

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(127)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>ASTRID CAROLINA HERRERA PÁEZ ANDERSON RUIZ GARCÍA</b>		
FACULTAD	<b>CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE</b>		
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA AMBIENTAL</b>		
DIRECTOR	<b>LUIS AUGUSTO JÁCOME GÓMEZ</b>		
TÍTULO DE LA TESIS	<b>EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL SUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA UFPSO, UTILIZANDO LAS ESPECIES <i>JUNCUS EFFUSUS</i> Y <i>LEMNA MINOR</i></b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>EN LA REALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO SE INVESTIGARÁ LA CAPACIDAD DE DESCONTAMINACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES <i>JUNCUS EFFUSUS</i> Y <i>LEMNA MINOR</i>. SE HALLARÁ EL TIPO DE CONTAMINANTE, EN QUÉ CANTIDAD SE PRESENTA Y CUÁL ES LA AFECTACIÓN AL MEDIO, SEGUIDAMENTE SE CUANTIFICA LA REDUCCIÓN DE LAS SUSTANCIAS CONTAMINANTES DESPUÉS DE SER SOMETIDAS AL TRATAMIENTO Y ASÍ DETERMINAR LA EFECTIVIDAD DEL SISTEMA, PARA MÁS ADELANTE SUGERIRLO EN PROYECTOS DE GRANDE ESCALA COMO PTAR DE CUALQUIER TIPO Y QUE MANEJEN DIFERENTES CLASES DE CONTAMINANTES.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 127	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL SUPERFICIAL PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA UFPSO,  
UTILIZANDO LAS ESPECIES *JUNCUS EFFUSUS* Y *LEMNA MINOR***

**AUTORES:**

**ASTRID CAROLINA HERRERA PÁEZ**

**ANDERSON RUIZ GARCÍA**

**Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Director**

**LUIS AUGUSTO JÁCOME GÓMEZ**

**Esp., Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Ocaña, Colombia**

**Septiembre de 2017**

## **Dedicatoria**

**Dedico este proyecto de grado a Ti, el amigo de toda mi vida y a mis padres María del Rosario Páez Lozano y José Ignacio Herrera Quintero (Q.E.P.D), quien desde el cielo me sonrío y me acompaña en cada momento, doy gracias a ellos por haberme apoyado a lo largo de mi vida y carrera profesional, por sus lindos consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su Amor.**

**Astrid Carolina Herrera Páez**

**Dedico este proyecto de Grado a Dios, por su infinita misericordia conmigo. A mis padres Elda García Luna y Porfirio Ruiz Pinto, por su inmenso apoyo constante y por su amor incondicional. A mis hermanos, amigos, y novia Magda Stella Villamizar Castro, quien de una u otra manera me han apoyado en este proceso.**

**Anderson Ruiz García**

## **Agradecimientos**

**Agradezco a nuestro Director Luis Augusto Jácome Gómez, por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestro proyecto de grado; al Ingeniero Ambiental Yermes Fabián Vélez, por apoyarnos en su momento. Y finalmente agradezco a los químicos Diana Valdez por su colaboración en Laboratorio de aguas, y a Carlos Alberto Patiño por su apoyo ofrecido en este trabajo.**

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 1: Evaluación de un humedal artificial superficial para el tratamiento de aguas residuales generadas en la UFPSO, utilizando las especies <i>JUNCUS EFFUSUS</i> Y <i>LEMNA MINOR</i> .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Problema de Investigación .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Planteamiento del Problema .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Formulación del Problema .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.1 Objetivo General .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5 Justificación.....</b>	<b>10</b>
<b>1.6 Delimitaciones .....</b>	<b>11</b>
<b>1.6.1 Temporal.....</b>	<b>11</b>
<b>1.6.2 Espacial.....</b>	<b>11</b>
<b>1.6.3 Conceptual.....</b>	<b>11</b>
<b>1.6.4 Operativa .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 2: Marco Referencial .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Marco histórico .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.1 Tratamientos de aguas residuales y su procedencia .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2 Utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. ....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3 Utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en Colombia.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Marco contextual .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Marco conceptual.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1 Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales. ....</b>	<b>19</b>
<b>Investigación de macrófitas para tratamientos de aguas residuales. ....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Marco teórico .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5 Marco legal.....</b>	<b>43</b>
<b>Capítulo 3: Diseño Metodológico.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1 Tipo de Investigación .....</b>	<b>48</b>

<b>3.2 Población .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3 Muestra .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4 Recolección de información.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5 Análisis de Información .....</b>	<b>56</b>
<b>Capítulo 4. Resultados .....</b>	<b>57</b>
<b>Capítulo 5. Conclusiones .....</b>	<b>105</b>
<b>Capítulo 6. Recomendaciones .....</b>	<b>109</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>114</b>

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Afectaciones ambientales y económicas producidas por las aguas residuales y su relación.....	31
Tabla 2. Mecanismos de fitorremediación.....	36
Tabla 3. Mediciones según las posibles combinaciones de las variables .....	50
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos que se analizan a las muestras de agua residual.....	54
Tabla 5. Mediciones evaluadas en el sistema piloto .....	48
Tabla 5. Demanda química de oxígeno.....	66
Tabla 6. Resultados para Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	69
Tabla 7. Resultados para sólidos suspendidos totales (SST) .....	72
Tabla 8. Resultados para grasas y aceites .....	75
Tabla 9. Resultados para fosfatos .....	78
Tabla 10. Resultados para nitratos .....	81
Tabla 11. Resultados para nitritos.....	84
Tabla 12. Resultados para nitrógeno amoniacal .....	87
Tabla 13. Resultados para aluminio.....	90
Tabla 14. Resultados para cobre .....	93
Tabla 15. Resultados para hierro .....	96
Tabla 16. Resultados para sulfato. ....	99
Tabla 17. Respuesta para color real .....	102
Tabla 19. Porcentajes de remoción de las especies más efectivas de acuerdo con el proyecto del autor (Velez & Sanchez, 2015).....	99

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema general del funcionamiento y elementos de un Humedal Artificial .....	24
Figura 2. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas. ....	25
Figura 3. Humedal de flujo superficial con macrófitas flotantes .....	26
Figura 4. Humedal de flujo superficial con macrófitas sumergidas .....	27
Figura 5. Humedal subsuperficial de flujo vertical .....	28
Figura 6. Humedal subsuperficial de flujo horizontal .....	28
Figura 7. Mecanismos de la fitorremediación en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso.....	40
Figura 8. Clasificación taxonómica de la especie <i>Juncus effusus</i> .....	41
Figura 9. Clasificación taxonómica de la especie <i>Lemna Minor</i> .....	43
Figura 10. Sistema de humedal artificial superficial. ....	58
Figura 11. Sistema de humedal artificial superficial construido en el vivero de la UFPSO .....	61
Figura 12. Muestras del afluente y efluente analizadas en el laboratorio de aguas de la UFPSO.....	63
Figura 13. Resultados para PH.....	65
Figura 14. Tiempo de retención 3 días para DQO.....	67
Figura 15. Tiempo de retención 6 días para DQO.....	67
Figura 16. Tiempo de retención 9 días para DQO.....	68
Figura 17. Tiempo de retención 3 días para DBO <sub>5</sub> .....	70
Figura 18. Tiempo de retención 6 días para DBO <sub>5</sub> .....	70
Figura 19. Tiempo de retención 9 días para DBO <sub>5</sub> .....	71
Figura 20. Tiempo de retención 3 días para SST. ....	73
Figura 21. Tiempo de retención 6 días para SST. ....	73
Figura 22. Tiempo de retención 9 días para SST. ....	74
Figura 23. Tiempo de retención 3 días para Grasas y aceites. ....	76
Figura 24. Tiempo de retención 6 días para SST. ....	76
Figura 25. . Tiempo de retención 9 días para SST. ....	77
Figura 26. Tiempo de retención 3 días para Fosfato. ....	79
Figura 27. Tiempo de retención 6 días para Fosfato. ....	79
Figura 28. Tiempo de retención 9 días para Fosfato. ....	80
Figura 29. Tiempo de retención 3 días para Nitratos.....	82
Figura 30. Tiempo de retención 6 días para Nitratos.....	82
Figura 31. Tiempo de retención 9 días para Nitratos.....	83
Figura 32. Tiempo de retención 3 días para Nitritos. ....	85
Figura 33. Tiempo de retención 6 días para Nitritos. ....	85
Figura 34. Tiempo de retención 9 días para Nitritos. ....	86
Figura 35. Tiempo de retención 3 días para Nitrógeno amoniacal. ....	88
Figura 36. Tiempo de retención 6 días para Nitrógeno amoniacal. ....	88
Figura 37. Tiempo de retención 9 días para Nitrógeno amoniacal. ....	89
Figura 38. Tiempo de retención 3 días para Aluminio. ....	91
Figura 39. Tiempo de retención 6 días para Aluminio. ....	91

Figura 40. Tiempo de retención 9 días para Aluminio. ....	92
Figura 41. Tiempo de retención 3 días para Cobre. ....	94
Figura 42. . Tiempo de retención 6 días para Cobre. ....	94
Figura 43. Tiempo de retención 9 días para Cobre. ....	95
Figura 44. Tiempo de retención 3 días para Hierro. ....	97
Figura 45. Tiempo de retención 6 días para Hierro. ....	97
Figura 46. Tiempo de retención 9 días para Hierro. ....	98
Figura 47. Tiempo de retención 3 días para Sulfato. ....	100
Figura 48. . Tiempo de retención 6 días para Sulfato. ....	100
Figura 49. Tiempo de retención 9 días para Sulfato. ....	101
Figura 50. Tiempo de retención 3 días para Color Real. ....	103
Figura 51. Tiempo de retención 6 días para Color Real. ....	103
Figura 52. Tiempo de retención 9 días para Color Real. ....	104

## Introducción

A causa del aumento de la población a lo largo de las últimas décadas, la demanda del recurso hídrico se ha intensificado, debido a que la mayoría de actividades antrópicas exigen grandes cantidades de este valioso recurso para el desarrollo de todos los procesos, por esta razón se generan grandes cantidades de aguas residuales las cuales presentan altos niveles de contaminantes que son vertidos directa o indirectamente a fuentes de hídricas.

Numerosos representantes de la sociedad se preocupan por el estado de recurso hídrico, por lo cual diseñan y utilizan sistemas de descontaminación con técnicas de desinfección, ya sean químicas, físicas, entre otros; este proyecto se fundamenta en un proceso biológico llamado fitorremediación, que se trata de la descontaminación de las aguas mediante procesos realizados por especies vegetales. Este tipo de tratamiento es una alternativa para los métodos convencionales ya que es económica y efectivamente viable, obteniendo buenos resultados en diferentes medios en el cual se han utilizado, como lo son para la descontaminación de las aguas cargadas de materia orgánica o contaminantes diversos (metales, hidrocarburos y plaguicida) además es un proceso amigable con el medio ambiente que logra reducir los impactos negativos que producen las actividades antrópicas.

En la realización de este proyecto se investigará la capacidad de descontaminación de las especies vegetales *Juncus effusus* y *Lemna minor*. Se hallará el tipo de contaminante, en qué cantidad se presenta y cuál es la afectación al medio, seguidamente se cuantifica la reducción de las sustancias contaminantes después de ser sometidas al tratamiento y así determinar la efectividad del sistema, para más adelante sugerirlo en proyectos de grande escala como PTAR de cualquier tipo y que manejen diferentes clases de contaminantes.

# **Capítulo 1: Evaluación de un humedal artificial superficial para el tratamiento de aguas residuales generadas en la UFPSO, utilizando las especies *JUNCUS EFFUSUS* Y *LEMNA MINOR***

## **1.1 Problema de Investigación**

Inapropiado tratamiento de aguas residuales en la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En la actualidad y de manera crítica se está presentando una problemática global como el aumento de las aguas residuales vertidas a fuentes hídricas sin tener un respectivo control y tratamiento; estos son producidos por diversos sectores como lo es el industrial, agrícola, domiciliario y pecuario, donde se exigen grandes cantidades de agua para lograr sus actividades, siendo así vertidas directamente a los sistemas de alcantarillado, y en algunas ocasiones son vertidas sin ningún tipo de tratamiento. También afirma que lo habitual en Colombia son los vertimientos de los residuos líquidos a fuentes hídricas y al suelo, lo cual genera dos tipos de problemas, el primero según Mara (1996), que las enfermedades contagiosas y los contaminantes presentes en este tipo de aguas se disipan fácilmente en el ambiente, y por otra parte que se presenta una disminución en la calidad de vida de las comunidades ubicadas en las zonas de influencia donde se efectúan estas descargas, ya que produce una afectación a los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo cual genera reducción en la calidad del medio ambiente y de los servicios que éste puede prestar (Pierce & Turner, 1990).

Ocaña es un municipio de Norte de Santander que sufre esta problemática originada por la falta de tratamiento de los residuos líquidos. Estas aguas residuales son producto de

las actividades realizadas por el comercio y la comunidad en general, luego son vertidas directamente a un cuerpo hídrico llamado “Río Tejo” que atraviesa el municipio produciendo impactos negativos en el ambiente como olores ofensivos, contaminación visual, proliferación de vectores, contaminación por residuos sólidos, disminución en la valorización de terrenos adyacentes, lo cual genera una pérdida económica y disminución del bienestar social.

La universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) sufre de una afectación a causa de las aguas residuales generadas por las actividades de esta institución, éstas son vertidas a un sistema de pozos sépticos y hacia una zona de infiltración, estos métodos de tratamiento empleados no son tan efectivos ya que generan olores ofensivos y proliferación de vectores, lo cuales aquejan a la comunidad que permanece frecuentemente en este lugar.

De acuerdo con lo anterior, se hace pertinente la puesta en marcha de una estrategia o evaluación de un sistema de descontaminación que permita darle tratamiento a las aguas residuales de manera efectiva para así disminuir los índices actuales y mitigar las afectaciones generadas por los vertimientos.

### **1.3 Formulación del Problema**

¿Qué tan eficiente es un humedal artificial de tipo superficial utilizando las especies *Juncus effusus* y *Lemna minor*, como alternativa de solución para el tratamiento de las aguas residuales de la UFPSO?

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluación de un humedal artificial superficial para el tratamiento de aguas residuales generadas en la UFPSO, utilizando las especies *Juncus effusus* y *Lemna minor*.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Diseñar un sistema piloto de fitorremediación usando las especies *Juncus effusus* y *Lemna minor*, para la descontaminación de las aguas residuales de la UFPSO.

Evaluar el grado de contaminación presente en el agua residual antes y después de pasar por el tratamiento del humedal artificial superficial.

Verificar la efectividad del humedal mediante el cálculo de remoción por cada contaminante y compararla con la normatividad vigente.

### 1.5 Justificación

Desde hace varios años la investigación sobre los tratamientos de aguas residuales a nivel mundial se ha enfocado en la implementando de la fitorremediación como técnica para la disminución de los efectos que tienen éstas sobre el medio ambiente utilizando diversas especies de plantas (Arroyave M. d., 2004).

Para la realización del proyecto se implementan dos especies de plantas (*Lemna minor* y *Juncus effusus*) que contribuirán a la investigación para generar soluciones a los impactos negativos producidos por las aguas residuales las cuales aquejan a la población presente en la UFPSO. Los resultados obtenidos con estas especies en trabajos de investigación anteriormente realizados muestran grandes resultados para el tratamiento de las aguas residuales. Según Olguín & Hernández (1998), la especie *Lemna minor* cuenta con las características que debe tener una planta acuática empleada para el tratamiento de aguas residuales como la eficiencia en la eliminación de nutrientes y contaminantes, fácil cosecha, gran predominancia en circunstancias naturales adversas y alta productividad. Por otra parte, la especie *Juncus effusus* será sometida al proceso de investigación con el fin de determinar su efectividad para la remoción de contaminantes en las aguas residuales,

empleando la metodología planteada en este proyecto, ya que esta especie puede ser de gran eficiencia debido a las características morfológicas que presenta. Lo cual nos indica que la utilización de estas especies puede ser óptima para la realización del proyecto ya que sus características y condiciones favorecen la descontaminación de los vertimientos, disminuyendo las afectaciones presentes en la UFPSO, como lo son los olores ofensivos y la proliferación de vectores que se originan debido al escaso tratamiento proporcionado a las aguas residuales.

También es de gran importancia la aplicación de estas tecnologías porque contribuyen al mejoramiento continuo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para nuestra región y especialmente en la UFPSO, ya que la fitorremediación es compatible con el medio ambiente, reduce los impactos negativos, su implementación es de muy bajo costo, con altos índices de efectividad lo que la hace una metodología potencial para minimizar los impactos negativos que se generan en esta institución.

## **1.6 Delimitaciones**

### **1.6.1 Temporal**

La ejecución de este proyecto tendrá una duración aproximada de 5 meses.

### **1.6.2 Espacial**

El proyecto se desarrollará dentro del recinto de la Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

### **1.6.3 Conceptual**

Agua residual, descontaminación, fitorremediación, humedal superficial, macrófitas, remoción, vertimientos.

#### **1.6.4 Operativa**

Para la ejecución de este proyecto se cuenta con recursos asignados por la División de Investigación y Extensión DIE y con recursos propios. También se cuenta con personal competente y apto para la realización del proyecto, recursos tecnológicos, equipos y reactivos de laboratorio y las instalaciones de la universidad como son: laboratorios, biblioteca, vivero y el sitio donde se va construir el humedal.

## **Capítulo 2: Marco Referencial**

### **2.1 Marco histórico**

#### **2.1.1 Tratamientos de aguas residuales y su procedencia**

Toda actividad humana tiene un impacto dentro y fuera de su entorno; las que producen contaminación no sólo alteran el equilibrio ecológico y causan la mortandad de algunas especies animales y vegetales o la proliferación descontrolada de otras, sino que pueden destruir en forma definitiva la vida. En casi todos los países industrializados se ha tomado conciencia de este reto que obliga a detener la destrucción de nuestro hábitat. Es así que las actividades de los diferentes sectores industriales se ven en la obligación de evitar o minimizar los impactos negativos al ambiente, ya sea a través de la implementación de prácticas de prevención de la contaminación o del tratamiento de los efluentes antes de ser vertidos al medio ambiente (2009).

Uno de los primeros avances de control de aguas residuales fue la construcción en los edificios de sistemas de desagüe que se encargaban de disponer los residuos líquidos a un “pozo negro” que poseía conexión hacia los conductos de drenaje, lo cual originó los primeros “alcantarillados de tipo unitario”, método que fue acogido por muchas ciudades.

En gran Bretaña en el año de 1842 Sir Edwin Chadwick propuso mediante un informe, la obligación de reunir los residuos líquidos en un sistema definido de alcantarillado, separando las aguas pluviales de las residuales mediante conductos de gres, dando la idea de disponer el agua pluvial en los ríos y el agua residual al campo. Esta iniciativa produjo las raíces actuales de los sistemas saneamiento básico (Ramos Gorostiza, 2014).

La construcción de los primeros sistemas de alcantarillado contribuyó al surgimiento de los primeros métodos de depuración y reutilización de las aguas residuales, ya que estos sistemas producían mayor concentración de contaminantes en los ríos, lo cual generaba afectaciones ambientales e higiénicas deplorables por lo que se vieron obligados a la implementación de estas técnicas para solventar dicha problemática.

Con referente a los tratamientos de aguas residuales, a finales de los años sesenta, el desarrollo científico forjó las bases para los tratamientos biológicos convencionales que se utilizan en la actualidad y que son de gran efectividad para esta actividad.

### **2.1.2 Utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.**

A la par de los métodos convencionales también ha venido surgiendo nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales implementando sistemas de humedales artificiales. Estas prácticas datan desde comienzos del siglo. Estudios realizados demuestran que los humedales, turberas y Ciénegas se consideran como los mejores receptores de residuos líquidos, porque poseen una función purificadora importante. ( OPS; OMS, 1999).

Según investigación realizada por Cárdenas (2012), menciona que a inicios de los años 50, los trabajos realizados por K. Seidel, del Max Planck Institute en Alemania empleó humedales de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales. En los siguientes años K. Seidel trabajó junto con R. Kickuth en el avance del sistema denominado como “Root Zone Method”, cuyo funcionamiento aplicaba el flujo subsuperficial horizontal de agua y utilizando arcilla como medio filtrante, más adelante, en 1974 construyó en una

población alemana a escala real el primer humedal artificial europeo aplicando los lineamientos del Max Planck Institute.

Seguidamente en los años 70 y 80 numerosas instalaciones realizadas presentaban dificultades operacionales, lo cual generaba que no se cumpliera en su totalidad la efectividad de estos sistemas debido a la colmatación de sustratos provocado por la implementación del suelo propio como medio filtrante, seguidamente a comienzos de los años 80 se dio solución a este problema al utilizar gravas y gravillas como medio filtrante para generar una efectiva conductividad hidráulica y reducir la colmatación del sustrato, lo que ocasiono un incremento en el establecimiento de esta tecnología.

Desde hace más de un siglo se han estado utilizando plantas para los sistemas de tratamientos de residuos líquidos (fitorremediación) pero en los últimos 10 años este método ha tenido gran acogida para trabajar en asocio con métodos de tratamiento fundamentados en la ingeniería, debido a que pueden ser usadas para la extracción, degradación, estabilización y volatilización de los agentes contenidos presentes en las aguas residuales.

En los últimos años el interés de implementar los humedales artificiales a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales ha sufrido un incremento considerable, ya que según Prado (1997) dentro de sus características principales sirven como sistemas amortiguadores debido a que presenta gran producción de microorganismos que ayudan a la metabolización y transformación de compuestos inorgánicos e orgánicos, también posee la capacidad de adsorción y retención a causa de procesos realizados por la gran cantidad de materia vegetal, que además permite remover contaminantes de diferentes orígenes. Estas características presentes en los humedales artificiales permiten que actualmente sean de

gran importancia en la investigación para el tratamiento de aguas residuales que poseen altos índices de contaminantes como los lixiviados generados por vertederos.

Los sistemas de humedales artificiales se han venido implementando en las últimas décadas debido a su fácil construcción y funcionamiento porque son de muy bajo costo, no generan un gasto energético considerable, demandan poco personal para su mantenimiento y no producen de forma permanente numerosas cantidades de lodos (Torres & Marín Sanabria, 2012).

Los humedales artificiales han sido usados como sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales ya que han demostrado tener la capacidad de recuperación de los recursos, Además han sido utilizados para el tratamiento de diferentes clases de residuos líquidos como aguas lluvia, esorrentía, drenaje ácido de minas, lixiviados de rellenos sanitarios, aguas residuales industriales y alcantarillados (Yang, Chang, & Lo Huang, 2001.).

Durante muchos años, la mejora en la calidad del agua en los humedales naturales ha estado en la mira de muchos científicos e ingenieros, para después implementarla en el perfeccionamiento de los humedales artificiales, duplicando en estos todos los beneficios que posee los humedales naturales como lo son la calidad del agua y el hábitat (US-EPA, 2000a).

### **2.1.3 Utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en Colombia.**

En Colombia se ha ejecutado la construcción de humedales artificiales piloto con caudales y poblaciones de diseño respectivamente pequeñas, dirigidas fundamentalmente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el año 1997, en la ciudad de Tunja, (Lara) Montó un humedal de flujo subsuperficial, usado como una técnica de tratamiento adicional de agua residual doméstica, tratada primeramente en un reactor anaerobio UASB, manejando el sistema durante un tiempo aproximado de dos años, mostrando especificaciones con tiempos de retención entre 0,9 días y 3 días, presentaba un caudal promedio de 2,2 m<sup>3</sup>/d, la vegetación macrófita utilizada fue (junco y *Typha domingueis*).

En el año 2004, la Universidad Javeriana construyo sistema piloto que consistía en un humedal de flujo subsuperficial el cual manejaba un caudal promedio de 1,34 m<sup>3</sup>/d y era antecedido de un tanque séptico prefabricado, manejado con un tiempo de retención hidráulica de 1,6 días (Corrales D & Rodríguez M, 2004).

En el año 2009, para el tratamiento complementario de aguas residuales domesticas en la vereda Bananera ubicada en el municipio de Pereira fueron usados 4 humedales de flujo subsuperficial construidos a escala real con área de 90 m<sup>2</sup> cada uno, apoyando como tratamiento secundario de un sistema de tanque séptico y un filtro anaerobio. Estos humedales artificiales fueron expuestos a un caudal medio de 0,27 L/s y utilizando un tiempo de retención de hidráulica de 1,23 días (Arroyave & Castaño, 2010).

La Universidad Nacional, en la ciudad de Bogotá, ha trabajado un prototipo de humedal artificial de configuración simple y eficiente, cuyas funcionalidades involucran un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de flujo a pistón, seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por macrófitas nativas y comunes establecidas sobre sustrato de material plástico reciclado con un diseño especial de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de superficie específica, el cual es llamado “HUMEDAR – I ®” (Díaz A, 2014).

Según Díaz & Romero (2013) se diseñó, construyó y monitoreó un humedal piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Escuela Colombiana de Ingeniería de la ciudad de Bogotá cuyo sistema consistía en un medio de carbón mineral y una vegetación macrófita ornamental (*Zantedeschia aethiopica*).

## 2.2 Marco contextual

Ocaña es un municipio colombiano del departamento de Norte de Santander, está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km<sup>2</sup>, los cuales representan el 2,2% del departamento. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km<sup>2</sup>. Posee una altura máxima de 2.065 m sobre el nivel del mar y una mínima de 761 m sobre el nivel del mar, con una extensión total 672.27 km<sup>2</sup> y su temperatura media es de 22°C (Alcaldía de Ocaña, Norte de Santander). La provincia cuenta con una seccional de La Universidad Francisco de Paula Santander, donde se encuentra ubicada específicamente a 2,8 Km del casco urbano. La ciudad posee una población según la proyección del DANE de 90.037 habitantes (Censo 2005)

El proyecto se ejecutará en la UFPSO, cuya aguas residuales a tratar son producidas por los sanitarios, laboratorios, restaurante y cafeterías de esta institución; siendo conducidas a un vertimiento puntual situado detrás del restaurante, donde se desarrollará por medio de fitorremediación y así tener una solución eficaz para reducir la carga contaminante de los residuos líquidos; facilitando su uso para la aspersión de plantas ornamentales y que estos residuos sean vertidos con una mínima carga contaminante válidos por la normatividad actual.

### 2.3 Marco conceptual

El Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible mediante la resolución 1541 (2013), define los siguientes conceptos que son en los que se deben tener claridad en la línea de investigación sobre el tratamiento de las aguas residuales:

Los cuerpos de aguas son sistema de origen natural o artificial localizado sobre la superficie terrestre conformado por elementos físicos, bióticos, masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento.

Según la revista colombiana de biotecnología (2016) Las aguas residuales son aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas, en los asentamientos poblacionales.

Conforme en la resolución 0631 de 2015 las aguas residuales se dividen en aguas residuales domesticas (ARD) y no domesticas (ARnD). Las **ARD** son procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que corresponden a:

1. descargas de los retretes y servicios sanitarios.
2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pesetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

Las ARnD son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintos a las que constituyen aguas residuales domesticas - ARD

#### **2.3.1 Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales.**

##### **Características Físicas**

Según (ETAP) la característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

Los sólidos totales es la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103° y 150°C. No se define como solida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/l y constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de materia orgánica. El olor más característico del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrogeno (huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

La Temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

El color en las aguas residuales suele tener un color grisáceo; al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a

las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro.

La turbiedad es la presencia de sólidos coloidales le da al líquido una apariencia nebulosa que es poco atractiva y puede ser dañina. La turbiedad en el agua pueden causarla partículas de arcilla y limo, descargas de agua residual, desechos industriales o a la presencia de numerosos microorganismos.

### **Características químicas**

Son útiles no solo para evaluar las características de un vertido, sino también para hacer un seguimiento de las unidades de depuración, entre estas características tenemos la demanda de oxígeno donde los compuestos orgánicos pueden oxidarse biológica o químicamente para obtener productos finales estables, tales como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3\text{H}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . El contenido orgánico de un agua residual puede expresarse en función de la cantidad de oxígeno que se requiere para su oxidación (Mendez Pampín, Vidal Sáez, & Lorber, 2007)

La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con un exceso de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) en presencia de sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercuríco ( $\text{HgSO}_4$ ) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente (IDEAM, 2007).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C (IDEAM, 2007).

### **Características microbiológicas.**

Según Vargas (1996) denomina las aguas residuales a las aguas que fundamentalmente contienen los productos de excreción, provenientes de las actividades fisiológicas de las personas, los que son eliminados con las materias fecales y la orina. Las aguas negras, especialmente las de origen domésticos e industrial albergan bacterias, virus y otros organismos microscópicos, así como una gran variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas que son dañinas. El desarrollo y tipo de bacterias están relacionados directamente con la naturaleza de la materia orgánica. Estas bacterias pueden ser perjudiciales, útiles o inofensivas al hombre.

Los microorganismos son organismos que, por su pequeño tamaño, son imperceptibles al ojo humano y se necesita de un microscopio para poder verlos, en este grupo se incluyen bacterias, mohos, protozoos, algunas algas y virus.

Los organismos patógenos es toda entidad biológica capaz de producir enfermedades o daños a la biología de un huésped. Entre los organismos patógenos presentes en las aguas residuales están las bacterias, virus y protozoarios (Ecured, 2016).

Según (Vega) los organismos indicadores es un organismo que por medio de su presencia permite identificar o determinar la existencia de un organismo patógeno, normalmente se utilizan para determinar el grado de contaminación de las aguas, entre

algunos organismos indicadores en las aguas están los coliformes totales, coliformes fecales y enterococos.

### **Investigación de macrófitas para tratamientos de aguas residuales.**

Las macrófitas llamadas también plantas acuáticas, cumplen una función importante en los ecosistemas acuáticos ya que brindan directa o indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para muchos organismos de estos ecosistemas. Estas plantas suelen ser ventajosas para el ser humano, ya que sirven de sustento y se usan en procesos de biorremediación, siendo materia prima para la industria, ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis. En algunos cuerpos de agua artificiales podrían crear problemas, porque pueden interferir con el uso que le da el hombre a esa agua al obstruir su flujo o la navegación y al crear ambientes propicios para plagas, enfermedades y vectores que afectan la salud humana (Arroyave M. d., 2003).

### **Humedales artificiales**

Según el Convenio (Ramsar, 1971) un humedal es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan.

Se consideran humedales, "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros".

En los humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos adaptados a estas condiciones de inundaciones temporales y/o permanentes. En este tipo de ecosistema se desarrollan también determinados procesos

físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos.

Básicamente, los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales.



Figura 1. Esquema general del funcionamiento y elementos de un Humedal Artificial (Remtavares, 2013).

Principalmente están compuestos por:

Un sustrato o material granular: sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.

La vegetación: principalmente compuesta por macrófitas emergentes que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la rizósfera, a la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana.

Los mecanismos por los que este tipo de sistemas son capaces de depurar las aguas residuales se basan en los siguientes principios:

Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.

Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O<sub>2</sub>) o anaerobios (sin O<sub>2</sub>).

Eliminación de nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.

Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.

Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

Existen diferentes tipos de humedales artificiales en función del sentido de circulación del flujo de agua:

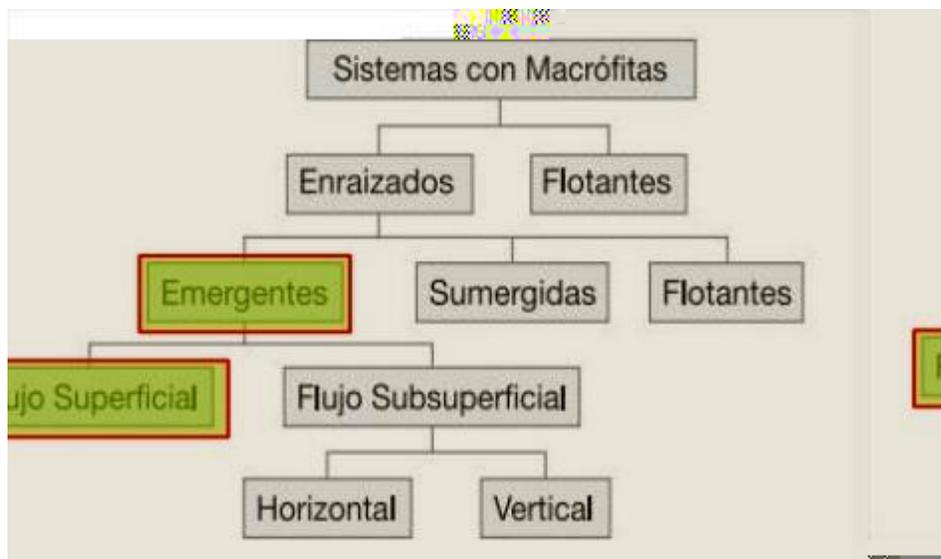


Figura 2. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.

### Humedal artificial de flujo superficial

Según (ÑIQUE ÁLVAREZ, 2004), Consta de un fondo formado por un suelo impermeable y con la superficie de agua expuesta a la atmosfera, con niveles de profundidad bajos que van de entre 0.1 a 0.6 metros y el cual contiene vegetación emergente. El tratamiento se produce durante la circulación lenta del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación.

De acuerdo con (CIEMA, 2015), basados en el tipo de macrófitas, este sistema se puede dividir en:

**Sistemas con macrófitas flotantes:** Formados por cuerpos hídricos con reducidos niveles de agua, los cuales poseen especies macrófitas flotantes en la superficie y cuyas raíces sumergidas presentan un significativo desarrollo.

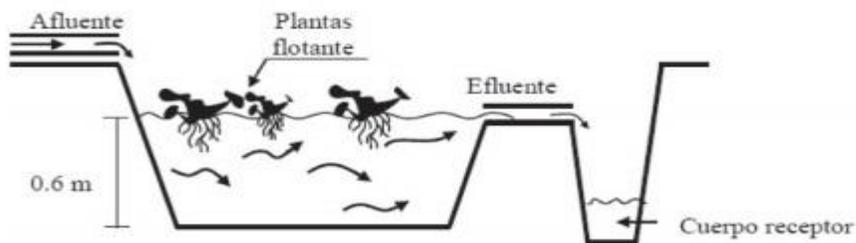


Figura 3. Humedal de flujo superficial con macrófitas flotantes (CIEMA, 2015).

**Sistemas con macrófitas sumergidas:** compuestos por lagunas con bajo nivel de agua y plantadas con plantas macrófitas cuyo tejido fotosintético está totalmente sumergido. Estas plantas solo crecen bien en aguas que contienen oxígeno disuelto, por lo cual no se utilizan para aguas residuales con alto contenido de materia orgánica biodegradable ya que la descomposición microbiana provoca condiciones anóxicas.

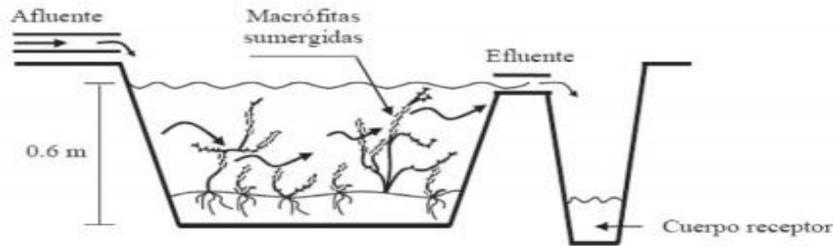


Figura 4. Humedal de flujo superficial con macrófitas sumergidas

**Humedales artificiales de flujo subsuperficial:** Este sistema reside en un filtro biológico relleno de un medio poroso (por ejemplo, piedra volcánica, grava), donde las plantas macrófitas se siembran en la superficie del lecho filtrante y las aguas residuales pretratadas atraviesan de forma horizontal o vertical el lecho filtrante, en el cual el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular. Estos humedales se clasifican a su vez en humedales artificiales de flujo horizontal y humedales artificiales de flujo vertical, según la manera como las aguas residuales pretratadas atraviesen el lecho filtrante.

En la mayoría de los casos se usan para el tratamiento de aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2000 habitantes. En función del sentido del flujo, pueden ser horizontales o verticales.

#### **Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical**

El agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen incluir chimeneas de aireación para favorecer las condiciones aerobias. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación, entre otros.

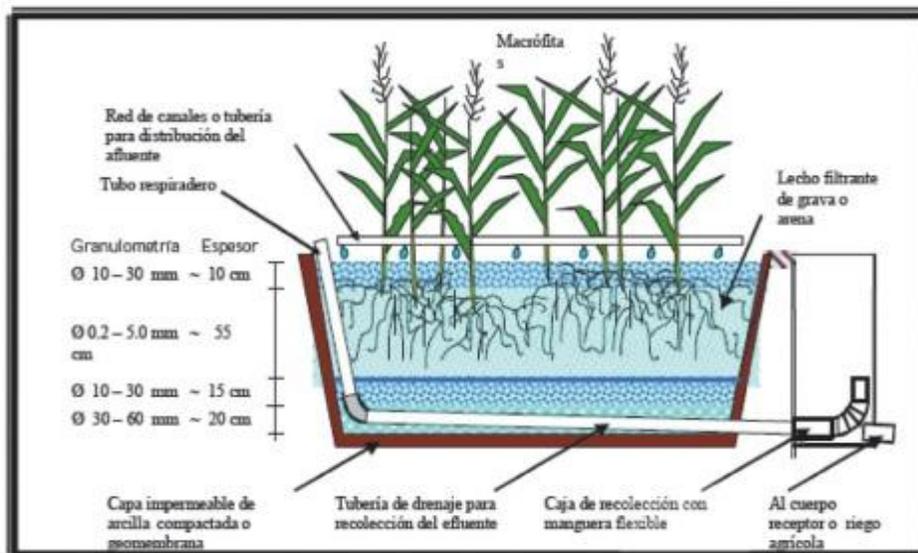


Figura 5. Humedal subsuperficial de flujo vertical (CIEMA, 2015)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal: el agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación, entre otros.

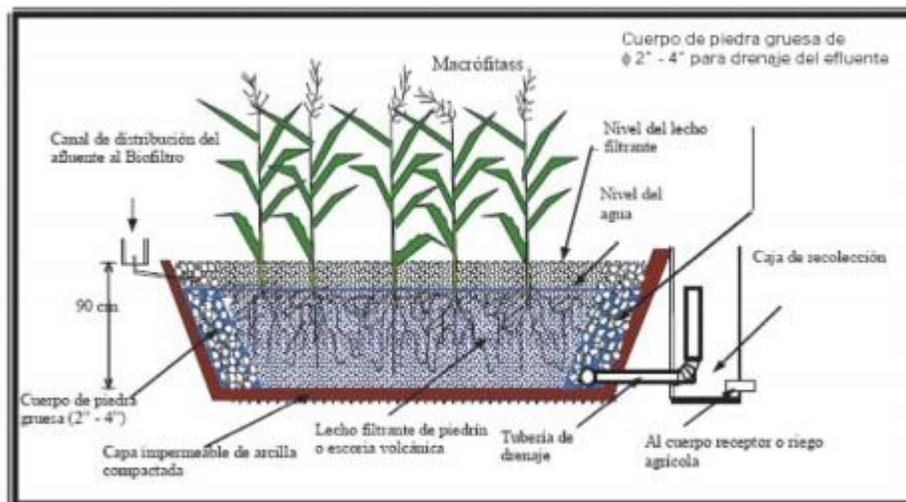


Figura 6. Humedal subsuperficial de flujo horizontal (CIEMA, 2015)

La elección de instalar un tipo de humedal frente a otro radica en la composición de las aguas residuales. En muchas ocasiones se utiliza una combinación de diferentes tipos de

humedales. Por ejemplo, si queremos eliminar nitrógeno lo más conveniente sería hacer pasar el agua residual primero por un humedal de flujo subsuperficial vertical (nitrificación) y después por un humedal de flujo subsuperficial horizontal (desnitrificación) (iAgua).

#### 2.4 Marco teórico

##### **Contaminación por aguas residuales en Colombia y acciones para reducir la problemática.**

La calidad del agua es un factor que restringe la disponibilidad del recurso hídrico y limita su uso. El aumento en la demanda de agua tiene como efecto un incremento en el volumen de las aguas residuales, cuya descarga, sin una conveniente recolección, evacuación y tratamiento, perjudica la calidad del recurso hídrico y favorece con los problemas de disponibilidad de agua.

Según Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004), en Colombia se han generado, en forma continua e incremental, problemas de salubridad y de calidad del recurso hídrico en diversas regiones, Debido a la incorrecta o inexistente recolección, tratamiento y disposición de los vertimientos producidos por actividades como la industria, el sector agropecuario, y de origen doméstico, La situación empieza a ser insostenible, en la medida en que los cuerpos receptores alcanzan su capacidad de asimilar estos contaminantes, y tiene como resultado la alteración de la calidad del agua para su uso posterior, lo cual adiciona un costo agregado para su descontaminación.

Con el propósito de ampliar la cobertura de saneamiento básico y reducir los impactos sanitarios y ambientales más significativos, El Gobierno Nacional ha adelantado varias acciones para conseguir este fin. En este contexto, se han desarrollado y efectuado diferentes instrumentos y estrategias, entre las cuales sobresalen: la política de agua potable

y saneamiento básico, con metas específicas para el ampliación de la cobertura de acueducto y alcantarillado; la política ambiental, en cuyo marco se han desarrollado instrumentos económicos como la tasa retributiva, y los diagnósticos, guías y modelos de priorización para la gestión de aguas residuales; y el establecimiento de agendas conjuntas entre los Ministerios.

También se debe destacar la labor de algunas AAR y de los municipios en la construcción de la infraestructura en saneamiento básico y de sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR), lo cual ha apoyado al fortalecimiento de la gestión para la descontaminación del recurso hídrico.

Aunque con énfasis en el Uso Eficiente y Ahorro del agua la ley 373 de 1997, favorece de manera indirecta a la reducción en la generación de vertimientos y promueve el desarrollo del reúso de las aguas residuales como una opción de bajo costo que debe ser valorada.

#### **Afectaciones producidas por las aguas residuales.**

La disposición de las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento genera impactos negativos sobre el medio ambiente principalmente cuerpos de agua, flora, fauna y suelo, los cuales afectan considerablemente el componente social, ya que disminuye los servicios prestados por el ambiente y así minimiza el factor económico provocando reducción en la calidad de vida.

Seguidamente se mencionan las principales afectaciones que traen consigo las aguas residuales al ambiente y se hace una relación con las consecuencias económicas negativas producidas.

**Tabla 1.**

*Afectaciones ambientales y económicas producidas por las aguas residuales y su relación*

<b>AMBIENTAL</b>	<b>ECONOMICA</b>
Asfixia en peces.	Cambios en la biomasa, traducida como pérdida del alimento de especies
Incremento temporal del plancton.	comerciales.
Reducción de la productividad primaria neta.	
Reducción de la producción de zooplancton y bentos.	
Disminución de cantidad y calidad del alimento de peces	Estimación de cambios en la disponibilidad de organismos con valor de mercado o valor de sustitución.
Proliferación de parásitos en peces	
Daño en los órganos de los peces	
Reducción de la tasa de crecimiento y talla de los peces	Pérdida de ingresos por la actividad pesquera.
Suspensión del desarrollo de los huevos y larvas de peces	Pérdida de ingresos en empresas subsidiarias de la pesca
Reducción fecundidad y reproducción de peces	

Pérdida del stock natural	Contaminación de sedimentos
Reducción de organismos de talla comercial	
Contaminación de sedimentos	Costos de limpieza o rehabilitación
Modificación del nado de los peces, movimientos naturales y patrones de migración.	Pérdida de especies comerciales y los ingresos asociados a su pesca.
Desaparición de hábitats de distintas especies.	Pérdida de empleos.
Desaparición de nichos o funciones de los organismos.	Pérdida de recreación.
Movimiento de las poblaciones de peces a áreas de menor contaminación.	Pérdida de ingresos por adquisición de bienes sustitutos de la pesca de autoconsumo.
Incremento de la vulnerabilidad por competencia por espacio y alimento en zonas limpias.	
Modificación de la cadena trófica.	

---

Acortamiento de la cadena trófica.

Modificación de las comunidades biológicas.

Pérdida local de especies sensibles.

Proliferación de especies tolerantes.

Pérdida de la diversidad biológica local.

Desaparición de organismos comerciales.

Incremento de la vulnerabilidad de las especies endémicas o amenazadas.

---

Impactos sobre aves migratorias.	Costos de recuperación de condiciones de calidad requerida por las especies.
----------------------------------	--

---

Incremento de la materia orgánica disponible en las zonas riparias.	Diferencias de productividad de las tierras de cultivo o su deterioro
---	---

---

Producción de fitotoxinas.	Incremento de costos por mayor nivel de desinfección del agua
----------------------------	---

---

Deformaciones en distintos grupos Cambios	Efectos potenciales a la salud, traducidos
---	--

---

---

genéticos.	como costos de tratamiento médico.
Efectos como enanismo o baja talla comercial.	Rechazo de los productos en el mercado, pérdida del valor de la captura.
Propagación de enfermedades.	Pérdida de empleos e ingresos por pescadores.

---

Disminución de la resiliencia del ecosistema o capacidad de recuperar sus condiciones iniciales debido a los impactos acumulativos y residuales (contaminantes sin tratamiento).	Inversiones a largo plazo para la rehabilitación de ríos, lagos embalses, así como para la protección o descontaminación de agua subterránea.
--	---

---

**Nota:** esta tabla nos muestra los diferentes tipos de afectaciones producidas por las aguas residuales tanto en el ámbito ambiental como en el económico y la relación directa que existe entre los dos.

Otro tipo de afectación al medio ambiente son la generación de olores ofensivos, estos se dispersan en el aire ocasionando reducción en la valorización predial además de reducir la calidad de vida de la población.

Dentro de la problemática a causa de las aguas residuales tenemos las afectaciones a la salud, entre las más comunes según Tolcachier (2004) se encuentran: la diarrea, la poliomieltis, la hepatitis A y E, la fiebre tifoidea y la meningitis, de estas afecciones las más habitual es la de tipo diarreica, ya sea viral, bacteriana o por protozoos. Otro tipo de enfermedades se produce por origen vectorial como la fiebre amarilla, la malaria, dengue,

la leishmaniasis, filariosis de Bancroft, entre otras; por último, se tienen las enfermedades ocasionadas por la falta de higiene que se desarrollan en ambientes insalubres o donde el agua no recibe el tratamiento adecuado y se ven imposibilitadas las actividades de limpieza corporal y general, originando lepra, dermatitis, tracoma, tuberculosis entre otras.

**Fitorremediación como tecnología alternativa para tratamiento de aguas residuales.**

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. Las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención o eliminación dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del territorio y el nivel de limpieza requerido. (Thangavel & Subhram, 2004). En la tabla N°2 se observan los distintos mecanismos de fitorremediación.

**Tabla 2.***Mecanismos de fitorremediación*

PROCESO	DEFINICIÓN	MECANISMO	CONTAMINANTES
<b>FITOSTABILIZACIÓN</b>	Según Barton y Otros (2005), este proceso minimiza la movilidad de los contaminantes e impide su traslado al aire o las aguas subterráneas, ya que permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera.	Complejación.	Orgánicos e inorgánicos
<b>FITOEXTRACCIÓN O FITOACUMULACIÓN</b>	Se da cuando las raíces de las plantas absorben los metales contaminantes y los acumulan en los tallos y las hojas de las mismas.	Hiperacumulación.	inorgánicos

**FITOVOLATILIZACIÓN**

Los árboles y plantas observen agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos a medida que van creciendo.

Según Prasad y Freitas (2003) estos contaminantes absorbidos pueden volatilizarse o evaporarse en la atmosfera cuando llegan a las hojas.

Ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación se producen compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, lo cual provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes. (Carpena & Bernal, 2007).

Volatilización a través de las hojas. Orgánicos e inorgánicos

**FITOINMOVILIZACIÓN**

Volatilización a través de las hojas. Orgánicos e inorgánicos

## FITODEGRADACIÓN

Según Singh & Jain (2003),

Las plantas y los

microorganismos asociados a

ellas degradan los

contaminantes orgánicos en

productos inofensivos, o bien,

mineralizarlos hasta CO<sub>2</sub> y

H<sub>2</sub>O. En este proceso los

contaminantes son

metabolizados dentro de los

tejidos vegetales y las plantas

producen enzimas como la

dehalogenasa y la oxigenasa,

que ayudan a catalizar la

degradación.

Uso de plantas y

microorganismos

asociados para

degradar

contaminantes.

Orgánicos

## RIZOFILTRACIÓN

Según Dushenkov, Kumar, Motto & Raskin (1995), Para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz, utiliza las plantas, las cuales se cultivan de manera hidropónica para el proceso de rizofiltración. Las plantas se introducen en el agua contaminada cuando el sistema radicular está bien desarrollado para que estas puedan absorber y acumular los contaminantes.

Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua.

Orgánicos e inorgánicos

---

**Nota:** En la tabla se definen los mecanismos de fitorremediación; que mecanismo implementa y que contaminante impacta.

Cada mecanismo se diferencia de los demás dependiendo el tipo de contaminantes que controla, absorbe, degrada, elimina o metaboliza, pero esencialmente por la característica del proceso y por la parte física de la planta que actúa en él. En la figura N°3 se observan los mecanismos de fitorremediación, y como es su función dentro de la especie vegetal.

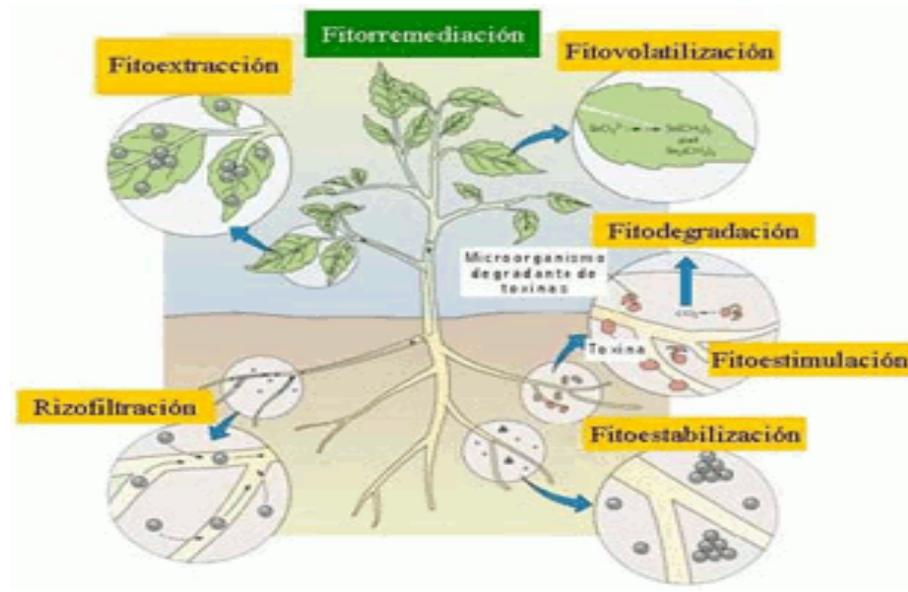


Figura 7. Mecanismos de la fitorremediación en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso. Fuente: (Lezama, 2013).

#### Investigaciones sobre las especies vegetales utilizadas

En esta investigación se pretende utilizar las especies vegetales *Juncus effusus* y *Lemna minor*, las cuales ayudarán a generar soluciones a los impactos negativos producidos por las aguas residuales generadas por las actividades de la UFPSO, ya que son especies nativas de la zona por lo tanto se adaptan fácilmente a las condiciones que está presente, en sus características y propiedades muestra un alto porcentaje de remoción, es fácil de conseguir y a muy bajo costo, lo cual es necesario para la realización del proyecto.

La especie *Juncus effusus* es una plantas herbáceas, anuales o perennes que poseen tallos cilíndricos, rizomas corto-ramificados, perennes de aspecto robusto, lisos o ligeramente estriados, sin hojas, erectos, de color verde pálido. Tiene la médula interior continua. No tiene hojas. Las vainas basales son de color marrón rojizo, mates. Puede crecer aisladamente o formando grandes agrupaciones espesas. Forma rizomas vigorosos, mediante los que se esparce. Las inflorescencias que aparecen entre primavera y verano son

abiertas y ramificadas, de verde pálido o marrones. Es de fácil implantación (vivers, Carex).




---

#### CLASIFICACIÓN

---

Reino	Plantae
División	<u>Magnoliophyta</u>
Clase	<u>Liliopsida</u>
orden	<u>Cyperales</u>
Familia	Poaceae
Genero	Juncus
Especie	<i>Juncus effusus</i>

---

Figura 8. Clasificación taxonómica de la especie *Juncus effusus*.

La especie *Lemna minor* es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledónea, perteneciente a la familia Lemnaceae. Su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco. El tallo ha sido interpretado de diversas maneras: un tallo modificado, una hoja o como parcialmente tallo y

hoja (Cook & Gut, 1974), Su tamaño es muy reducido, alcanzando de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho.

Según Armstrong (2003) La lenteja de agua es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo, el periantio está ausente. Las flores nacen de una hendidura ubicada en el borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del orden arales, el fruto contiene de 1 a 4 semillas. Su distribución es universal. Se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios norte y sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Se encuentra principalmente Escuela de Ingeniería de Antioquia 35 en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados.

La especie *Lemna minor* cuenta con las características que debe tener una planta acuática empleada para el tratamiento de aguas residuales como la eficiencia en la eliminación de nutrientes y contaminantes, fácil cosecha, gran predominancia en circunstancias naturales adversas y alta productividad, (Olguin & Hernandez, 1998).

Chará (1998) reporta una disminución en la demanda bioquímica de oxígeno de 247 a 149 mg/l y una reducción en los sólidos suspendidos totales de 214 a 58 mg/l en una granja porcina en el Valle del Cauca utilizando un sistema de tratamiento con esta especie. Es recomendable utilizar la especie *Lemna Minor* cuando su tamaño sea aproximadamente de 3 a 4mm y 2mm de ancho ya que en este estado demanda más nutriente para lograr su reproducción.



Clasificación	
Reino	Plantae
División	Fanerógama
	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Tribu	Lemneae
Genero	Lemna
Especie	<i>Lemna minor</i>

Figura 9. Clasificación taxonómica de la especie *Lemna Minor*

## 2.5 Marco legal

En la constitución Política de Colombia de 1991, se establecieron herramientas para la protección del medio ambiente y sus recursos naturales, permitiendo tomar disposiciones de acuerdo con las políticas ambientales que se encuentran cobijadas en la legislación ambiental.

A continuación, se mencionarán algunos artículos que sujeta la constitución:

Artículo 8. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Artículo 313. Corresponde a los concejos municipales dictar las normas necesarias para el control, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural del municipio.

Entre el reglamento para la conservación, manejo y protección del recurso hídrico hallamos:

---

#### **LEYES (Poder Legislativo)**

---

<b>Ley 23 de 1973</b>	Por medio el cual se plantea la necesidad de proteger los Recursos Naturales Renovables y especifica los límites de contaminación.
<b>Ley 9 de 1974</b>	Código sanitario nacional
<b>Ley 99 de 1993</b>	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).

---

#### **DECRETO (Poder ejecutivo)**

---

<b>Decreto Ley 2811 de 1974</b>	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
<b>Decreto 1594 de 1984</b>	Usos del agua y residuos líquidos. Capítulo IV de los criterios de calidad para destinación del recurso teniendo en cuenta parámetros

específicos del recurso hídrico, además se consideran las sustancias de interés sanitario (Artículo 20).

**Decreto 901 de  
1997**

Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas

**Decreto 1449 de  
1997**

Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.

**Decreto 3100 de  
2003**

Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones

**Decreto 3200 del 29  
de agosto de 2008**

Por el cual se dictan normas sobre Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento y se dictan otras disposiciones.

**Decreto 3930 del 25  
de octubre de 2010**

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI del decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

**Decreto 4728 del 23  
octubre de 2010**

El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Por el cual se hacen algunas modificaciones al decreto 3930 de 2010, en especial a la fijación de la norma de vertimientos, el protocolo para el monitoreo de los vertimientos en aguas

superficiales y subterráneas, y sobre el plan de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos

Por el cual se adopta el formato del reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.

**Decreto 0075 del 24  
de enero de 2011**

Se toma como base este documento para la realización de un nuevo formato en donde se reporte el estado del recurso para cada muestra que se realice durante el proyecto, ya sea antes o después del sistema de tratamiento piloto.

Se toma como base este documento para la realización de un nuevo formato en donde se reporte el estado del recurso para cada muestra que se realice durante el proyecto, ya sea antes o después del sistema de tratamiento piloto.

**Decreto 303 del 6  
de febrero de 2012**

El presente decreto reglamenta el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico para el componente de concesión de aguas y el componente de autorizaciones de vertimientos.

---

### **RESOLUCIONES (Autoridad Ambiental)**

---

Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico.

**Resolución 151 del  
2 de marzo de 2001**

Las disposiciones contenidas en la presente resolución aplican a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo; a las actividades complementarias de éstos y a las actividades que realizan los prestadores de los mismos en los términos de la ley 142 de 1994.

- Resolución 1433 de 2004** Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones.
- Resolución 2145 de 2005** Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.
- Resolución 1303 del 17 de abril de 2008** Por la cual se adopta un método para análisis microbiológico de aguas para consumo humano validado por el Instituto Nacional de Salud
- Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015** Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Igualmente se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios.
-

## **Capítulo 3: Diseño Metodológico**

### **3.1 Tipo de Investigación**

Según (Tamayo, 2014) el concepto de investigación científica es un proceso mediante el cual se hace la aplicación del método científico con la finalidad de adquirir información relevante y fehaciente para comprobar, entender, corregir o utilizar el conocimiento.

Basados en este tema, la investigación es dirigida a diseñar un sistema que nos permita la descontaminación de las aguas residuales generadas en la UFPSO y evaluarlo para determinar si su efectividad ayuda a mitigar los impactos negativos generados por esta problemática. Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010), la investigación científica se logra presentar mediante la aplicación de estas tres formas: cualitativa, cuantitativa y mixta, por lo tanto usaremos para este proyecto la forma cuantitativa, puesto que los parámetros a calcular en el afluente y el efluente del sistema de tratamiento arrojarían resultados de representación numérica y con ellos calcularíamos la efectividad del sistema de tratamiento de aguas residuales.

La alineación de este proyecto se define como una investigación cuantitativa. Para este caso la investigación es de tipo descriptiva, debido a que presenta muchos enlaces que buscan describir y puntualizar el proceso de fitorremediación que estamos analizando; y a si mismo obtener las relaciones que existen entre las variables que trataremos en la ejecución del proyecto.

Basados en la finalidad o propósito buscada, se cataloga como investigación aplicada, puesto que el primordial interés es conocer principalmente los resultados prácticos y con esto buscamos solucionar una problemática, como lo son los vertimientos de aguas residuales sin su respectivo tratamiento.

El diseño metodológico acoge la investigación experimental, lo que quiere decir, que, para realizar la evaluación de este sistema, se manejan indirectamente distintas variables independientes, para examinar los efectos que la manipulación presenta sobre la variable dependiente en un estado de control.

Para la realización del proyecto se seguirán tres fases las cuales se definirán continuación:

**FASE 1:** Se efectúa el diseño apoyado en una investigación bibliográfica referente a humedales artificiales y las especies vegetales; se estipulan los materiales a emplear, el tipo de sustrato, dimensiones, volumen de agua a tratar y tiempo de retención.

Basados en la revisión bibliográfica y del estado del arte sobre el empleo de los humedales artificiales en los tratamientos de aguas residuales y las especies vegetales más utilizadas en los procesos de fitorremediación, con la finalidad de determinar las dimensiones del humedal, los materiales para su construcción, los sustratos a emplear, la cantidad de agua a tratar y el tiempo de retención. Ya determinado el diseño, y para plasmar su construcción y obtener la salida gráfica del mismo, se hace plano en un software libre (AutoCAD).

**FASE 2:** Se evalúa el sistema piloto analizando el nivel de contaminación del afluente y el efluente del humedal artificial durante el proceso descontaminación de las aguas residuales.

Consiste en conocer los parámetros fisicoquímicos instituidos en la resolución 0631 de 2015 en el afluente y el efluente del humedal artificial ya construido, con la finalidad de evaluar el sistema durante su operación en la descontaminación de aguas residuales.

Para este trabajo se determina como variable dependiente el porcentaje de remoción del sistema de humedal artificial de flujo superficial utilizando las especies vegetales *Juncus effusus* y *Lemna minor*; a su vez se definen como variables independientes el volumen y forma del recipiente, tiempo de retención dentro del sistema, la cantidad y tipo de sustrato y el volumen de agua residual a utilizar, siendo 25 litros el más indicado para la investigación según un estudio realizado por (Velez & Sanchez, 2015) para este mismo tipo de aguas residuales y aplicando la fitorremediación.

De esta forma se definen tres (3) valores para la variable independiente tiempo ( $T_1$ ,  $T_2$  Y  $T_3$ ), logrando así que la combinación de estas con el volumen de agua residual ya establecido (V), permita tres (3) posibles mediciones como lo muestra la tabla No 3.

**Tabla 3.**

*Mediciones según las posibles combinaciones de las variables*

MEDICION	VOLUMEN	TIEMPO DE RETENCION
Medición 1	V	$T_1$
Medición 2	V	$T_2$
Medición 3	V	$T_3$

**Nota.** Las mediciones que se realizan se consideran para la evaluación del agua residual en el afluente y el efluente del humedal artificial de tipo superficial.

Las mediciones realizadas deberían mostrar múltiples resultados en cuanto al porcentaje de remoción efectuado por el humedal; apoyados en estos resultados se puede determinar cuál de las características es más efectiva para la remoción de los contaminantes

del agua residual y también ratificar cual es el tiempo óptimo donde labora mejor este sistema.

**FASE 3.** En la fase final, se comprueba la efectividad del sistema apoyándose en la valoración de los niveles de remoción de contaminantes presentes en el agua residual por parte de las especies y la combinación de estas.

Teniendo en cuenta los resultados adquiridos en las pruebas de laboratorio, se determina los niveles de remoción de contaminantes en el humedal artificial. De esta forma se conoce el grado de efectividad en la remoción de contaminantes por parte de las especies investigadas y la combinación de estas, así mismo basándose en el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015, la cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales de acuerdo con la actividad realizada y la normatividad vigente asociada.

### **3.2 Población**

Para la realización de esta investigación se definen las aguas residuales como unidad de análisis; donde las aguas residuales procedentes de las actividades del campus universitario son definidas como la población total.

Se pretende caracterizar las aguas residuales servidas dentro de la institución, debido a que estas son la unidad de análisis en la investigación, sin embargo, se torna compleja la cuantificación total de ellas, pues no existe ningún estudio o tipo de medidor que me permitan determinar los vertimientos generados diariamente por las actividades realizadas por cerca de 6800 personas aproximadamente, pertenecientes a la UFPSO.

### 3.3 Muestra

Para conocer las actividades que producen las aguas residuales, es importante determinar el tipo de contaminantes que presenten estas aguas, ya que están directamente relacionadas entre sí, por lo tanto, debemos reconocer el origen del agua residual que emplearemos para nuestro humedal artificial.

Para obtener una mayor efectividad se debe estimar los efectos más importantes que ocurren en el proceso de tratamiento de aguas residuales, se opta por elegir el tipo de muestreo simple, ya que no sucederá una variación de los contaminantes mediante el tiempo de duración de este, por lo tanto, las características de su composición permanecerán iguales al momento de las descargas instantáneas que se harán en la ejecución del mismo.

La muestra de la población, es el vertimiento puntual situado detrás del restaurante, debido a que este punto es el que recoge la mayor cantidad de residuos líquidos de esta institución, ya que según el plano de la red sanitaria, logramos establecer que las aguas residuales conducidas hacia este sitio de recolección son producto de la zona de centro de estudios y postgrados, las cafeterías, sanitarios, bebederos, lavamanos y los laboratorios de ictiología, química y biología, lo que la hace un lugar importante para el momento de la toma de muestras. Para la toma del volumen se debe tener en cuenta que la universidad debe estar efectuando la mayoría de sus actividades, puesto que así lograremos obtener mayor número de contaminantes que esta institución genera.

Luego de reunir el volumen de agua necesario para en tratamiento, se toma una muestra simple del agua residual antes de pasar por el sistema de tratamiento y es transportada al laboratorio de aguas perteneciente a la UFPSO, para así, poder analizar los

parámetros fisicoquímicos que presenta la muestra. Seguidamente, se toma una muestra simple del efluente del sistema de tratamiento para efectuar los mismos análisis, para posteriormente realizar una comparación y en último lugar saber el nivel de remoción de cada parámetro.

Regidos por el RAS 2000 en su sección II título E capítulo E2 (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000), el personal encargado del proyecto son los designados para realizar la toma de muestras, mediante el procedimiento señalado por esta normativa, en la cual se establece la recolección y preservación de estas; se deben ejecutar mediante rótulos, cantidad, recipientes para la muestra, preservación y parámetro mínimos de calidad.

En cuanto a la toma de muestras de aguas residuales, también se toma como referencia el instructivo para esta actividad establecida por el IDEAM (2007), donde se estipulan las exigencias en cuanto a personal, materiales y equipos para la toma de muestras, así como el adecuado procedimiento que se debe seguir.

Al momento del etiquetado se debe realizar una correcta caracterización de las muestras y utilizar un cuaderno de campo, ya que según Geta, Merino y Martínez (1997) afirman que debido a la incorrecta identificación de las muestras ocurre un elevado porcentaje de errores.

### **3.4 Recolección de información**

La recolección de información se basa en el cálculo de las variables (2014), en el cual un grupo de investigadores especializados permiten ejecutar y usar procedimientos estandarizados. Para calcular los parámetros de las aguas residuales se desarrollan prácticas

de laboratorio que se hace de acuerdo con lo establecido en el Standard Methods, donde es inspeccionada y admitida para esta clase de estudios.

En la efectuar el muestreo se debe tener en cuenta que cada botella debe ir con su etiqueta y que se debe organizar los reactivos, como lo es también tener los materiales necesarios.

Para el estudio de los demás parámetros (pH, DQO, DBO<sub>5</sub> SST, grasas y aceites, fosfatos, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, aluminio, cobre, hierro, sulfato y color real) se procede a tomar el volumen de agua residual necesario (2 litros), el cual se traslada de forma rápida al laboratorio de aguas de la universidad para su respectivo estudio.

Según lo señalado en la resolución 0631 de 2015 y el decreto 1594 de 1984 los parámetros fisicoquímicos en la calidad del agua que se analizan en esta investigación son los relacionados en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Parámetros fisicoquímicos que se analizan a las muestras de agua residual*

RESOLUCIÓN 0631 DEL 17 DE MARZO DE 2015	“Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial.” Artículo 15	
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>

---

**Generales**

pH	Unidades de pH	6,0 a 9,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	50
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50
Grasas y aceites	mg/L	20.00

---

**Compuestos de Fósforo**

Fosfatos	mg/L	Análisis y Reporte
----------	------	--------------------

---

**Compuestos de Nitrógeno**

Nitratos	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total	mg/L	Análisis y Reporte

**Metales y metaloides**

Aluminio	mg/L	Análisis y reporte
Cobre	mg/L	1.0
Hierro	mg/L	Análisis y reporte

---

**Iones**

Sulfatos	mg/L	Análisis y reporte
----------	------	--------------------

---

**Otros parámetros para Análisis y Reporte**

Color Real	UPtCo	Análisis y Reporte
------------	-------	--------------------

---

**Nota.** Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domésticas –ARnD para las actividades de servicios con vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales. Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible MADS (2015).

### **3.5 Análisis de Información**

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010), los datos representan el grado de contaminantes presentes en el agua, los cuales se constituyen en cuantías y dígitos. Debido a esto, la demostración de la hipótesis se debe efectuar en métodos estadísticos, para así, realizar un análisis adecuado de la información.

Los resultados conseguidos en los análisis de laboratorio serán tabulados y graficados para facilitar así su respectivo análisis, con lo cual se conseguirá adquirir las conclusiones que permitan determinar la efectividad del humedal artificial para la descontaminación de aguas residuales, y así lograr dar una respuesta a lo mencionado en la hipótesis.

Se verificará su cumplimiento de acuerdo en lo estipulado por la normatividad ambiental vigente, mediante una comparación entre los resultados obtenidos en cuanto a remoción de contaminantes por parte del sistema de tratamiento y el valor límite máximo permisible para los vertimientos.

## Capítulo 4. Resultados

**FASE 1:** Se efectúa el diseño apoyado en una investigación bibliográfica referente a humedales artificiales y las especies vegetales; se estipulan los materiales a emplear, el tipo de sustrato, dimensiones, volumen de agua a tratar y tiempo de retención.

Apoyados en la revisión bibliográfica, para esta primera fase realizamos el diseño y construcción del sistema piloto del humedal artificial, determinando así los tiempos de retención, volumen de agua empleado, sustrato filtrante, dimensiones y materiales empleados para este trabajo.

### **Diseño del sistema piloto.**

Basados en la investigación realizada por (Velez & Sanchez, 2015), diseñamos el sistema piloto para nuestro proyecto, mediante el software libre (SketchUP) se obtuvo una salida grafica el cual muestra el plano del sistema piloto. Este sistema como se observa en las figuras 10, se basa en un tanque aéreo con capacidad de 500 litros para recolectar el agua residual. Este tanque en su parte inferior presenta un orificio en el cual va conectado un tubo de media pulgada ( $1/2$ ), seguidamente un medidor y una llave de paso, para controlar el volumen de agua que se depositara en cada unidad. Mediante una te (T) de la misma medida ( $1/2$ ), el tubo se divide en 4 direcciones donde estarán situadas las unidades de tratamiento, las cuales presentan una llave de paso cada una, para realizar el control de entrada y la salida del agua residual.

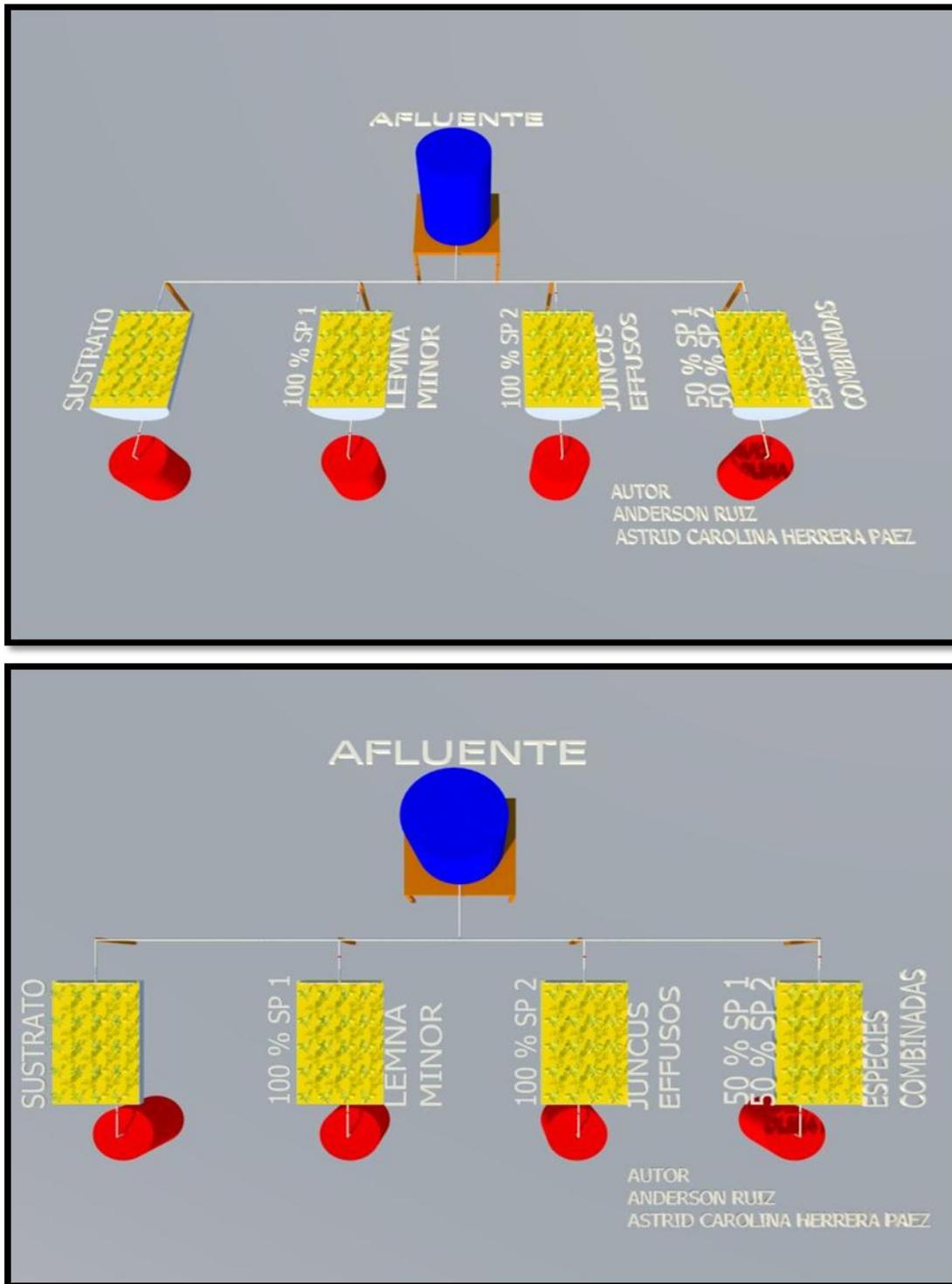


Figura 10. Sistema de humedal artificial superficial. Fuente. Autores, 2017

Para las unidades experimentales utilizamos tambores de polietileno de alta densidad de 55 galones de capacidad, divididos a la mitad a lo largo de estos, obteniendo así un

contenedor de forma cóncava. Estos poseen en su parte inferior un tubo de media pulgada instalado con una llave de paso en él, por el cual tomaremos la muestra del agua residual después del tratamiento. Los 4 recipientes presentan dimensiones similares, que están alrededor de los 90 cm de largo x 55 cm de ancho x 27 cm de radio, lo que nos indica que puede mantener un volumen máximo de 103 litros. Estos recipientes se ubicaron encima de una base metálica adaptada para la forma de estos, con la finalidad de mantenerlos aislados del suelo y así tener una mejor manipulación.

Dentro de cada unidad de análisis se deposita 32 kg de grava gruesa triturada de granulometría de  $3/8$ , (previamente lavada y libre de impurezas), que se emplea como medio filtrante, soporte de la raíz de la especie vegetal emergente y ayuda a la fijación del material sedimentable que presente el agua residual. En las unidades de análisis se siembran las especies vegetales, después de esto se permite el tiempo de retención para que se realice la descontaminación del agua residual mediante el proceso de fitorremediación.

Después de cumplido el tiempo de retención, el efluente saldrá por la llave de paso instalada en la parte inferior de cada unidad de estudio, donde tomaremos la muestra para el análisis, seguidamente el efluente restante se depositó a un recipiente colocado debajo de ésta, de tal manera que se recoja todo el volumen del agua tratada con el fin de desocupar los contenedores para posteriormente llenarlos con agua residual para efectuar el proceso con el otro tiempo de retención.

De acuerdo con investigaciones anteriormente realizadas, se definen tres (3) tiempos de retención para permitir que el agua residual sufra el proceso de fitorremediación. El primer tiempo ( $T_1$ ) de tres días, el segundo ( $T_2$ ) de seis días y el tercero ( $T_3$ ) de nueve días.

Por otra parte, el volumen de agua tiene una relación directa con las dimensiones de la unidad de tratamiento, porque de estas depende la capacidad de volumen a contener. Teniendo en cuenta trabajos realizados, se escogió un volumen de constante (V) que corresponde a veinticinco litros, ya que es efectivo para dar cumplimiento a las características de un humedal superficial. Ya obtenido el volumen de agua residual y los tiempos de retención a utilizar se presenta en la tabla No 5 las mediciones con las que se trabajó.

Tabla 5. Mediciones evaluadas en el sistema piloto.

MEDICION	VOLUMEN	TIEMPO DE RETENCION
Medición 1	25L	3 días
Medición 2	25L	6 días
Medición 3	25L	9 días

**Nota.** Mediciones basadas en las variables bajo las cuales se evaluó el humedal artificial superficial. Fuente: Autores, 2017.

Con la definición de estas variables y después de conocer los resultados de los análisis, podemos deducir en que tiempo de retención fueron más efectivas las especies vegetales empleadas para el proceso de fitorremediación.

La UFPSO designo un área de 10 m<sup>2</sup> para la construcción del sistema piloto, la cual cuenta con columnas hechas en guadua recicladas; estas se usan para sostener un tejado elaborado con láminas de zinc, el cual protegerá las unidades que se analizarán de las precipitaciones con el fin de que no haya una alteración en los parámetros del agua residual por dilución. También cuenta con una poli sombra alrededor de la construcción para

mantenerla aislada y para que no haya ningún tipo de contaminación al vivero, ya que en él se están manejando residuos contaminantes biológicos. Esta área está situada en un punto estratégico ya que está cerca del pozo séptico donde tomamos la muestra de agua residual y que seguidamente es almacenada en el tanque de 500 L. En la figura 11 se observa el sistema de humedal artificial superficial construido en el vivero de la UFPSO.



Figura 11. Sistema de humedal artificial superficial construido en el vivero de la UFPSO

Para el proceso de sembrado de las especies vegetales en el humedal artificial, se eligen los mejores individuos de cada especie para trasplantarlos. Teniendo en cuenta las características de recolección para cada una de las especies, en el caso de la *Juncus effusus* se recolectaron 8 días antes del trasplante, tomando individuos de diferentes edades y tamaños, replicando la cantidad de ellos como se encuentran en su medio, en una dimensión igual a la del contenedor que se utilizó para las muestras experimentales (174 individuos por un área de 90 cm de largo x 55 cm de ancho), ya que no hay un estudio que nos demuestre en qué etapa y en qué cantidades es más efectiva esta especie para la remoción de contaminantes. Para la especie *Lemna minor* se recolectó el mismo día del trasplante,

debido a que es una planta muy delicada para dejarla en almacenamiento durante periodos largos. Para la cantidad requerida se tuvo en cuenta también la dimensión del contenedor de la muestra experimental replicando esta especie como se encuentra en su medio natural, ya que por el tamaño se hace muy difícil una cuantificación de estas.

El sistema de humedal artificial superficial presenta cuatro unidades de análisis (UA). En la primera unidad (UA<sub>1</sub>) se encuentra el solo sustrato, en la segunda unidad (UA<sub>2</sub>) se implanta la especie *Lemna minor*, teniendo en cuenta la cantidad de individuos presentes en un medio natural, en un área igual a la del contenedor, en la tercera unidad (UA<sub>3</sub>), presenta 174 individuos de la especie *Juncus effusus*, y en la cuarta unidad (UA<sub>4</sub>), presenta una combinación de las dos especies anteriormente mencionadas, con porcentajes plantación del 50% para la *Juncus effusus* (87 individuos) y 50% para la *Lemna minor* teniendo presente la condición de recolección para esta especie.

Teniendo en cuenta la adaptación de las dos especies a su nuevo medio, después de plantadas, se dejaron en agua potable durante 15 días y después se procedió a vaciar los contenedores y llenarlos con agua residual dejándolas durante 8 días, para lograr una mayor adaptación, luego de esto se vacían nuevamente los contenedores y se procede a llenarlos con el volumen de agua residual requerido para el tratamiento y se empezó a contar el tiempo de retención. Después de cumplido este tiempo, se procede a tomar las muestras en el afluente y el efluente para su respectivo análisis en el laboratorio. En la figura 12 se observan los recipientes con las muestras del afluente y efluente analizadas en el laboratorio de aguas de la UFPSO.

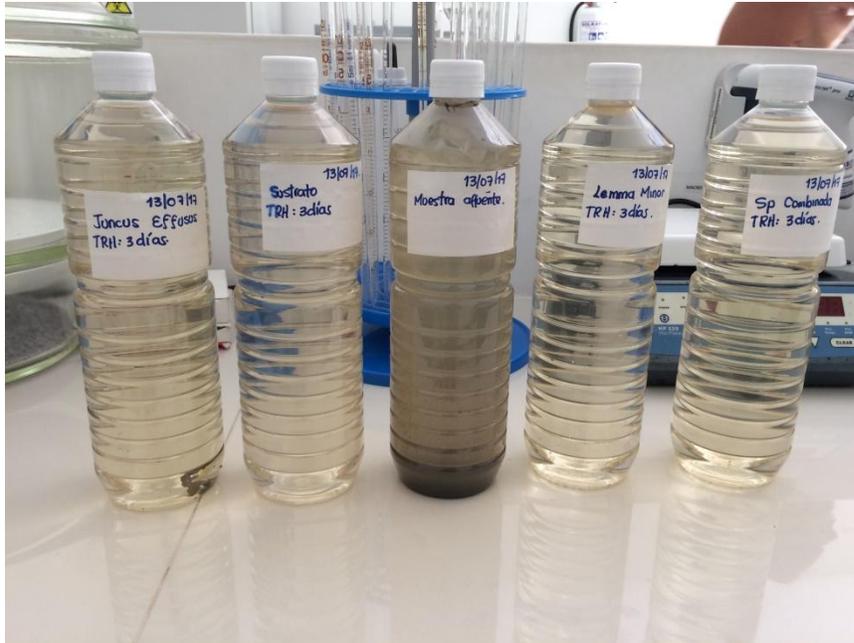


Figura 12. Muestras del afluyente y efluente analizadas en el laboratorio de aguas de la UFPSO.

**FASE 2:** Se evalúa el sistema piloto analizando el nivel de contaminación del afluyente y el efluente del humedal artificial durante el proceso descontaminación de las aguas residuales.

Ya diseñado y construido el sistema de humedal artificial superficial, comienza la segunda fase de la investigación, que consiste en la evaluación del mismo, llevándose a cabo a través de un análisis de agua residual en el afluyente y el efluente del sistema piloto. Para tener mayor seguridad de los resultados de las muestras se hace el proceso por triplicado (repetitividad de las muestras). Los promedios y su desviación estándar que han sido tabulados son los datos que se emplearon para el análisis estadístico.

**FASE 3.** En la fase final, se comprueba la efectividad del sistema apoyándose en la valoración de los niveles de remoción de contaminantes presentes en el agua residual por parte de las especies y la combinación de estas.

Para esta fase final, se calculan los niveles de remoción de los contaminantes teniendo presente los resultados alcanzados en los análisis de la fase anterior, de este modo se comprueba la efectividad del sistema teniendo en cuenta los porcentajes de remoción, la carga removida y el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015.

Dando cumplimiento con lo establecido en el artículo 5 de la resolución 0631 de 2015, se tomó la temperatura del agua residual tanto en el afluente como en el efluente del sistema de tratamiento, encontrando está por debajo de los 40 °C.

#### Resultados para pH.

El pH es casi neutro (un poco por encima de 7,00), si se compara con los pH obtenidos al emplear las especies combinadas, *Lemna minor* y *Juncus effusus*, no se ve una variación en este parámetro, si se tiene en cuenta que en la mayoría de los sistemas de tratamiento el pH disminuye una vez se remueve la carga orgánica, acá no se ve ese efecto, es más el pH del sustrato es un poco más alcalino, lo que indica que este sistema de fitorremediación no acidifica el medio, lo que favorece y facilita su mantenimiento ya que no es necesario alcalinizar el sustrato con cal.

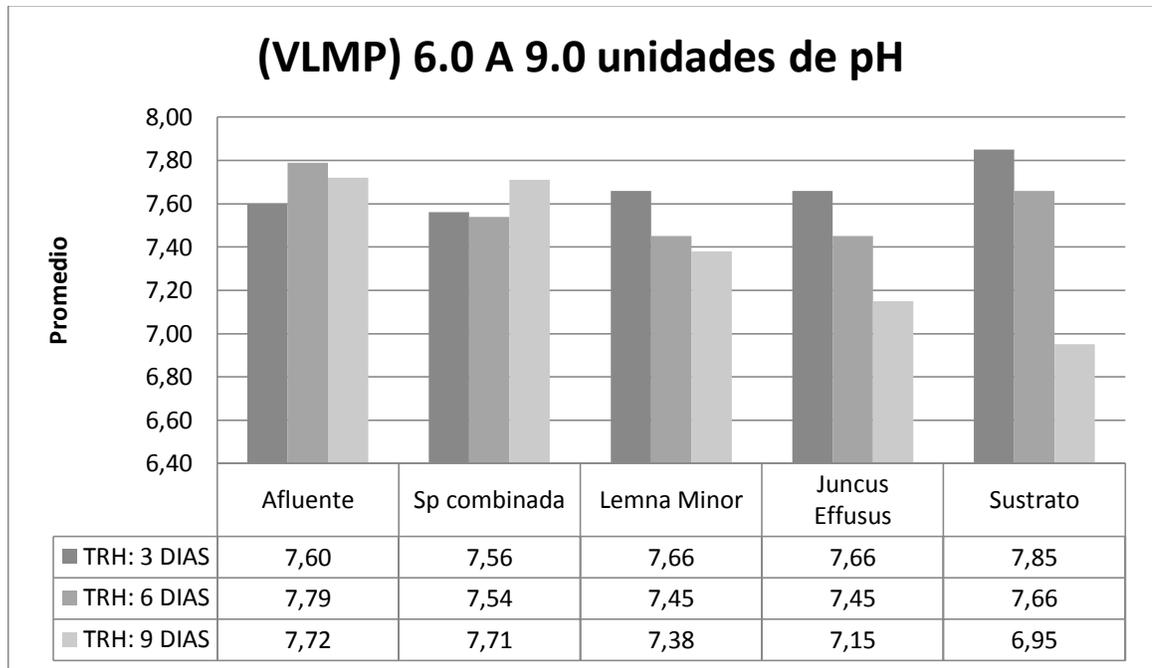


Figura 13. Resultados para PH.

Nota: En la gráfica se muestra el promedio de pH para cada muestra evaluada, afluente y efluente. Fuente: Autores, 2017.

**Tabla 6.***Resultados para Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)*

<b>DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO</b>			
Muestras evaluadas	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	100mg/L	102mg/L	183mg/L
<i>Lemna minor</i>	45	89	83
Porcentaje de remoción (%)	55%	52%	55%
<i>Juncus effusus</i>	52	57	96
Porcentaje de remoción (%)	48%	44%	47%
Especies combinadas	48	53	86
Porcentaje de remoción (%)	52%	48%	53%
Sustrato	76	57	96
Porcentaje de remoción (%)	24%	24%	27%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción

para la demanda química de oxígeno Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

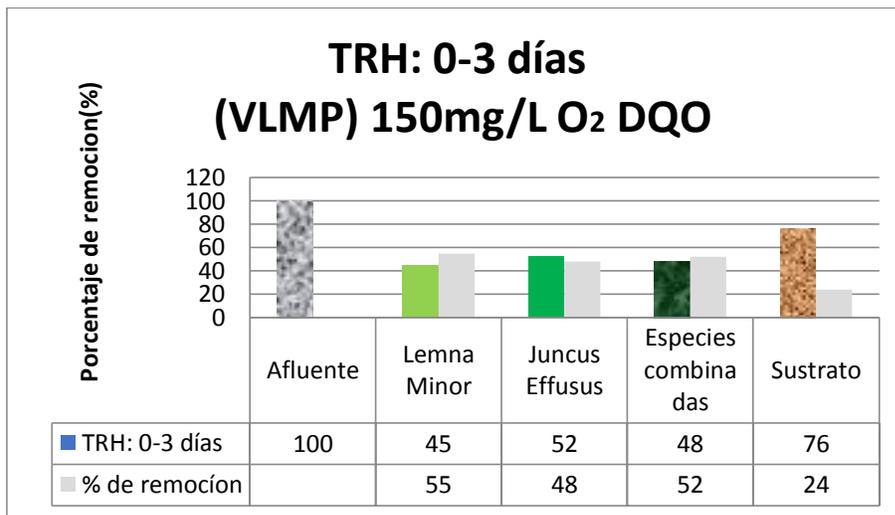


Figura 14. Tiempo de retención 3 días para DQO.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro

Fisicoquímico, DQO. Fuente: Autores 2017

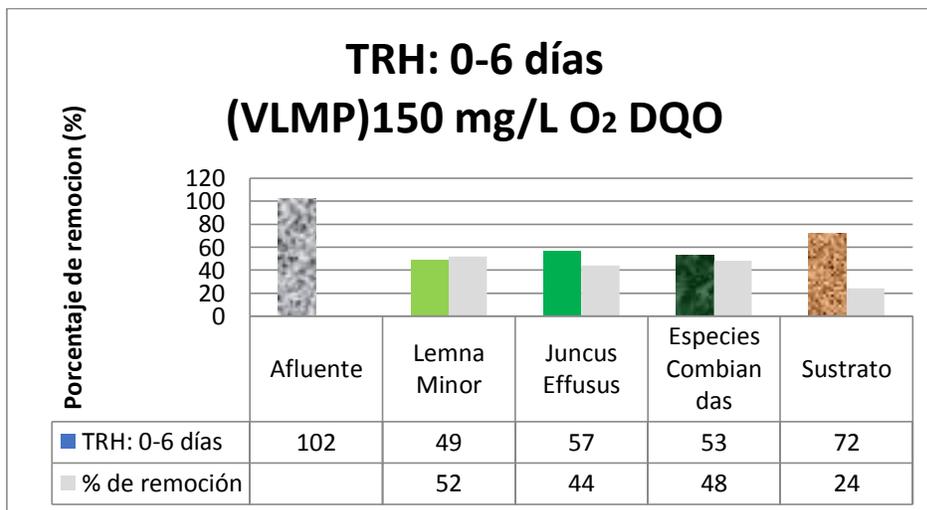


Figura 15. Tiempo de retención 6 días para DQO.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro

fisicoquímico. DQO. Fuente: Autores 2017

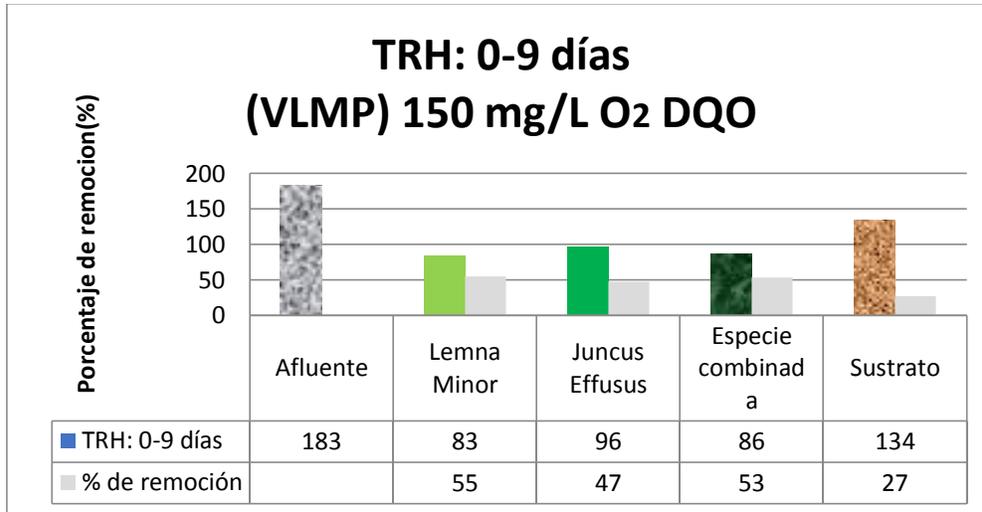


Figura 16. Tiempo de retención 9 días para DQO.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico, DQO. Fuente: Autores 2017

Si analizamos la DBO<sub>5</sub> y la DQO de todas las muestras y teniendo en cuenta que estos parámetros están relacionados entre ellos con el nivel de contaminación, podemos deducir que la gran diferencia que se presenta entre los valores DBO<sub>5</sub> Y DQO a pesar que de que siempre la DQO es más alto que la DBO<sub>5</sub> se debe posiblemente a la presencia de **materia orgánica refractaria**, tales como los tenso activos provenientes de lavado de sanitarios, vajillas y sillas del restaurante , así como grasas y aceites vertidos al sistema de tratamiento atreves del alcantarillado.

En cuanto a la remoción se puede observar que para la DQO el máximo de remoción fue del 55%, el cual se obtuvo para la especie *Lemna minor*, esto muestra que esta especie es más efectiva que la *Juncus effusus*, la cual solo alcanzo a remover el 48%, esta diferencia se observa en el porcentaje de remoción en el sistema combinado, donde la remoción fue del 53%.

**Tabla 7.***Resultados para Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)*

Muestra evaluadas	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	73mg/L	64mg/L	80 mg/L
<i>Lemna minor</i>	33	34	38
Porcentaje de remocion (%)	55%	47%	52%
<i>Juncus effusus</i>	39	37	44
Porcentaje de remocion (%)	47%	41%	45%
Especies combinadas	38	35	38
Porcentaje de remocion (%)	48%	45%	51%
Sustrato	56	49	59
Porcentaje de remocion (%)	23%	23%	26%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

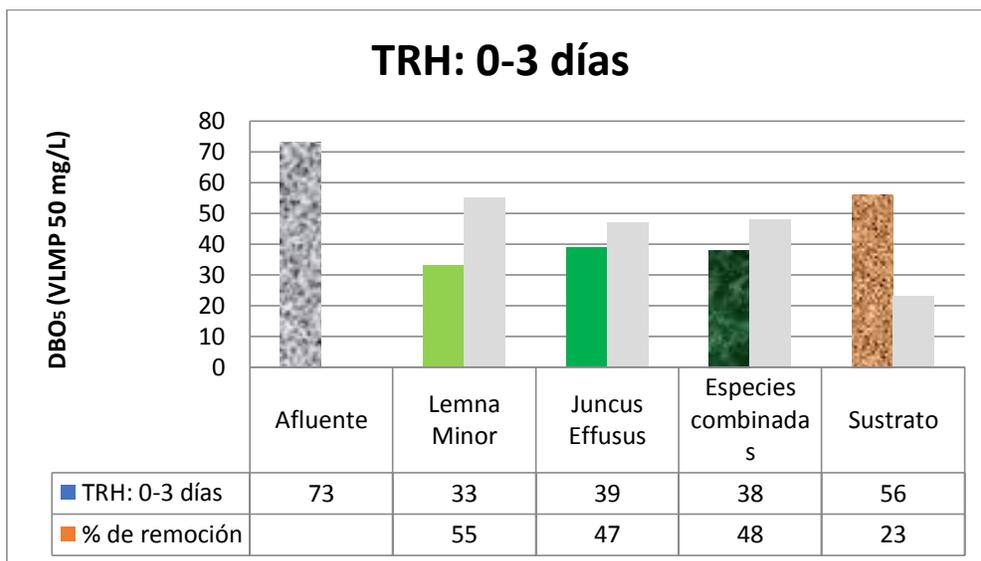


Figura 17. Tiempo de retención 3 días para DBO<sub>5</sub>.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, DBO<sub>5</sub>. Fuente: Autores 2017

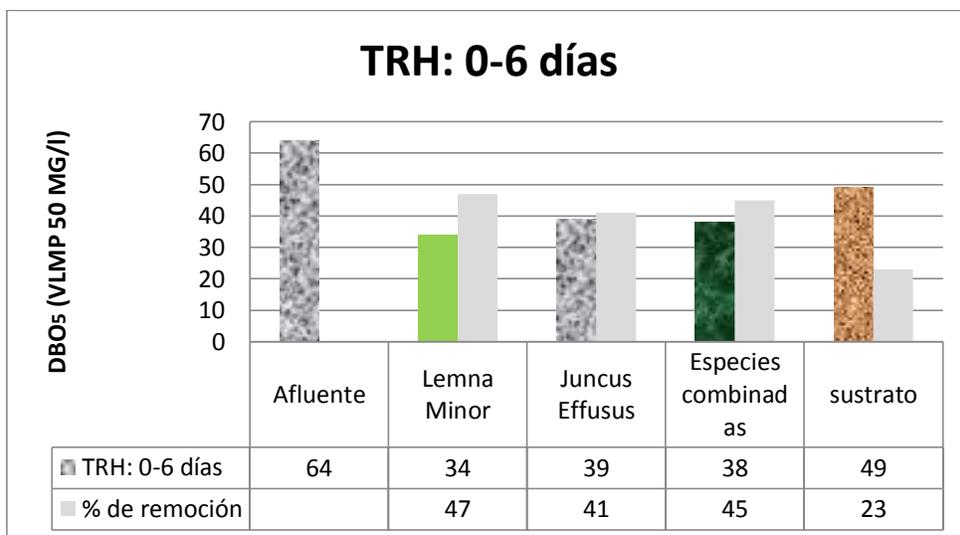


Figura 18. Tiempo de retención 6 días para DBO<sub>5</sub>.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, DBO<sub>5</sub>. Fuente: Autores 2017

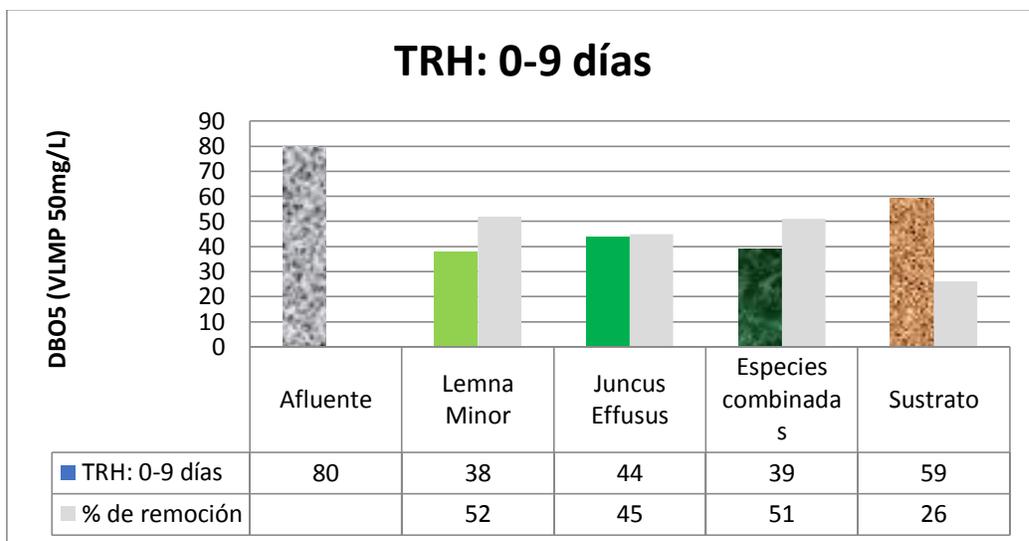


Figura 19. Tiempo de retención 9 días para  $DBO_5$ .

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico,  $DBO_5$ . Fuente: Autores 2017

Con respecto a la  $DBO_5$  su mayor remoción se observa también con la especie *Lemna minor*, los otros sistemas y el sustrato presentan prácticamente el mismo valor. Cabe onotar que estos valores tan bajos en la  $DBO_5$  se dan especialmente en agua cruda que presenta contaminación por descargas de aguas residuales. Al ser tan bajos los valores de  $DBO_5$  en el afluente es normal que la remoción sea mínima por parte de cualquier especie empleada, como se observa en nuestro caso. Para cualquier sistema de tratamiento es indispensable que la carga contaminante sea alta para que la remoción sea significativa.

**Tabla 8.***Resultados para solidos suspendidos totales (SST)*

<b>SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>			
Muestra evaluadas	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	150mg/L	160mg/L	166 mg/L
<i>Lemna minor</i>	143,3	12,7	124,0
Porcentaje de remocion (%)	4,47%	20,62%	25,62%
<i>Juncus effusus</i>	143	130	160
Porcentaje de remocion (%)	4,67%	10.62%	4,02%
Especies combinadas	140	126,7	146,7
Porcentaje de remocion (%)	6.67%	20,81%	12%
Sustrato	130	150	166,7
Porcentaje de remocion (%)	13,34%	6,25%	0%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para la demanda química de oxígeno Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

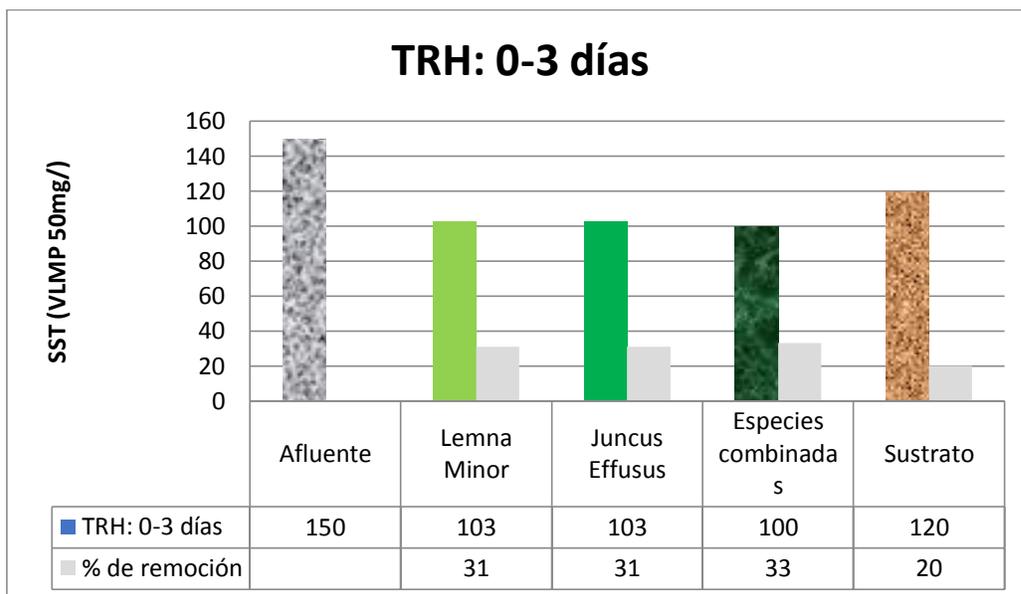


Figura 20. Tiempo de retención 3 días para SST.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, SST. Fuente: Autores 2017

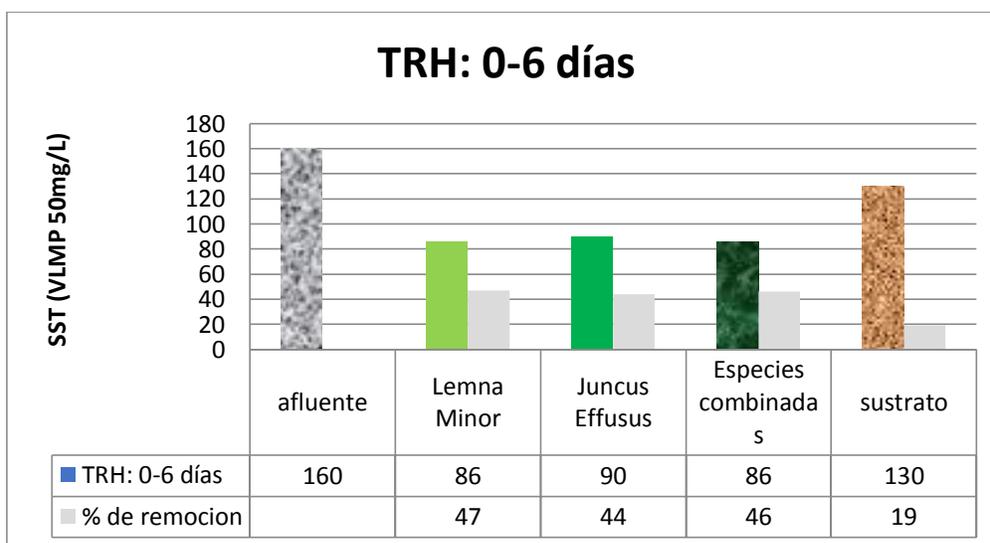


Figura 21. Tiempo de retención 6 días para SST.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, SST. Fuente: Autores 2017

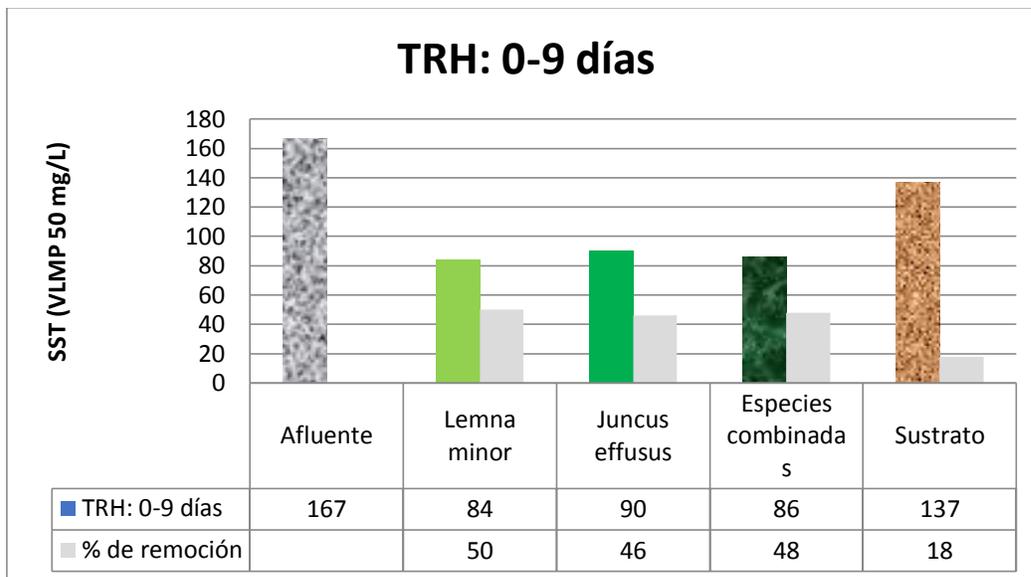


Figura 22. Tiempo de retención 9 días para SST.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico, SST. Fuente: Autores 2017

Los **SST** presentan un valor bajo en el afluente, lo que indica que agua residual recolectado no presenta una gran carga contaminante en el momento de ser recolectada o quizá se hizo una descarga al alcantarillado de aguas grises que diluyeron la materia orgánica presente. En cuanto a la remoción se observa que prácticamente se presenta la misma cantidad de SST en los tres sistemas, notándose la remoción más alta en la unidad experimental donde se encuentra la *Lemna minor*, la cual fue del 50%, por otra parte para la *Juncus effusus* su valor más alto fue de 46% de remoción, concordando así con el resultado obtenido para el sistema de especies combinadas el cual fue de 48% en porcentaje de remoción, dándose estos resultados en el tiempo de retención de los 9 días, lo que nos indica que estos sistemas presentan un valor de remoción significativo para este lapso de tiempo.

Además, los valores obtenidos contradicen lo expuesto por otros autores a los porcentajes de remoción logrados por otras investigaciones.

**Tabla 9.**

*Resultados para grasas y aceites*

<b>GRASAS Y ACEITES</b>			
Muestra evaluadas	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	40mg/L	60 mg/L	60 mg/L
<i>Lemna minor</i>	0	0	0
Porcentaje de remocion (%)	100%	100%	100%
<i>Juncus effusus</i>	0	0	0
Porcentaje de remocion (%)	100%	100%	100%
Especies combinadas	0	0	0
Porcentaje de remocion (%)	100%	100%	100%
Sustrato	40	60	60
Porcentaje de remocion (%)	0%	0%	0%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para grasas y aceites. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

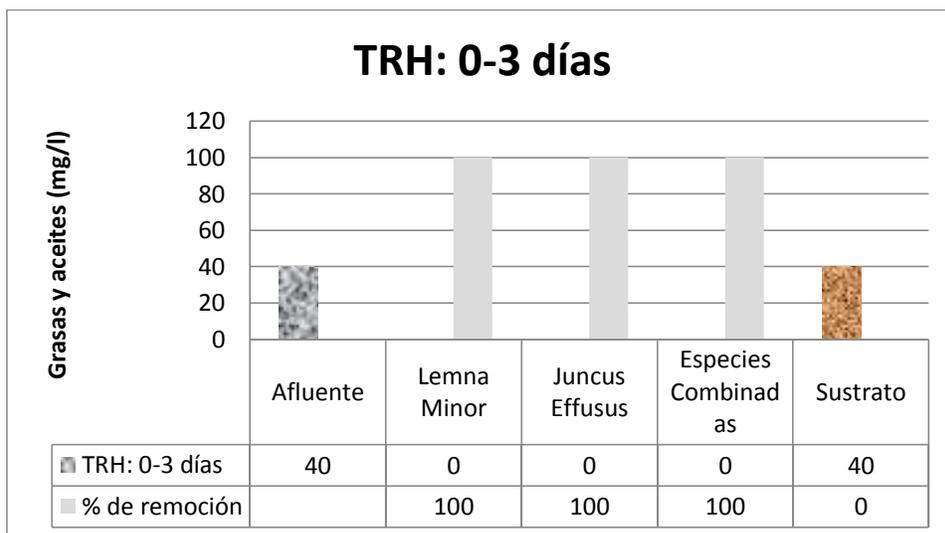


Figura 23. Tiempo de retención 3 días para Grasas y aceites.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, Grasas y aceites. Fuente: Autores 2017

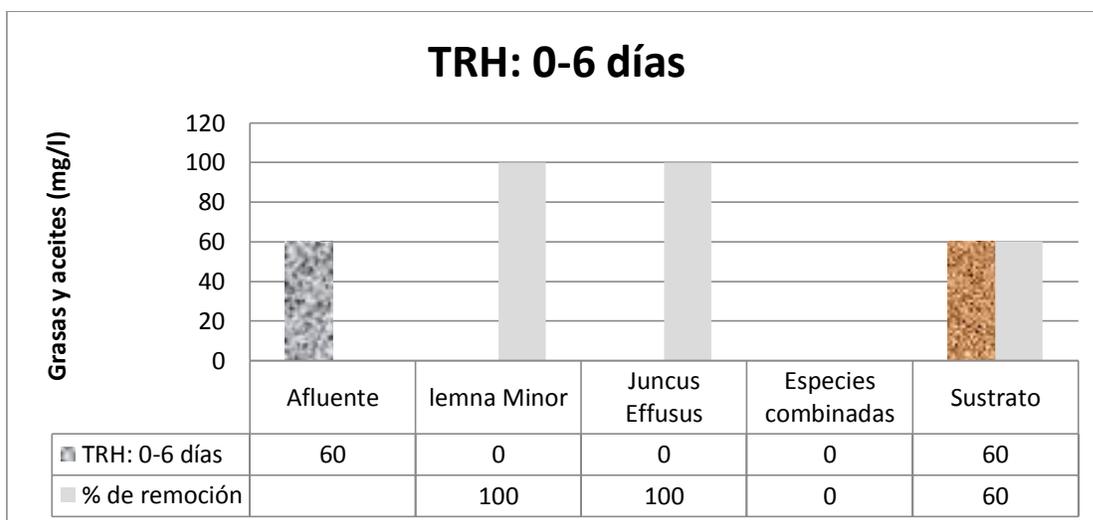


Figura 24. Tiempo de retención 6 días para SST.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, grasas y aceites. Fuente: Autores 2017

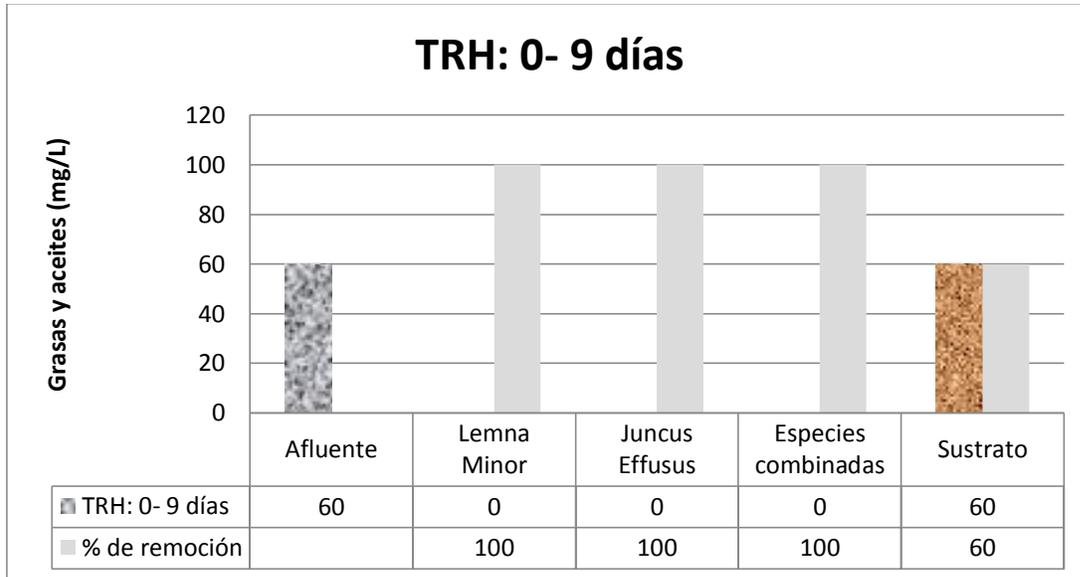


Figura 25. . Tiempo de retención 9 días para SST.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico, grasas y aceites. Fuente: Autores 2017

En las **grasas y aceites** con respecto al afluente se encuentra una concentración baja. Mientras que en los sistemas donde se empleó la *Lemna minor*, *Juncus effusus* y las especies combinadas la remoción fue del 100%.

Según nuestros análisis, el sustrato posee la misma cantidad de grasas y aceites que el afluente, por lo tanto, no hubo remoción por parte de este. Los sistemas individuales muestran una reducción total de las grasas y aceites y las especies en el sistema combinado se comportan de la misma forma ya que como dijimos, cada una de las especies es capaz de remover dicha concentración de grasas y aceites presentes en el afluente.

Pasando al parámetro fosfatos, nitratos nitritos y nitrógeno amoniacal, podemos decir que estos parámetros guardan estrecha relación con la materia orgánica presente en el agua residual y son directamente proporcionales a la concentración de la misma; estos componentes están presentes en el agua residual debido a la descomposición de la materia

orgánica animal y vegetal, la cual es vertida al sistema de alcantarillado y finalmente se acumula y descompone en los anques sépticos.

**Tabla 10.**

*Resultados para fosfatos*

Muestra evaluadas	FOSFATOS		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	41,1 mg/L	12,87 mg/L	9,50 mg/L
<i>Lemna minor</i>	24,6	9,73	5,73
Porcentaje de remocion (%)	40,15 %	24,40 %	39,69 %
<i>Juncus effusus</i>	25,90	10,17	8,03
Porcentaje de remocion (%)	36,98%	20,98 %	15,47%
Especies combinadas	24,1	7,87	6,53
Porcentaje de remocion (%)	41,36%	38,85%	31,26%
Sustrato	34	11,13	9,47
Porcentaje de remocion (%)	17,27%	13,52%	0,31%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para la demanda química de oxígeno Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

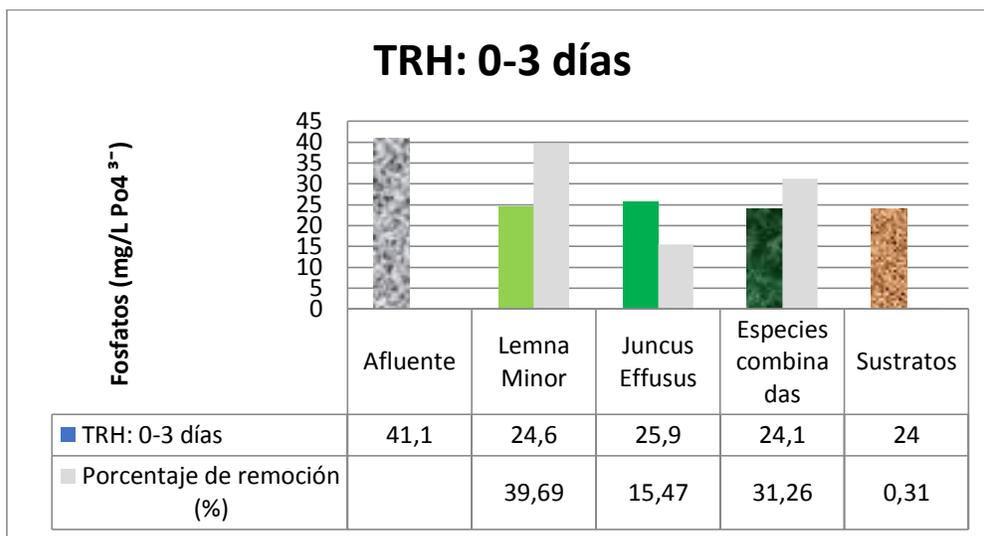


Figura 26. Tiempo de retención 3 días para Fosfato.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico, Fosfatos. Fuente: Autores 2017

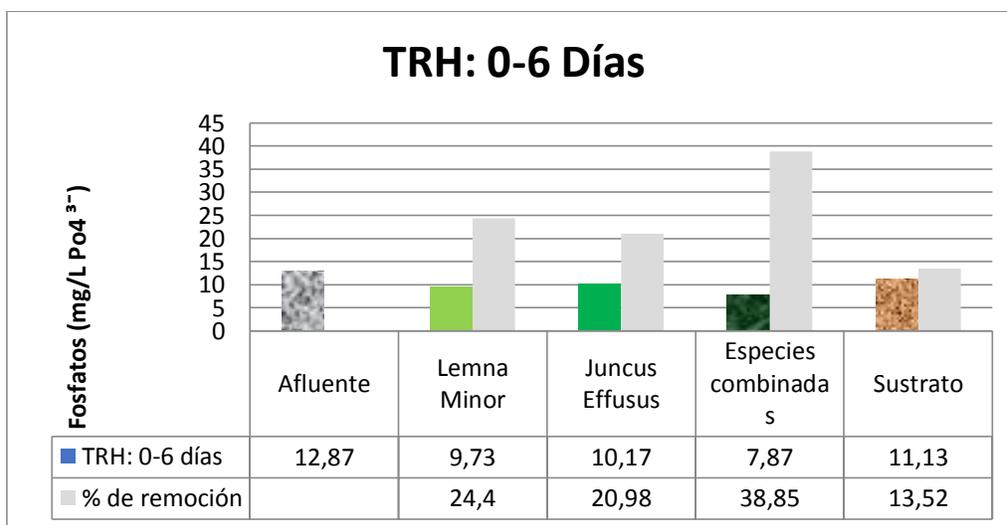


Figura 27. Tiempo de retención 6 días para Fosfato.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico, Fosfatos. Fuente: Autores 2017

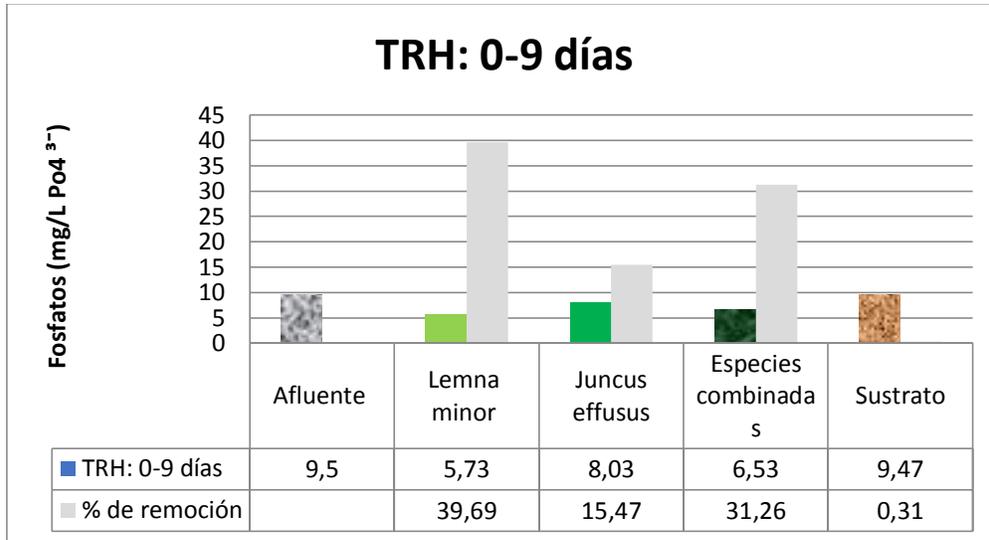


Figura 28. Tiempo de retención 9 días para Fosfato.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, Fosfatos. Fuente: Autores 2017

En relación con la concentración de **fosfatos** se observa una remoción similar en los sistemas individuales y el sistema combinado, en las dos primeras se observó una remoción cercana al 40% y en el sistema donde se emplearon las dos especies la remoción aumento un poco y alcanzo el 41% de los fosfatos presentes. En el sustrato, el análisis mostro una concentración del 83% lo que indica que solo fue removido un 17% de los fosfatos presentes en el afluente.

**Tabla 11.***Resultados para nitratos*

Muestra evaluadas	NITRATOS		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	17,7 mg/L	27,65 mg/L	29,13 mg/L
<i>Lemna minor</i>	4,55	6,70	7,70
Porcentaje de remocion (%)	74.29 %	75,77 %	73,57 %
<i>Juncus effusus</i>	8,47	8,40	11,67
Porcentaje de remocion (%)	52,15%	69,62 %	59,94%
Especies combinadas	6,57	9,73	9,43
Porcentaje de remocion (%)	62,88%	64,81%	67,63%
Sustrato	11,37	11,33	14,63
Porcentaje de remocion (%)	35,76%	59,02%	49,77%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para nitratos. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

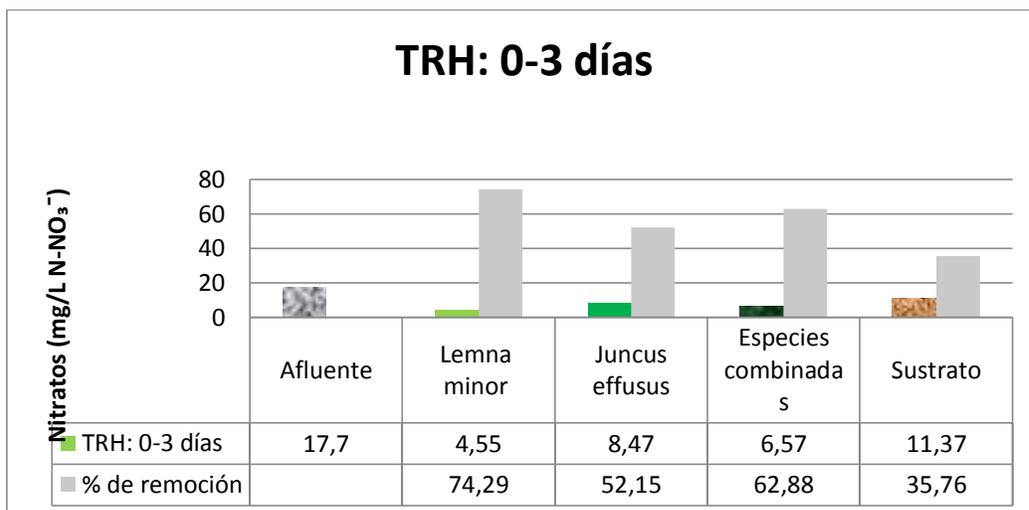


Figura 29. Tiempo de retención 3 días para Nitratos.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, nitratos. Fuente: Autores 2017

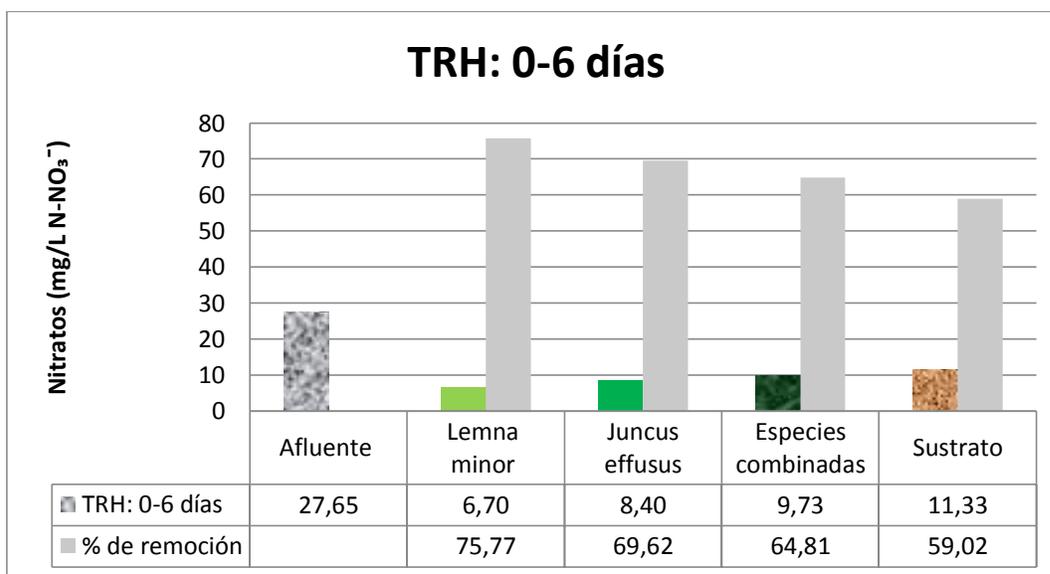


Figura 30. Tiempo de retención 6 días para Nitratos.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, nitratos. Fuente: Autores 2017

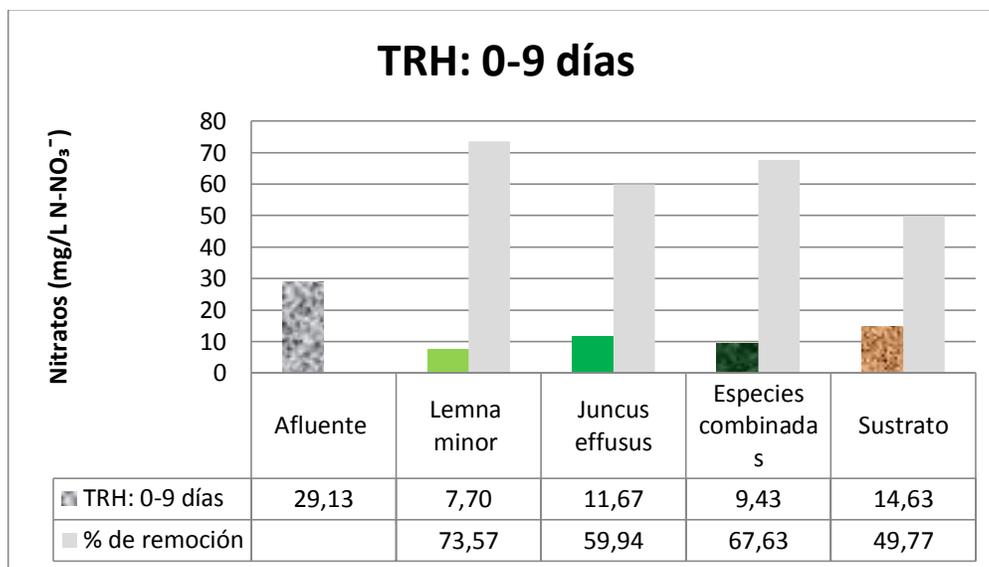


Figura 31. Tiempo de retención 9 días para Nitratos.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, nitratos. Fuente: Autores 2017

Los **nitratos** presentes en el afluente son bajas para un agua residual a pesar de ella la remoción por parte del sistema donde se empleó la especie *Lemna minor* fue la más alta alcanzando un 75,7 %, la *Juncus effusus* solo alcanzo un 69,6 % de remoción y el sistema combinado como es de esperarse alcanzo un valor intermedio de 67,6% de remoción, el sustrato presenta una remoción del 59% de la concentración de nitratos. Es importante anotar que las concentraciones consignadas en la tabla para los tres sistemas, el sustrato está por debajo del límite permitido para el agua potable, el cual es de 10 mg/L, siendo el agua analizada, agua residual tratada.

**Tabla 12.***Resultados para nitritos*

Muestra evaluadas	NITRITOS		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	0,15 mg/L	0,17 mg/L	0,17 mg/L
<i>Lemna minor</i>	0,07	0,06	0,04
Porcentaje de remocion (%)	53,33 %	64,71%	82,35 %
<i>Juncus effusus</i>	0,08	0,09	0,06
Porcentaje de remocion (%)	46,67%	47,06%	76,48%
Especies combinadas	0,07	0,07	0,03
Porcentaje de remocion (%)	53,33%	58,82%	82,35%
Sustrato	0,14	0,16	0,17
Porcentaje de remocion (%)	6,67%	5,89%	0%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para nitritos. Fuente: Autores, 2017

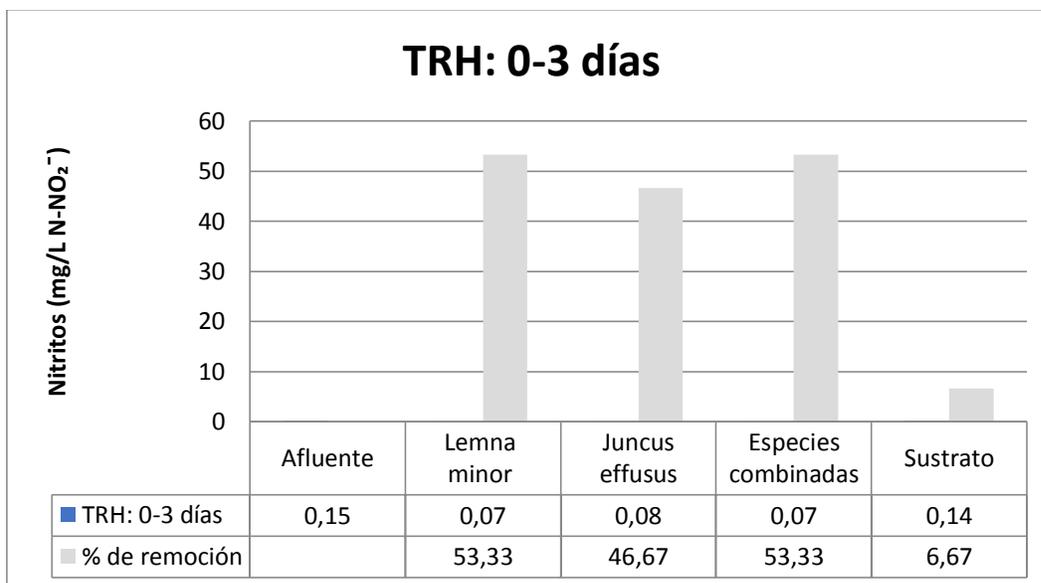


Figura 32. Tiempo de retención 3 días para Nitritos.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, nitritos. Fuente: Autores 2017

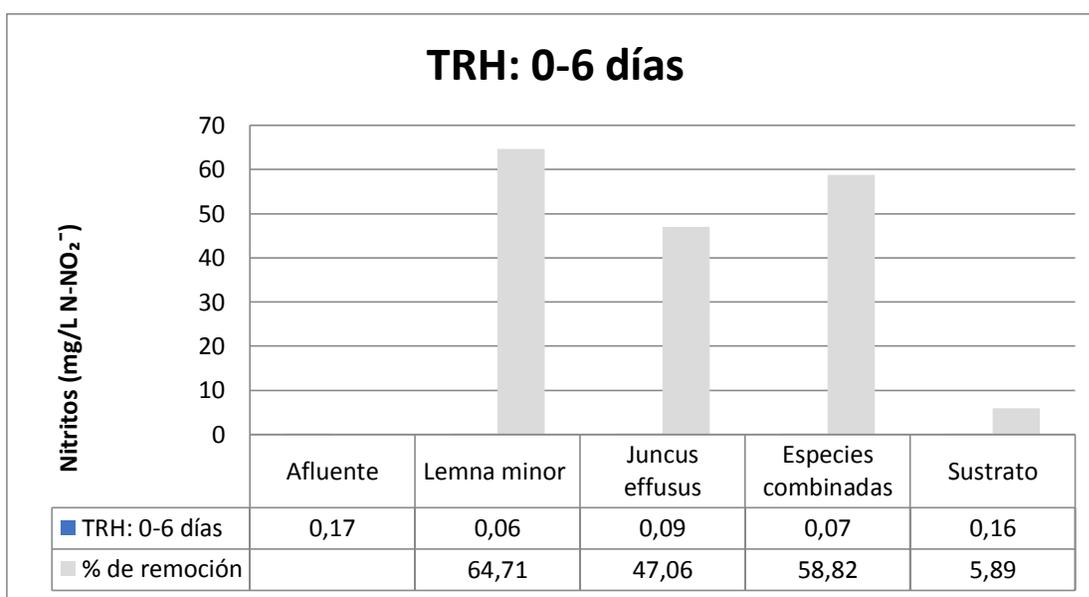


Figura 33. Tiempo de retención 6 días para Nitritos.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, nitritos. Fuente: Autores 2017

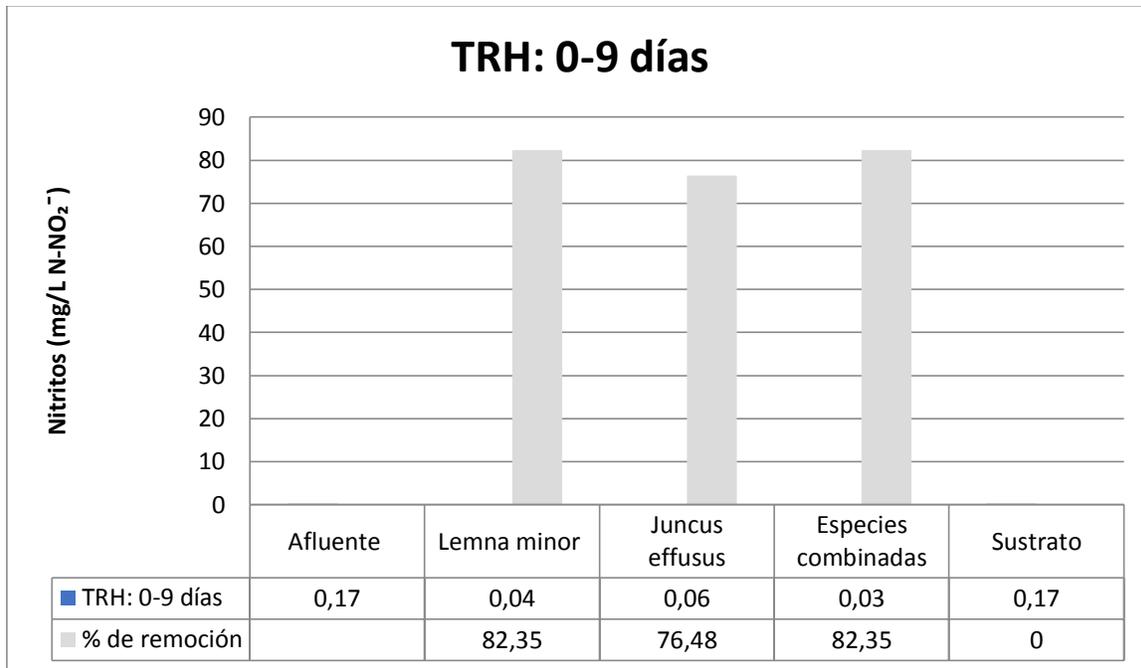


Figura 34. Tiempo de retención 9 días para Nitritos.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico, nitritos. Fuente: Autores 2017

En cuanto a los **nitritos** observamos que hubo una mayor remoción en sistema donde se encuentran las especies combinadas, siendo esta de un 82%, esto se debe a que hubo un buen trabajo de remoción por parte de las dos especies ya que individualmente obtuvieron un 82% para la especie *Lemna minor* y un 76% para la *Juncus effusus*. En cuanto al sustrato su mayor porcentaje de remoción fue de un 7%. Esto quiere decir que en el sistema se cumple con la forma de actuar de las bacterias nitrificantes, los cuales transforman el amoníaco presente a nitrito y este finalmente a nitrato como parte de ciclo del nitrógeno.

**Tabla 13.***Resultados para nitrógeno amoniacal*

<b>NITROGENO AMONIAICAL</b>			
Muestra evaluadas	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	0,93 mg/L	0,84 mg/L	1,12 mg/L
<i>Lemna minor</i>	0,23	0,17	0,18
Porcentaje de remocion (%)	75,27 %	78,76%	83,93 %
<i>Juncus effusus</i>	0,22	0,21	0,25
Porcentaje de remocion (%)	76,34%	75%	77,68%
Especies combinadas	0,11	0,08	0,44
Porcentaje de remocion (%)	88,17%	90,48%	87,5%
Sustrato	0,61	0,58	0,78
Porcentaje de remocion (%)	34,41%	30,95%	30,36%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para nitrógeno amoniacal. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

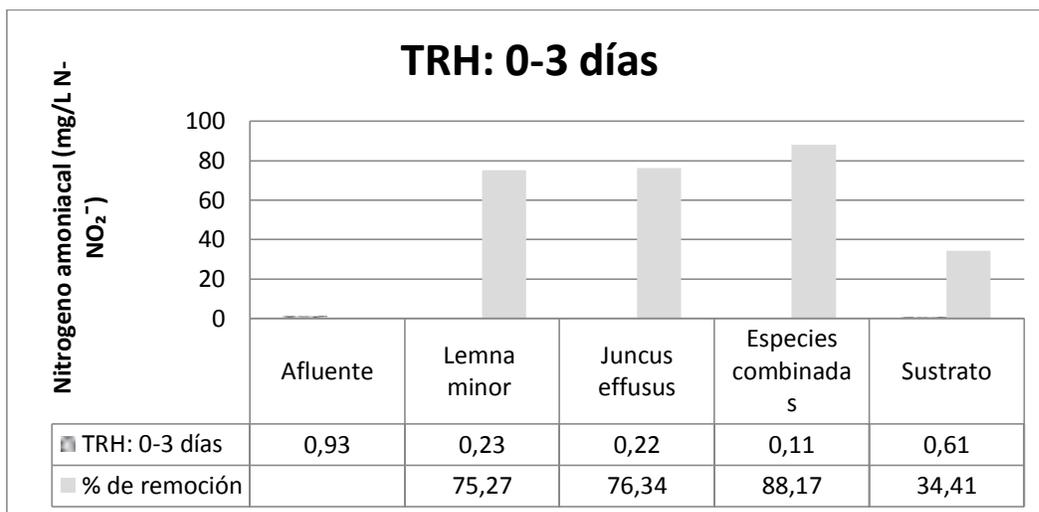


Figura 35. Tiempo de retención 3 días para Nitrógeno amoniaco.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Nitrógeno amoniaco. Fuente: Autores 2017

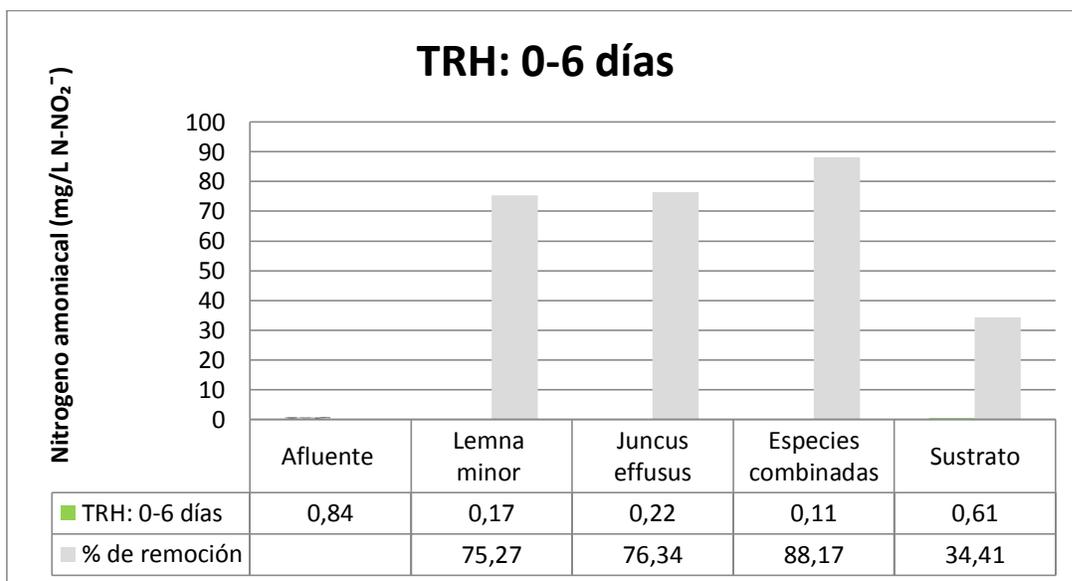


Figura 36. Tiempo de retención 6 días para Nitrógeno amoniaco.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Nitrógeno amoniaco. Fuente: Autores 2017

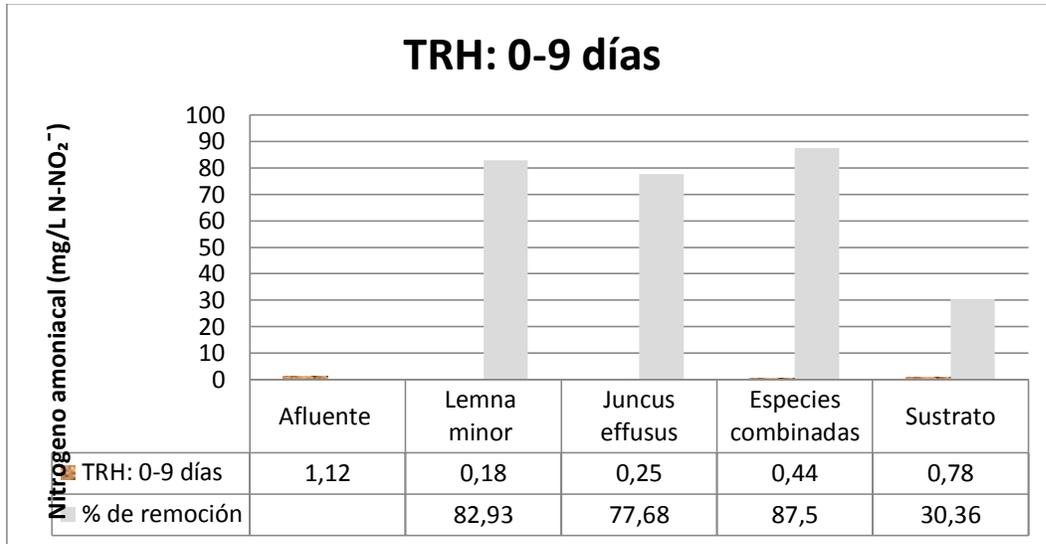


Figura 37. Tiempo de retención 9 días para Nitrógeno amoniacal.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Nitrógeno amoniacal. Fuente: Autores 2017

Si analizamos el **nitrógeno amoniacal** observamos una disminución que va desde el 75,2% en los sistemas donde se emplean las especies de manera individual, hasta el 90,4% en el sistema combinando que es exactamente lo que se espera del comportamiento de este compuesto, el cual será transformado en nitrito por las bacterias nitrificantes.

Si analizamos los tres compuestos de nitrógeno (nitritos, nitratos y el nitrógeno amoniacal), podemos decir que todos se comportan de acuerdo con el ciclo del nitrógeno.

Si tenemos en cuenta que un metal pesado es aquel que posee un peso atómico mayor a 23UMA (Unidades de masa atómica).

El aluminio, cobre y hierro, caen en esta categoría. Es importante resaltar que su presencia en grandes concentraciones puede afectar los sistemas de tratamientos biológicos y microbiológicos, pero para este caso en particular las concentraciones son bajas.

**Tabla 14.***Resultados para aluminio*

Muestra evaluadas	ALUMINIO		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	0,032 mg/L	0,045 mg/L	0,074 mg/L
<i>Lemna minor</i>	0,034	0,034	0,057
Porcentaje de remocion (%)	3,12 %	13,33%	22,97 %
<i>Juncus effusus</i>	0,026	0,041	0,062
Porcentaje de remocion (%)	18,75%	8,84%	16,21%
Especies combinadas	0,026	0,044	0,053
Porcentaje de remocion (%)	21,87%	2,22%	28,38%
Sustrato	0,032	0,041	0,072
Porcentaje de remocion (%)	0%	8,84%	2,7%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para aluminio. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

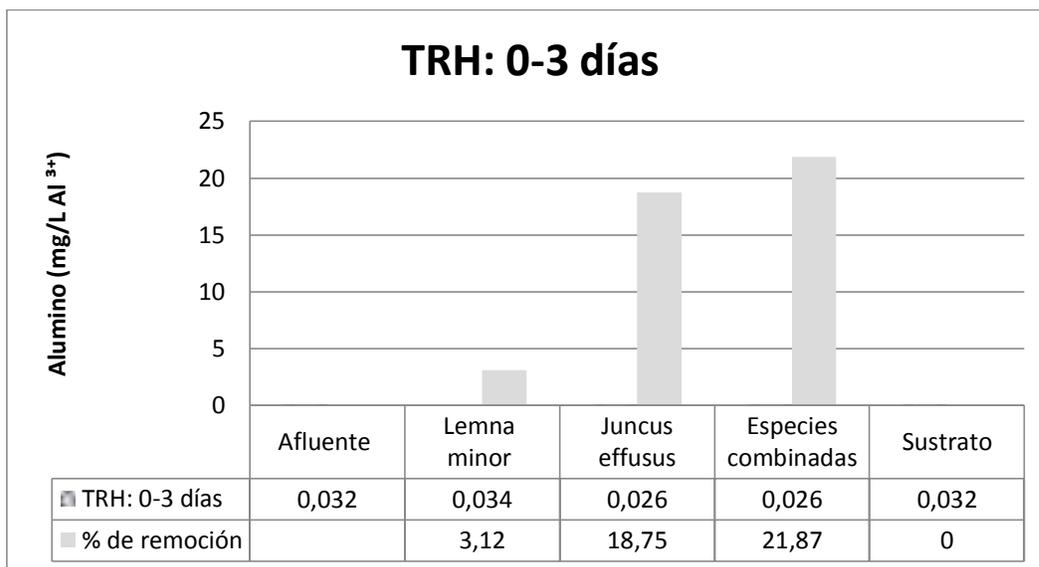


Figura 38. Tiempo de retención 3 días para Aluminio.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, aluminio. Fuente: Autores 2017

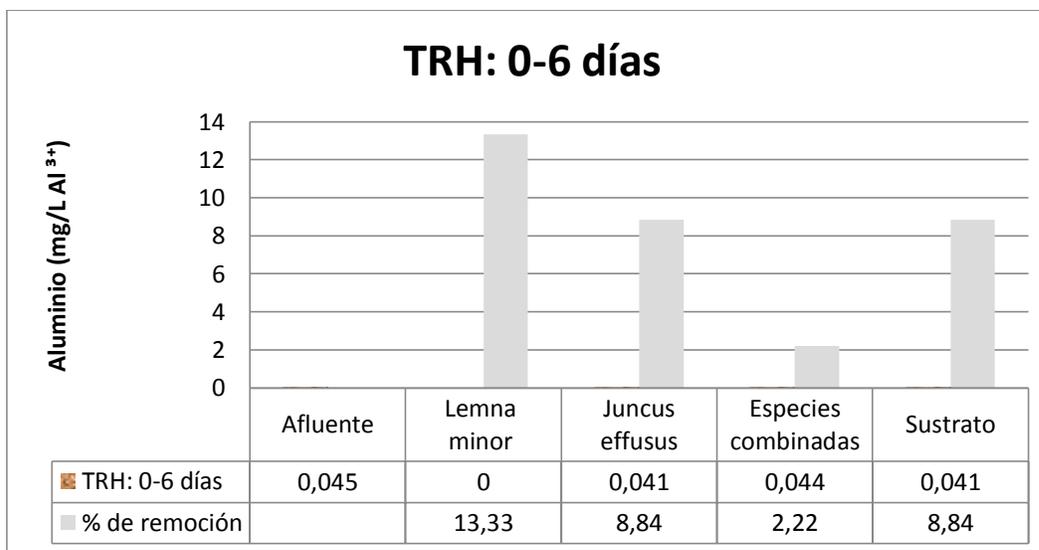


Figura 39. Tiempo de retención 6 días para Aluminio.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Físicoquímico, aluminio. Fuente: Autores 2017

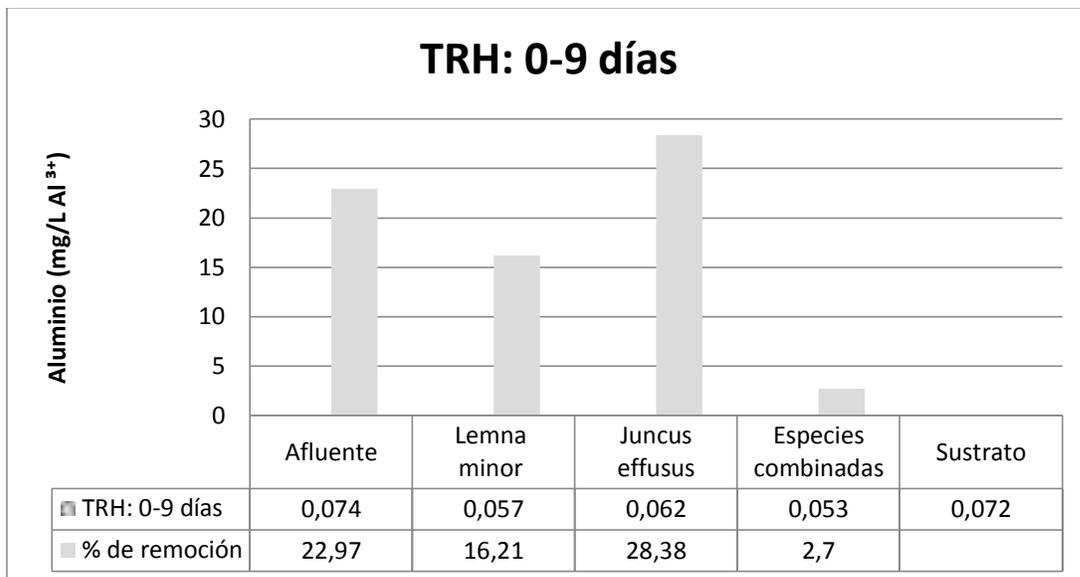


Figura 40. Tiempo de retención 9 días para Aluminio.

Nota. Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro Fisicoquímico, aluminio. Fuente: Autores 2017

Respecto al **aluminio**, podemos decir que su presencia en el agua generalmente se debe a la adición de sulfato de aluminio al agua potable en sistemas de tratamiento donde se emplea este compuesto como coagulante.

De acuerdo con este sistema, el aluminio que existe en el agua residual que estamos estudiando es proveniente también, de la utilización de este compuesto en los laboratorios de química, agua e ictiología de la UFPSO. Si miramos las concentraciones consignadas en la tabla vemos que son bajas.

Además, como se observa en las tablas de remoción de dicho parámetro, se observa una constante de remoción baja al analizar los tres tiempos de retención. Solo en el sistema donde se empleó la especie *Lemna minor* y la *Juncus effusus* en asociación se observó una reducción considerable del 28,3% en los 9 días, lo cual permite especular que se requiere

más tiempo para que las especies remuevan este metal. Los otros sistemas muestran una constante de disminución pequeña, con respecto al tiempo.

**Tabla 15.**

*Resultados para cobre*

Muestra evaluadas	COBRE		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	0,56	0,57	0,68
<i>Lemna minor</i>	0,19	0,30	0,39
Porcentaje de remoción (%)	66,07 %	47,37%	42,65 %
<i>Juncus effusus</i>	0,23	0,34	0,41
Porcentaje de remoción (%)	58,93%	40,35%	39,71%
Especies combinadas	0,22	0,36	0,41
Porcentaje de remoción (%)	60,71%	36,84%	39,71%
Sustrato	0,26	0,32	0,37
Porcentaje de remoción (%)	53,57%	43,86%	45,59%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción

para cobre. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

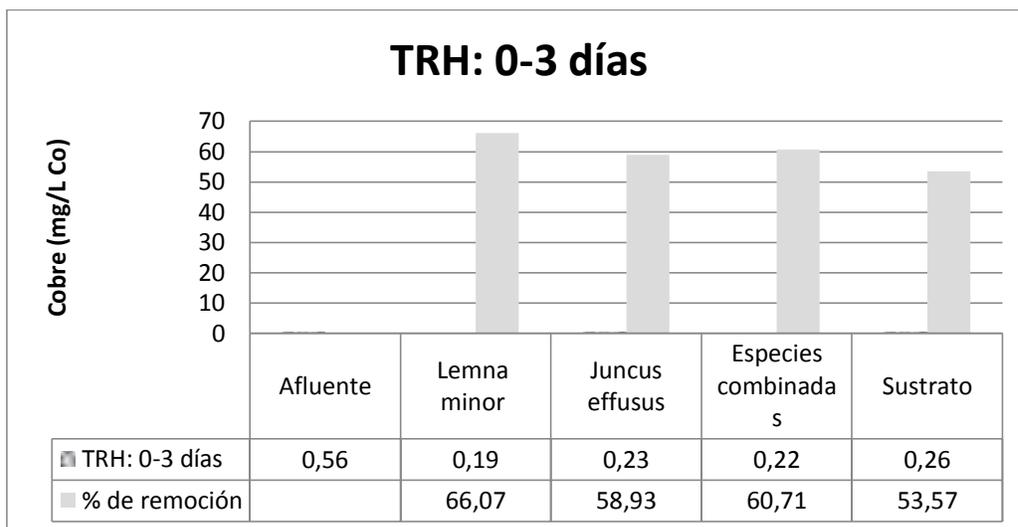


Figura 41. Tiempo de retención 3 días para Cobre.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Cobre. Fuente: Autores 2017

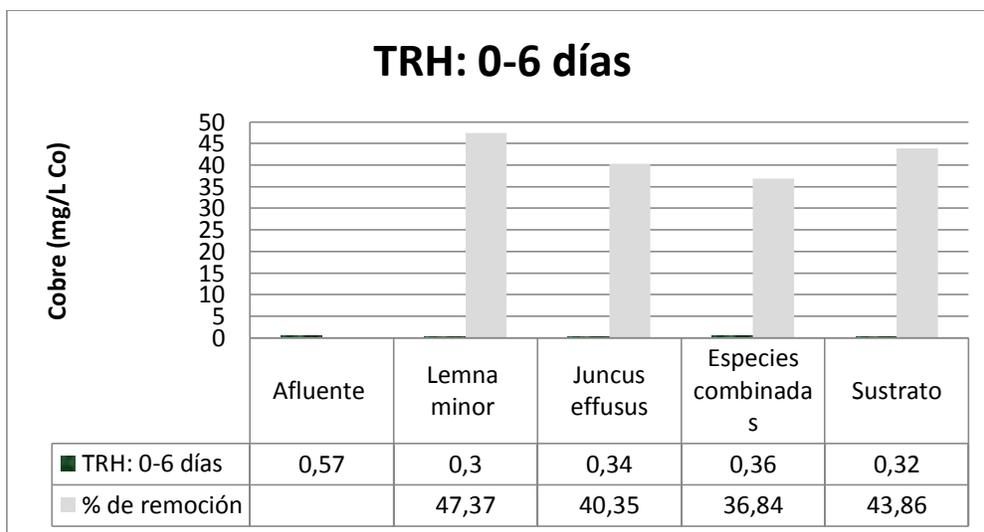


Figura 42. . Tiempo de retención 6 días para Cobre.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Cobre. Fuente: Autores 2017

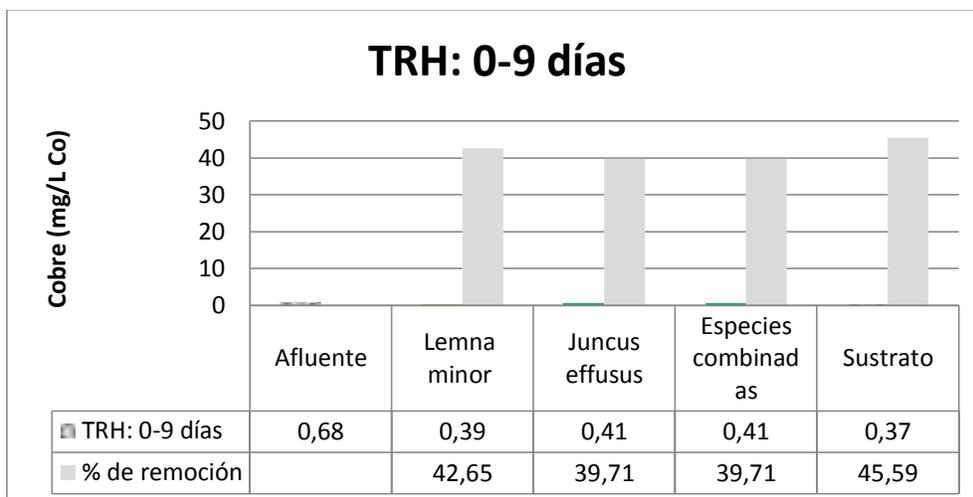


Figura 43. Tiempo de retención 9 días para Cobre.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Cobre. Fuente: Autores 2017

Al analizar la concentración de **cobre** se observa que para el sistema combinado se obtiene una remoción del 60,7% para los tres días de retención y este porcentaje de remoción disminuye al 36,8% durante los seis días realizando nueve días después y se eleva un poco hasta alcanzar un 31,7% en el tercer monitoreo.

Para la especie *Lemna minor* se observa una disminución progresiva del porcentaje de remoción, iniciando con un 66,1%, luego disminuye al 47,4% y finaliza en un 42.6% de remoción.

Con la especie *Juncus effusus* se obtiene una remoción inicial del 58.9%, pero en el segundo tiempo de retención se obtiene una concentración del 40,3% y termina con un porcentaje de remoción del 39.7% de remoción; este similar al porcentaje final del sistema combinado.

El sustrato no se comportó de igual manera que los sistemas analizados ya que inicialmente se obtuvo un porcentaje de remoción del 53,6%, luego disminuyó al 34,9% y finalmente volvió a aumentar hasta un 45,6%.

**Tabla 16.**

*Resultados para hierro*

<b>HIERRO</b>			
Muestra evaluadas	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	0,76 mg/L	0,43mg/L	0,58mg/L
<i>Lemna minor</i>	0,17	0,27	0,31
Porcentaje de remocion (%)	77,63%	27,71%	46,55 %
<i>Juncus effusus</i>	0,23	0,34	0,40
Porcentaje de remocion (%)	64,74%	20,93%	31,08%
Especies combinadas	0,26	0,37	0,36
Porcentaje de remocion (%)	65,79%	13,95%	37,93%
Sustrato	0,24	0,28	0,37
Porcentaje de remocion (%)	72,37%	34,88%	36,21%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para hierro. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

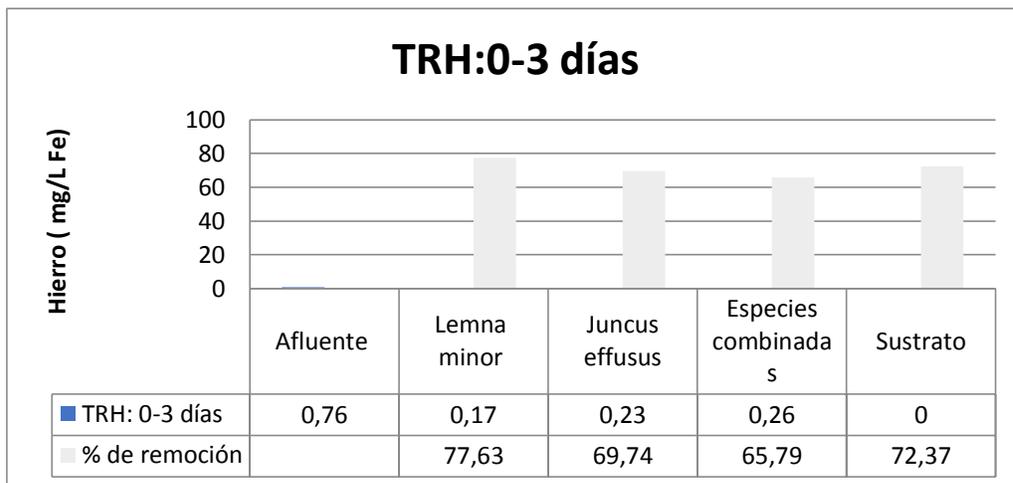


Figura 44. Tiempo de retención 3 días para Hierro.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Hierro. Fuente: Autores 2017

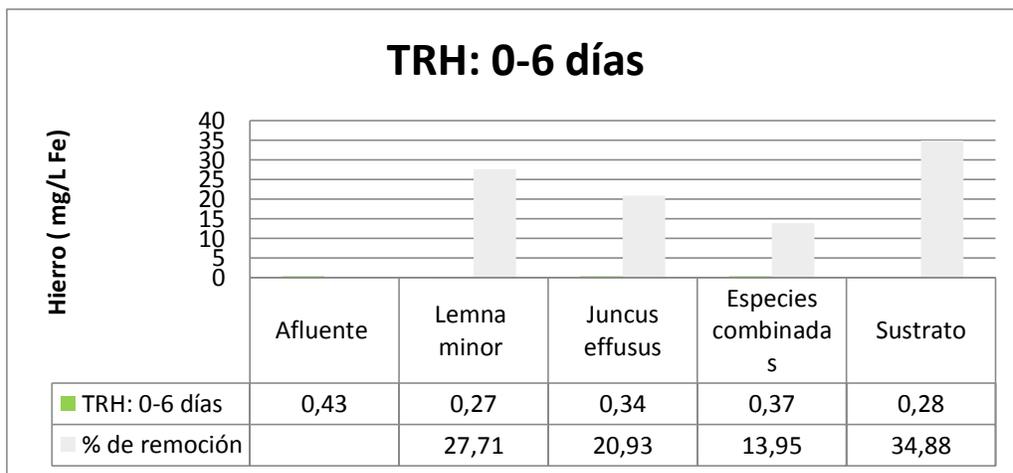


Figura 45. Tiempo de retención 6 días para Hierro.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Hierro. Fuente: Autores 2017

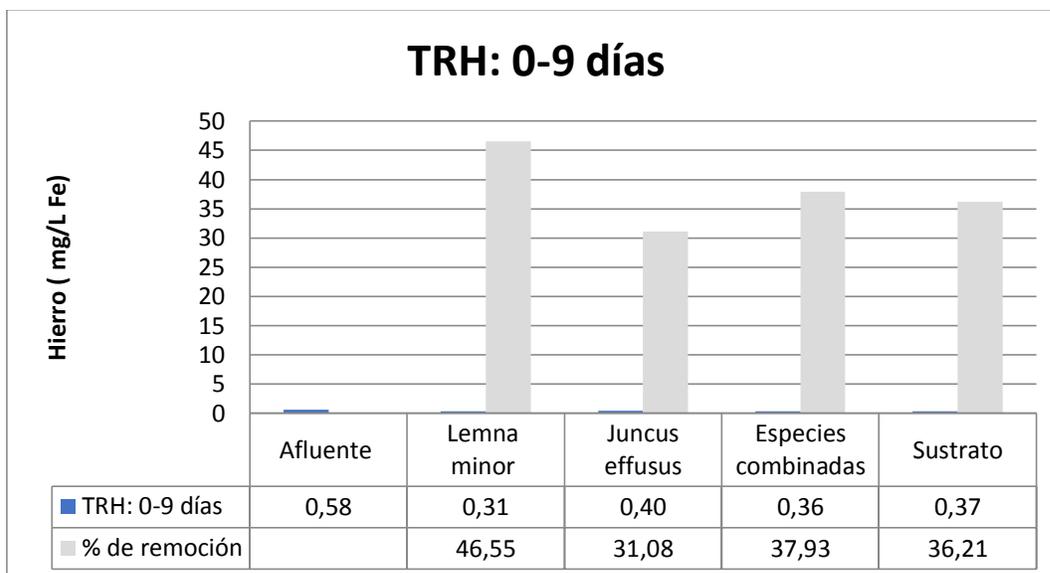


Figura 46. Tiempo de retención 9 días para Hierro.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Hierro. Fuente: Autores 2017

En cuanto a la concentración de **hierro** podemos decir que relativamente es baja y muy similar a la que podría encontrar en el agua cruda. Analizando los sistemas y sus porcentajes de remoción, notamos que inicialmente los sistemas remueven entre el 65,8% y el 77,6%, siendo el primer valor el que presento el sistema combinado y el segundo valor el obtenido a emplear la especie *Lemna minor*; la especie *Juncus effusus* removió inicialmente un 64,7% y el sustrato un 72,4%. A pesar de estas altas remociones se observó que en los tiempos de retención 6 y 9 días los porcentajes de remoción disminuyeron en todos los sistemas analizados, lo cual nos hace pensar que una vez el sistema se estabilizo los porcentajes de remoción no superan el 40%. Sin embargo, la especie *Lemna minor* presento un comportamiento diferente, ya que el segundo análisis disminuyo el porcentaje de remoción, pero en el tiempo de retención de los 9 días se vio un leve incremento, alcanzado un 46,6% de remoción y siendo este sistema el más efectivo en la remoción del hierro.

**Tabla 17.***Resultados para sulfato.*

Muestra evaluadas	SULFATO		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	45,7mg/L	47,3mg/L	44mg/L
<i>Lemna minor</i>	40,0	43	42
Porcentaje de remocion (%)	12,47%	9,09%	4,55 %
<i>Juncus effusus</i>	37,7	39,7	43,3
Porcentaje de remocion (%)	17,5%	16,07%	1,6%
Especies combinadas	39,3	44,3	43
Porcentaje de remocion (%)	14,00%	6,34%	2,28%
Sustrato	40,3	38,7	43,3
Porcentaje de remocion (%)	11,82%	18,18%	1,6%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para sulfato. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

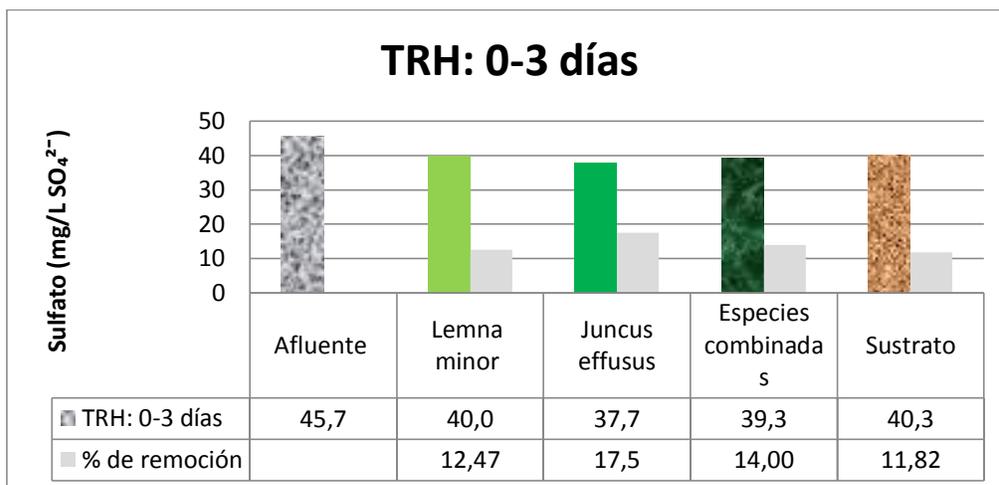


Figura 47. Tiempo de retención 3 días para Sulfato.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Sulfato. Fuente: Autores 2017

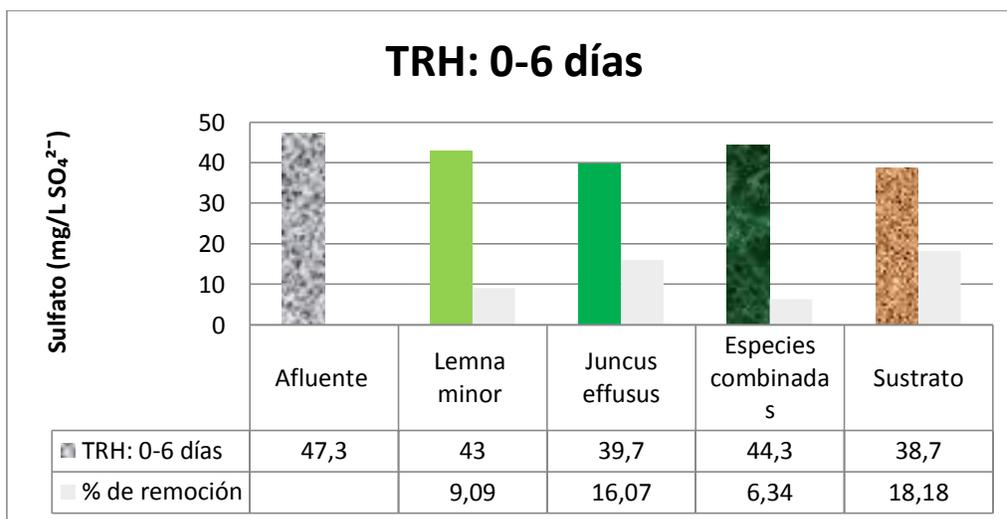


Figura 48. . Tiempo de retención 6 días para Sulfato.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Sulfato. Fuente: Autores 2017

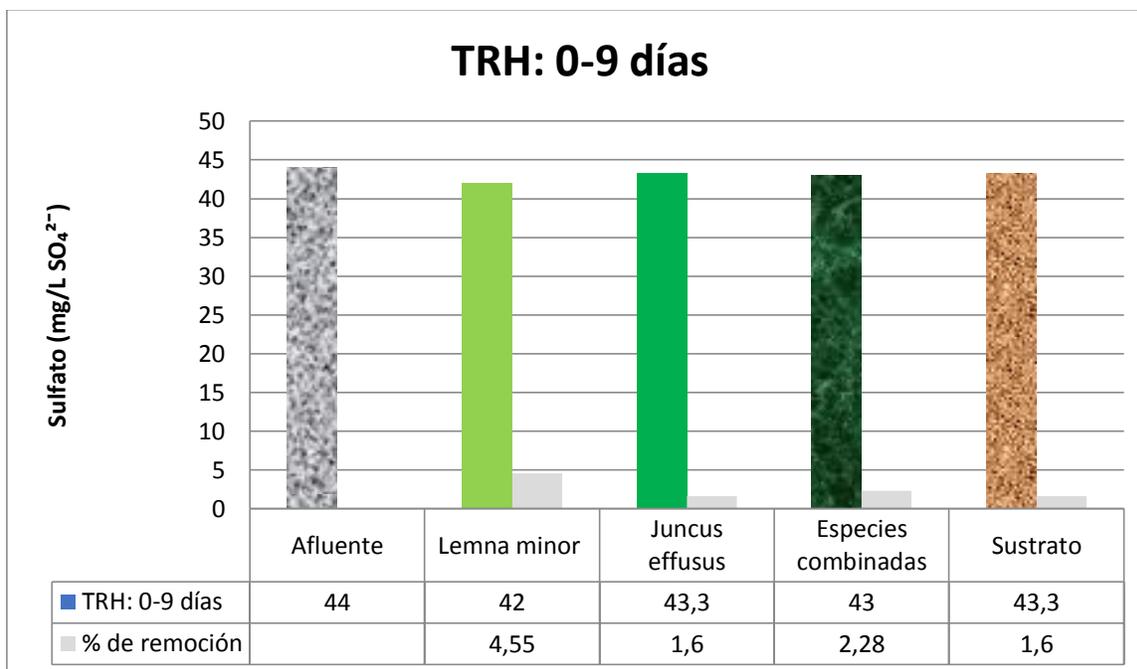


Figura 49. *Tiempo de retención 9 días para Sulfato.*

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Sulfato. Fuente: Autores 2017

Durante el proceso de descomposición de la materia orgánica y gracias a la reacción de reducción de **sulfatos** se forma el sulfuro de hidrogeno que es un gas incoloro y con olor a huevo podrido, producido por bacterias anaerobias.

La baja remoción de este compuesto en los sistemas estudiados nos muestra que dichos sistemas no son anaerobios y que la producción de sulfuro de hidrogeno es casi nula, lo cual es propio de este tipo de sistemas, en los cuales son las plantas las encargadas de remover la materia orgánica presente en el agua residual.

**Tabla 18.***Respuesta para color real*

Muestra evaluadas	COLOR REAL		
	Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción		
	De 0 a 3 días	De 0 a 6 días	De 0 a 9 días
Afluente	174,0mg/L	152,67mg/L	118,7mg/L
<i>Lemna minor</i>	46,0	90	37,67
Porcentaje de remocion (%)	73,57%	41,05%	68,26%
<i>Juncus effusus</i>	62,67	114,0	56,0
Porcentaje de remocion (%)	63,99%	25,33%	52,83%
Especies combinadas	58,67	111,33	48,0
Porcentaje de remocion (%)	66,29%	27,08%	59,57%
Sustrato	66,67	77,0	41,0
Porcentaje de remocion (%)	61,69%	36,47%	65,46%

Nota: Promedio de tiempos de retención con sus respectivos porcentajes de remoción para color real. Fuente: Autores, 2017

## TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

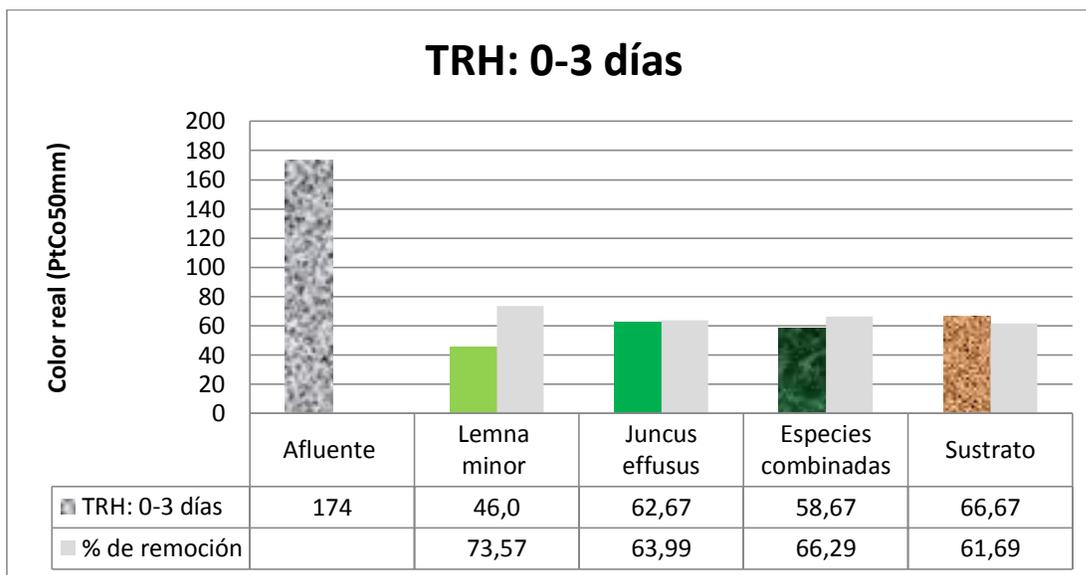


Figura 50. Tiempo de retención 3 días para Color Real.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Color real. Fuente: Autores 2017

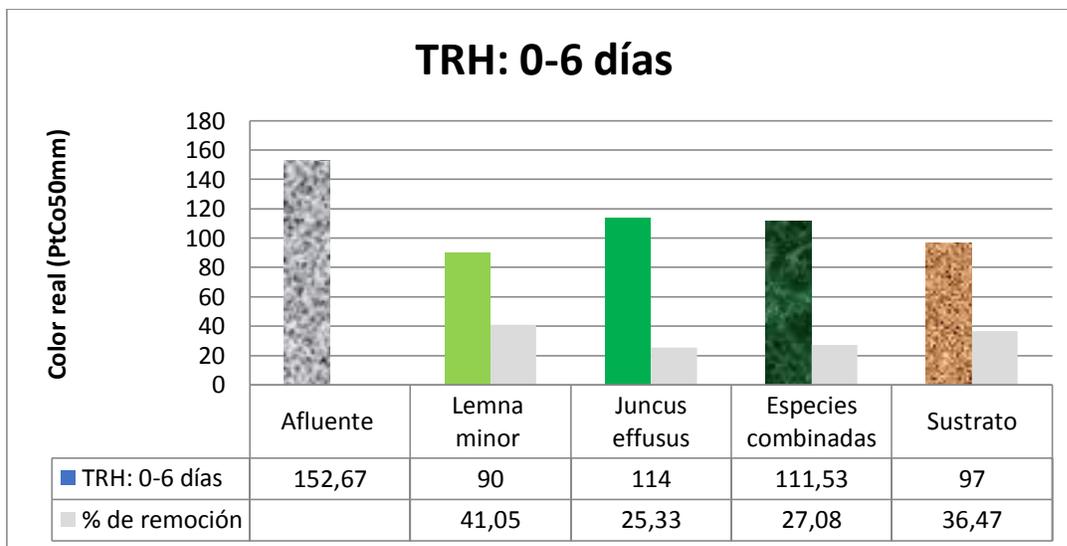


Figura 51. Tiempo de retención 6 días para Color Real.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Color real. Fuente: Autores 2017

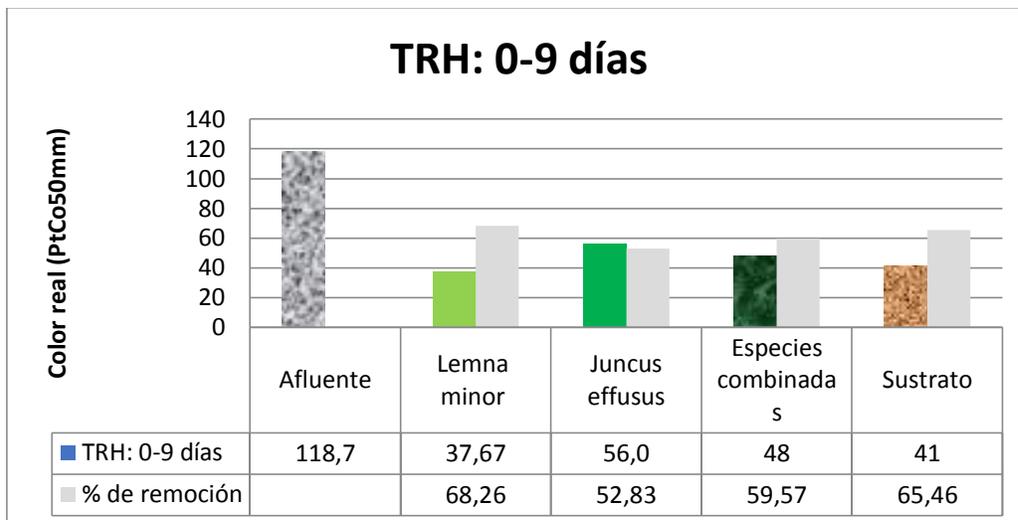


Figura 52. Tiempo de retención 9 días para Color Real.

Nota: Tiempo de retención hidráulica para el afluente y el efluente. Parámetro fisicoquímico. Color real. Fuente: Autores 2017

Finalmente, el análisis del **color** no deja ver que el color presentado por el efluente no era muy alto y su remoción que supero el 50% en la mayoría de los sistemas, fue gracias a la remoción de la materia orgánica, la cual contiene humus, quien es quien ocasiona o es el responsable de este parámetro; además del lecho donde fueron plantados las especies *Lemna minor* y *Juncus effusus*, que actuó como lecho filtrante del agua residual y redujo el color de la misma.

## Capítulo 5. Conclusiones

En cuanto a los parámetros de grasas y aceites, el sistema de humedal artificial presento excelentes remociones en los tres sistemas, alcanzando un porcentaje de 100% en cada una de ellas.

En términos de nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal, presentaron altos niveles de remoción estando estos por encima del 45%, mostrando también un adecuado comportamiento en cuanto al ciclo del nitrógeno que se da para estos sistemas.

En la mayoría de los parámetros evaluados, el sistema piloto dio mejores resultados cuanto a la remoción de contaminantes a los 9 días del tiempo de retención, mostrando así una mejor efectividad a mayor lapso temporal.

La graba utilizada para el proyecto presento buenos índices de remoción para algunos parámetros y a su vez no adiciono ningún tipo de mineral que pudieran haber alterado las muestras.

La especie *Lemna minor* fue la más efectiva en cuanto a la remoción de contaminantes de las aguas residuales, ya que en la mayoría de parámetros fue la que presento mejores resultados.

Basados en la efectividad del humedal artificial superficial en comparación con la normatividad legal vigente (resolución 0631 de 2015), se puede concluir que los parámetros analizados en el efluente del sistema están por debajo de los límites máximos permisibles contenidos en esta norma excepto el de SST, ya que este se encuentra por encima del límite máximo permisible.

Teniendo en cuenta un estudio realizado anteriormente para la remoción de contaminantes, utilizando especies vegetales en la misma muestra de agua que

implementamos para nuestro proyecto, realizamos una comparación de las especies que fueron más efectivas para cada una de las investigaciones, siendo para la del humedal subsuperficial la *heliconia psittacorum* hecho por Vélez y Sánchez (2015) y la *Lemna minor* para el humedal superficial realizado por los autores de este proyecto. Se compararon los porcentajes de remoción como lo muestra la tabla 18

Tabla 19. Porcentajes de remoción de las especies más efectivas de acuerdo con el proyecto del autor (Velez & Sanchez, 2015).

Parámetro	% remoción	% remoción
	<i>heliconia psittacorum</i>	<i>Lemna minor</i>
DBO	95,96	55
DQO	95,89	55
SST	98,91	50
GRASAS Y ACEITES	87,91	100
FOSFATOS	86,17	39,69
NITRATOS	90,48	75,77
NITRITOS	86,43	82,35
NITROGENO AMONIACAL	84,55	82,93
ALUMINIO	74,41	16,21
COBRE	86,46	66,07

HIERRO	-20,59	77,63
SULFATO	54,12	12,47
COLOR REAL	92,10	73,57

Con respecto a el PH se mantuvo en el rango optimo que debe tener un agua residual para ser vertida en una fuente hídrica establecido por la resolución 0631 de 2015.

Para la DBO se encontró mayores resultados de remoción en el tiempo de retención de tres (3) días, en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%.

En la DBO<sub>5</sub> se halló mejores resultados de remoción en el tiempo de retención de tres (3) días, en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%.

Para los SST, los resultados más efectivos se dieron en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%, con el tiempo de retención de nueve (9) días.

Con respecto a grasas y aceites, se obtuvo la misma efectividad para cada una de las unidades de análisis donde se encontraban especies vegetales, esto se dio para cada uno de los tiempos de retención implementados en el proyecto.

En los fosfatos, presento mayor efectividad en el tiempo de retención de nueve (9) días, en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%.

Para los nitratos mostro mayor efectividad en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%, esto se dio en el tiempo de retención de seis (6) días.

Respeto a los nitritos, se obtuvo mejor efectividad en el tiempo de retención de nueve (9) días, en las unidades de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100% y las especies combinadas, ya que presentaron igual porcentaje de remoción.

Con respecto a nitrógeno amoniacal, en los tiempos de retención de tres (3) y seis (6) días fue donde se consiguió mayor efectividad en la remoción de este parámetro, esto se presentó en la unidad de análisis donde se encontraban las especies combinadas en un 50% de cada una de ellas.

Para el aluminio, los resultados más efectivos los presento la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Juncus effusus* en un 100%, dándose estos en el tiempo de retención de nueve (9) días.

Respecto al cobre, en la unidad de análisis donde se encontraba la especie la especie *Lemna minor* en un 100% y para el tiempo de retención de tres (3) días, fue donde se presentó mayor efectividad.

Los resultados más efectivos para hierro se presentaron a los tres días (3) de tiempo de retención, en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%.

La mayor efectividad para la remoción de sulfatos la presento la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Juncus effusus* en un 100%, en el tiempo de retención de tres (3) días.

Para color real, presento mayor efectividad a los tres (3) días de tiempo de retención, en la unidad de análisis donde se encontraba la especie *Lemna minor* en un 100%.

Podemos concluir que la especie *Lemna minor* fue más efectiva en la remoción de contaminantes en los parámetros de grasas y aceites y hierro; se obtuvo porcentajes de remoción similares para los parámetros de nitritos, nitrógeno amoniacal y cobre.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Para la remoción de metales pesados como el aluminio, cobre y hierro se recomienda utilizar un tiempo de retención más largo.

Se recomienda utilizar aguas residuales con mayor carga de contaminantes, para así lograr obtener una diferencia más notoria en cuanto a la remoción de contaminantes de las especies vegetales.

Se propone emplear humedales construidos como un método de tratamiento secundario, ya que su eficacia, es superior si el agua residual ha sido tratada anteriormente.

Se sugiere que los tiempos de retención realizados sean periodos extensos (> 9 días), que afirmen mayor remoción en la carga contaminante presente en el humedal artificial.

La especie *Juncus Effusus* resistió a los medios de estrés ofrecida por el agua residual, removiendo objetivamente algunos contaminantes. Se sugiere también inspeccionar la especie vegetal para la descontaminación de suelos.

## Bibliografía

OPS; OMS. (1999). Sistemas de tratamiento de aguas servidas por medio de humedales artificiales. BOGOTA.

Alcaldia de Ocaña, Norte de Santander. (s.f.). Obtenido de [http://ocana-nortedesantander.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://ocana-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml)

Álvaro, C. P., Diana Lucía, C. M., & Édgar Alexánder, O. G. (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.

Armstrong, W. (2003). *Wayne's Word Lemnaceae On - Line*. Obtenido de [www.waynesword.palomar.edu](http://www.waynesword.palomar.edu)

Arroyave, A., & Castaño, J. (2010). *Efectos del tipo de vegetación y de las variaciones de profundidad en la eficiencia de remoción de patógenos en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Pereira, Colombia.

Arroyave, M. d. (2003). LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA MINOR L.): UNA PLANTA ACUÁTICA PROMISORIA. *EIA*.

Arroyave, M. d. (2004). LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA MINOR L.): UNA PLANTA ACUÁTICA PROMISORIA. *EIA*, 6.

Barton, C., Marx, D., Adriano, D., Jun Koo, B., Newman, L., Czapka, S., y otros. (2005). Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste. *Environmental Geosciences.*, 12(4), 251-265.

Cardenas, C. (2012). *Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. UNIVERSIDAD DE SEVILLA, SEVILLA.

Carpena, R. O., & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas.*, 16(2), 1-3.

Chara, J. (1998). El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. *CIPAV*.

CIEMA. (2015). *Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales*. managua, nicaragua.

Cook, C., & Gut, B. (1974). Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes. *The Hague*.

- Corrales D, A., & Rodríguez M, L. (2004). *Remoción de Patógenos con Humedales Construidos Para Aprovechamiento de Aguas Lluvias en la Pontificia Universidad Javeriana*. Pontificia Universidad Javeriana., Bogotá, Colombia.
- Crombet Grillet, S., Abalos Rodriguez, A., Rodríguez Pérez, S., & Pérez Pompa, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6.
- Díaz A, C. A. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. *V Congreso Internacional de Ingeniería Civil*.
- Díaz Franky, M. C. (2014). *Generalidades de las aguas residuales en pequeñas comunidades*. Santa Fé de Bogotá D.C.: UNAD.
- Díaz, C., & Romero, J. (2013). Evaluación de la remoción de DBO, DQO, SST, NTK, PT y CF en un humedal de flujo subsuperficial construido con carbón mineral y cultivado con *Zantedeschia aethiopica*. *Revista Escuela Colombiana de Ingeniería.*, 1(89), 29-37.
- Dushenkov, V., Kumar, P. B., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: the use of plants to Remove Heavy Metals from Aqueous Streams. *Environmental Science & Technology.*, 29(5), 1239–1245.
- Ecured. (13 de Diciembre de 2016). *Agentes patógenos*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de [http://www.ecured.cu/Agentes\\_pat%C3%B3genos#Organismos\\_pat.C3.B3genos](http://www.ecured.cu/Agentes_pat%C3%B3genos#Organismos_pat.C3.B3genos)
- ETAP. (s.f.). *Características de las aguas residuales*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- Geta, J. A., Merino, L. M., & Martínez, P. N. (1997). *Guía operativa para la recogida, almacenamiento y transporte de muestras de agua subterránea destinadas al análisis químico y bacteriológico*. Madrid: IGME.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta Edición ed.). Ciudad de México D.F.: McGraw Hill.
- iAgua. (s.f.). *Los humedales artificiales*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de <http://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>
- IDEAM. (04 de Junio de 2007). *DEMANDA BIOQUÌMICA DE OXÌGENO 5 días, INCUBACIÒN Y ELECTROMETRIA*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- IDEAM. (28 de Diciembre de 2007). *DEMANDA QUÌMICA DE OXÌGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

- IDEAM. (10 de 09 de 2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. *Toma de muestras de aguas residuales*. Santa Fé de Bogotá D.C., República de Colombia.
- Lara, c. (1997). *Postratamiento del efluente de un reactor UASB por medio de un humedal artificial*. Universidad de Boyacá, Colombia.
- Lezama, I. (2013). *ESTUDIO COMPARATIVO EN PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN, REMEDIACIÓN MICROBIANA Y DEGRADACIÓN ENZIMÁTICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*".
- Mara, D. D. (1996). Waste stabilization ponds: effluent quality requirements. *Water Science and Technology*, 33(7), 23 - 31.
- Mendez Pampín, R., Vidal Sáez, G., & Lorber, K. E. (2007). Produccion limpia en la industria de curtidumbre.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (12 de Noviembre de 2013). *Resolucion 1541*. Bogotá DC.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015. Santa Fé de Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *PLAN NACIONAL DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN COLOMBIA*. Bogota D.C.
- Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*. Santa Fé de Bogotá D.C.
- ÑIQUE ÁLVAREZ, M. (2004). Humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales.
- Olguin, E., & Hernandez, E. (1998). Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater.
- OLGUÍN, E., & HERNÁNDEZ, E. (1998). Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater.
- Pierce, D., & Turner, K. (1990). Economics resources and the environment. *John Hopkins Press*.
- Prado, M. A. (1997). APROVECHAMIENTO DE LOS HUMEDALES PARA LA DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS. *VISION TECNOLOGICA*, 5(1).
- Prasad, M. N., & Freitas, H. M. (2003). Metal hyperaccumulation in plants- biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Journal of Molecular Biology & Genetics*, 6(3).
- Ramos Gorostiza, J. L. (2014). Edwin Chadwick, el movimiento británico de salud pública. *Revista de Historia Industrial*, 28.

- Ramsar. (1971). *Convencion de Ramsar*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de <http://www.iagua.es/ramsar>
- Remtavares. (16 de Mayo de 2013). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>
- Singh, O., & Jain, R. K. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied and Microbiology Biotechnology.*, 63(2), 128-135.
- Tamayo, M. (2014). *EL PROCESO DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*. Mexico: LIMUSA, S.A de C.V, grupo noriega editores.
- Thangavel, P., & Subhram, C. V. (2004). Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy.*, 70(1), 109-130.
- Tolcachier, A. J. (2004). Enfermedades hídricas de alta prevalencia. Argentina: Roemmers.
- Torres, E., & Marín Sanabria, A. (2012). OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Ingenio libre*, 10.
- US-EPA. (2000a). Introduction to Phytoremediation. *Office of Research and Development. National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, Ohio 45268*.
- Vargas, C. (1996). Lagunas de estabilización . En *características microbiológicas de las aguas residuales*. Lima, Perú.
- Vega, E. Z. (s.f.). *Organismos indicadores*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de <https://microaplicada.files.wordpress.com/2008/02/organismos-indicadores.pdf>
- Velez, Y. F., & Sanchez, L. F. (2015). UFPSO, Ocaña, norte de Santander.
- vivers, Carex. (s.f.). *Juncus effusus. Carex vivers*.
- Yang, L., Chang, H. T., & Lo Huang, M. T. (2001.). nutrient removal in gravel-and soil-based wetland microcosms with and without vegetation. *Ecological engineering.*, 91-105.

## Apéndices

Registro fotográfico.

Construcción del humedal artificial





Recolección de la especie vegetal *Juncus Effusus*





Recolección de la especie vegetal Lemna Minor



Trasplante de las especies vegetales *Juncus Effusus* y *Lemna minor* en cada unidad de análisis.



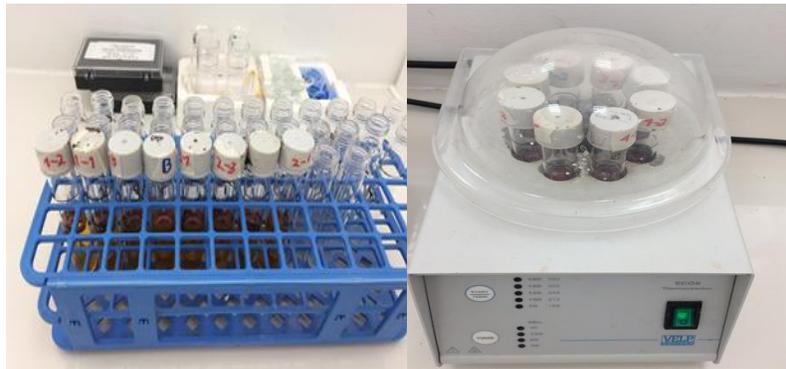
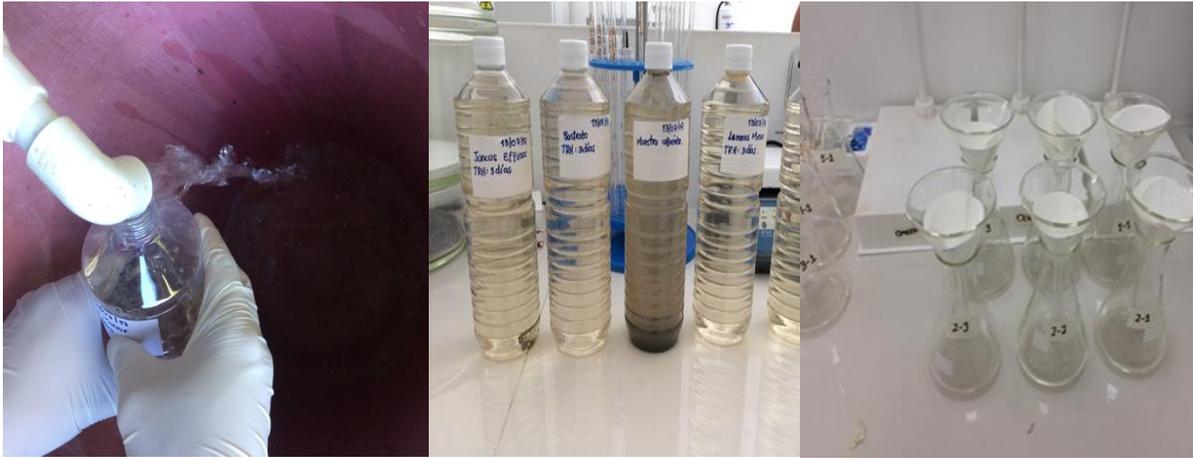


## Sustrato implementado en humedal artificial

Tipo de sustrato: grava gruesa triturada de granulometría 3/8



## Análisis de muestras en el laboratorio



## Muestras para DQO



Muestras del afluente y efluente para DBO<sub>5</sub> por triplicado.



Muestra de pH.



Muestras de grasas y aceites.

