

## **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que JENNIFER VANESSA BERNAL NIEVES ha autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Bibliotecas Bucaramanga  
Universidad Santo Tomás**

**EVALUACIÓN DE *EICHHORNIA CRASSIPES*. EN EL TRATAMIENTO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL *CAMPUS* DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE ORINOQUIA**

**JENNIFER VANESSA BERNAL NIEVES**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISION DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
FACULTAD DE QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2015**

**EVALUACIÓN DE *EICHHORNIA CRASSIPES*. EN EL TRATAMIENTO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL *CAMPUS* DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE ORINOQUIA**

**JENNIFER VANESSA BERNAL NIEVES**

**Trabajo de grado para optar el título de Químico Ambiental**

**Directores del Proyecto  
Martha Cervantes Díaz,**

**Química, M. Sc. – USTA, Bucaramanga**

**Oscar Eduardo Suárez Moreno,**

**Ing. Industrial- UNAL, Sede Orinoquía**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISION DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
FACULTAD DE QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios, creador de todas las cosas, por permitirme cumplir una meta más en mi vida, ya que me ha dado fortaleza para enfrentar los momentos difíciles por lo que he pasado enseñándome a valorar cada día de mi vida.

A mis abuelos maternos que con su crianza me brindaron humildad y sacrificio apreciando todo lo que tengo y formándome con buenos sentimientos, hábitos y valores, los cuales me han formado como persona.

A mi madre que ha sido la persona que me ha acompañado a cumplir esta meta dándome ejemplo de superación, y brindándome todo su amor y su apoyo incondicional.

A mis hermanos y mi padrastro que han estado junto a mi brindándome apoyo, cariño y en muchas ocasiones poniéndose en el papel de padre.

A mis tías Esperanza, Juana, Rosa, Sonia y Yadira, que además de ofrecerme su amor también fueron madres y amigas que han estado a mi lado en cada etapa de mi vida compartiéndome sus alegrías, tristezas y enseñanzas de vida fomentando en mí el deseo de superación y triunfo.

A mi familia en general por ofrecerme todo su apoyo y compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mis profesores por dedicarme su tiempo, apoyo y transferirme conocimientos que fomentaron en el desarrollo de mi formación profesional

A todas esas personas que han hecho parte de mi vida brindándome su amistad, cariño, respeto, ánimo y apoyo estando en circunstancias tanto buenas como malas dejándome muchas enseñanzas. Algunas siguen a mi lado y otras en mi corazón y mis recuerdos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar de manera muy especial mis agradecimientos a la Universidad Nacional, Sede Orinoquía por aceptar realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones y ofrecerme sus servicios del laboratorio Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves, además a los distinguidos docentes Geovanna Tafur García y Oscar Eduardo Suárez quienes con su profesionalismo, ética y experiencia me guiaron durante el proceso que ha llevado el realizar este trabajo de grado y brindarme el tiempo necesario.

También quiero agradecerle a la Universidad Santo Tomás de Aquino por formarme como profesional y junto a todos los docentes que fueron parte de este proceso.

De igual forma le agradezco a mi directora del proyecto, Martha Cervantes Díaz, que con su paciencia, apoyo y confianza me ayudaron a culminar este proyecto.

Por último, quiero agradecerles por su gran apoyo a todas las personas que han participado en la realización de este proyecto, ya que sin el apoyo y cariño la ejecución de este proyecto no había sido posible.

## **CONTENIDO**

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>17</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>22</b>
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>22</b>
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>23</b>
<b>4.1. Tecnologías disponibles para la remoción de contaminantes presentes en las aguas de desecho.</b>	<b>23</b>
<b>4.1.1. Adsorción</b>	<b>24</b>
<b>4.1.2. Tratamiento biológico</b>	<b>26</b>
<b>4.1.3. Tratamiento químico</b>	<b>26</b>
<b>4.1.4. Tratamiento electroquímico</b>	<b>27</b>
<b>4.1.5. Fitorremediación</b>	<b>27</b>
<b>4.2. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales</b>	<b>28</b>
<b>4.3. Humedales artificiales</b>	<b>29</b>
<b>4.4. Tipos de humedales artificiales</b>	<b>29</b>
<b>4.4.1. Humedales de flujo superficial</b>	<b>309</b>
<b>4.4.2. Humedales de flujo subsuperficial</b>	<b>30</b>
<b>4.5. Plantas acuáticas en tratamientos de aguas residuales</b>	<b>31</b>
<b>4.6. MARCO DE ANTECEDENTES</b>	<b>32</b>
<b>4.6.1. Planta de tratamiento de la Universidad Nacional de Colombia - sede Orinoquia</b>	<b>33</b>
<b>5. DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>34</b>
<b>5.1. Materiales</b>	<b>34</b>
<b>5.2. Material vegetal</b>	<b>34</b>
<b>5.3. Adecuación de sistema de humedal artificial para evaluación de tratamiento de las aguas residuales</b>	<b>36</b>
<b>5.4. Fitorremediación</b>	<b>36</b>
<b>5.5. Evaluación de parámetros físico-químicos y microbiológicos del sistema</b>	<b>37</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
<b>6.1. Remoción de la DBO</b>	<b>41</b>
<b>6.2. Remoción de la DQO</b>	<b>42</b>
<b>6.3. Índice de Biodegradabilidad</b>	<b>43</b>
<b>6.4. Remoción de Sólidos totales disueltos (STD)</b>	<b>45</b>
<b>6.5. Remoción de grasas y aceites.</b>	<b>45</b>
<b>6.6. Remoción de las Coliformes Totales y E. coli.</b>	<b>46</b>

<b>6.7.</b>	<b>Metales pesados</b>	<b>48</b>
<b>6.8.</b>	<b>pH y Temperatura</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	<b>54</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>58</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Promedio de los datos fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos durante los 3 fitotratamientos.	<b>39</b>
<b>Tabla 2.</b> Biocalumulación de metales pesados en las plantas y en el agua de tratamiento.	<b>49</b>

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Tecnologías de tratamiento para la remoción de contaminantes de las aguas residuales	24
<b>Cuadro 2.</b> Ventajas y desventajas de algunos adsorbentes usados para la remoción de contaminantes.	25
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros evaluados en el agua residual y métodos de análisis.	37
<b>Cuadro 4.</b> Índice de biodegradabilidad y su interpretación.	44
<b>Cuadro 5.</b> Resumen resultados obtenidos durante el fitotratamiento.	51

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1</b> Procesos de una planta de tratamiento de aguas residuales aerobio con sistema de lodos activados (PTAR)	28
<b>Figura 2</b> Esquema de un humedal superficial con flujo superficial	30
<b>Figura 3</b> Esquema de un humedal superficial con flujo subsuperficial.	31
<b>Figura 4.</b> Buchón de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	32
<b>Figura 5.</b> A, B, y C. Adecuación de sistemas de humedales artificiales. D) Recolección de las especies vegetales acuáticas. E. Distribución de las especies vegetales en los humedales. F y G. Especies acuáticas al finalizar el fitotratamiento.	35
<b>Figura 6.</b> Fitotratamiento con <i>Eichhorina crassipes</i> .	36
<b>Figura 7</b> Remoción (%) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.	41
<b>Figura 8</b> Remoción (%) de la Demanda Química de Oxígeno.	43
<b>Figura 9</b> Índice de biodegradabilidad, DBO/DQO.	44
<b>Figura 10</b> Variación de los STD en las aguas residuales evaluadas.	45
<b>Figura 11</b> Porcentaje de remoción de las Grasas y Aceites.	46
<b>Figura 12</b> Porcentaje de remoción de los Coliformes totales.	47
<b>Figura 13</b> Porcentaje de remoción de la <i>E. Coli</i> .	48
<b>Figura 14</b> Metales pesados en las plantas.	49
<b>Figura 15</b> pH obtenidos durante el fitotratamiento.	50
<b>Figura 16</b> Valores de temperatura obtenidos durante fitotratamiento.	51

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A.</b> Informe de resultados de la identificación taxonómica de las diferentes plantas de estudio.	59
<b>Anexo B.</b> Informe de resultados de la determinación de metales pesados en la planta estudio antes del tratamiento.	60
<b>Anexo C.</b> Informe de resultados de la determinación de metales pesados en la planta estudio después del tratamiento.	61
<b>Anexo D.</b> Informe de resultados de metales pesados en el agua residual antes del tratamiento.	62

## LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CAG	Carbón activado granular
Cd	Cadmio
CT	Coliformes totales
CV	Coefficiente de varianza
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
DS	Desviación estándar
<i>E. Coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>E. Crassipes</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
m.o.	Materia orgánica
Nº Col.	Número de colecta
Pb	Plomo
POA	Procesos de oxidación avanzada
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAS 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico
SSED	Sólidos sedimentables
SST	Sólidos suspendidos totales
STD	Sólidos totales disueltos
TIO <sub>2</sub>	Dióxido de titanio
UNAL	Universidad nacional de Colombia
UV	Radiación ultravioleta
X	Promedio

## GLOSARIO

**AFLUENTE:** curso de agua que desemboca en otro de capacidad mayor.

**BIOADSORCIÓN:** la bioadsorción es una técnica que utiliza biomasa viva, muerta o inmovilizada para la remoción y recuperación de metales pesados a partir de disoluciones acuosas, y se puede considerar una alternativa a los métodos convencionales para el tratamiento de efluentes contaminados.

**BIODEGRADABILIDAD:** propiedad que tienen algunos materiales complejos de ser degradados por microorganismos para formar productos finales sencillos.

**BUCHON DE AGUA:** planta acuática originaria de las aguas dulces de las regiones cálidas, es considerada maleza por su rápida proliferación. Su nombre científico es *Eichhornia Crassipes*.

**COAGULACIÓN:** desestabilización de partículas coloidales por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante.

**DEYECCIONES:** Defecación de los excrementos.

**EFLUENTE:** desechos líquidos o gaseosos, tratados o no, generados por diversas actividades humanas que fluyen hacia sistemas colectores o directamente a los cuerpos receptores.

**EX SITU:** relativo a la conservación de recursos genéticos fuera de su hábitat natural, como bancos genéticos, zoológicos o botánicos.

**FITOREMEDIACIÓN:** Uso de plantas y de su microbiota asociada para reparar suelos o aguas subterráneas contaminadas. Las técnicas de fitorremediación incluyen la utilización de enmiendas de suelo y de técnicas agrónomas para trasladar, contener o convertir los contaminantes del medio en una forma química que disminuya su disponibilidad química o biológica.

**FITOTRATAMIENTO:** tratamiento del agua o del suelo con especies vegetales.

**FLOCULACIÓN:** el agregar partículas en una dispersión coloidal, generalmente por adición de un agente

**IN SITU:** conservación de recursos genéticos, la que se realiza en su medio natural, y que para las especies domesticadas se verifica en el medio donde desarrollaron sus propiedades distintivas.

## RESUMEN

En este trabajo se planteó el uso de especies vegetales como agentes de remoción de contaminantes, proceso llamado Fitorremediación. El objetivo fue evaluar a escala piloto la capacidad de fitoremediadora de *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del *campus* de la Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquia. Se realizaron tres fitotratamientos con *E. crassipes*, en los que se observaron porcentajes de remoción DBO (72.12% a los 28 días), DQO (29,64% a los 7 días) y STD (60% a los 28 días), similares a los requeridos a la normatividad colombiana RAS 2000 y decreto 1594 de 1984, con una disminución del índice de biodegradabilidad a los 15 días. No hubo remoción de coliformes totales pero si de *E. coli*. Se observó incremento de los metales Pb y Cd en *E. crassipes* después de 30 días de fitotratamiento de las aguas residuales.

**PALABRAS CLAVE:** Buchón de agua, *Eichhornia crassipes*, Fitorremediación, Humedal artificial.

## ABSTRACT

In this work was proposed the use of vegetable species as agents of removal of pollutants, process called phytoremediation. The objective was to evaluate a pilot scale capacity phyto-remedial of *Eichhornia crassipes* in the treatment of wastewater from the *campus* of the National University of Colombia, headquarters Orinoco. Three fito-treatments were realized with *E. crassipes*, in that were observed removal percentages DBO (72.12 % to 28 days), DQO (29,64 % to 7 days) and SDT (60 % to 28 days), similar to the required ones to the regulations Colombian RAS 2000 and decree 1594 of 1984, with a decrease of the index of biodegradability to 15 days. There wasn't removal of coliformes total but if of *E. Coli*. Was observed increase of the metals Pb and Cd in *E. crassipes* after 30 days of phyto-treatment of the wastewater.

**KEYWORDS:** Constructed wetlands, *Eichhornia crassipes*, phytoremediation, Water hyacinth

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de elementos contaminantes que deterioran el medio ambiente son derivados de las actividades industriales y domésticas realizadas por el hombre, generando consecuencias negativas en los recursos naturales, como es el caso del recurso hídrico<sup>1</sup>.

La contaminación del agua procede de diversas fuentes debido a descargas de contaminantes en cuerpos de agua que se encuentran cerca a las áreas urbanas o industriales, alterando sus propiedades físico-químicas y microbiológicas, esta alteración se puede medir mediante el seguimiento de parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto y concentración de nutrientes<sup>2, 3, 4</sup>.

Las aguas residuales domésticas se constituyen en una fuente de contaminación de suelos y cuerpos de aguas subterráneas y aledaños, cuando no son tratadas adecuadamente. La normatividad vigente exige el tratamiento de estos residuos para evitar la contaminación de las mismas. Si el generador no cuenta con la facilidad de acceso al servicio de alcantarillado, este debe tratar el agua residual generada antes de verterla a un cuerpo de agua receptor. Para el caso particular de las aguas residuales de la Universidad Nacional, sede Orinoquía, estas son de tipo doméstico, provenientes de sanitarios, lavamanos, área de mantenimiento general y cafetería. Las aguas residuales provenientes del laboratorio son recolectadas y eliminadas de acuerdo al programa de Gestión Integral de Residuos Peligrosos de la Sede Orinoquia, y depositadas en recipientes apropiados, ya que en muchas ocasiones contienen residuos peligrosos<sup>5</sup>. Una vez colectadas, las aguas residuales del campus son vertidas a un plano inundable en época de lluvias, Abril – Noviembre.<sup>5</sup>

El campus posee una PTAR considerada como pozo séptico, ya que solo cuenta con una sección sedimentación y una de filtración. De acuerdo al informe ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional - sede Orinoquia, muestra bajas tasas de remoción de la DBO, con lo cual es recomendable ampliar el tratamiento para alcanzar metas de remoción del 80% que es lo exigido por normatividad ambiental colombiana<sup>5</sup>.

Dentro de las opciones de mejoramiento se propone la Instalación de tratamientos alternativos basados en estudios de investigación, como es el caso de la fitorremediación<sup>3, 6</sup> la cual se convierte en una de las alternativas de mejoramiento de la PTAR al adicionar un tratamiento que contribuya a mejorar los parámetros de remoción de la DBO, DQO, sólidos disueltos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables y *E. Coli*<sup>5</sup>.

En el Acuerdo 016 de 2011 (Acta 08 de 18 de Octubre de 2011) La Universidad Nacional establece su política ambiental, con ella busca desarrollar entre otros principios el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, fomentar la

investigación que permita construir el conocimiento científico enfocado a profundizar en las problemáticas y soluciones ambientales del país, derivadas de la interacción ecosistema y cultura. Incluir en sus planes de desarrollo, proyectos orientados a la restauración conservación e incremento de los ecosistemas propios de cada sede, buscando la armonización y compatibilidad con las actividades propias de la Universidad Nacional de Colombia. Es en este marco en que se desarrolló este proyecto de investigación para plantear alternativas de solución sostenibles y con recursos locales.

Hoy en día, es un tema de gran importancia la descontaminación del recurso hídrico, por ello el interés de las autoridades ambientales en la búsqueda de métodos o alternativas para mejorar la calidad del agua crece cada vez más. Como alternativa a estos procesos se han desarrollado metodologías como la fitorremediación, la cual ha tenido resultados exitosos<sup>3,6</sup>.

Las plantas acuáticas flotantes 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<sup>3</sup>. *Eichhornia crassipes* es una especie vegetal acuática flotante muy estudiada en la tecnología de fitorremediación, con resultados exitosos en la recuperación de aguas contaminadas con metales como el cromo, cadmio y plomo<sup>7</sup>.

En este trabajo de investigación se evaluó la capacidad fitoremediadora de *E. crassipes* en el tratamiento de aguas residuales provenientes del *campus* de la Sede Orinoquia de la Universidad Nacional de Colombia. La eficiencia del Fitotratamiento se determinó mediante la evaluación de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos totales disueltos, coliformes totales, coliformes fecales, grasas y aceites, y la bioacumulación de metales pesados (cromo, cadmio, plomo y mercurio) en la plantas utilizadas en el tratamiento.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población y el avance de las actividades industriales y domésticas a partir del siglo XIX han ocasionado serios problemas de contaminación ambiental. Desde entonces, ha aumentado la generación de desechos, muchos de ellos no biodegradables o que se degradan muy lentamente en la naturaleza, y que al no tener un destino seguro o un tratamiento adecuado, provocan su acumulación en el medio ambiente<sup>8</sup>.

En lugares donde no existe control sobre la emisión y el tratamiento de desechos, es factible encontrar una amplia gama de contaminantes; un ejemplo lo constituyen los efluentes coloreados, que son consecuencia de los procesos en las industrias de manufactura de colorantes, como es la industria textil<sup>7</sup>. Por otro lado, los pesticidas utilizados en el control químico también son un gran problema de contaminación de suelos, y aguas naturales superficiales y subterráneas. Adicionalmente, el material orgánico, las grasas y aceites son algunos residuos que contaminan las aguas residuales domésticas (viviendas, edificios comerciales e instituciones, entre otros), y que contribuyen en alta proporción con el nivel de contaminación de los cuerpos de agua<sup>6</sup>.

En el *campus* de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Orinoquia se generan aproximadamente 360 litros de aguas residuales/día para una población alrededor de 200 personas (estudiantes, administrativos, trabajadores encargados del aseo, granja y cafetería, entre otros). Cada persona genera 1.8 litros/día de agua residual que se obtienen a través de actividades como la de mantenimiento, actividades del restaurante, la limpieza de la infraestructura y actividades de laboratorio<sup>6</sup>. Existe una gran preocupación acerca de la disposición final de las aguas residuales de la universidad debido a que sus instalaciones se encuentran ubicadas en el área rural donde no se tienen un acceso a la red de alcantarillado municipal. Debido a esto la universidad cuenta con una red de alcantarillado interno que traslada las aguas residuales de cada área de la infraestructura hasta la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la universidad ayudando a reducir el impacto ambiental, sin embargo el agua que es bombeada de la PTAR no presenta las condiciones para ser vertidas adecuadamente al medio natural. Por lo tanto es necesaria la búsqueda de nuevos métodos para el tratamiento de aguas residuales y así reducir el impacto que ocasiona sobre el área natural<sup>6</sup>.

Las investigaciones recientes sobre la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, por ejemplo los colorantes, se han enfocado en la adsorción y degradación usando metodologías como: (i) la adsorción sobre biomasa; (ii) la degradación por “microorganismos inmovilizados” sobre material sólido; y (iii) la adsorción sobre sólidos inoculados con microorganismos<sup>9</sup>. Teniendo en cuenta esta información y la necesidad de disminuir el impacto ambiental, se buscan métodos que cumplan con características de adsorber contaminantes de aguas residuales.

Uno de los métodos encontrados es la fitorremediación ya que por sus ventajas como el bajo costo en comparación con los tratamientos de aguas residuales convencionales y su impacto ambiental puede llegar a ser mucho menor. Por ejemplo, el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), también conocido como Jacinto de agua, es una planta acuática considerada una planta invasiva en los esteros, lagunas y lagos, debido a que su desarrollo es rápido, sin embargo su capacidad de adsorción ha hecho que esta planta sea de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales<sup>10</sup>.

En esta propuesta se plantea contribuir con la reducción de la contaminación por compuestos orgánicos, inorgánicos o metales pesados que contienen las aguas residuales provenientes del campus de la UNAL-sede Orinoquia, mediante el fitotratamiento con *Eichhornia crassipes* colectada en diferentes zonas del municipio de Arauca.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el tratamiento de efluentes contaminados se puede realizar por las siguientes metodologías, a saber: la oxidación, el tratamiento biológico, la coagulación-floculación, las membranas y los procesos de adsorción. Sin embargo, debe considerarse que estos procesos son costosos y su aplicación es limitada para la remediación de un amplio rango de aguas de desecho<sup>11</sup>.

Las investigaciones durante las dos últimas décadas, han indicado que la bio-adsorción, que involucra materiales biológicos adsorbentes, como microorganismos, desechos agrícolas o de animales, es una tecnología alternativa atractiva y promisoría para el tratamiento de aguas de desecho, especialmente si el adsorbente es barato y fácilmente disponible. Este tratamiento está basado en utilizar la propiedad que tienen los materiales biológicos para atrapar los contaminantes presentes en desechos líquidos, mediante procesos metabólicos o físico-químicos<sup>11</sup>.

Todos los tratamientos (físico, químico y electroquímico), tienen potencial para incrementar la degradabilidad de los efluentes antes del tratamiento biológico. Sin embargo, la presencia de sales, compuestos azufrados, metales pesados y otros compuestos tóxicos, inhiben la población microbial e incrementan el consumo químico y de energía durante el tratamiento de aguas residuales<sup>4,12,13</sup>.

La aplicación de las plantas acuáticas para mejorar la calidad de las aguas contaminadas ha sido investigada y ha tenido resultados eficaces en la remoción de contaminantes como los metales pesados. Así por ejemplo, las especies *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua), *Myriophyllum aquaticum* y *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua) han sido estudiadas como agentes de fitorremediación de aguas residuales<sup>14, 3</sup>. Entre otros ejemplos se encuentran las plantas acuáticas *Potamogeton pectinatus* L y *Potamogeton malaianus* que han tenido un buen resultado en la eliminación de metales de las aguas contaminadas<sup>15</sup>.

*E. crassipes* es una planta acuática que pertenece a la familia *Pontederiaceae*, y es llamada comúnmente como Buchón de agua, Jacinto de agua, Lirio de agua, y Camalote, entre otros. Generalmente se encuentra en ambientes acuáticos de climas tropicales de todo el mundo: América Central, América del Norte (California y los estados del sur); África, Asia y Australia. A pesar de que puede llegar a ser un gran problema debido a su rápido crecimiento, esta planta es capaz de reducir o eliminar la materia orgánica, el nitrógeno, metales pesados y otros tipos de contaminantes de las aguas residuales. De igual forma, existen otras especies de plantas acuáticas como *Hydrocotyle umbellate* y *Lemna minor* que tienen características similares y son estudiadas en el tratamiento de aguas residuales<sup>7, 10,14</sup>.

Con base en lo anterior, se justifica la presentación de esta propuesta que plantea la valoración de *Echhornia crassipes* en un sistema modelo a escala piloto, en donde la planta acuática será utilizada como adsorbente de los contaminantes presentes en aguas de desecho y así reducir el impacto ambiental generado a los recursos naturales. Los resultados de esta investigación estarían al servicio de la comunidad Orinoquense, para ser implementados en el tratamiento de aguas y así disminuir el deterioro de los recursos naturales.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia en un sistema de tratamiento terciario de aguas residuales mediante el Fito-tratamiento con *Eichhornia crassipes* (*Pontederiaceae*) para recuperar la calidad del recurso del agua y ajustar la calidad para el respectivo vertimiento.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la adecuación o montaje de un sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes, que simulen humedales artificiales, para evaluar el efecto de *Eichhornia crassipes* en el fitotratamiento de las aguas residuales provenientes del campus de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Orinoquia
- Colectar y caracterizar el material vegetal: buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) con presencia en la región Orinoquia.
- Evaluar el efecto fitorremediador de *Eichhornia crassipes* en el tratamiento del agua residual mediante la estimación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes (Totales y fecales), sólidos totales disueltos, metales (cromo, cadmio, plomo y mercurio), grasas y aceites.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 Tecnologías disponibles para la remoción de contaminantes presentes en las aguas de desecho.

La aplicación de cualquier tecnología para el tratamiento de contaminantes puede llevarse a cabo en dos puntos estratégicos del proceso de producción, a saber: (i) el tratamiento en el proceso que se esté desarrollando y lograr la reutilización del efluente (producción limpia) y (ii) el tratamiento del agua en el alcantarillado antes del vertimiento final para evitar la conversión biológica y química del agua. En cualquiera de los casos, debe realizarse una combinación de técnicas para proporcionar un tratamiento efectivo a un costo apropiado, que permita la inversión en tecnología<sup>8</sup>.

Los métodos para el tratamiento de aguas de desecho involucran procesos físicos, químicos o biológicos, según se indica en la **Cuadro 1**. Entre las desventajas que tienen en común la mayoría de los métodos como el de oxidación y adsorción, se encuentran los altos costos, la poca selectividad en la oxidación, la baja eficiencia de remoción y la generación de lodos contaminados. Ante esto, la combinación de procesos fisicoquímicos con procesos biológicos es una de las alternativas preferidas puesto que, a bajo costo, se pueden remover contaminantes de forma efectiva, a partir de volúmenes grandes de aguas residuales<sup>8</sup>.

En general, se considera que la oxidación electroquímica es un proceso efectivo en las aguas residuales provenientes de la industria textilera. Este proceso es considerado muy eficiente en la remoción del color, puesto que por la mitad del costo requerido para la oxidación química con ozono se logra la misma eficiencia de reducción del color (97.5%) y una remoción aproximada del doble de la Demanda Química de Oxígeno (DQO, 95.1%)<sup>4</sup>.

El tratamiento biológico con lodos activados o microorganismos como hongos y bacterias (mezclados o aislados), es segundo en importancia de aplicación para el tratamiento de aguas residuales<sup>9, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24</sup>. La aplicación de este proceso ha demostrado tener buena eficiencia. Por ejemplo, en la industria textil se utilizan microorganismos para realizar una biodegradación aeróbica mediante su sistema enzimático. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los colorantes son resistentes a la degradación biológica<sup>19</sup>.

Seguidamente se encuentran los tratamientos físicos mediante adsorción con materiales inorgánicos u orgánicos. El carbón activado es uno de los materiales que más ha sido utilizado en la purificación del agua debido a su gran capacidad de adsorción, sin embargo su alto costo crea la necesidad de buscar adsorbentes alternativos<sup>25</sup>.

**Cuadro 1. Tecnologías de tratamiento para la remoción de contaminantes de las aguas residuales<sup>8, 16</sup>**

<b>Métodos</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Oxidación	Tratamiento rápido y para efluentes con concentraciones altas de colorantes.	Oxidación no selectiva. Formación de subproductos. Altos costos de operación.
Biológico	Tratamiento de aminas y colorantes, que no pueden ser tratados por métodos químicos o de ultrafiltración.	Algunos compuestos no pueden ser degradados. Inhibición de las reacciones biológicas por biocidas.
Coagulación -Floculación	Remoción de partículas suspendidas. Viable económicamente.	Efectividad en un rango de pH limitado. Producción de lodos.
Filtración con membranas	Separación de una amplia variedad de colorantes, surfactantes y agentes quelantes.	Altos costos. Producción de lodos.
Adsorción	Es uno de los métodos más efectivos para remover contaminantes de aguas de desecho.	Algunos adsorbentes son costosos. El adsorbente requiere la regeneración o el depósito.

La filtración con membranas es un proceso de fácil diseño y mantenimiento<sup>12, 26</sup>. Sin embargo, en el momento de realizar el tratamiento de aguas residuales puede tener inconvenientes como la contaminación de la superficie de la membrana, disminuyendo el paso de las aguas residuales y alterando la vida de la membrana<sup>27</sup>.

La aplicación de ultrasonido y radiación microondas como aceleradores del deterioro están entre las técnicas más recientes que han demostrado un nivel de eficiencia alto, ya que mediante estos métodos las moléculas orgánicas son fragmentadas generando especies más pequeñas<sup>28, 29, 30, 31</sup>.

#### **4.1.1 Adsorción**

Los procesos de adsorción han sido aplicados por años para la concentración de contaminantes en aguas de desecho. El adsorbente que ha sido más ampliamente usado y efectivo es el carbón activado granular (CAG). Sin embargo, la descontaminación de efluentes industriales a gran escala, mediante sistemas de adsorción con CAG, son poco usados debido a los altos costos y la necesidad de regeneración y disposición de sólidos residuales<sup>32</sup>. En la **Cuadro 2**, se muestran las

ventajas y desventajas de algunos adsorbentes más usados en la remoción de contaminantes<sup>32</sup>.

**Cuadro 2. Ventajas y desventajas de algunos adsorbentes usados para la remoción de contaminantes<sup>32</sup>.**

<b>Adsorbentes</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Carbón	Es adaptable a muchas formas de tratamiento. Está disponible de forma fácil. Tiene costo moderado.	Adsorción leve. Puede inhibir el tratamiento microbial. Costo moderado.
Carbón activado	Es adaptable a muchas formas de tratamiento. Posee alta efectividad para diversos colorantes.	Adsorción leve. Puede inhibir el tratamiento microbial. Costo moderado.
Quitina - Quitosán	Poseen alta efectividad de adsorción para diversos colorantes.	Áreas superficiales bajas. Costo moderado.
Turba	Alta capacidad de adsorción.	Área superficial baja.
Gel de sílice	Facilidad de regeneración. Tiene menor costo que el tamiz molecular y tiene una capacidad de adsorción más alta que la alúmina. Es efectivo para colorantes básicos.	Puede dar origen a reacciones colaterales. Tiene más baja capacidad que el tamiz molecular y un costo más alto que la alúmina.
Tamiz molecular	Puede ser regenerado.	Es más costoso que el gel de sílice y la alúmina. Requiere altas temperaturas para la regeneración.
Alúmina	Es menos costoso que el gel de sílice o el tamiz molecular. Tiene un área superficial alta y puede ser regenerado.	Difusión interna lenta entre las partículas.
Arcilla	Algunas adsorben contaminantes de forma eficiente y son adaptables a muchos tratamientos. Son poco costosas.	Algunas presentan adsorción leve. Están disponibles de forma limitada.

Material orgánico	Son adaptables a muchas formas de tratamiento y poseen bajos costos.	Adsorción leve. En algunos casos pueden inhibir el tratamiento microbial.
-------------------	--	---

Entre las ventajas que poseen y diferencian a los materiales orgánicos o desechos de producción agrícola de los sólidos utilizados convencionalmente se encuentran la facilidad de disposición, los costos relativamente bajos y la habilidad que tienen los residuos agrícolas para adaptarse a cualquier tipo de tratamiento<sup>32</sup>.

#### 4.1.2 Tratamiento biológico

El tratamiento aeróbico de los efluentes industriales, mediante lodos activados, usualmente remueve la mayoría de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y entre el 60-80% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las aguas de desecho. Sin embargo, estos tratamientos son poco efectivos para la remoción de contaminantes no-biodegradables y/o tóxicos para la población microbial<sup>32</sup>. Por lo tanto, varios procesos combinados, tales como anaeróbico/aeróbico, químico/biológico y electroquímico/biológico han sido ampliamente ensayados para mineralizar completamente a los contaminantes<sup>32</sup>.

La asociación entre el contaminante y las células bacteriales tiende a ser el primer paso en la degradación. Sin embargo, cuando la biomasa se encuentra saturada, se pierde la composición adecuada entre el contaminante y el adsorbente, y por lo tanto de la efectividad del proceso catalítico. Entre otros de los parámetros operacionales que afectan el tratamiento biológico están: el nivel de aireación (oxígeno), la agitación, la temperatura, el pH, el potencial redox del sistema y la estructura del compuesto<sup>8</sup>.

#### 4.1.3 Tratamiento químico

La descomposición de los contaminantes orgánicos puede ser llevada a cabo por inyección de un agente oxidante fuerte, tal como Ozono ( $O_3$ ) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en el efluente contaminado. La aplicación de ozono puede remover en alto grado la DQO e incrementa la biodegradabilidad aeróbica. Sin embargo, la degradación requiere grandes dosis de ozono debido a la cantidad significativa y variada de compuestos presentes en los efluentes<sup>32</sup>. Con  $H_2O_2$  o aun con ión ferroso como catalizador (reactivo de Fenton), se lleva a cabo una remoción baja de contaminantes. Actualmente, la investigación ha sido enfocada en combinar

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> u ozono con UV para generar radicales hidroxilo (-OH), estos procesos son conocidos en la literatura como procesos de oxidación avanzada (POA). La oxidación mediante POA produce usualmente compuestos orgánicos oxigenados y ácidos de bajo peso molecular que son más biodegradables<sup>32</sup>. En adición, la fotocatalisis heterogénea, proceso por el cual las partículas de un sólido, llamado fotocatalizador absorben luz, hace posible que reacciones químicas que no ocurren bajo condiciones normales sucedan sobre la superficie activada del sólido (el fotocatalizador más usado es el TiO<sub>2</sub>)<sup>16</sup>.

#### 4.1.4 Tratamiento electroquímico

La oxidación y la coagulación son las técnicas electroquímicas más efectivas para descontaminación de efluentes. Aunque algunos de los procesos electroquímicos involucran la oxidación directa de los contaminantes sobre la superficie del ánodo, otros están relacionados con la producción de especies reactivas<sup>32</sup>. La velocidad de oxidación electroquímica depende del tipo y concentración de electrolito, la temperatura y la densidad de corriente. En el proceso de coagulación, láminas de hierro y aluminio se utilizan como ánodos consumibles para generar coagulantes que adsorben y remueven contaminantes orgánicos. El aluminio realiza la remoción por adsorción sin involucrar reacciones químicas, mientras que el hierro degrada los contaminantes. El método con hierro parece ser más efectivo para la remoción de contaminantes como el color mientras que el tratamiento con aluminio es superior para la remoción de contaminantes dispersos<sup>32</sup>. Los resultados referenciados en la literatura indican que el tratamiento electroquímico es el más eficiente en términos de costos de operación, para la remoción completa de la DQO<sup>32</sup>.

#### 4.1.5 Fitorremediación

La fitorremediación es una alternativa sustentable para los procesos de tratamiento de agua. Esta técnica remueve, reduce, transforma, mineraliza, degrada, volatiliza o estabiliza contaminantes a través de las plantas aprovechando los procesos bioquímicos de estas para reducir en forma *in situ* o *ex situ* compuestos contaminantes que se encuentran en el agua. Esta técnica consiste en biotransformar moléculas mediante el proceso fotosintético de las plantas, exponerlos al ambiente y así auto-purificar el medio ambiente que se encuentra afectado<sup>33, 34</sup>.

Muchos estudios se han publicado sobre las diferentes aplicaciones de la técnica de fitorremediación y han demostrado tener una buena eficiencia, entre esas aplicaciones se encuentran la reducción de coliformes, xenobióticos y herbicidas<sup>34</sup>.

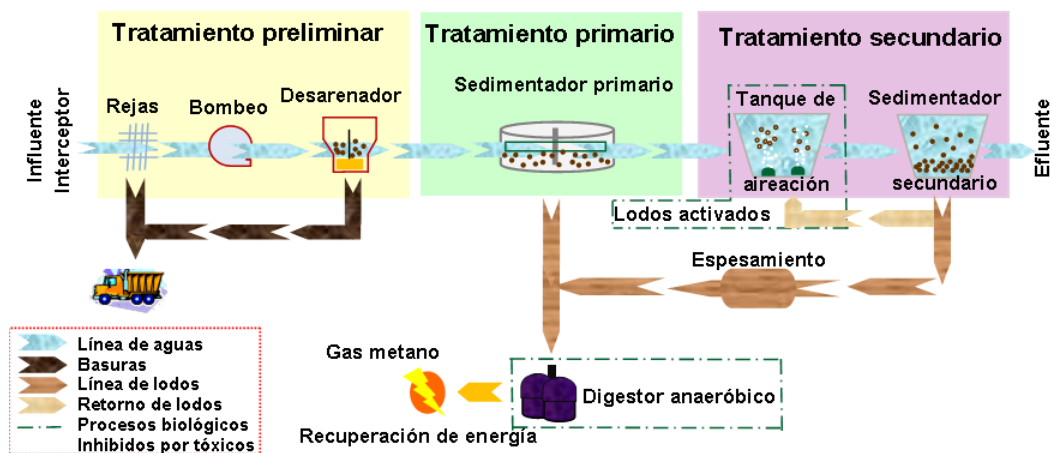
En muchas partes del mundo, como Israel y Brasil, se han encontrado muchas plantas acuáticas con un gran potencial para el proceso de fitorremediación, entre ellas se encuentran *Lemna minor*, *Myriophyllum aquaticum*, y *Pistia stratiotes*<sup>3, 35, 36</sup>. Otra planta acuática de gran importancia es *Eichhornia crassipes*, esta planta ha sido estudiada en la descontaminación de aguas con metales, ya que acumula metales tóxicos como el Cr, Cd, Pb, y Ar. Aunque el largo ciclo natural de las plantas es una desventaja para la fitorremediación, para la especie *Eichhornia crassipes* no tiene gran importancia debido a su alta tasa de reproducción<sup>7</sup>.

## 4.2 Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales

Para la disposición final de las aguas residuales se requiere de un sistema que disminuya la contaminación de las aguas de vertimiento, ya que estas aguas tienen altos niveles de nutrientes, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO)<sup>37</sup>.

Para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales se deben tener en cuenta características importantes como: la ubicación de la planta, los costos de tratamiento, la mecanización, la instrumentación, la distribución de la planta, entre otros<sup>38</sup>.

**Figura 1** Procesos de una planta de tratamiento de aguas residuales aerobio con sistema de lodos activados (PTAR)<sup>39</sup>



En la **Figura 1** se muestra un ejemplo de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas. Generalmente, este tipo de planta consta de tres etapas como son en la **Figura 1**<sup>39</sup>:

1. Tratamiento preliminar: En este tratamiento las aguas llegan a la PTAR y son filtradas a través de rejillas que separan los residuos sólidos grandes o pesados, estos sólidos son dispuestos finalmente en las basuras<sup>39</sup>.
2. Tratamiento primario: Este proceso también llamado sedimentación primaria, se trata de asentar los materiales sólidos pequeños. Estos sólidos son dirigidos, mediante una corriente conectada directamente, a un digester anaeróbico en donde se desintegra y se descompone la materia orgánica<sup>39</sup>.
3. Tratamiento secundario: Al terminar la sedimentación primaria, el agua pasa a tanques de aireación que contienen microorganismos aeróbicos que eliminan los nutrientes y la materia orgánica. Al realizar este proceso, se realiza una sedimentación secundaria de igual forma que la sedimentación primaria y el material restante conocido como lodo activado de retorno se envía al digester anaerobio<sup>39</sup>.

### 4.3 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son una solución alternativa para el manejo de aguas residuales en los países en desarrollo o en poblaciones pequeñas, debido a que su tecnología sencilla hace que su operación sea de bajo costo. Estos humedales ayudan a que aguas subterráneas y superficiales no sean afectadas y causen daño al medio en donde se encuentran, ya que estos eliminan contaminantes patógenos, nutrientes, contaminantes orgánicos e inorgánicos<sup>40</sup>.

Los humedales artificiales tuvieron origen en el año de 1946, Siedel propuso el modelo *Max Planck Institute System* (MPIS) o proceso Krefeld y fue aplicado el 1974, por primera vez, en Alemania para tratar aguas residuales municipales de la industria textilera, cervecera y de los productos lácteos. Desde entonces se convirtió en una importante tecnología para tratar aguas contaminadas. Algunas de las plantas que han tenido éxito en la construcción de humedales artificiales son: Caña común (*Phragmites australis*), Juncos (*Juncus sp.* y *Scirpus sp.*), iris de los humedales (*Iris pseudacorus*) y la menta de agua (*Mentha aquatica*)<sup>41</sup>.

Hoy en día, los humedales artificiales son de gran importancia, sin embargo muchas de las investigaciones solo se centran en aspectos de ingeniería, por lo que se hace necesaria una investigación sistemática sobre la contribución de las plantas en la fitorremediación en el proceso. La especie de planta acuática evaluada también es otro aspecto importante para el buen funcionamiento de un humedal artificial, así como el clima y las condiciones del hábitat de cada planta y la composición de las

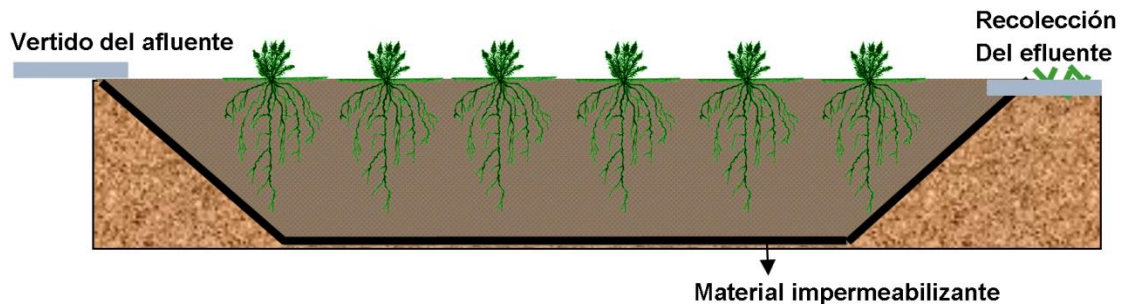
aguas residuales. Debido a esto se debe realizar la elección de la especie vegetal de acuerdo con las condiciones y características de los humedales artificiales<sup>42</sup>.

#### 4.4 Tipos de humedales artificiales

##### 4.4.1 Humedales de flujo superficial

Estos humedales son canales o estanques con profundidad que va desde 10 a 45 cm, su apariencia es similar a los humedales naturales. Los humedales construidos tienen con entrada y salida del agua residual y un recubrimiento en el interior con material impermeabilizante para impedir la percolación y la evapotranspiración (**Figura 2**). Algunas de las especies de plantas utilizadas en este tipo de humedal artificial son juncos, cañas, espadañas y anea. Algunos parámetros como DBO, SST, nitrógeno, metales y patógenos tienen un alto porcentaje de remoción<sup>41</sup>.

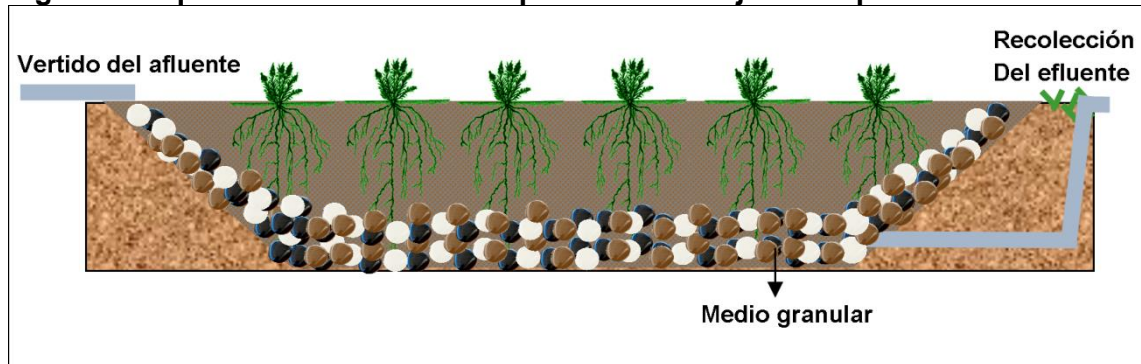
**Figura 2** Esquema de un humedal superficial con flujo superficial<sup>41</sup>



##### 4.4.2 Humedales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subsuperficial (**Figura 3**) son canales similares a los humedales de flujo superficial. Este tipo de humedal no se encuentra impermeabilizado, el agua residual circula por gravedad y de manera horizontal por un medio granular (grava gruesa y arena en espesor de 0,45 a 1 mm) que sostiene la vegetación. Una de las ventajas que presentan los humedales con flujo subsuperficial respecto a los humedales con flujo superficial, es la escasez de olores y la ausencia de insectos como los mosquitos<sup>41</sup>.

**Figura 3 Esquema de un humedal superficial con flujo subsuperficial<sup>41</sup>.**



#### **4.5 Plantas acuáticas en tratamientos de aguas residuales**

Existe una gran variedad de especies de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, entre las que encontramos buchón de agua (*E. crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia spp.*), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna spp.*, *Spirodella spp.*). Estas plantas acuáticas se caracterizan por su capacidad de absorber nutrientes (nitrógeno y fósforo), eliminar contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos y filtrar sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular, entre otros<sup>43, 44</sup>.

El buchón de agua (*E. crassipes*), también llamado Jacinto de agua o lirio de agua, es una planta acuática flotante de agua dulce y es considerada maleza acuática por rápida proliferación, es encontrada en climas tropicales. Esta especie mide entre 50 y 117 cm de alto, posee hojas con peciolo hinchados y una flor lila que se abre a la salida del sol y dura abierta durante el día. También tiene un fruto en forma de capsula alargada que contienen semillas pequeñas, sus raíces son densas, tienen un aspecto plumoso de color negro-purpura y se encuentran sumergidas<sup>10</sup> (**Figura 4**) Esta planta acuática es una de las especies más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales, ya que mediante el sistema de raíces tienen microorganismos que ayudan la remoción de compuestos orgánicos, la disminución de la DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos suspendidos del agua residual, además de su gran capacidad para retener en sus tejidos metales pesados como el cadmio y mercurio. Su mayor absorción de nutrientes se presenta durante la etapa de crecimiento<sup>43, 44</sup>.

**Figura 4. Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*).**



Fuente: AUTOR

#### **4.6 MARCO DE ANTECEDENTES**

Durante los últimos años ha sido de gran importancia mejorar la calidad del agua, debido a que cada día son más las fuentes, como las actividades industriales, agropecuarias, domésticas, artesanales, entre otros, que realizan descargas de aguas residuales a cuerpos de aguas lo que representa una amenaza a los seres vivos. Los tratamientos de aguas residuales con métodos convencionales suelen ser costosos y pueden perjudicar las propiedades del agua, debido a esto se inducen al desarrollo de nuevas tecnologías<sup>36</sup>.

La fitorremediación representa una tecnología sustentable que ha llamado la atención. En el año 2000 un 33% de 2255 artículos científicos eran trabajos de investigación con plantas acuáticas y un 4% con humedales artificiales, los resultados de estas investigaciones demostraban que las plantas acuáticas tenían gran asimilación de nutrientes y descomposición de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales<sup>43</sup>.

Los humedales artificiales se han construido desde las últimas décadas como una alternativa a los tratamientos de aguas residuales convencionales y han demostrado ser eficaces para tratar aguas residuales como las domésticas, agrícolas, industriales y lixiviados, entre otros<sup>45</sup>.

#### **4.6.1 Planta de tratamiento de la Universidad Nacional de Colombia - sede Orinoquia**

La Universidad Nacional de Colombia, Sede Orinoquia, se encuentra ubicada en un área rural fuera del alcance de la red de alcantarillado municipal, sin embargo, desde el año 1996, esta Sede ha contado con instalaciones que le permiten realizar el tratamiento de las aguas residuales que se generan. Esta planta de tratamiento, considerada como tanque séptico ya que solo cuenta con una sección de sedimentación y una sección de filtración, está ubicada alrededor de los 200 metros del polideportivo de la sede, y las aguas residuales se trasladan al pozo séptico mediante una red de alcantarillado interno, además cuenta un sistema que combina procesos aerobios y anaerobios<sup>6</sup>.

Las aguas residuales que se generan en la Sede provienen de los edificios administrativos (sanitarios, lavamanos), laboratorios, cafetería y mantenimiento general. Esta agua residual es de tipo doméstico y contiene contaminantes como materia orgánica, detergentes, residuos de alimentos, metales, grasas y aceites, entre otros. El caudal del vertimiento de la planta de tratamiento de la Sede es de 10 litros/seg, este caudal fue determinado mediante el permiso de vertimientos de la Resolución No. 700.41.09-028 que dirige la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia –CORPORINOQUIA- (ARTÍCULO PRIMERO), Permiso vigente desde el 06 de abril de 2009 hasta el 06 de abril de 2014. Los residuos peligrosos son almacenados y eliminados adecuadamente mediante el Programa de Gestión Integral de Residuos Peligrosos de la Sede Orinoquia<sup>6</sup>.

A la planta de tratamiento de la Sede Orinoquia se le realiza mantenimiento para mejorar su infraestructura física y su buen funcionamiento, ya que la Sede Orinoquia de la Universidad Nacional de Colombia está rodeada de una amplia área natural donde se puede encontrar cultivos y aguas superficiales. A pesar de que se ha realizado una serie de tratamientos esta requiere de alternativas, como instalación de tratamiento alternativo basado en investigación o instalación de nueva PTAR, para mejorar el tratamiento de las aguas y prevenir el impacto ambiental que causan esta aguas<sup>6</sup>.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 Materiales

Para la construcción de los humedales artificiales se realizaron excavaciones con maquinaria pesada como se observa en la **Figura 5**. Los materiales utilizados para el cubrimiento de los humedales fueron 30 metros de plástico negro (con 8 m de ancho), para el suministro de agua residual se realizaron conexiones de la PTAR hacia los humedales con 6 tubos presión ½”, 4 codos presión ½”, 5 unión de presión ½”, 5 tapón liso presión ½”, 1 llave paso ½”, 1 universal ½”, ¼ PVC Gerfor. Debido a la época de lluvias se necesitó 35 m de plástico transparente (con 8 m de ancho), 1 kg alambre galvanizado y 2 cajas de puntilla 3” para construir el techo de los humedales, ya que el agua lluvia podía alterar el proceso de fitotratamiento.

Parámetros como pH y temperatura fueron determinados diariamente mediante un pHmetro. El resto de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron evaluados semanalmente por el Laboratorio de Aguas, Suelos y Foliaves de la UN – sede Orinoquia. Se utilizaron envases plásticos esterilizados para la recolección de las muestras destinadas a la determinación de parámetros microbiológicos. Para la recolección de las muestras destinadas al análisis de la DQO se utilizaron envases ámbar de vidrio, de 1 litro de capacidad, al cual se le adicionaba entre 1 y 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado para su preservación. Para el resto de parámetros las muestras fueron depositadas en envases de polietileno de aproximadamente 1 litro de capacidad. La toma de muestras para la determinación de cada parámetro se realizó según las metodologías establecidas por ICONTEC (NTC-ISO 5667-1 a 5667-10).

### 5.2 Material vegetal

*Eichhornia crassipe* (No COL. 578327), *Heteranthera reniformis* (No COL. 578328) y *Salvinia auriculata* (No COL. 578329) fueron recolectadas en el caño Jesús (Arauca – Arauca), e identificadas taxonómicamente en el Herbario Nacional del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, en el año 2014. (**Anexo A**) Se realizaron pruebas preliminares con *H. reniformis* y *S. auriculata* que mostraron no resistir las condiciones del tratamiento y de las aguas residuales ya que las plantas se marchitaron durante la primera semana de tratamiento, por lo que se descartaron para las pruebas de fitotratamiento.

Para determinar la adsorción y acumulación de metales en las plantas, se enviaron las muestras de las especies vegetales al laboratorio ambiental Solam E.U., laboratorio autorizado por el Ministerio de Salud y Protección Social mediante resolución 4353 de 2013, ubicado en el municipio de Yopal. Este análisis se realizó

antes de que la planta fuera cultivada en los humedales, y al terminar el proceso de fitotratamiento (**Anexo B** y **Anexo C**). Las plantas se recolectaron, luego se secaron naturalmente y finalmente fueron prensadas y enviadas al laboratorio.

**Figura 5. A, B, y C. Adecuación de sistemas de humedales artificiales. D) Recolección de las especies vegetales acuáticas. E. Distribución de las especies vegetales en los humedales. F y G. Especies acuáticas al finalizar el fitotratamiento.**



Fuente: AUTOR.

### 5.3 Adecuación de sistema de humedal artificial para evaluación de tratamiento de las aguas residuales

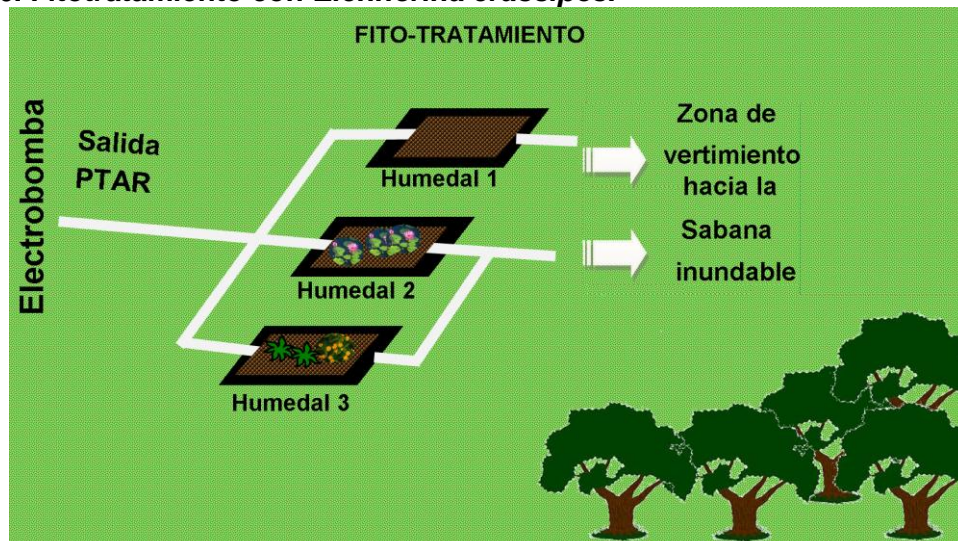
El sistema de humedales artificiales se adecuó a la salida de las instalaciones de la PTAR de la Universidad Nacional de Colombia - sede Orinoquia, como se muestra en la **Figura 5**. Para la construcción de estos humedales artificiales, se excavaron 3 pozos de 3.5 m x 3.5 m x 0.4 m (ancho x largo x profundidad) y se impermeabilizaron con plástico negro de alta densidad. Los mismos fueron utilizados para almacenar el agua residual, y se conectaron a la salida de la PTAR mediante tubería PVC de ½ pulgada.

### 5.4 Fitorremediación

Los humedales artificiales se enumeraron de 1 a 3, como se muestra en la **Figura 6**. Las aguas residuales provenientes de la PTAR se dispusieron en los humedales artificiales. El humedal 1, se dispuso como el blanco (sin vegetales), en el humedal 2 se distribuyó *E. crassipes* ocupando el 100% del humedal, mientras que en el humedal 3 se distribuyó un 50% del espacio del humedal con *Heteranthera reniformis* y el 50% restante con *Salvinia Auriculata*.

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a la entrada y salida de cada humedal artificial, durante varios períodos de tiempo, para establecer el tiempo en el que se lograría la máxima remoción. Se realizó duplicado y triplicado del fitotratamiento con el fin de generar resultados confiables.

**Figura 6. Fitotratamiento con *Eichhorina crassipes*.**



Fuente: AUTOR

## 5.5 Evaluación de parámetros físico-químicos y microbiológicos del sistema

Se realizó un seguimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en donde se distribuyeron las especies acuáticas y del blanco (ensayo sin plantas). La evaluación de los parámetros se realizó cada 8 días, durante un mes aproximadamente. De acuerdo a la NTC ISO 5667-1, el muestreo se realizó en un solo punto del humedal, introduciendo el envase aproximadamente en el centro y con profundidad no mayor de 20 cm, ya que la masa de agua no era amplia y la profundidad del humedal era de 40 cm.

**Cuadro 3. Parámetros evaluados en el agua residual y métodos de análisis. Fuente: AUTOR.**

Parámetro	Unidades	Norma	Métodos de análisis
DQO*	mg de O <sub>2</sub> / l	HACH DQO método 8000	Reflujo cerrado con dicromato de potasio
DBO <sub>5</sub> *	mg de O <sub>2</sub> / l	IDEAM –Demanda Bioquímica de Oxígeno.	Incubación 5 días
Sólidos totales disueltos*	mg / l	<i>Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater</i> , edición 21, año 2005.	Potenciométrico
Grasas y aceites*	mg / l	NTC 3362	Extracción soxhlet
Metales (cromo, cadmio, plomo y mercurio) **	mg / l	<i>Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater</i> , edición 22, año 2012.	Absorción atómica
Coliformes fecales y totales*	Microorganismos/ 100ml	ISO 9308-2	Sustrato enzimático, coliter 18
pH		<i>Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater</i> , edición 21, año 2005.	pHmetro
Temperatura	°C		Sensor de temperatura pHmetro

**Laboratorio de análisis: \* Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Orinoquia. \*\* Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.**

Para el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, las muestras de agua se llevaron al laboratorio de Suelos, Aguas y Foliars de la Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquia. Cada parámetro se evaluó de acuerdo con el procedimiento estándar que exige la normatividad (**Cuadro 3**).

El pH y la temperatura se verificaron diariamente.

Los metales pesados cromo, cadmio, plomo y mercurio se evaluaron en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (**Anexo C**).

La capacidad fitorremediadora de las especies vegetales se determinó por el porcentaje de remoción de cada parámetro por medio de la **Ecuación 1**<sup>46</sup>:

$$\% \text{ Remoción: } \left[ \frac{(C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}})}{C_{\text{afluente}}} \right] * 100 \quad \text{Ecuacion 1}$$

( Dónde: C es la concentración del parámetro bajo estudio)

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Tabla 4** se muestra el promedio de los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales con y sin tratamiento de fitorremediación de 3 réplicas.

**Tabla 1. Promedio de los datos fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos durante los 3 fitotratamientos. Fuente: AUTOR.**

TIEMPO (Días)	pH			T (°C)			STD (mg/l)		
	F		NF	F		NF	F		NF
	X ± DS	CV		X ± DS	CV		X ± DS	CV	
0	6,42 ± 0,78	12,2	5,5	31,61 ± 2,25	7,1	34,2	441,67 ± 188,66	42,7	232,8
7	7,14 ± 0,53	7,4	6,8	31,20 ± 2,10	6,7	34,6	398,45 ± 69,65	17,5	ND
14	6,73 ± 0,55	9,7	6,8	30,42 ± 1,75	4,5	33,4	258,05 ± 181,80	70,5	158,4
21	6,70 ± 0,17	2,5	7,4	30,22 ± 0,86	2,8	31,9	229,63 ± 91,57	39,9	128,8
28	7,11 ± 0,41	5,7	6,9	29,43 ± 0,67	2,3	32,8	218,07 ± 89,14	40,9	134,3

F: Aguas residuales tratadas con *E. crassipes*

NF: Aguas residuales sin tratamiento con *E. crassipes* (blanco).

CV: Coeficiente de Varianza

X ± DS: Valor promedio para 3 tratamientos con *E. crassipes* ± Desviación estándar.

ND: No se hizo la determinación en el laboratorio

**Continuación de la Tabla 1.**

TIEMPO (Días)	DQO (mg/l)			DBO <sub>5</sub> (mg/l)			Grasas y aceites (mg/l)		Col. Totals (m.o./100cm <sup>3</sup> )			<i>Escherichia Coli</i> (m.o./100cm <sup>3</sup> )		
	F		NF	F		NF	F	NF	F		NF	F		NF
	X ± DS	CV		X ± DS	CV				X ± DS	CV		X ± DS	CV	
0	62,00 ± 8,19	13,2	64	15,56 ± 2,04	13,14	14,66	7,5	10,5	2419,60 ± 0,00	0,00	2419,6	2419,60 ± 0,00	0,00	2419,6
7	41,00 ± 12,73	31,0	ND	10,06 ± 8,55	85,02	ND	1	ND	2419,60 ± 0,00	0,00	ND	2419,60 ± 0,00	0,00	ND
14	55,50 ± 0,71	1,3	67	10,70 ± 1,10	10,31	12,83	ND	0,5	2419,60 ± 0,00	0,00	2419,6	1285,55 ± 1603,79	124,76	0
21	57,00 ± 2,65	4,6	113	4,76 ± 1,78	37,40	20,16	3	2,5	2419,60 ± 0,00	0,00	2419,6	412,40 ± 571,34	138,54	1
28	71,5 ± 14,8	20,8	ND	4,43 ± 1,76	39,77	9,51	2	ND	2275,17 ± 250,17	11,00	307,6	37,80 ± 36,28	95,98	0

F: Aguas residuales tratadas con *E. crassipes*

NF: Aguas residuales sin tratamiento con *E. crassipes* (blanco).

CV: Coeficiente de Varianza

X ± DS: Valor promedio para 3 tratamientos con *E. crassipes* ± Desviación estándar.

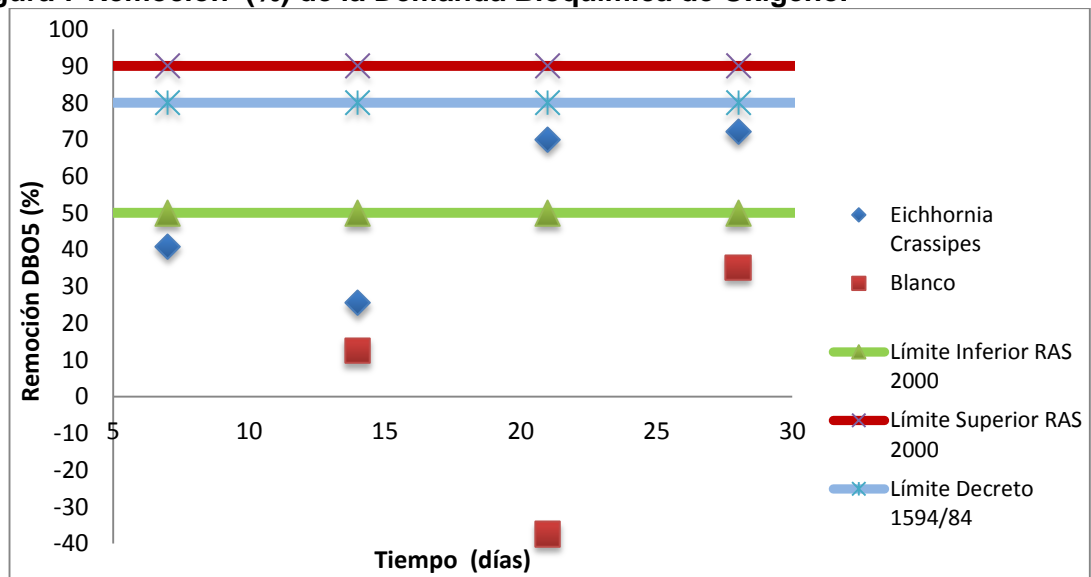
ND: No se hizo la determinación en el laboratorio

## 6.1 Remoción de la DBO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno expresa la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar con microorganismos la materia orgánica presente. Se mide a los 5 días el consumo de oxígeno por conveniencia a que inicialmente se utilizaba en Inglaterra y allí los ríos se demoran en promedio 5 días en llegar al mar. También se ha utilizado en el pasado la medida a los 7 días. La DBO, en la práctica permite apreciar la carga de materia orgánica contaminante que tiene el agua y el esfuerzo de removerla por métodos biológicos<sup>47, 48</sup>.

En la **Figura 7** se muestra la remoción de la DBO (%) utilizando *E. crassipes*, los resultados del fitotratamiento son comparados con el blanco y con lo establecido en el artículo 72 del decreto 1594/84 y el artículo A.11.14 RAS 2000 título A. Se observa que el porcentaje de remoción con la planta alcanza un valor máximo de 72.12% a los 28 días pero desde el día 21 ya alcanza el 70 % de remoción.

**Figura 7 Remoción (%) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.**



La remoción alcanza el límite inferior establecido como criterio de diseño por el RAS 2000 a partir del día 18, no alcanza la remoción establecida en decreto 1594 de 1984, el cual es del 80%, sin embargo es claro que este valor es de referencia por cuanto el vertimiento se realiza en un potrero, no en un cuerpo de agua, además que solo se está evaluando la remoción del fitotratamiento, el cual sería un tratamiento terciario después del pozo séptico que posee el campus.

En un estudio similar realizado en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga se reporta un rango del porcentaje de remoción de la DBO del 70.11 – 86.78%, con un promedio de 74.3%, estos valores fueron alcanzados en

los ensayos a lo largo de 63 días de tratamiento. Reportan que el porcentaje de remoción mejoró a partir de la distribución de *E. Crassipes* en los humedales a casi 2 meses de duración del tratamiento. Para nuestro caso la máxima remoción se alcanzó a los 21 días con 72, 12% sin llegar a cosechar la planta en los 28 días que duró el tratamiento<sup>49</sup>.

El porcentaje de remoción de la DBO del blanco muestra un valor negativo de -35% el día 21, la causa a esta disminución obedece al aumento del valor de la DBO lo cual, a su vez, puede obedecer a las siguientes causas:

- a. La adición de materia orgánica por algún agente externo a la prueba como por ejemplo deyecciones realizadas por algún animal que utilizó el blanco como abrevadero, teniendo en cuenta que la ubicación de la prueba es en zona rural del municipio de Arauca, en un potrero que existe presencia de ganado vacuno y equino y animales salvajes.
- b. También puede ser posible que el crecimiento de los microorganismos presentes en el agua residual creció de manera exponencial y generó materia orgánica que en el ensayo general de la DBO representa un incremento del esfuerzo para su remoción.

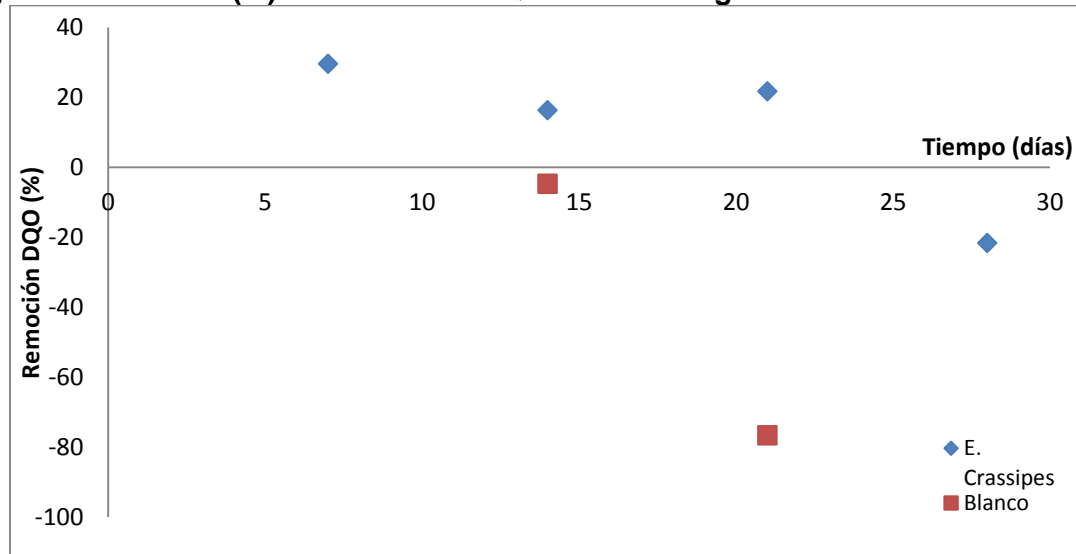
## 6.2 Remoción de la DQO

La DQO es una medida del oxígeno equivalente necesarios para oxidar las sustancias presentes en las aguas residuales<sup>47, 48</sup>. El Test de la DQO es muy rápido, se pueden obtener resultados en menos de 3 horas, su principal desventaja consiste en no diferenciar entre materia orgánica biodegradable y no biodegradable, además que sustancias como los sulfuros, iones metálicos, cloruros, etc., producen interferencias<sup>47, 48</sup>.

La interpretación en planta que se le debe dar a la DQO es mostrar el esfuerzo necesario para remover la materia oxidable por métodos físico químicos, es decir a mayor DQO mayor consumo de oxígeno equivalente para oxidar y degradar dicha materia. A menor DQO menor consumo de oxígeno equivalente para oxidar y degradar dicha materia<sup>47, 48</sup>.

La **Figura 8** muestra la remoción de la DQO utilizando *E. crassipes* la máxima remoción se alcanza al séptimo día con casi un 30% de remoción, luego la remoción de la DQO disminuye en el tiempo. No hay un límite de porcentaje de remoción de la DQO del orden legal, por lo que no es posible esta comparación, obviamente a mayor remoción mejor el tratamiento, pero por ser un tratamiento biológico es esperable que este parámetro no obtenga resultados mayores a los obtenidos.

**Figura 8 Remoción (%) de la Demanda Química de Oxígeno.**



En el estudio realizado en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga se reporta un rango del porcentaje de remoción de la DQO del 60.77 – 75.52%, con un promedio de 70%, estos valores fueron alcanzados en los ensayos a lo largo de 63 días de tratamiento. Para nuestro caso la máxima remoción se alcanzó a los 7 días con 29.64%, sin llegar a cosechar la planta en los 28 días que duró el tratamiento<sup>49</sup>.

En el blanco no se detectó remoción de la DQO, probablemente por:

- Ω La adición de materia orgánica por algún agente externo a la prueba como por ejemplo deyecciones realizadas por algún animal que utilizó el blanco como abrevadero, teniendo en cuenta que la ubicación de la prueba es en zona rural del municipio de Arauca, en un potrero que existe presencia de ganado vacuno y equino y animales silvestres.
- Ω Presencia de sustancias como sulfuros, iones metálicos, cloruros, etc., en niveles que generan interferencia con la prueba.

### **6.3 Índice de Biodegradabilidad**

El índice de biodegradabilidad muestra la relación existente entre la DBO y la DQO. Como la interpretación última de la DBO y DQO es medir el esfuerzo para remover el material oxidable presente en el agua, ya sea por métodos biológicos (DBO) o Físico-químicos (DQO), es recomendable ver como evoluciona esta relación a lo largo del tratamiento y así tener una idea de que tan apropiado es usar un método de remoción biológica o fisicoquímica. Teniendo claro, según la literatura, que los métodos biológicos son menos costosos de establecer y operar que los métodos

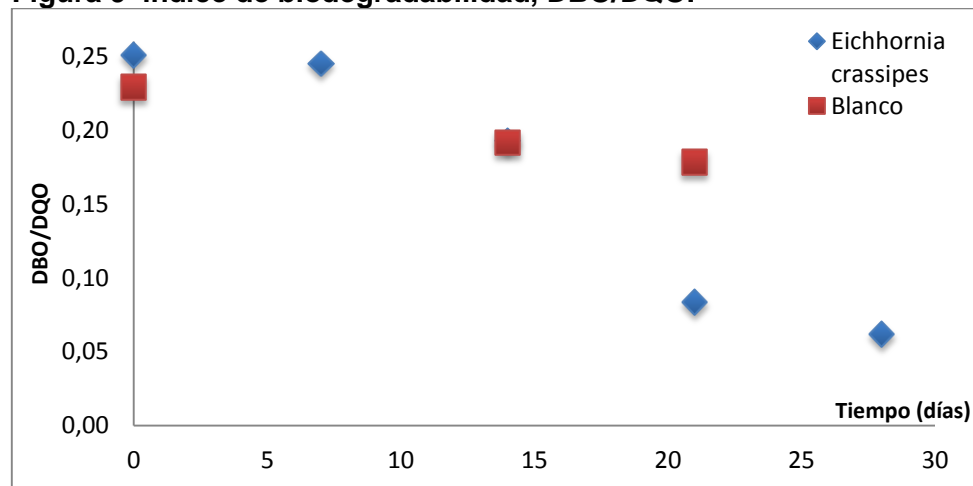
fisicoquímicos, ya que hay menos gastos en la compra de equipos mecánicos, los gastos de energía son menos, no hay la necesidad de monitoreo por parte de operadores calificados<sup>47, 48, 50</sup>.

La **Figura 9** muestra la relación promedio  $DBO_5/DQO$  a lo largo del tratamiento. Se observa una disminución de la relación lo cual implica que la remoción de la materia biodegradable se está llevando a cabo hasta los límites máximo de remoción de las sustancias biodegradables, lo cual se alcanza a los 15 días aproximadamente, cuando el índice de biodegradabilidad empieza disminuir de 0.2 (Tabla 5)<sup>47</sup>. A partir de allí la relación sigue disminuyendo hasta los 28 días. El índice de biodegradabilidad del blanco cambio de 0.228 a 0.178 en 21 días es un cambio menos pronunciado y lento que usando *E. crassipes*.

**Cuadro 4. Índice de biodegradabilidad y su interpretación<sup>47</sup>.**

DBO/DQO	Interpretación
<0.2	Los vertidos se consideran de naturaleza inorgánica, poco biodegradables y son convenientes tratamientos físico-químicos.
>0.4	Los vertidos se consideran biodegradables.
>0.4 a 0.65	Los vertidos pueden considerarse orgánicos y muy biodegradables y resultan adecuados los tratamientos biológicos, en lo que concierne a materia oxidable.

**Figura 9 Índice de biodegradabilidad,  $DBO_5/DQO$ .**

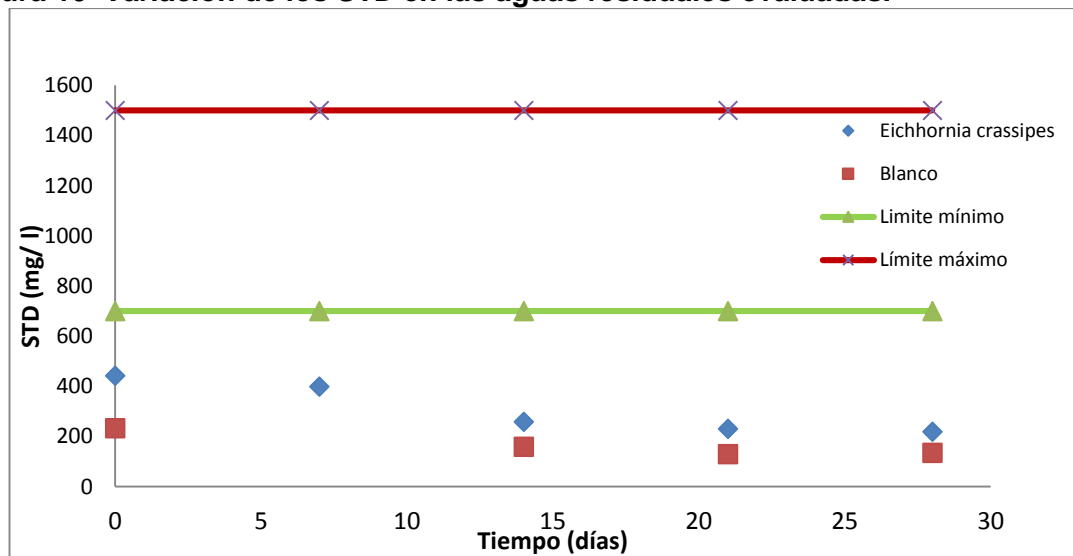


#### 6.4 Remoción de Sólidos totales disueltos (STD)

Los sólidos totales disueltos son todos aquellos que pasan por el crisol de Gooch, o de manera indirecta se pueden determinar por métodos potenciométricos al medir la conductividad del agua, ya que por ser sales hacen que el agua sea conductora de electricidad. Los STD son principalmente carbonatos, cloruros y sulfatos presentes en el agua residual<sup>47</sup>.

La **Figura 10** se indica la variación de los STD en el humedal y en el blanco. La variación de lo STD fue de 441.67 mg/l inicial hasta 218.07 mg/l al día 28 del tratamiento. En el blanco el valor inicial fue de 232.8 mg/l y al día 28 134.3 mg/l. Se observa que los SDT se mantienen por debajo del límite mínimo recomendado<sup>47</sup> por lo cual el agua vertida no ejerce un efecto negativo en el suelo y/o la vegetación del área de vertimiento por incrementos en la salinidad del suelo receptor de estas aguas.

**Figura 10 Variación de los STD en las aguas residuales evaluadas.**

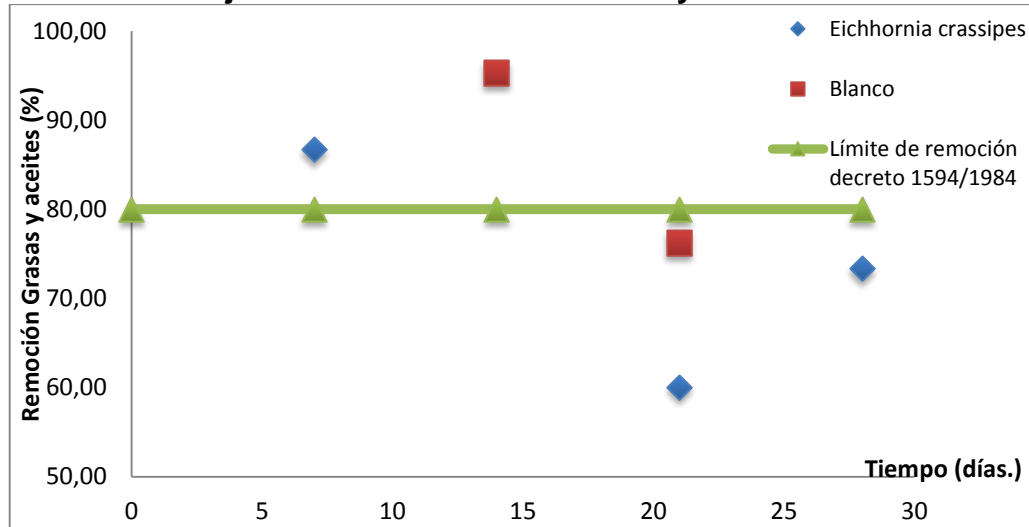


#### 6.5 Remoción de grasas y aceites.

Las grasas y aceites constituyen un indicador de contaminación. La remoción de estas sustancias debe ser completa para evitar contaminación en el cuerpo receptor de vertimientos. Las grasas y aceites son lentamente biodegradables y su deterioro y toxicidad son: 1. Formación de una película que impide la aireación y fotosíntesis de algas y fitoplancton. Por lo tanto limita la depuración del agua, y 2. Generación de olores desagradables<sup>47, 48</sup>.

La **Figura 11** muestra que hubo remoción de grasas y aceites utilizando *E. crassipes*, a los 7 días alcanza un porcentaje de remoción del 86.67%, por encima del límite mínimo establecido en el decreto 1594 de 1984. Los días 21 y 28 se alcanzaron porcentajes del 60% y 73.33%. En el blanco se observa remoción del 95% a los 14 días pero el porcentaje de remoción disminuye a medida que transcurre el tiempo de la prueba.

**Figura 11 Porcentaje de remoción de las Grasas y Aceites.**



La disminución del porcentaje de remoción de las grasas y aceites se debe probablemente a exudados que produce naturalmente *E. crassipes* a lo largo de su ciclo biológico. En el blanco el crecimiento de algas también puede generar el mismo efecto. El decreto 1594 de 1984 establece que la remoción deber mayor al 80%, por lo tanto *E. crassipes* ayuda a la remoción de grasas y aceites, la presencia de grasas y aceites en el efluente implica que se debe agregar una trampa de grasas a la salida de la PTAR para evitar el vertimiento de los mismos al área de recepción de las aguas tratadas.

## 6.6 Remoción de las Coliformes Totales y E. coli.

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, ya que se encuentran en grandes cantidades en el tracto gastrointestinal, tanto del hombre como de los animales de sangre caliente; y aunque permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas, se comportan de igual manera que éstos en los sistemas de desinfección <sup>47, 48</sup>

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5 °C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes

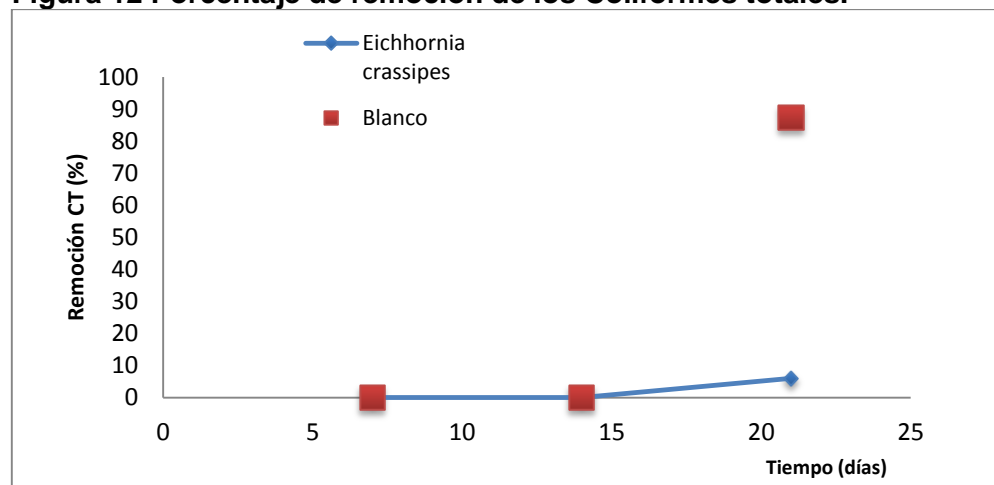
presentes en heces fecales, están formados por *E. coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua<sup>47, 48</sup>.

La presencia de *E. coli* es un indicio de contaminación fecal reciente, por lo que tras su detección debería considerarse la toma de medidas adicionales, como la realización de muestreos adicionales y la investigación de las posibles fuentes de contaminación, como un tratamiento inadecuado o alteraciones de la integridad del sistema de distribución<sup>47, 48</sup>.

El grupo de bacterias coliformes totales es usado como indicador de presencia de microorganismos patógenos pero en realidad no son dañinos para el hombre y de hecho son útiles para destruir la materia orgánica presente en el agua residual. Su uso obedece más bien a que son más sencillos de determinar y aislar que los organismos patógenos. Su presencia se interpreta como un indicador de presencia de organismos patógenos y su ausencia que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades. La *E. coli* es una bacteria que se utiliza como microorganismo patógeno que resiste tratamientos de desinfección<sup>47, 48</sup>.

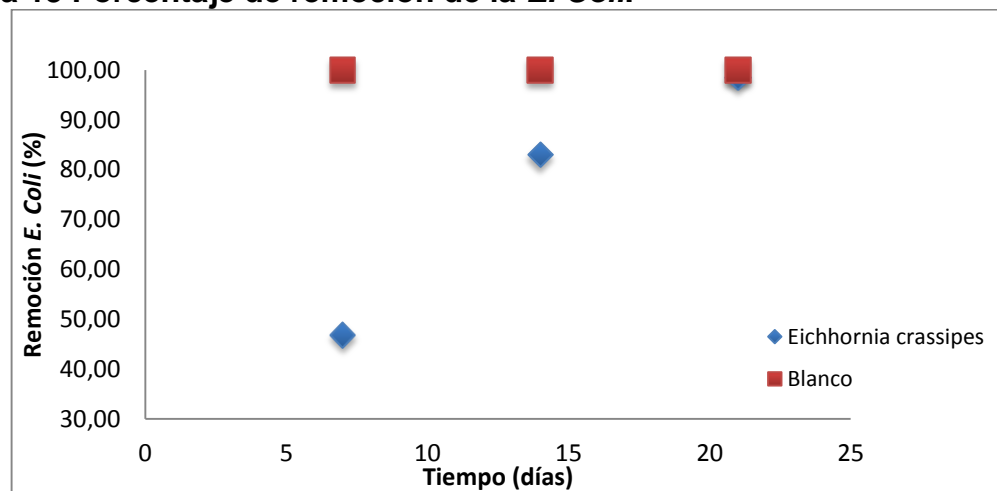
La **Figura 12** muestra que la remoción de coliformes totales no es muy significativa comparada con el blanco, solo se registró una remoción del 5% a los 21 días; mientras que, el blanco presenta una remoción de casi el 90%. La remoción de Coliformes totales es baja por este tipo de microorganismos logran reproducirse en las condiciones que le ofrece el humedal, en realidad este hecho es favorable para el tratamiento porque ello implica remoción de materia orgánica<sup>47, 48</sup>.

**Figura 12 Porcentaje de remoción de los Coliformes totales.**



La **Figura 13** muestra el porcentaje de remoción de *E. Coli* en el humedal con *E. crassipes* y en el blanco. Se observa que en el blanco, el 100% de estas bacterias mueren a partir del séptimo día, mientras que en el humedal con *E. crassipes* la muerte de los microorganismos va en continuo aumento desde el séptimo día y alcanza casi el 100% a los 21 días del tratamiento. La remoción de la *E. Coli* es positiva para el tratamiento, su eliminación implica que otros microorganismos patógenos se han removido del agua tratada con *E. crassipes*, ya que la presencia de *E. coli* puede significar que existe la presencia de otros microorganismos que pueden ser patógenos<sup>47, 48</sup>.

**Figura 13 Porcentaje de remoción de la *E. Coli*.**



## 6.7 Metales pesados

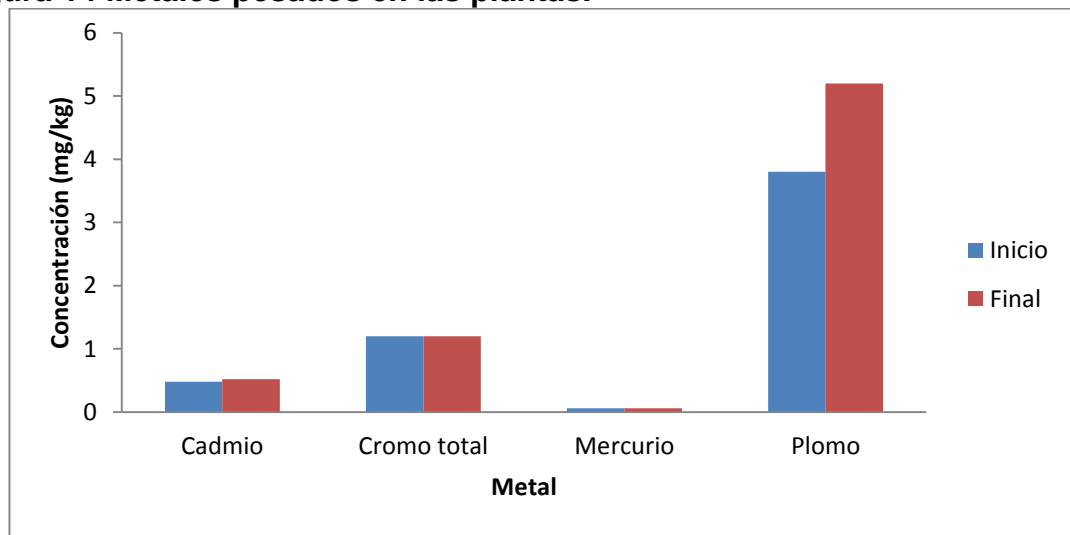
Se realizó análisis de metales pesados en muestras de *E. crassipes* antes de ser utilizadas en el fitotratamiento y luego del fitotratamiento. Los resultados de estos análisis se consignaron en la **Tabla 6** y la **Figura 14**. Los análisis de metales pesados en *E. crassipes* muestra bioacumulación de cadmio, desde 0.48 mg/kg hasta 0.52 mg/kg, y de plomo, desde 3.8 mg/kg hasta 5.2 mg/kg. Mientras que no se detectó bioacumulación de cromo total y mercurio.

En el agua sin tratar no se detectaron Cd, Cr, Hg y Pb por encima de los límites mínimos de detección. Es decir, no fue posible confirmar la presencia de estos metales en cantidades superiores a estos Límites. Sin embargo, al revisar el límite legal establecido en el decreto 1594 de 1984, para las concentraciones permisibles de estos elementos en las aguas residuales, se encontró que las aguas residuales cumplirían con lo establecido en la normatividad, para el vertimiento.

Las fuentes potenciales de estos metales pesados son variadas, muchos cosméticos tienen Cd y Pb; en los desinfectantes y limpiadores hay presencia de Hg y Cr; y en las pilas y baterías se reporta la presencia de Cd, Pb y Hg. Además, no se pueden descartar las escorrentías de aguas lluvias con metales pesados, provenientes de zonas agrícolas aledañas, donde se utilizan insumos agroquímicos (pesticidas, plaguicidas) <sup>51</sup>, y las de los aceites para motores usados en la maquinaria pesada<sup>52</sup>.

Muchas de las zonas que se encuentran alrededor del campus son utilizadas para cultivos, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) de Arauca registra un listado de insumos agroquímicos que se utilizan en los cultivos que se encuentran en las zonas agrícolas de Arauca. Adicionalmente, en el laboratorio de la Universidad se utilizan reactivos que contienen Hg y Cr, pero éstos, en su mayoría, son dispuestos en recipientes que son entregados a la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad para su disposición final.

**Figura 14 Metales pesados en las plantas.**



**Tabla 2. Biocalumulación de metales pesados en las plantas y en el agua de tratamiento.**

Analito	Agua sin tratar <sup>1</sup> (mg/l)	<i>E. crassipes</i> antes del tratamiento <sup>2</sup> (mg/kg)	<i>E. crassipes</i> después del tratamiento <sup>2</sup> (mg/kg)	Interés sanitario <sup>3</sup> (Art, 74) (mg/l)
Cd	<0.01	0.48	0.52	0,1
Cr total	<0.06	<1.2	<1.2	0,5
Hg	<0.003	<0.06	<0.06	0,02

Pb	<0.01	3.8	5.2	0,5
----	-------	-----	-----	-----

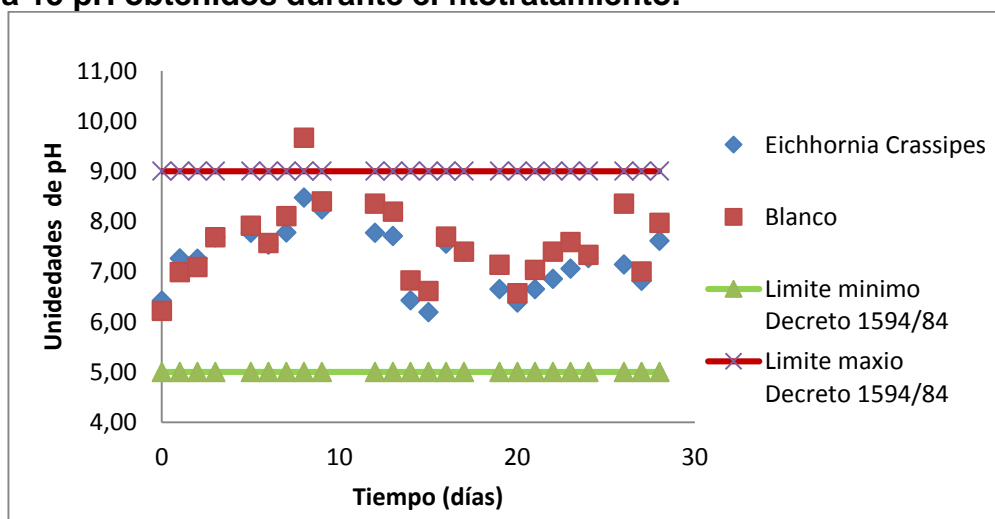
<sup>1</sup>Laboratorio de Ingeniería Ambiental (Instituto de ensayos e Investigaciones, Universidad Nacional) <sup>2</sup>Laboratorio Soluciones Ambientales E. U. <sup>3</sup>Limites según Decreto 1954/84

## 6.8 pH y Temperatura

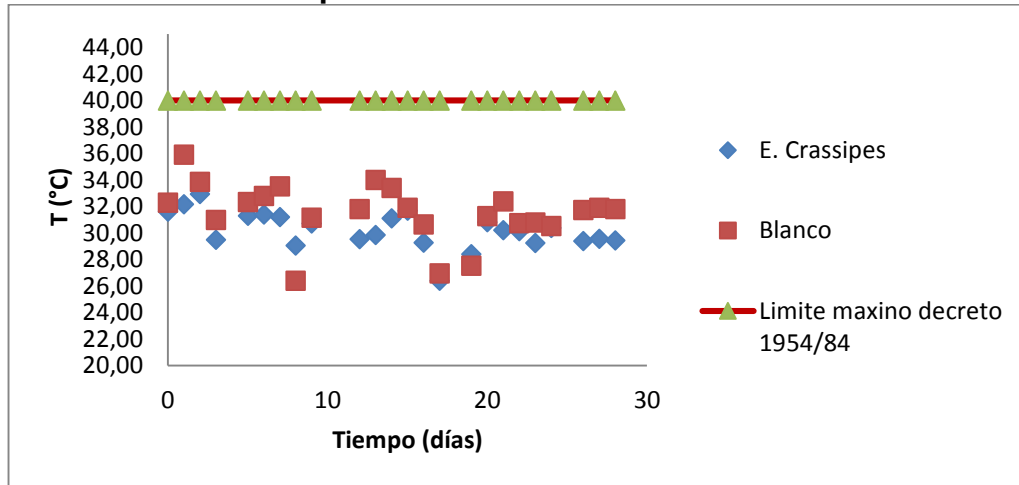
La **Figura 15** muestra el comportamiento del pH del agua residual durante el tratamiento con *E. crassipes*. Se estableció que el pH se encuentra dentro de los valores permitidos por la reglamentación para vertimiento de aguas residuales. Durante el tratamiento, se registró una variación del pH desde el día 6 hasta el día 9. El blanco presenta un comportamiento similar al del fitotratamiento en cuanto a los valores de pH.

La **Figura 16** muestra la evolución de la temperatura del agua del fitotratamiento y el blanco, se observa que la temperatura no alcanza ni sobrepasa el límite legal de 40°C establecido para vertimientos de aguas residuales domesticas a cuerpos de agua.

**Figura 15** pH obtenidos durante el fitotratamiento.



**Figura 16 Valores de temperatura obtenidos durante fitotratamiento.**



En la **Tabla 7** se resumen los resultados de cada parámetro medido en el tratamiento del agua residual del campus de la UN sede Orinoquia, para recomendar un tiempo de permanencia de las plantas en el tratamiento el parámetro principal a considerar es la remoción de la DBO y el índice de biodegradabilidad dado que dice si es eficiente el tratamiento biológico, por lo que el tiempo recomendable de permanencia de la *E. crassipes* en el tratamiento es de 14 días y no debería sobre pasar los 21 días. Las plantas que se utilicen en el tratamiento deben ser jóvenes para que su etapa de crecimiento permita la máxima remoción de DBO, DQO y mayor bioacumulación de metales pesados

Al comparar los resultados logrados en el presente trabajo de grado a un estudio similar realizado en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana, en Bucaramanga se evidencia que los indicadores como la DBO y DQO alcanzan valores aceptables como tratamiento terciario y ayudan a mejorar la remoción de estos parámetros y a disminuir el impacto de estos vertimientos a los suelos adyacentes al campus de la Universidad.

**Cuadro 5. Resumen resultados obtenidos durante el fitotratamiento. Fuente: AUTOR**

Parámetro	Tiempo
Remoción DBO	28 días
Remoción DQO	7 días
Índice de biodegradabilidad	14 días
Remoción de Sólidos totales disueltos (STD)	7 días
Remoción de grasas y aceites	7 días
Porcentaje de remoción de Coliformes totales	21 días
Porcentaje de remoción de <i>E. coli</i>	21 días

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según la literatura, existe un amplio estudio de aplicaciones de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, presentando alta eficiencia en la remoción de contaminantes. Siendo el buchón de agua la planta acuática que más se ha utilizado en dichos estudios. Además de ser aplicadas en tratamientos biológicos, las plantas acuáticas demuestran que son un ejemplo de que los recursos naturales pueden ser utilizados ampliamente beneficiando al ser humano.

El uso de *E. crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del campus de la Universidad Nacional – Sede Orinoquia presentó alta remoción de la DBO<sub>5</sub>, los Sólidos Disueltos Totales (SDT), grasas y aceites y la *E. coli* (70,02, 50,62, 86,67 y 98,44 % de remoción respectivamente), mientras que la remoción de coliformes totales y la DQO, fue baja (5,97 y 29,64 % de remoción respectivamente).

El tiempo de vida corto (8 días) de las plantas *H. reniformis* y *S. auriculata* no permitió la evaluación del fitotratamiento de las aguas residuales, con este tipo de especies vegetales.

Para optimizar la remoción de los parámetros y mantener la eficiencia durante el tratamiento, se recomienda que a los 14 días de haber iniciado el fitotratamiento se debe realizar la recolección de las plantas usadas y la disposición de plantas jóvenes y frescas sobre las aguas residuales. Las plantas extraídas o usadas, deben ser dispuestas de la manera más adecuada, ya sea para ser usadas en un tratamiento de compostaje o para la recolección mediante el programa de tratamiento de residuos peligrosos gestionado por la Unidad Ambiental, de la UN. Adicionalmente, la remoción de grasas y aceites se puede mejorar colocando una trampa de grasas antes de iniciar el fitotratamiento.

Se recomienda una vez se haga el tratamiento de compostaje con *E. crassipes* se verifique el contenido de metales pesados para certificar la posible utilidad de los residuos obtenidos, de lo contrario se requiere una disposición especial de los residuos obtenidos según la unidad de gestión ambiental.

Se recomienda hacer seguimiento a otros parámetros con y sin tratamiento entre ellos el contenido de nitrógeno total, nitritos, nitratos y amoniacal, sólidos suspendidos, fosfatos, salinidad y la conductividad del agua.

Es recomendable realizar estudios sobre el suelo donde se realiza el vertimiento, como por ejemplo: textura, salinidad, pH, estructura, nitrógeno total, materia orgánica, fósforo total, metales pesados, capacidad de intercambio de cationes y la vegetación característica. Para analizar su comportamiento y el impacto del vertimiento.

El presente trabajo se basó en la normatividad que estaba vigente cuando se inició el tratamiento, se recomienda tener en cuenta el siguiente comentario realizado por uno de los evaluadores:

*“Vale la pena hacer algún comentario en el siguiente sentido: este trabajo se inició cuando el decreto 1594/84 estaba vigente, es por esto que los comparativos y la discusión se basa en este decreto. A partir del 17 de marzo del 2015, la resolución 0631/2015, deroga al decreto 1594 en lo que regula vertimientos. Se recomienda que a partir de la fecha se considere esta resolución para los diseños y puesta en marcha de este sistema en caso de que la Universidad tome la decisión de implementarlo”.*

## **8. DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Se realizó un manuscrito el cual se sometió en la modalidad de artículo original experimental a la Revista Colombiana de Química de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Este manuscrito fue enviado a la revista y se está esperando la respuesta de aceptación.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Balasubramanian, R.; Mallavarapu, M.; Mambrattil, S.; Ravi, N. y Kadiyala, V. Bioremediation approaches for organic pollutants: a critical perspective. *Environ Int.* **2011**, *37*, 1362–1375.
- (2) Guo, W.; Luo, L.; Ngo, H. H.; Wang, X. C. y Chen, Z. Impact assessment of excess discharges of organics and nutrients into aquatic systems by thermodynamic entropy calculation. *J. Environ manage* **2012**, *112*, 45-52.
- (3) Aguiar, F.; Aparecida, S.; Dziedzic, M. y Teresinha, L. Restoration of polluted waters by phytoremediation using *Myriophyllum Aquaticum* (vell.) verdc., haloragaceae. *J. Environ manage.* **2013**, *120*, 5-9.
- (4) Antoniadis, A.; Kiridis I.; Kositzi, M.; Malato, S. y Poullos, I. solar photocatalytic treatment of simulated dyestuff effluents. *Sol. Energy* **2004**, *77*, 591–600.
- (5) Padilla, A. P. Informe ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales de la sede Orinoquia de la universidad nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquia, Coordinación de gestión ambiental, **2013**, 22 p.
- (6) Peralta, M. y Volke, T. La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* **2012**, *11*, 75-88.
- (7) Adebawale, K.O.; Agunbiade, F. y Olu-owolabi, B. I. Phytoremediation potential of *eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water. *Bioresour Technol.* **2009**, *100*, 4521-4526.
- (8) Guthrie, J. T.; Pearce, C. I. y Lloyd, J. R. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *Dyes pigments* **2003**, *58*, 179-196.
- (9) Elizalde, M. P.; Fuentes, L.E.; Guevara, M.R. Degradation of immobilized azo dyes by *klebsiella* sp. uap-b5 isolated from maize bioadsorbent. *J. of Hazard Mater* **2009**, *161*, 769-774.
- (10) Camacho, J. A. y Ordoñez, L. J. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la universidad pontificia bolivariana de Bucaramanga. Trabajo de grado ingeniería ambiental. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería sanitaria y ambiental. **2008**.
- (11) Güzel, F.; Pekkuz, H. y Uzun, Ilhan. Kinetics and thermodynamics of the adsorption of some dyestuffs from aqueous solution by poplar sawdust. *Bioresource technol.* **2008**, *99*, 2009-2017.
- (12) He, Y.; Ji, Z. y Zhang G. Treatment of wastewater during the production of reactive dyestuff using a spiral nanofiltration membrane system. *Desalination* **2006**, *201*, 255–266.

- (13) Megharaj, M.; Naidu R.; Ramakrishnan, B.; Sethunathan, N. y Venkateswarlu, K. Bioremediation approaches for organic pollutants: a critical perspective. *Environ Int.* **2011**, *37*, 1362–1375.
- (14) Malkovskaja, A.; Kirzhner, F. y Zimmels, Y. Application and features of cascade aquatic plants system for sewage treatment. *Ecol. Eng.* **2003**, *34*, 147–161.
- (15) Li, X.; Lou, C.; Lou, L.; Peng, K. y Shen, Z. Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton Pectinatus* L. and *Potamogeton Malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Sci Total Environ.* **2008**, *22*–29.
- (16) Sansak, J. y Sirianuntapiboon, S. Treatability studies with granular activated carbon (GAC) and sequencing batch reactor (SBR) system for textile wastewater containing direct dyes. *J. of Hazard Mater* **2008**, *159*, 404–411.
- (17) Casieri, L.; Marchisio, V. F.; Prigione, V. y Varese, G. C. Biosorption of simulated dyed effluents by inactivated fungal biomasses. *Bioresource technol* **2008**, *99*, 3559–3567.
- (18) Madamwar, D. y Moosvi, S. An integrated process for the treatment of cetp wastewater using coagulation, anaerobic and aerobic process. *Bioresource technol* **2007**, *98*, 3384–3392.
- (19) Karapinar, I. y Oztekin, R. The effect of hydraulic residence time and initial cod concentration on color and cod removal performance of the anaerobic–aerobic sbr system. *J. of Hazard Mater.* **2006**, *136*, 896–901.
- (20) Axelssona, J.; Alvarez, T.; Nilssona U.; Terrazas, E. y Welandera U. Decolorization of the textile dyes reactive red 2 and reactive blue 4 using *bjerkandera* sp. strain bol 13 in a continuous rotating biological contactor reactor. *Enzyme and microbial technology* **2006**, *39*, 32–37.
- (21) Dritsa, V. y Vidas, F. Decolourisation of a polymeric dye by selected fungal strains in liquid cultures. *Enzyme Microb Tech.* **2006**, *39*, 120–124.
- (22) Deveci, T.; Mazmanci, M. A. y Unyayar, A. Production of remazol brilliant blue r decolourising oxygenase from the culture filtrate of *funalia trogii* atcc 200800. *J. Mol Catal B-enzym* **2004**, *30*, 25–32.
- (23) Ge, Y.; Ginge, K. y Yan L. Effect of environment factors on dye decolorization by *p. sordida* ATCC90872 in a aerated reactor. *Process biochem.* **2004**, *39*, 1401–1405.
- (24) Ledakowicz, S.; Olecka, M. S. y Zylla, R. Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. *J. biotechnol.* **2001**, *89*, 175–184.
- (25) Dinċer, A. R.; Günes, Y. y Karakaya, N. Coal-based bottom ash (cbba) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution. *J. of hazard mater.* **2007**, *141*, 529–535.
- (26) Kimura, K.; Lateef, S. K. y Soh, B. Z. Direct membrane filtration of municipal wastewater with chemically enhanced backwash for recovery of organic matter. *Bioresource technol.* **2013**, *150*, 149–155.
- (27) Hwang, T.; Hwang, Y.; Jung, Y.; Kang, J.; Kwon, M. y Yoon, Y. Application

- of  $\text{O}_3$  and  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  as post-treatment processes for color removal in swine wastewater from a membrane filtration system. *J. Ind Eng Chem.* **2013**, *19*, 1-5.
- (28) Inoue, M.; Okada, F.; Sakakibara, M. y Sakurai, A. A new development of dyestuffs degradation system using ultrasound. *Ultrason Sonochem.* **2006**, *13*, 313–320.
- (29) Byun, K. y Kwak, H. Degradation of methylene blue under multibubble sonoluminescence condition. *J. Photoch. Photobio a.* **2005**, *175*, 45–50.
- (30) Jiang, Z.; Wanga, J.; Wang, X.; Xi, Y.; Xing, Z.; Xu, R.; Zhanga, X. y Zhang, Z. Sonocatalytic degradation of acid red b and rhodamine b catalyzed by nano-sized zno powder under ultrasonic irradiation. *Ultrason Sonochem.* **2008**, *15*, 768–774.
- (31) Gaoa, W.; Linga, H.; Shana, Y.; Wangb, J.; Zangb, S.; Zhanga, H.; Zhanga Z. y Zhaoa, Z. Investigation on the rapid degradation of Congo red catalyzed by activated carbon powder under microwave irradiation. *J. of Hazard Mater.* **2007**, *147*, 325–333.
- (32) Mcgarrahan, J. y Yang, C. Electrochemical coagulation for textile effluent decolorization. *J. of Hazard Mater.* **2005**, *b127*, 40–47.
- (33) Acevedo, O; Delgadillo, A.E.; Gonzales, C; Prieto, F. y Villagómez, J. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. agroecosyt.* **2011**, *14*, 597- 612.
- (34) Cubas, S.; Dziejczic, M.; Maranhó, L y Souza, F. Restoration of polluted waters by phytoremediation using *Myriophyllum Aquaticum* (vell.) verdc., haloragaceae. *J. Environ manage.* **2013**, *120*, 5-9.
- (35) Kirzhner, F.; Malkovskaja, A. y Zimmels, Y. Application of *Eichhornia Crassipes* and *pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in israel. *J. Environ manage.* **2006**, *81*, 420 - 428.
- (36) Kumari, M. y Tripathi, B. D. Effect of aeration and mixed culture of *Eichhornia Crassipes* and *Salvinia Natans* on removal of wastewater pollutants. *Ecol. Eng.* **2014**, *62*, 48–53.
- (37) Kushwaha, J. P.; Mall, I. D. y Srivastava, V. C. Sequential batch reactor for dairy wastewater treatment: parametric optimization; kinetics and waste sludge disposal. *J Environ Chem Eng.* **2013**, *1*, 1036–1043.
- (38) Fair, G. M.; Geyer, J. C. y Okun, D. A. Diseño de plantas de tratamiento. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.* México, editorial limusa: Mexico, **1996**, Vol. 2, pp. 701-716.
- (39) CANO, Natalia Andrea. Análisis mediante el método emergético de la disposición de los lodos producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales. (Aplicación a una PTAR en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá). Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. 2012.
- (40) Abou-elela, S. I. y Hellal, M. S. Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with canna, phragmites and cyprus. *Ecol Eng.* **2012**, *47*, 209– 213.
- (41) Correa, J. C. y Marín, J. P. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth.

Tecnología química, Trabajo de grado. Pereira. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. 2010.

(42) La Bella, S.; Leone, R.; Leto, C.; Licata, M. y Tuttolomondo, T. Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus Alternifolius L.* and *Typha Latifolia L.* in the west of sicily (italy). *Ecol. Eng.* **2013**, 61, 282–291.

(43) Lara, J.A. y Martelo, J. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia* **2012**, 8, 221–243.

(44) García, Z. M. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Trabajo de grado de ingeniería sanitaria. Lima (Perú). Universidad nacional de ingeniería. Facultad de ingeniería ambiental. 2012

(45) Li, Y.; Ng, W. J.; Tan, S. K. y Zhu, G. A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: design, performance and mechanism. *Sci Total Environ.* **2014**, 468-469, 908–932.

(46) Aybar, C. A. y Chuchón, S. A. Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “la totora”, ayacucho, Perú. *Ecología aplicada* **2008**, 7, 165-171.

(47) Esteva, M. T. y Barrera, J. M. Metodologías para la inspección y verificación en agua y consultoría medioambiental en materia de aguas. Consultoría y verificación medioambiental. Módulo 7: Asistencia técnica y de consultoría y procedimientos de inspección y verificación. Metodologías Sectoriales. Instituto de investigaciones ecológicas: Madrid, 1997; 165-171.

(48) Seoanez, M. Aguas residuales urbanas, tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento; Ediciones Mundi-prensa. España, 1995: pp 178 – 206.

(49) Camacho, J. A. y Ordoñez, L. J. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Trabajo de grado ingeniería ambiental. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería sanitaria y ambiental. 2008.

(50) Arenas, S. M. y Nuncira, A. Evaluación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales del sector industrial avícola. Monografía para optar el título de especialista en ingeniería ambiental. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería fisicoquímicas. 2010.

(51) Mico, C.; Peris, M.; Recatalá, L. Y Sanchez, j. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos con cultivos vegetales de la comarca del bajo vinalopó (Alicante). *Edafología*, **2005**, 12, 185-197.

(52) Carrion, C.; Cram, S.; Ponce de Leon, C.; Sommer, I. y Vanegas, C. Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia* **2012**, 46, 609-620.

## ANEXOS

### Anexo A. Informe de resultados de la identificación taxonómica de las diferentes plantas de estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES  
HERBARIO NACIONAL COLOMBIANO (COL)

COL - 309  
Bogotá D.C., 17 de septiembre de 2014

Señores  
Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia  
Jennifer Vanessa Bernal Nieves  
Ciudad

Asunto: **Identificación Taxonómica muestras**

Cordial Saludo,

Me permito dar respuesta a su solicitud referente a la identificación taxonómica de la(s) muestra(s) botánica(s):

Nombre	FAMILIA	No. COL	Colector	No de Colecta	Determinó
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	PONTEDERIACEAE	578327	Jennifer Vanessa Bernal Nieves	01	C. Parra-O./2014
<i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz & Pav.	PONTEDERIACEAE	578328	Jennifer Vanessa Bernal Nieves	03	C. Parra-O./2014
<i>Salvinia</i> aff. <i>auriculata</i> Aubl.	SALVINIACEAE	578329	Jennifer Vanessa Bernal Nieves	02	J. Murillo/2014

Esta certificación no es válida para trámites ante el INVIMA o el ICA. El (Los) pliego(s) testigo(s) quedará(n) como muestra permanente en nuestro herbario.

Cordialmente,

Prof. CARLOS ALBERTO PARRA  
Administrador General  
Herbario Nacional Colombiano -COL  
E-mail: herbacol\_fcbog@unal.edu.co

Uppr Annex 123  
Ricozo Foto

Carrera 30 No. 45-03. INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES,  
"HERBARIO NACIONAL COLOMBIANO (COL)" Edificio 425- 2º piso, Oficina 222  
Commutador: (57-1) 316 5000 Ext.11538 - 11518 Fax: 11538  
Correo electrónico: herbacol\_fcbog@unal.edu.co  
Bogotá, Colombia, Sur América

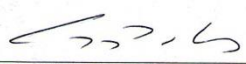

# ANEXO B Informe de resultados de la determinación de metales pesados en la planta estudio antes del tratamiento.



**Laboratorio Ambiental**  
Laboratorio autorizado por el  
Ministerio de Salud y Protección Social  
mediante resolución 4353 de 2013




<b>INFORME DE RESULTADO DE LABORATORIO No. 4757</b>	Fecha de reporte: 2 de julio de 2014
---	--------------------------------------

1. DATOS DEL CLIENTE						
Cliente: Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia			Teléfono: 3113001655			
Contacto: Oscar Eduardo Suarez			Dirección: Km 9 via Arauca- Caño limon			
2. DATOS DE LA MUESTRA						
Proyecto: Eichhorina crassipes			Punto de muestreo: Buchon de Agua Caño de Jesus			
ID Plan de Muestreo: N/A			Coordenadas Muestra: N/A			
Matriz: Otro Condiciones Ambientales: N/A			Procedencia: Arauca			
Clase de muestra: Tejido Vegetal			Fecha y hora de muestreo:		2014-05-15	
Tipo de muestra: N/A			Fecha de recepción:		2014-05-23	
3. RESULTADO DE LABORATORIO						
ID	Parámetro	Método	Técnica	Fecha de análisis	Unidad	Resultado
Parámetros Fisicoquímicos y Organolépticos						
S-83	a - Cadmio	EPA 3050 - SM 3111B	A.A de Llama	2014-06-05	mg/kg	0,48
S-101	a - Cromo Total	EPA 3050 - SM 3111B	A.A de Llama	2014-06-05	mg/kg	<1,2
S-131	a - Mercurio	EPA 3050 - SM 3112B	A.A - Vapor frío	2014-06-05	mg/kg	<0,06
S-143	a - Plomo	EPA 3050 - SM 3111B	A.A de Llama	2014-06-05	mg/kg	3,8
a. parámetros analizados en Solam e.u.						
b. parámetros acreditados laboratorio subcontratado. - Resultado de laboratorio No.83797 de Analquim Ltda. Resolución No.2656 del IDEAM						
<b>Observaciones:</b>						
Muestra puesta en el laboratorio por el cliente.						
Prohibida su reproducción total o parcial del presente resultado sin autorización escrita de Solam e.u.						
Únicamente son válidos los resultados y copias que contengan el sello seco (en relieve) de SOLAM E.U. Laboratorio Ambiental.						
Referencia: SM STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER & WASTEWATER 22 ND EDITION 2012 APHA AWWA WEF						
Referencia: METODOS NORMALIZADOS NTC Y EPA. SW-846.						
Los resultados del presente informe son válidos únicamente para la muestra analizada.						
			Origen de coordenadas del punto de Muestreo:	Sin dato		
 <b>Q.I. GERMAN ANDRES PALACIOS AVILA</b> PQI - 468 Director de Laboratorio			 <b>Laboratorio Ambiental</b> Ingenieria & Laboratorio Ambiental No. 306 273.467.1		Página: 1 de 1 FT-LAB-002/Version: 02/Mayo-2014	
<b>FIN DEL REPORTE</b>						

Carrera 23A N° 37-129 - Barrio Villas de San Juan - Yopal - Casanare - Colombia  
 Celulares: 311 204 00 19 - 311 477 92 74 - 320 432 46 42


E-mail: gerencia@solameu.com.co / dafi@solameu.com.co - [www.solameu.com.co](http://www.solameu.com.co)

## Anexo C Informe de resultados de la determinación de metales pesados en la planta estudio después del tratamiento.



**soluciones ambientales e.u.**  
Ingeniería & Laboratorio Ambiental

**Laboratorio Ambiental**  
Laboratorio autorizado por el  
Ministerio de Salud y Protección Social  
mediante resolución 4353 de 2013



**SO am e.u.**  
Ingeniería & Laboratorio Ambiental

**INFORME DE RESULTADO DE LABORATORIO No. 4756** Fecha de reporte: 24 de Junio de 2014

**1. DATOS DEL CLIENTE**

Cliente: Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquia Teléfono: 3113001655  
 Contacto: Oscar Eduardo Suarez Dirección: Km 9 vía Arauca- Caño Iimon

**2. DATOS DE LA MUESTRA**

Proyecto: Eichhorina crassipes Punto de muestreo: Buchon de Agua Caño de Jesus  
 ID Plan de Muestreo: N/A Coordenadas Muestra: N/A  
 Matriz: Otro Condiciones Ambientales: N/A Procedencia: Arauca  
 Clase de muestra: Tejido Vegetal Fecha y hora de muestreo: 2014-05-15  
 Tipo de muestra: N/A Fecha de recepción: 2014-05-23

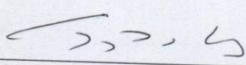
**3. RESULTADO DE LABORATORIO**

ID	Parámetro	Método	Técnica	Fecha de análisis	Unidad	Resultado
<b>Parámetros Físicoquímicos y Organolépticos</b>						
S-83 a	- Cadmio	EPA 3050 - SM 3111B	A.A de Llama	2014-06-05	mg/kg	0,52
S-101 a	- Cromo Total	EPA 3050 - SM 3111B	A.A de Llama	2014-06-05	mg/kg	<1,2
S-131 a	- Mercurio	EPA 3050 - SM 3112B	A.A - Vapor frío	2014-06-05	mg/kg	<0,06
S-143 a	- Plomo	EPA 3050 - SM 3111B	A.A de Llama	2014-06-05	mg/kg	5,2


a. parámetros analizados en Solam e.u.  
 b1. parámetros acreditados laboratorio subcontratado. - Resultado de laboratorio No.83796 de Analquim Ltda. Resolución No.2656 del IDEAM

**Observaciones:**  
 Muestra puesta en el laboratorio por el cliente.  
 Prohibida su reproducción total o parcial del presente resultado sin autorización escrita de Solam e.u.  
 Únicamente son válidos los resultados y copias que contengan el sello seco (en relieve) de SOLAM E.U. Laboratorio Ambiental.  
 Referencia: SM STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER & WASTEWATER 22 ND EDITION 2012 APHA AWWA WEF  
 Referencia: METODOS NORMALIZADOS NTC Y EPA SW-846.  
 Los resultados del presente informe son válidos únicamente para la muestra analizada.

Origen de coordenadas del punto de Muestreo: Sin dato



**Q.I. GERMAN ANDRES PALACIOS AVILA**  
PQI - 468  
Director de Laboratorio



**Laboratorio Ambiental**  
Ingeniería & Laboratorio Ambiental

**FIN DEL REPORTE**

Página: 1 de 1  
FT-LAB-002/Versión: 02/Mayo-2014

Carrera 23A N° 37-129 - Barrio Villas de San Juan - Yopal - Casanare - Colombia  
 Celulares: 311 204 00 19 - 311 477 92 74 - 320 432 46 42  
 E-mail: gerencia@solameu.com.co / dafi@solameu.com.co - www.solameu.com.co

## Anexo D Informe de resultados de metales pesados en el agua residual antes del tratamiento.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 INSTITUTO DE ENSAYOS E INVESTIGACIONES  
 LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL  
**INFORME DE RESULTADOS**



INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Cliente:			
Empresa:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA- SEDE ORINOQUIA	ANALISIS N°:	32229
Persona a contactar:	JENNIFER BERNAL- ESTUDIANTE QUÍMICA AMBIENTAL USTA	Cotizacion N°:	198-2014
Dirección / Ciudad:	SEDE ORINOQUIA	Orden de trabajo:	158-2014
Tel: Fijo/Fax/Movil:	EXT. 29772 -350 3062583	Recibida por:	D.A.
Fecha de Registro:	15/08/2014	Fecha de Entrega:	5/09/2014

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Municipio:	ORINOQUIA	Departamento:	
Procedencia:	SEDE ORINOQUIA		
Punto de Captación:	PLANTA AGUA RESIDUAL		
Fecha de Muestreo:	15/08/2014	TIPO MUESTRA:	AGUA RESIDUAL

RESULTADOS			
Parámetro	Unidades	Método	Resultado
Cadmio	mg/L	Absorción Atómica	<0,01
Cromo	mg/L	Absorción Atómica	<0,06
Plomo	mg/L	Absorción Atómica	<0,1
Mercurio	mg/L	Absorción Atómica	<0,003

**OBSERVACIONES**  
 La muestra analizada No fue recolectada por personal del laboratorio ni bajo supervisión del mismo

Dra. Martha Cristina Bustos López  
 Coordinador Laboratorio Ing Ambiental

Dra. Martha Cristina Bustos López  
 Responsable Técnico