

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN DEL CARBÓN ANTRACITA Y DE LA *Eichhornia crassipes*  
COMO MEDIO FILTRANTE Y DE SOPORTE, RESPECTIVAMENTE, EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

### **Reporte de Estancia**

Que presenta SAÚL ALEJANDRO SALMERÓN BRAVO  
como requisito parcial para obtener el Diploma como  
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES  
DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Saltillo, Coahuila

Septiembre 2017

EVALUACIÓN DEL CARBÓN ANTRACITA Y DE LA *Eichhornia crassipes* COMO MEDIO FILTRANTE Y DE SOPORTE, RESPECTIVAMENTE, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

**Reporte de Estancia**

Elaborado por SAÚL ALEJANDRO SALMERÓN BRAVO como requisito parcial para obtener el diploma de Especialista en Manejo Sustentable de Recursos Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



---

Dr. Luis Samaniego Moreno  
Asesor Principal



---

Dra. Silvia Yudith Martínez Amador  
Asesor



---

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho  
Asesor



---

Dra. Gabriela Ramírez Fuentes  
Asesor



---

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por iluminar y guiar mi vida a cada momento, por todas las bendiciones otorgadas, por cuidarme y respaldarme. Gracias por las pruebas que me hacen crecer como persona y ser humano y me permiten dar lo mejor de mí, por poner en mi camino a las personas que me has permitido conocer, por todo esto y más. Porque sé que tus planes siempre serán mucho mejores que los míos.

A mi “*ALMA MATER*” por haber permitido mi estadía durante el tiempo de mi especialidad y brindarme todas las facilidades para mi formación profesional.

A los Profesores que integran el programa de especialidad que de alguna u otra manera contribuyeron a mi formación profesional y en especial al Dr. Luis Samaniego Moreno por brindarme el apoyo necesario y la confianza de poder realizar mi estancia académica internacionalmente.

A mis amigos por brindarme su valiosa amistad, apoyo y ánimos en todo momento, gracias por compartir este logro más en mi vida y hacer que esto fuera posible.

A mi familia por su apoyo incondicional y por la confianza que han depositado en mí y especialmente a Addy Patricia Bravo Escalante que sin su ayuda no sería posible concluir en tiempo y forma mi especialización.

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia y todo el personal que la conforma, por el apoyo brindado durante mi pasantía, los consejos y las enseñanzas que recibí durante ese proceso.

Y por todos aquellos que omití sin tener el deseo alguno de hacerlo, gracias por todo el apoyo brindado durante mi estancia en la Universidad.

## ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Aguas residuales.....	5
Características de las aguas residuales .....	5
Tratamientos de aguas residuales.....	6
Tipos de tratamientos.....	7
Filtración y soporte.....	8
Propiedades de filtración.....	9
Clasificación de los sistemas.....	9
Medios filtrantes.....	10
Tipos de medios filtrantes comúnmente utilizados.....	10
Plantas acuáticas como medios de filtración y soporte.....	10
Eichornia crassipes.....	11
DESARROLLO DE ACTIVIDADES.....	13
Ubicación del sitio experimental.....	13
Materiales .....	14
Medio filtrante y de soporte.....	14
Agua residual doméstica.....	14
Variables a evaluar.....	15
Análisis.....	15
Calendario de actividades.....	16

Metodología.....	16
Experimento y su procedimiento.....	17
RESULTADOS.....	19
CONCLUSIONES.....	22
REFERENCIAS.....	23

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Calendario de actividades.....	16
Cuadro 2. Comparación de resultados.....	20
Cuadro 3. Porcentajes de remoción.....	20

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de la Sede.....	13
Figura 2. Vista aérea de la Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia.....	13
Figura 3. Materiales para la instalación del sistema.....	14
Figura 4. Laboratorio de suelos, aguas y foliares, Sede Orinoquia.....	15
Figura 5. Localización y colecta de <i>Eichhornia crassipes</i> .....	17
Figura 6. Implementación del sistema de tratamiento de agua residual doméstica.....	17
Figura 7. Procedimiento de la instalación del sistema.....	18
Figura 8. Establecimiento del experimento.....	19
Figura 9. Análisis de las muestras.....	19
Figura 10. Muestra de agua residual sin tratar y ya tratada en la primera fase.....	20
Figura 11. Muestra de agua residual tratada en la segunda y tercera fase respectivamente.....	21
Figura 12. Instalación completa del sistema.....	21

## RESUMEN

Hoy en día la escasez de agua dulce se ha convertido en un problema creciente a nivel mundial. Es por esto que se hace necesario tener fuentes alternativas. Entre las cuales están la reutilización de aguas residuales para satisfacer la demanda del recurso. Y más en ambientes áridos, tal es el caso del país de Israel, donde el 70 % de las aguas residuales municipales son reutilizadas. Mientras que en nuestro país solo el 20 % de las aguas residuales son tratadas y el resto es destinado al riego. El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará. Los tratamientos pueden ser preliminar, primario, secundario o biológico y terciario o avanzado, ya sea mediante un proceso físico, químico o biológico. En el presente trabajo se evaluó el uso del carbón antracita como medio filtrante y la planta acuática *Eichhornia crassipes* como medio de soporte para probar la bondad de este tipo de sistemas de tratamiento en su aplicación a los efluentes de aguas residuales domésticas, con el fin de contribuir a la resolución de la problemática mencionada. Experimento que se realizó en la planta tratadora de aguas residuales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Orinoquia, donde el agua residual que abasteció al sistema fue el agua originaria principalmente de las aulas, cafetería, laboratorios y baños de la misma universidad. Con el fin de comparar la remoción de contaminantes en coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica, demostrando que este tipo de tratamiento contribuye a la mejoría en cuanto a la remoción de contaminantes en el recurso hídrico siendo este un procedimiento factible de acuerdo a su fácil y económica instalación.

**Palabras clave:** reutilización, remoción, planta acuática.



## INTRODUCCIÓN

Hoy en día la escasez de agua dulce se ha convertido en un problema creciente a nivel mundial (Norton *et al*, 2013). Es por esto que se hace necesario tener fuentes alternativas. Entre las cuales están la reutilización de aguas residuales para satisfacer la demanda del recurso (Silva *et al*, 2008). Y más en ambientes áridos, tal es el caso del país de Israel, donde el 70 % de las aguas residuales municipales son reutilizadas (USEPA, 2012). Mientras que en nuestro país solo el 20 % de las aguas residuales son tratadas y el resto es destinado al riego (Noyola, 2014).

Las aguas residuales tratadas son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público (NOM-003-ECOL-1997). Se definen como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas (Ley de Agua Nacionales, 2016).

Existe una cantidad considerable de procesos para tratamiento de aguas, los cuales se pueden clasificar en tres categorías: físicos, químicos y biológicos (Mihelcic y Zimmerman, 2011). El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde hace muchos años (Romero, 2007), motivo que lo ha llevado a tratar el agua contaminada para eliminar residuos, reducir los riesgos a la salud y mejorar su calidad en cuanto los síntomas como mal olor, color y turbiedad, sabor, manchas de aceite, cuerpos extraños, ente otros, resultados de diferentes tipos de contaminantes (Sagredo, 2007).

Desde épocas tan antiguas se trataba el agua hirviéndola, exponiéndola al sol, depositándola en recipientes para su sedimentación o filtrándola a través de arena o grava para purificarla (Arellano y Guzmán, 2011). En la actualidad han surgido varios tipos de materiales que pueden ser usados como medios de filtración y de soporte durante el tratamiento de aguas residuales, filtros como la zeolita natural (Wang, 2010), el antracita, el carbón activado (López *et al*, 2015), y semillas

(Morales, 2009). Como soporte las plantas acuáticas flotantes que son las más estudiadas para el tratamiento de aguas residuales, ya que en comparación con otro tipo de especies vegetales, éstas tienen alta eficiencia en la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Antoniadis *et al*, 2004).

En el presente trabajo se evaluó el uso del carbón antracita como medio filtrante y la *Eichhornia crassipes* como medio de soporte para probar la bondad de este tipo de sistemas de tratamiento en su aplicación a los efluentes de aguas residuales domésticas, con el fin de contribuir a la resolución de la problemática mencionada.

## JUSTIFICACIÓN

A raíz de que la disponibilidad de agua va disminuyendo con el paso del tiempo por el uso irracional de los mantos acuíferos y el incremento desmedido de población, las fuentes de alternativas ante dicha escasez es la reutilización de aguas, siendo estas una fuente muy segura en cuanto a cantidad de recurso. Para ello se tiene que llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales, en el cual, en algunas ocasiones, se emplean filtros biológicos, que ayudan a la remoción de contaminantes y permite purificar el agua, existiendo diferentes tipos de materiales para su formación, en esta investigación, se opta por utilizar el carbón antracita y la *Eichhornia crassipes* por ser algunos de los materiales en estudios de investigación e innovación en el tratamiento de aguas residuales (TAR) que han prometido eficacia en cuanto a la remoción de contaminantes.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Conocer la remoción de coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno, en aguas residuales domésticas utilizando el carbón antracita como medio filtrante y en *Eichhornia crassipes* como medio de soporte.

### Objetivos Específicos

1. Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en el carbón antracita como medio filtrante y la *Eichhornia crassipes* como medio de soporte en el tratamiento de aguas residuales.
2. Comparar la remoción de contaminación entre la especie vegetal *Eichhornia crassipes* y el carbón antracita en el tratamiento de aguas residuales.
3. Proponer un tratamiento alternativo que contribuya a mejorar los parámetros de remoción de coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Orinoquia.

## REVISIÓN DE LITERATURA

Aguas residuales.

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigente. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual.

Aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Según Rodríguez y colaboradores (2006), las aguas residuales se definen en distintos tipos como:

**Aguas residuales domésticas:** aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

**Aguas residuales industriales:** todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

**Aguas urbanas:** las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía.

Características de las aguas residuales.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química, y biológica. Las propiedades físicas de importancia son los sólidos suspendidos totales (SST) y la temperatura. Dentro de los constituyentes químicos se encuentran los orgánicos e Inorgánicos. Los compuestos orgánicos abarcan la materia orgánica. La alcalinidad, nitrógeno, pH y fósforo pertenecen al grupo de compuestos.

Inorgánicos. El sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno conforman a los gases y por último, dentro de los constituyentes biológicos encontramos a las plantas, los animales, los protistas y los virus (Metcalf y Eddy, 1996).

Este conjunto de características confiere al agua las propiedades siguientes: (a) Pestilente: causados por la descomposición anaeróbica de la materia putrescible. (b) Tóxico: muchos compuestos orgánicos e inorgánicos tienen efectos negativos sobre la flora y fauna. (c) Infeccioso: la presencia de microorganismos patógenos confiere al agua la propiedad de transmitir enfermedades de origen hídrico. (d) Estético: modificación de la apariencia física (Rojas, 2002).

Tratamientos de aguas residuales.

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará (Noyola y Güereca, 2013).

Metcalf y Eddy (1996) describen que para el tratamiento de estas aguas residuales existen varios procesos como son:

**Físico:** método de tratamiento que involucran los cambios en las características y propiedades del agua, se realizan mediante la aplicación de las fuerzas físicas tales como la gravedad, las diferencias de cargas y de concentración y el tamaño. Ejemplos típicos son: medición de caudales, homogenización de caudales, mezclado, sedimentación, sedimentación por gravedad, transferencia de gases, filtración y flotación. La sedimentación por gravedad es la más utilizada para separar sólidos en suspensión de las aguas residuales.

**Químico:** método en el cual la eliminación o conversión se producen mediante reacciones químicas o adición de productos químicos. Ejemplos típicos son: Precipitación, absorción, desinfección y dechloración. Estos son los métodos aplicados en el tratamiento de aguas residuales.

**Biológico:** la principal actividad de éste, consiste en el control del medio ambiente, también en la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en las aguas residuales en forma, tanto coloidal como disolución. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación.

Tipos de tratamientos.

Los tratamientos se diseñan de acuerdo al efluente para su reutilización o vertido disminuyendo la contaminación, pero las operaciones que a continuación se describen son en forma general y dependiendo del tipo de agua residual cambia el proceso.

El tipo o nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se le quiera dar al agua tratada, lo que puede estar determinado por alguna normatividad. Los cuales pueden ser preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado (Metcalf y Eddy, 1996).

Las aguas residuales antes de su tratamiento, propiamente dicho, se someten a un pre-tratamiento también conocido como **tratamiento preliminar:** proceso que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento. Como ejemplos están las operaciones de separación de sólidos gruesos, eliminación de grasa, aceite y de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos (CENTA, 2008).

**Tratamiento primario:** se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior (Olivos, 2010).

**Tratamiento secundario o biológico:** en esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable por medios preferentemente biológicos. Existen dos clases; el aerobio donde se lleva a cabo la conversión, mediante microorganismos presentes en las aguas residuales es capaz de eliminar eficientemente la materia orgánica y entregar aguas con muy bajas concentraciones de materia orgánica y se caracteriza por no generar malos olores ni gas metano, y el anaerobio que significa la ausencia de oxígeno disuelto (OD) en el agua del proceso, se caracterizan por generar malos olores, gas metano y sulfhídrico, entre otros (CONAGUA, 2010).

**Tratamiento terciario o avanzado:** este tipo de tratamiento tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios. Las tecnologías empleadas pueden ser de tipos físicas, químicas y/o biológicas. Con el fin de eliminar compuestos tales como nutrientes y la materia orgánica no biodegradable (Peñuela y Mirató, 2014).

Ejemplo de los procesos empleados en un tratamiento terciario o avanzado es la remoción de los nutrientes como el fósforo y nitrógeno, además de la precipitación química y sedimentación, también la remoción de sólidos por medio de la filtración y la adsorción con carbono (Cesar y Vázquez, 2003).

Filtración y soporte.

La filtración es un proceso en donde el agua pasa a través del lecho filtrante compuesto originalmente de arena fina dispuesto sobre una capa de grava que sirve de soporte. Consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso. Es la fase responsable de que se cumplan los estándares de calidad para el agua potable (Camacho, 2011).

En la actualidad son comunes otros medios filtrantes y soportes. Los mecanismos que intervienen en la filtración incluyen el colado de las partículas de mayor tamaño que los poros, la floculación, que se produce cuando las partículas entran en contacto más estrecho dentro del filtro, y la sedimentación de las partículas en



los poros del filtro. Con el tiempo los poros del filtro, en particular los de la superficie, se obstruyen y hace necesario el lavado a contracorriente (Glynn y Heinke, 1999).

Propiedades de filtración.

- Remueve partículas y materia coloidal no sedimentable.
- Incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, fósforo, DBO5, DQO, metales pesados, asbestos, bacterias, huevos de helmintos, virus y otras sustancias.
- Mejora la eficiencia y reduce el costo de desinfección a través de la remoción de materia orgánica suspendida y otras sustancias interferentes.
- Asegura la operación continua de la planta y calidad constante del efluente.

El final del ciclo de filtrado se alcanza cuando empieza a aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta alcanzar un nivel máximo aceptable o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante; luego se termina la fase lavando el filtro a contracorriente para eliminar los sólidos que se han acumulado dentro del lecho granular filtrante. Para esto se aplica un caudal de agua de lavado suficiente para expandir el medio filtrante granular y arrastrar el material acumulado en el lecho. Para mejorar y favorecer la operación de lavado del filtro, suele emplearse una combinación de agua y aire (Metcalf y Eddy 1996).

Clasificación de los sistemas.

Los filtros se pueden clasificar en continuos y semicontínuos; los filtros semicontínuos se mantienen en funcionamiento hasta que se empieza a deteriorar la calidad del efluente o hasta que se produce una pérdida de carga excesiva en el filtro. Los filtros continuos los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea.

Los principales tipos de filtros empleados para la filtración de efluentes de aguas residuales se pueden clasificar en filtros de flujo ascendente y filtros de flujo descendente.

Medios filtrantes.

La elección de un medio filtrante debe basarse en su durabilidad, el grado de purificación deseado, la duración de los ciclos de filtración y facilidad de lavado a contracorriente. El medio ideal deberá ser de tamaño y naturaleza tales que sea capaz de producir un efluente de calidad satisfactoria, retener la máxima cantidad de sólidos y poder limpiarse con facilidad empleando la mínima cantidad de agua para lavado (Casero, 2008).

Tipos de medios filtrantes comúnmente utilizados.

La arena es el medio filtrante más barato y, por lo tanto, ha sido ampliamente utilizado. La arena a emplear en los filtros rápidos debe estar libre de suciedad, ser dura y resistente y preferiblemente estar constituida por cuarzo o cuarcita.

La antracita se ha empleado como sustituto de la arena en muchas plantas de tratamiento y puede utilizarse conjuntamente con aquella y otros materiales en los filtros de medio filtrante mixto (Casero, 2008).

Otros materiales utilizados como medio filtrante suelen ser la piedra cuarta, cuarzo, bambú, bloques cerámicos o de PVC, esferas de polietileno entre otros (Alvarado, 2011).

Plantas acuáticas como medios de filtración y soporte.

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados (Caicedo, 1995).

Las plantas juegan un papel fundamental en los sistemas de tratamiento de aguas residuales siendo sus principales funciones:

- Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera.
- Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos.

#### *Eichhornia crassipes.*

Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes.

Poseen un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas (Novotny y Olem, 1994), retienen en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico). Además remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos (Metcalf y Eddy, 1996).

El impacto que estas plantas causan en lagos y charcas si no se mantienen bajo control es muy grave, ya que pueden cubrir estas extensiones completamente,

impidiendo que la luz del sol llegue a las plantas acuáticas nativas y agotando el oxígeno del agua.

Es una de las plantas de más rápido crecimiento, se reproducen principalmente por estolones que forman nuevas plántulas, además de por semillas. La *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua común) puede doblar su número en dos semanas.

Un ejemplo del uso de esta planta acuática sucede en la Fábrica de Imusa S.A. localizada en el municipio de Río Negro (Antioquía), Colombia, donde se tienen operando desde 1988 unos canales sembrados con *Eichhornia crassipes*, se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados.

## DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Ubicación del sitio experimental.

El experimento se llevó a cabo en el terreno de la Planta Tratadora de Agua Residual ubicada dentro de la Sede Orinoquia perteneciente a la Universidad Nacional de Colombia (Figura 1).



Figura 1. Planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de la Sede.

La Universidad (Figura 2) se encuentra en la zona rural del municipio de Arauca, ubicada en el kilómetro 9 vía Caño Limón, con coordenadas geográficas (WGS 84)  $7^{\circ}00'39.62''$ Norte y  $70^{\circ}44'34.66''$ Oeste en el punto medio del predio, a unos 128 m.s.n.m. con temperaturas ambientales que varían entre los  $25^{\circ}\text{C}$  y los  $30^{\circ}\text{C}$  en promedio. La precipitación anual es de 1569 mm, entre 121mm y 284mm para las épocas lluviosas (abril a noviembre) y con menos de 25 mm para la época seca (diciembre a marzo), (IDEAM, 2000).



Figura 2. Vista aérea de la Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia.

## Materiales.

Los materiales (Figura 3) que se ocuparon para llevar a cabo la instalación y formación del experimento fueron proporcionados por la universidad y son:

- Tres tanques de plástico con capacidad de 1000 lts.
- Un agitador
- Tuvo PVC



Figura 3. Materiales para la instalación del sistema.

## Medio filtrante y de soporte.

- Carbón antracita: este material se utilizó de manera granulada dentro de uno de los tanques.
- *Eichhornia crassipes*: este tipo de material vegetativo se utilizó como medio de soporte dentro de uno de los tres tanques a utilizar.

## Agua residual doméstica.

El agua residual que abasteció el experimento es de tipo doméstica, proveniente principalmente de aulas, laboratorios, cafetería, lavamanos y sanitarios, localizados dentro de la Dirección Sede Orinoquia.

VARIABLES A EVALUAR.

Las variables que se midieron en esta investigación son:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Coliformes fecales (CF)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)

ANÁLISIS.

Se realizó el análisis de las muestras obtenidas en el laboratorio de suelos, aguas y foliares perteneciente a la Sede Orinoquia (Figura 4), con la finalidad de comparar la remoción de coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica, cuyos procesos se realizarán bajo las indicaciones de las normas técnicas locales correspondientes de cada parámetro.

- DBO:NTC-3630-ICONTEC-2014
- CF: NTC-4458-ICONTEC-2007
- SST:NTC-897-ICONTEC-2015

En México sus equivalentes son las siguientes normas:

- DBO:NMX-AA-028-SCFI-2001
- CF: NMX-AA-042-SFCI-2015
- SST: NMX-AA-034-SCFI-2001



Figura 4. Laboratorio de suelos, aguas y foliares, Sede Orinoquia.

## Calendario de actividades.

En el Cuadro 1, se muestran las principales actividades que se llevaron a cabo durante los meses Abril, Mayo y parte de Junio del 2017 en la Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia, cuyo periodo comprendido consta de tres meses, con el fin de realizar y colaborar en dichas actividades como parte del plan de trabajo establecido por la Sede.

Cuadro 1. Calendario de actividades.

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		2017												
No.	ACTIVIDADES	A				M				J				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3		
1	Formulación De la propuesta													
2	Obtención de materiales													
3	Muestreo preliminar			0										
4	Instalación y funcionamiento													
5	Muestreo y análisis de muestras				1		2				3			
8	Revisión del experimento													
6	Redacción del proyecto													
8	Revisión bibliográfica													
9	Análisis de resultados													

## Metodología.

Para llevar a cabo las actividades ya antes planteadas fue preciso obtener y generar información con la que se construyó la propuesta de: Tratamiento de aguas residuales.

Para la construcción de la propuesta, se recopiló y se analizó información sobre la Sede y consultas bibliográficas que ayudaron a la estructuración del presente documento.

Durante la elaboración de la propuesta de tratamientos de agua residuales se participó en una inspección de la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) de la Sede, con el fin de conocer su ubicación, el funcionamiento y su estructura.

También se realizaron actividades de identificación del material vegetativo que se



utilizó para conocer su ubicación y posteriormente llevar a cabo su recolección para poder establecer el experimento (Figura 5) y realizar las fases correspondientes de acuerdo al contenido que se desarrolló en dicha propuesta.



Figura 5. Localización y colecta de *Eichhornia crassipes*.

Experimento y su procedimiento.

El experimento enfocado al tratamiento de aguas residuales (Figura 6) se conformó por tres tanques de plástico con capacidad de 1000 Lts., conectados por un tubo PVC de 1 pulgada de diámetro por 4,5 m de largo. El primer tanque con material vegetativo, el segundo un agitador y el tercero con carbón antracita.

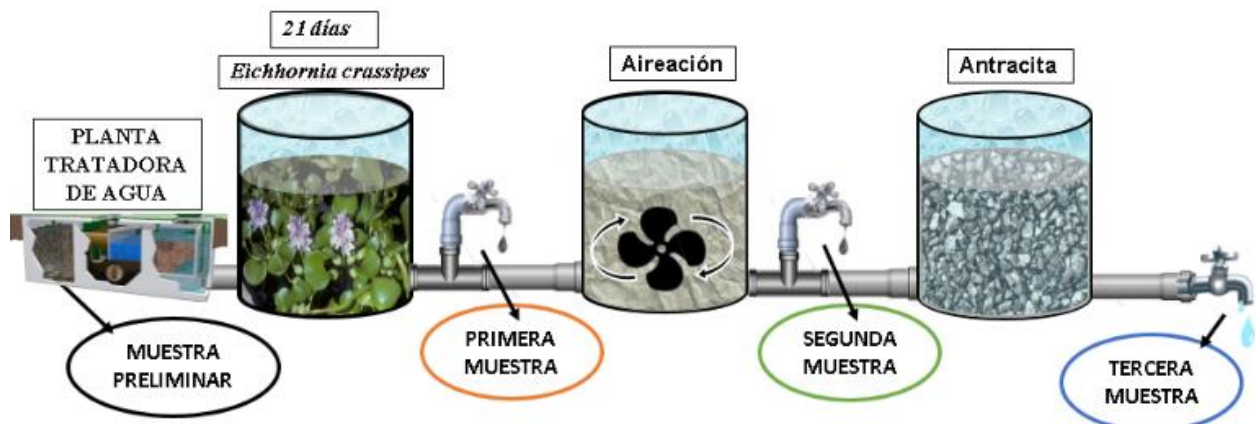


Figura 6. Implementación del sistema de tratamiento de agua residual doméstica.

Se realizó un muestreo preliminar (0) del agua a tratar, posteriormente se colecto el material vegetativo para ser agregado al sistema ya instalado y puesto en marcha, donde el primer tanque fue llenada de agua cruda a través de un flujo de entrada únicamente, con la finalidad de efectuar la primera fase que consistió en una decantación y así realizar el primer muestreo (1) con su respectivo análisis, esto después de 21 días, ya que este periodo se estableció en base a estudios que se han hecho anteriormente con la *Eichhornia crassipes* en el TAR en la Sede Orinoquia, señalando como resultados que en 21 días se obtiene un alto porcentaje de remoción y que después de ese periodo el material vegetativo se satura y la acción de remoción se vuelve casi nulo.

Posteriormente el día número 22 se prosiguió con la ejecución de la segunda fase en donde se llevó a cabo de un solo golpe el vertimiento del agua decantada al segundo tanque para realizar el proceso de aireación durante un periodo de 10 días y al finalizar dicho periodo se hizo el segundo muestreo (2) y su respectivo análisis.

En la tercera fase se le realizó al tercer tanque que contiene el carbón antracita un flujo de entrada y salida con obtener la tercera muestra (3) y su análisis correspondiente (Figura 7).

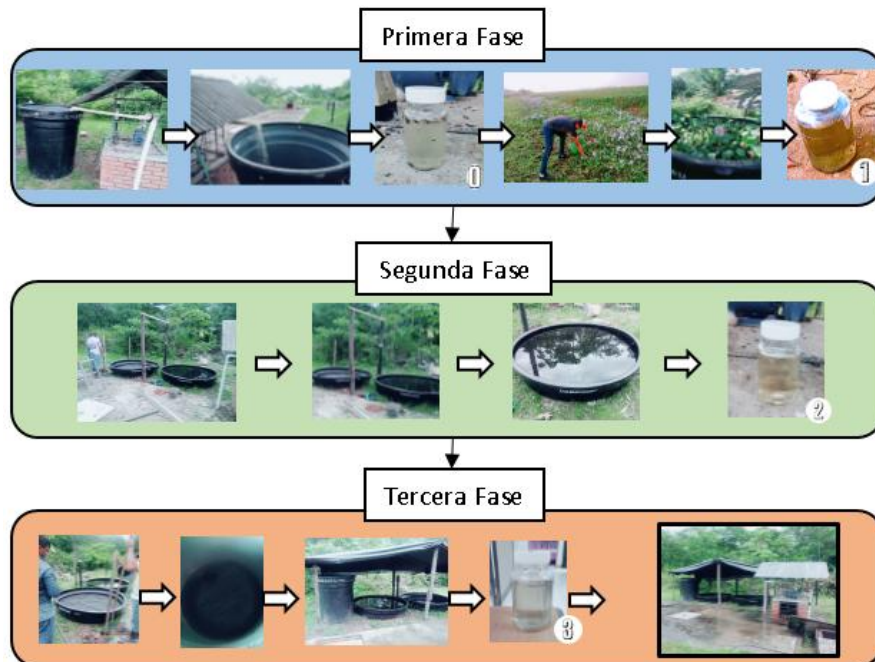


Figura 7. Procedimiento de la instalación del sistema.

## RESULTADOS

Como resultado se obtuvo la elaboración de la propuesta de tratamiento de aguas residuales en la Sede Orinoquia y así mismo la ejecución de la propuesta (Figura 8), teniendo como resultado los análisis que se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliareos perteneciente a la Sede (Figura 9).



Figura 8. Establecimiento del experimento.



Figura 9. Análisis de las muestras.

Los resultados obtenidos en el reporte de análisis microbiológico de aguas se compararon con los valores máximos permisibles de la Resolución número 2115 (22 Jun 2007) para la obtención de Calidad del Agua para Consumo Humano del Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial del país colombiano y la Norma oficial Mexicana Nom-003-ECOL-1997, con la finalidad de formular un cuadro comparativo (Cuadro 2), demostrando que en el tratamiento hubo una mejoría en cuanto a remoción de contaminantes.

Cuadro 2. Comparación de resultados.

LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE ORINOQUIA.					RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22 JUN 2007).	NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997.
Parámetro	Resultados de los análisis de muestra				Valor Máximo aceptable	Valor Máximo aceptable
	1	2	3	4		
Coliformes Fecales	2419.8 NMP/100 mL	2419.6 NMP/100 mL	579.4 NMP/100 mL	488.4 NMP/100 mL	< de 1 microorganismo en 100mL	240 NPM/100 mL
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	728.00	140.00	118.00	5.00	500 mg/L	30 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	14.8	14.73	10.91	10.00	0.5 mg/L	20 mg/L

Con base a lo anterior se elaboró el Cuadro 3, donde se muestra los porcentajes de remoción que se obtuvieron mediante el resultado de los análisis de agua residual doméstica tratada.

Cuadro 3. Porcentajes de remoción.

Parámetro	Resultados de los análisis de muestra			
	1	2	3	4
Coliformes Fecales	0%	1%	76.05%	79.81%
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	0%	80.76 %	83.79%	99.31%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	0%	0.47%	26.28%	32.43%

Otro resultado aunado a lo anterior es la obtención de un mejoramiento con respecto a la turbiedad que el agua tratada va presentado durante los procesos y así mismo la reducción del mal olor (Figura 10 y 11).



Figura 10. Muestra de agua residual sin tratar y ya tratada en la primera fase.





Figura 11. Muestra de agua residual tratada en la segunda y tercera fase respectivamente.

La instalación completa del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Sede Orinoquia es mostrada en la Figura 12.



Figura 12. Instalación completa del sistema.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos el uso de este tipo de tratamiento contribuye a la mejoría en cuanto a la remoción de contaminantes en el recurso hídrico siendo este un procedimiento factible de acuerdo a su fácil y económica instalación.

Así mismo el uso de *Eichhornia crassipes* como material de soporte en el tratamiento de las aguas residuales, contribuye a la remoción de los Sólidos totales disueltos (STD) y Coliformes fecales, sin embargo, no favorece tanto a la remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Mientras que el carbón antracita como medio filtrante ayuda de gran manera a reducir la contaminación del recurso proporcionando agua de mayor calidad al poseer espacios intergranulares más grandes que los de la arena, reteniendo las partículas en suspensión en el agua adsorbiendo las impurezas que producen olor, sabor y color.

Cabe mencionar que esta opción de estancia académica representa una gran oportunidad para poder desempeñarse en el ámbito laboral mediante la aportación de conocimientos sobre temas ambientales y al mismo tiempo aprender a interactuar con el sector público, aunado de mayor responsabilidad, ética, profesionalismo y compromiso que ayuda acrecentar los conocimientos.

La Universidad Nacional de Colombia brinda la posibilidad y la oportunidad de poder participar en el desarrollo del sector de Investigación que la Sede Orinoquia posee, con la finalidad de contribuir a la protección y conservación de los recursos naturales con las que cuenta la entidad receptora, y sobre todo, permitiendo conocer el importante valor socio-cultural, natural y económico que representa para el país colombiano.

## REFERENCIAS

- Alvarado, A. A. (2011). Evaluación de materiales de desecho como medio filtrante en filtros anaerobios de flujo ascendente. Tesis Licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71.
- Antoniadis, A.; Kiridis I.; Kositzi, M.; Malato, S. y Poullos, I. (2004). Solar photocatalytic treatment of simulated dyestuff effluents. *Solar Energy*. 77 (5), 591–600.
- Arellano D. J & J.E. Guzmán. P. (2011). Ingeniería Ambiental. Alfaomega. México, D.F. 184.
- Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación, 24 de marzo de 2016, México.
- Caicedo, Julia Rosa. (1995). Effects of ammonia, ph and organic matter on growth of *Spirogyra polyrrhiza*. International Institute for Hydraulic Infrastructural and Environmental Eng, IHE, Holanda.
- Camacho, N. C. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (29), 153-170.
- Casero, R. D. (2008). Potabilización del Agua. Abastecimientos y Saneamientos Urbanos. Escuela de negocios. 144.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA). (2008). Monográfico 3: Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Alianza por el agua. Sevilla, España. 264.
- César, E., & Vázquez, A. B. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA, AC México, DF. 341, 321-328.
- CONAGUA. (2010). Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Obtenido el 10 de octubre de 2016 en <http://documents.mx/documents/ptar-conagua.html>
- GLYNN, J. H. & HEINKE, G. W. (1999). Ingeniería ambiental. Traducción al español por Héctor Escalona y García. Prentice Hall. México. 440-450.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2000.) Diagnóstico ambiental y lineamientos para el uso sostenible del área Caño Limón-Estero de Lipa. Informe. Santafé de Bogotá: IDEAM, Colombia. 202.

- López G., A., F., & Sánchez O., I., A. (2015). Postratamiento en escala piloto del lixiviado del relleno sanitario Antanas (Pasto-Nariño) por filtración-adsorción con arena, antracita y carbón activado. *Revista de Ingeniería. Universidad de Los Andes Bogotá, Colombia.* 43, pp.10-15.
- METCALF & EDDY. (1996). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento vertido y reutilización.* Traducido del Inglés por: Juan de Dios Trillo Montsoriu. 3a edición. Mc Graw-Hill. México. 54-109.
- Mihelcic, J. & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad. Diseño.* Alfaomega. México. 530-31.
- Morales A., F. D., N. Méndez. N., & Tamayo. D. A. (2009). Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de moringa oleifera lam como coagulante. *Tropical and Subtropical Agroecosystems. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México.* 10(3): 523-529.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. *Diario Oficial de la Federación,* 21 de septiembre de 1998, México.
- Norton, B. D., Scherrenberg, S. M., & Van Lier, J. B. (2013). Reclamation of used urban waters for irrigation purposes—a review of treatment technologies. *Journal of environmental management,* (122), 85-98.
- Novotny, V. & H.Olem, (1994). "Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution". Van Nostrand Reinhold, New York. 1054.
- Noyola, A., Morgan, S. J. M., & Güereca, L. P. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Primera edición. México DF. Universidad Nacional Autónoma de México. 140.
- Noyola, R. A. (2014). En México, sólo el 20 % de las aguas residuales son tratadas. 09 de Noviembre de 2016, de El IIUNAM en Prensa: Sitio web: <http://www.iingen.unam.mx/esmx/difusion/Lists/EIIIUNAMEnPrensa/DispForm.aspx?ID=316>
- Olivos, L. O. E. (2010). *Tratamiento de Aguas: Tratamiento primario.* Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad a las Peruanas. Lima Perú. 33.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización en Aguas Residuales.* Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA. Lima, Perú. 42.
- Peñuela, G., & Morató, J. (2014). *Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas.* Red ALFA TECSPAR. Cataluña, España. 117.



- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía. España. 30-40.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 8-15.
- Romero, M. (2007). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. Boletín Electrónico [Internet]. [citado 2012 jun 16], 8, 1-12.
- Sagredo, S. C. A. (2007). Tratamiento de Aguas Grises por Rectificación de Espuma y Precipitación. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 192.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Agronomía Colombiana, 26(2), 347-359.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2012). Guidelines for water reuse. Environmental Protection Agency, Municipal Support Division Office of Wastewater Management Office of Water Washington, DC. Agency for International Development Washington DC, EPA/625/R-04/108, Cincinnati, OH US EPA/625/R-04/108.
- Wang, S., & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal, 156(1), 11-24.