, es de anotar que la inestabilidad en los datos obtenidos debido a que el sistema se encuentra en fase de arranque teniendo en cuenta lo expuesto por Rivera *et al.*, (1997) citado por Ramírez *et al.*, (2014), quien encontró que, en países como México, el tiempo mínimo para que el sistema de humedales se estabilice es de un año, a diferencia de países como Alemania y el Reino Unido en los que el sistema se estabiliza en más tiempo debido a que la temperatura ambiental es menor.

Por otro lado, en la Figura 8, se puede observar la remoción efectiva de DBO resulta según Pidre (2010) por la biopelícula que crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular en el cual se crean microambientes aeróbicos alrededor de las raíces donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno para mineralizar la

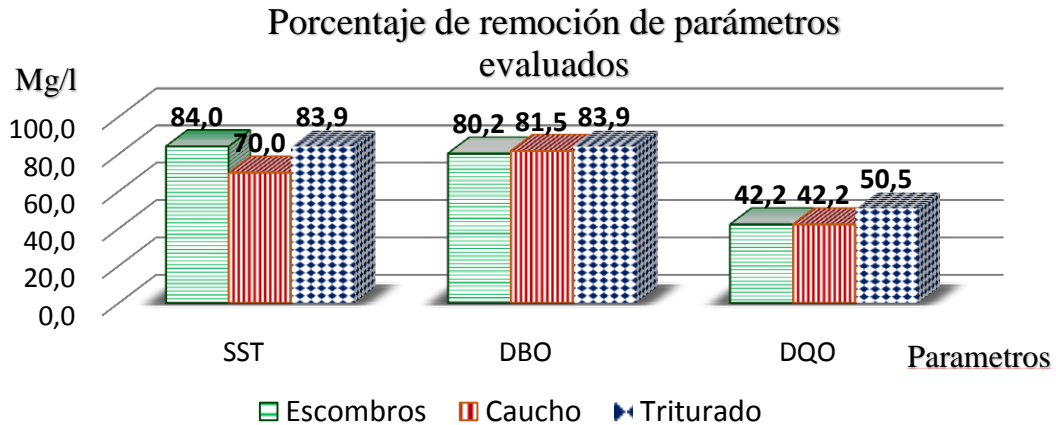
materia orgánica y nitrificación. En efecto los sistemas cumplen con remociones acordes a la fase de arranque mencionado anteriormente; destacándose con mayores cargas removidas el HFSS con sustrato de Triturado. Estos valores de remoción son superiores en comparación con los obtenidos por Laseva *et al.*, (2000) citado por Cortijo *et al.*, (2004) de 65% y 51% y a su vez inferiores a los obtenidos Por la Universidad Nacional de Bogota de 85% y en la Universidad Tecnológica de Pereira de 92%.

En cuanto a las remociones de DQO atribuido, según lo dicta Malaver (2013) por la sedimentación y la actividad de microorganismos en suspensión heterótrofos aerobios y anaerobios, adheridos al sustrato y a las paredes del humedal, se evidencia en la Figura No. 11 remociones poco significativas debido a, según explica USEPA (2000) citado por Díaz (2014), para ser muy efectiva debe tener un tiempo razonable de retención; se encontraron investigaciones con resultados inferiores como la de Laseva *et al.*, (2000) citado por Cortijo *et al.*, (2004) que obtuvo 60% DQO y superiores como la de La Universidad Nacional de Bogotá según Otálora (2011) obtuvo remociones de 63% DQO, Marín y Correa, 2010 de 84% DQO en comparación con lo obtenido en el presente proyecto.

Continuando con lo referente a la remoción de los humedales después de aplicada la fórmula para el cálculo pertinente se obtuvo que el humedal de escombros eliminó el 84% en Solidos suspendidos totales (SST), 80%, Demanda Biológica de Oxigeno (DBO) y 42,2 % en Demanda química de oxigeno (DQO), para el humedal de cauchos se obtuvo una remoción de 70% en SST, 81%, DBO y 42,2 % en DQO que al compararlos con el triturado que cuenta con una eficiencia de remoción de 83,9% en SST, 83,9%, DBO y 50% en DQO como se muestra en la Tabla 5 y Figura 10, cabe aclarar que las remociones de los humedales fueron eficientes y que se aproximan y en algunos parámetros al humedal en comparación trabajado con triturado; es por ello que se recomienda la implementación y el uso de medios alternativos en los humedales artificiales y un análisis de estos mismo por periodos largos para determinar su eficiencia a través del tiempo.

**Tabla 5.** Porcentajes de remoción de los humedales.

	% De Remoción		
	SST	DBO	DQO
Escombros	84,0	80,2	42,2
Caucho	70,0	81,5	42,2
Triturado	83,9	83,9	50,5



**Figura 10.** Porcentajes de Remoción de los humedales

Según los análisis que se muestran en la Tabla 5 y Figura 10 se concluye que los porcentajes de remoción de los humedales fueron similares entre ellos, en cuanto al parámetro de SST la mayor remoción se dio en humedal de escombros y triturado con 84% y 83,9% respectivamente diferentes a las evidenciadas en el humedal de caucho que obtuvo un 70%.

Continuado el siguiente parámetro DBO se observó que los valores son muy cercanos entre ellos y no hay una diferencia significativa al igual que en DQO sin embargo cabe resaltar que la remoción en estos dos parámetros fue mayor en el humedal con triturado. Es importante tener en cuenta que este tipo de sistemas lleva intrínseca la remoción de los SST y DBO5, debido a la participación de microorganismos, que constituyen uno de sus principales componentes y son los responsables de la biotransformación y mineralización de estos (Luna y Castañeda, 2014), lo anterior se confirma al observar la significativa reducción de los parámetros al comparar la concentración de entrada y salida y obtener unos porcentajes importantes de remoción.

Los mecanismos que utilizan estos humedales para mejorar la calidad del agua incluyen: sedimentación de material en suspensión, filtración y precipitación química, transformación química, adsorción e intercambio iónico, desdoblamiento y transformación de contaminantes, toma y transformación de nutrientes, biodegradación por medio de microorganismos y predación y muerte natural de patógenos (Navarro, 2000) citado por (Torres y Marín, 2009).

Además, se debe tener en cuenta que el análisis de varianza no presentó una significancia representativa, lo que demuestra que los medios tienen eficiencias similares entre ellos como se comprueba a continuación en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6.** Análisis estadístico de Shapiro-Wilk.

PARÁMETRO	TIPO	SHAPIRO-WILK		
		Estadístico	Gl	Sig.
SST	1	0,96	8,00	0,77
	2	0,93	8,00	0,51
	3	0,90	7,00	0,34
DBO	1	0,96	8,00	0,77
	2	0,88	8,00	0,20
	3	0,82	7,00	0,06
DQO	1	0,95	8,00	0,73
	2	0,95	8,00	0,73
	3	0,93	7,00	0,52

**Tabla 7.** Análisis de varianza de los parámetros.

ANOVA DE UN FACTOR						
Parámetros		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
SST	Inter-grupos	1179,16	2,00	589,58	6,01	0,01
	Intra-grupos	1961,71	20,00	98,09		
	Total	3140,87	22,00			
DBO	Inter-grupos	515,01	2,00	257,50	0,50	0,62
	Intra-grupos	10380,73	20,00	519,04		
	Total	10895,74	22,00			
DQO	Inter-grupos	10572,01	2,00	5286,00	0,94	0,41
	Intra-grupos	113037,73	20,00	5651,89		
	Total	123609,74	22,00			

Fuente: este estudio, 2018.



Sin embargo, es importante resaltar la significancia que se evidencia en cuanto al parámetro de SST en el humedal de cauchos, el cual presenta un valor de 0,01 inferior a 0,05 que es el valor mínimo de significancia, en este orden de ideas el humedal tipo 2, que corresponde al humedal con medio de soporte de cauchos tiene una menor remoción de SST con respecto a los humedales con medio de soporte de escombros y triturado.

## **CONCLUSIONES**

Los porcentajes bajos porcentajes de remoción obtenidos en el parámetro de DQO, se deben a factores como el dimensionamiento, puesto que para obtener mayores remociones se requería un área superficial mayor la cual por limitantes tanto económicas como de área disponible destinada para el proyecto no fue posible tener en cuenta.

Los sistemas de fitodepuración son de bajo costo y fácil implementación, en este sentido es pertinente el uso de medios alternativos, ya que estos sistemas proporcionan agua residual tratada con remociones de DBO, DQO y SST, que le permiten utilizarse para irrigación o hacer reuso de esta como se establece en la Resolución 1207 de 2014.

Los humedales presentan porcentajes de remoción significativos en los parámetros SST, DBO y DQO, lo cual permiten cumplir con la resolución 631 de 2015 relacionada con los parámetros de vertimiento de aguas residuales pecuarias para cría.

La implementación de este tipo de sistemas de tratamiento de bajo costo con medios de soporte alternativos, además de contribuir con la reutilización de residuos pueden reducir significativamente los pagos de tasas retributivas, como ejemplo de ellos se encuentra esta investigación en la Granja Botana de la Universidad de Nariño.

## **RECOMENDACIONES**

Es importante realizar investigaciones con otros parámetros estipulados en la resolución 1207 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2014 con el fin de determinar el cumplimiento de estos y con el fin de utilizar el agua residual limpia en procesos de irrigación.

Se sugiere analizar el comportamiento de los humedales en función de la DQO ya que la remoción de este parámetro está limitada por el costo y espacio disponible, con lo cual al incrementar el tiempo de retención de los humedales podría proporcionar mejores remociones.

Se hace importante realizar un análisis costo beneficio durante un periodo de 25 años debido a que los costos de inversión son diferentes a los costos de operación y seguimiento y monitoreo, lo anterior con el fin de determinar la eficiencia y costo de los humedales a través del tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Isawi, R; Scholz, M; Al-Faraj, F. (2016). Assessment of diesel-contaminated domestic wastewater treated by constructed wetlands for irrigation of chillies grown in a greenhouse. *Environ Sci Pollut Res Int.* 23(24): 25003–25023. doi: 10.1007/s11356-016-7706-x. En: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5124056/>

Alonso, J. (2013). Propiedades físicas: densidad y porosidad En: [https://www.researchgate.net/publication/237009661\\_PROPIEDADES\\_FISICAS\\_DENSIDAD\\_Y\\_POROSIDAD](https://www.researchgate.net/publication/237009661_PROPIEDADES_FISICAS_DENSIDAD_Y_POROSIDAD) Consulta: febrero 2017.

Alzate, E. (2015). Influencia del pH y el tipo de macrofita en la remoción de materia orgánica y cadmio de un drenaje sintético de minería de carbón, por medio de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto. (Magister en Ingeniería Ambiental). Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. 73p. En: [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5744/2/AlzateErika\\_2016\\_Influenciaph.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5744/2/AlzateErika_2016_Influenciaph.pdf)

Arias, S.; Betancur, F.; Gómez, G.; Salazar, J.; Hernández, M. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. SENA, 12.p. En: <http://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/3250/1/fitorremediacion.pdf>; Consulta: mayo de 2017.

Barceló, C.; Pipa, M.; Huerga, I. 2014. Problemáticas y oportunidades ambientales de la producción porcina familiar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de la Universidad Católica Argentina. 2.p. En: <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Archivos/INTAProduccionporcinafamiliar.pdf>.

BRIX, H. 1994. Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. *Water Sci Technol* 30 (8), 209-224. En: ResearchGate [https://www.researchgate.net/publication/230563362\\_Use\\_of\\_Constructed\\_Wetlands\\_in\\_Water-Pollution\\_Control\\_-\\_Historical\\_Development\\_Present\\_Status\\_and\\_Future\\_Perspectives](https://www.researchgate.net/publication/230563362_Use_of_Constructed_Wetlands_in_Water-Pollution_Control_-_Historical_Development_Present_Status_and_Future_Perspectives); Consulta: Febrero, 2018.

CORPONARIÑO – Corporación Autónoma de Nariño. 2012. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores. 82.p. En: <http://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhriopasto.pdf>. Consulta: junio de 2017.

Cortijo, R.; Ansola, G.; De Luis, E. 2004. Aplicación de tecnologías de tecnologías de bajo coste para la depuración integral de agua residual en pequeños municipios de la comunidad de castilla y león. Instituto de Medio Ambiente Universidad de León. En: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Conferencias%20y%20P%F3s%20ters/C-15%20Cortijo,%20R..pdf>

Delgadillo, A.; González, C.; Prieto, F.; Villagómez, J.; Acevedo, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 14(2): 597-612.

Díaz, A. 2014 Tratamiento de agua residual a través de humedales. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, 6. En: <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20A%20TRAVES%20DE%20HUMEDALES.pdf>; Consulta: Marzo, 2017

EPA - Environmental Protection Agency. (1993). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving. En: [http://wbdg.org/FFC/EPA/EPACRIT/epa600\\_4\\_90\\_027f.pdf](http://wbdg.org/FFC/EPA/EPACRIT/epa600_4_90_027f.pdf); Consulta: Junio, 2017

EPA - Environmental Protection Agency. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial. United States Environmental Protection Agency. En: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs\\_00\\_023.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf); Consulta: Julio 2017

Erazo, L. 2008. ¿Derecho o mercancía? Periódico UDENAR. Universidad de Nariño En: <https://udenarperiodico.com/wp-content/uploads/periodicos/02.pdf>. Consulta: Julio 2016.

Espinosa, C. 2014. Factibilidad del Diseño de un Humedal de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 30.000 Habitantes. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería - Julio Garavito. Bogotá D.C. 81p. En: Repositorio Digital Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf>

Ghasemil, A.; Zahedias, S. 2012. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *Rev. Int J Endocrinol Metab*. 2012 Spring. 10(2): 486 - 489. doi: 10.5812/ijem.3505.

Gutiérrez, A. 2010. Efectos Del Tipo De Vegetación Y De Las Variaciones De Profundidad En La Eficiencia De Remoción De Patógenos En Humedales Construidos De Flujo Subsuperficial (Tesis de Maestría Scientiae en Ecotecnología). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 127p. En: Repositorio Institucional Universidad Tecnológica de Pereira, <repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2115/333918A779.pdf>

ICONTEC- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 1995. Norma técnica Colombiana NTC- ISO 5667-2, Gestión ambiental, Calidad del agua, Muestreo, Técnicas generales de muestreo. 15p. En: control-ambiental5, <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000144-4dfdd4f559/NTC-ISO%205667-02-1995.%20Tecnicas%20generales%20de%20muestreo.Pdf>

Luna, V.; Castañeda, S. 2014. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón En: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405888X14703183#bib0095> Consulta: Febrero

Malaver, A. 2013. Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. Universidad Libre. Bogotá D.C. 51p. En: Repositorio Universidad Libre, En: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9999/Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Humedal%20artificial%20de%20flujo%20superficial%20empleando%20lenteja%20de%20agua%20%28Lemna%20minor%29%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marín, J.; Correa, J. 2010. Evaluación De La Remoción De Contaminantes En Aguas Residuales En Humedales Artificiales Utilizando La *Guadua Angustifolia Kunth*. Escuela de Tecnología Química, Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 56.p. En: Repositorio Institucional Universidad Tecnológica de Pereira <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1801/6283M337.pdf?sequence=1>.

RAS - Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000. Ministerio de Desarrollo Económico. Bogotá D.C., Colombia. En: Portal Minvivienda, <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>

Morillo, A.; Villota, D.; Lagos, T.; Ordóñez, H. 2011. Caracterización Morfológica y Molecular de 18 Introducciones de *Uchuya Physalis peruviana L.* de la Colección de la Universidad de Nariño. Rev. Facultad Nacional de Agronomía – Medellín. 64(2): 6043-6053. En: Portal de Revistas Universidad Nacional de Colombia, <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29357/37144>

Otálora, A. 2011. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandúl. Trabajo final de maestría. Universidad Nacional De Colombia. Bogotá D.C., Colombia. En: Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia, <http://www.bdigital.unal.edu.co/5044/1/292544.2011.pdf>

Pantoja, A.; Tarapues, G. 2017. Remoción carga contaminante con humedales artificiales de tipo piloto sub-superficial horizontal (HAFSSH), Granja Botana, Nariño. Universidad de Nariño, Revista de Ciencias Agrícolas P. 6.

Pérez, R. 2006. Producción Porcina y contaminación del agua en La Piedad, Mich. Instituto de Investigaciones Económicas Universidad Nacional Autónoma de México, 3p. En: Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental BVSDE, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/159.pdf>

Pidre, J. (2010). Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz, España. 369p. DOI: 10.13140/RG.2.1.4562.0640. En: RESEARCHGATE, [https://www.researchgate.net/publication/275965560\\_Influencia\\_del\\_tipo\\_y\\_granulometria\\_del\\_sustrato\\_en\\_la\\_depuracion\\_de\\_las\\_aguas\\_residuales\\_por\\_el\\_sistema\\_de\\_humedales\\_artificiales\\_de\\_flujo\\_vertical\\_y\\_horizontal](https://www.researchgate.net/publication/275965560_Influencia_del_tipo_y_granulometria_del_sustrato_en_la_depuracion_de_las_aguas_residuales_por_el_sistema_de_humedales_artificiales_de_flujo_vertical_y_horizontal)

Ramírez, E.; Robles, E.; Bonilla, P.; Ramírez, P.; Gutiérrez, A; Martínez, M.; ORTIZ, R. 2014. Aplicación de humedales artificiales para el tratamiento del agua residual de casa-habitación en áreas rurales. México. en: researchgate, [https://www.researchgate.net/publication/237340281\\_aplicacion\\_de\\_humedales\\_artificiales\\_para\\_el\\_tratamiento\\_del\\_agua\\_residual\\_de\\_casa-habitacion\\_en\\_areas\\_rurales](https://www.researchgate.net/publication/237340281_aplicacion_de_humedales_artificiales_para_el_tratamiento_del_agua_residual_de_casa-habitacion_en_areas_rurales)

MINAMBIENTE. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 De 2015. Bogotá D.C. Colombia. En: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf); consulta: enero, 2017.

Roeselers, G.; Van Loosdrecht, M.C.M.; y Muyzer, G. (2008). Phototrophic biofilms and their potential applications. *J ApplPhycol* 20, 227-235. En: National Center for Biotechnology Information NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2668646/>; Consulta: Febrero, 2018.

Rubio, M.; Berlanga, V. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. 5(2): 83 – 100. doi:10.1344/reire2012.5.2527.

Torres, E.; Marín, A. 2012. Optimización Del Humedal Artificial Subsuperficial Para Tratamiento De Aguas Residuales En: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-11/art2.pdf> Consulta: febrero 2018 30.p.

Vázquez, M; De La Varga, D.; Soto, M.; Plana, R. 2011. La combinación de sistemas de compostaje y humedales artificiales para el tratamiento de purines de cerdo. En: ResearchGate, [https://www.researchgate.net/publication/268810384\\_LA\\_COMBINACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_COMPOSTAJE\\_Y\\_HUMEDALES\\_ARTIFICIALES\\_PARA\\_EL\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_PURINES\\_DE\\_CERDO](https://www.researchgate.net/publication/268810384_LA_COMBINACION_DE_SISTEMAS_DE_COMPOSTAJE_Y_HUMEDALES_ARTIFICIALES_PARA_EL_TRATAMIENTO_DE_PURINES_DE_CERDO)

Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Rev. Water*. 2(3):530-549. DOI: 10.3390/w2030530. En: MDPI, <http://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530> En: <http://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530>

Zamora, H.; Freire, P.; Jurado, K. (2009) Biodegradabilidad de flujos de alimentación en humedales artificiales piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario “ANTANAS”. Universidad Mariana. En: <http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/unimar/article/viewFile/154/133> Consulta: mayo 2017