

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOREMEDIADORA DEL JACINTO DE  
AGUA (*EICHHORNIA CRASSIPES*) EN DOS TIEMPOS DE RETENCIÓN  
HIDRAULICA COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMESTICAS EN EL CORREGIMIENTO DE USENDA, SILVIA  
-CAUCA**



**FUNDACIÓN  
UNIVERSITARIA  
DE POPAYÁN**  
35 ANIVERSARIO

**MARÍA ALEJANDRA FERNÁNDEZ F.  
WILLIAM DAVID NOGUERA B.**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
PROGRAMA DE ECOLOGÍA  
POPAYÁN CAUCA**

**2019**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOREMEDIADORA DEL JACINTO DE  
AGUA (*EICHHORNIA CRASSIPES*) EN DOS TIEMPOS DE RETENCIÓN  
HIDRAULICA COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMESTICAS EN EL CORREGIMIENTO DE USENDA, SILVIA  
-CAUCA**

**MARÍA ALEJANDRA FERNÁNDEZ F.**

**WILLIAM DAVID NOGUERA B.**

**TRABAJO DE GRADO**

**DIRECTOR**

**DANIEL ANDRÉS FERIZ GARCÍA**

**BIÓLOGO**

**Mg. RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS CONTINENTALES**

**CODIRECTOR**

**ARNOL ARIAS**

**BIÓLOGO**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES**

**PROGRAMA DE ECOLOGÍA**

**POPAYÁN CAUCA**

**2019**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Popayán 27 de mayo de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la vida y estar presente en cada pasa que doy.

A mis padres Jairo Orlando Fernández Peña y Daisy Socorro Fernández Fernández por forjar los conocimientos y valores que me hacen ser la mujer que soy, por su comprensión, su confianza, su amor y por siempre impulsarme a seguir adelante, a mis hermanos por su apoyo incondicional, a mis sobrinos por ser la motivación más grande de mi vida y a mis demás familiares que de una u otra forma hicieron parte de este proceso y creyeron en mí.

A mis compañeros por haber sido parte de este viaje de la vida en especial a William David Noguera, por su amistad, paciencia y compañía en este aprendizaje, valió la pena luchar juntos por una meta, ¡lo logramos!

A la Fundación Universitaria de Popayán por abrirnos sus puertas, al cuerpo de docentes de la Facultad de Ciencias Naturales programa de Ecología por compartir sus conocimientos y experiencias ya que fueron fundamentales en nuestra formación profesional.

A Nuestro director Daniel Andrés Feriz García, por su paciencia, apoyo y acompañamiento en esta investigación.

A Nuestro Codirector Arnol Arias por su dedicación, comprensión y por sus valiosos aportes para enriquecer el desarrollo de esta investigación.

Y en general, a todas aquellas personas que hicieron posible la ejecución de este trabajo, mil y mil gracias.

### **MARÍA ALEJANDRA FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ.**

Agradezco de manera especial a Dios, por guiarme y llenar mi camino de sabiduría y fuerza para avanzar en este gran viaje llamado vida.

A mi madre Sandra Patricia Benavidez y a Miller Antonio Villegas, quienes han sido mis pilares fundamentales para seguir adelante con cada una de mis metas propuestas.

Agradezco a mis hermanas quienes me impulsaron para continuar con esta fase a pesar de las dificultades.

A mi tío Julio Hernán Serna, a mi tía Diana Carolina Medina y a toda mi familia que estuvo presente en cada de mis pasos durante este proceso de aprendizaje.

Agradezco a mi novia Maira Alejandra Güegia y a su familia por su compañía y su invaluable apoyo en este tiempo.

A mi compañera de tesis y compañera de estudio María Alejandra Fernández por brindarme su amistad y acompañarme en esta etapa de nuestras vidas. Después de tantos altibajos lo mejor es poder mirar al cielo y decir: fue duro el

proceso, pero muy gratificante la recompensa. ¡Vamos por más! Muchas gracias María Alejandra, éxitos.

Agradezco a mis compañeros Víctor Hugo Quinto, Harold Delgado, Hellen Andrea, Luis Fernando Tupaz, Milady Paz, Alejandra Sancho y a cada de uno de los que me acompañaron durante esta gran aventura de vida.

Agradezco al director de tesis Daniel Andrés Feriz por su contribución y disposición para forjar nuestros conocimientos en el transcurso de esta investigación.

Agradezco al codirector Arnol Arias por su tiempo, gentileza, dedicación y aportes en esta investigación.

Gracias en general a todas y cada uno de las personas que forjaron nuestro camino y conjuntamente ayudaron a poner peldaño a peldaño para hacernos el camino mucho más llevadero.

**William David Noguera Benavidez**

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	15
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
3	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	17
4	OBJETIVOS.....	18
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5	JUSTIFICACIÓN.....	19
6	MARCO TEÓRICO .....	20
6.1	AGUAS RESIDUALES .....	20
6.1.1	Constituyentes del agua residual .....	20
6.2	ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICO) .....	20
6.3	HUMEDALES ARTIFICIALES.....	21
6.3.1	Clasificación de humedales artificiales .....	22
6.4	BIORREMEDIACIÓN .....	22
6.5	FITORREMEDIACIÓN .....	23
6.6	PLANTAS MACRÓFITAS .....	24
6.7	JACINTO DE AGUA ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	25
6.7.1	Hábitat.....	26
6.7.2	Distribución geográfica .....	26
6.8	NORMATIVIDAD AMBIENTAL.....	26
7	ANTECEDENTES.....	28
8	METODOLOGÍA .....	32
8.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	32
	FASES .....	33
8.1.1	Fase 1: revisión bibliográfica.....	33
8.1.2	Fase 2: trabajo de campo y laboratorio .....	34
8.1.3	Fase N° 3 Análisis de resultados .....	45
9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
9.1	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA .....	47
9.2	CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLANTAS.....	49
9.3	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS .....	50

<b>9.4</b>	<b>EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (ARD).</b>	<b>51</b>
9.4.1	Oxígeno	51
9.4.2	Demanda biológica de oxígeno (DBO)	53
9.4.3	Conductividad	55
9.4.4	Alcalinidad	57
9.4.5	Dureza carbonácea	59
9.4.6	Dureza Total	61
9.4.7	pH	63
9.4.8	Acidez total	65
9.4.9	Turbidez	67
9.4.10	Nitritos	69
9.4.11	Nitratos	71
9.4.12	Fosfatos	73
<b>10</b>	<b>MEDIDAS DE MANEJO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS TRATADAS Y LAS PLANTAS USADAS.</b>	<b>76</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>12</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>80</b>
<b>13</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>
<b>14</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>87</b>

## LISTA DE CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 1. Humedal artificial a escala piloto</b> .....	21
<b>Figura 2. Eichhornia crassipes</b> .....	25
<b>Figura 3. Localización área de estudio</b> .....	33
<b>Figura 4. Reconocimiento área de estudio</b> .....	34
<b>Figura 5. Aclimatación de las plantas</b> .....	36
<b>Figura 6. Caracterización morfológica de las plantas</b> .....	37
<b>Figura 7. Aforo volumétrico</b> .....	38
<b>Figura 8. Tanque de almacenamiento de las ARD</b> .....	39
<b>Figura 9. Tanque de cabeza constante</b> .....	40
<b>Figura 10. Unidades experimentales (UE)</b> .....	41
<b>Figura 11. Diseño a escala Piloto de los tratamientos (vista aérea)</b> .....	42
<b>Figura 12. Diseño a escala Piloto de los tratamientos (vista lateral)</b> .....	43
<b>Figura 13. Sistema a escala piloto instalado</b> .....	43
<b>Figura 14. Recipientes con las muestras iniciales</b> .....	44
<b>Figura 15. Toma de peso de las plantas</b> .....	49
<b>Figura 16. Cultivo microbiológico</b> .....	50

## LISTA DE CONTENIDO DE GRAFICAS

<b>Grafica 1. Media de entrada y salida del oxígeno disuelto (OD)</b> .....	51
<b>Grafica 2. Remoción oxígeno</b> .....	52
<b>Grafica 3. Media de entrada y salida de la DBO.</b> .....	54
<b>Grafica 4. Remoción DBO</b> .....	55
<b>Grafica 5. Media de entrada y salida de conductividad</b> .....	56
<b>Grafica 6. Remoción conductividad</b> .....	57
<b>Grafica 7. Media de entrada y salida de alcalinidad</b> .....	58
<b>Grafica 8. Remoción alcalinidad</b> .....	59
<b>Grafica 9. Media de entrada y salida de Dureza carbonácea</b> .....	60
<b>Grafica 10. Remoción Dureza carbonácea</b> .....	61
<b>Grafica 11. Media de entrada y salida de Dureza total</b> .....	62
<b>Grafica 12. Remoción Dureza total</b> .....	63
<b>Grafica 13. Media de entrada y salida pH</b> .....	64
<b>Grafica 14. Remoción pH</b> .....	65
<b>Grafica 15. Media de entrada y salida de la acidez total</b> .....	66
<b>Grafica 16. Remoción acidez total</b> .....	67
<b>Grafica 17. Media de entrada y salida de la turbidez</b> .....	68
<b>Grafica 18. Remoción turbidez</b> .....	69
<b>Grafica 19. Media de entrada y salida de los nitritos</b> .....	70
<b>Grafica 20. Remoción nitritos</b> .....	71
<b>Grafica 21. Media de entrada y salida de nitratos</b> .....	72
<b>Grafica 22. Remoción nitratos</b> .....	73
<b>Grafica 23. Media de entrada y salida de los fosfatos</b> .....	74
<b>Grafica 24. Remoción fosfatos</b> .....	75

## LISTA DE CONTENIDO TABLAS

<b>Tabla 1. Normatividad Ambiental .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2. Materiales de construcción para el montaje .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 3. Parámetros Físicoquímicos y microbiológicos para la caracterización de las ARD – Laboratorio FUP .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4. Caracterización, comparación y fisicoquímica de las ARD .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 5. Comparativa de los valores máximos permisibles (resolución 0631 de 2015) con los valores de la muestra final .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 6. Caracterización microbiológica de las ARD.....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1. AFORO VOLUMÉTRICO .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 2. CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIOS CERTIFICADOS .....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 3. Prueba de Wilconxon para TRH 6 DÍAS .....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo 4. Prueba de Wilconxon para TRH 12 DÍAS .....</b>	<b>94</b>
<b>Anexo 5. Prueba U DE MANN WHITNEY para las salidas de los 2 TRH .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO (% DE REMOCIÓN)....</b>	<b>102</b>
<b>Anexo 7. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLANTAS AL INICIO Y AL FINALIZAR EL TRATAMIENTO .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo 8. FOLLETO DIDÁCTICO .....</b>	<b>114</b>
<b>Anexo 9. FOTOGRAFÍAS.....</b>	<b>116</b>

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>DBO</b>	<b>Demanda Biológica de Oxígeno</b>
<b>HA</b>	<b>Humedales Artificiales</b>
<b>MO</b>	<b>Materia Orgánica</b>
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Nitritos</b>
<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>Nitratos</b>
<b>OD</b>	<b>Oxígeno Disuelto</b>
<b>pH</b>	<b>Potencial de Hidrogeniones</b>
<b>PO<sub>4</sub></b>	<b>Fosfatos</b>
<b>TRH</b>	<b>Tiempo de Retención Hidráulica</b>
<b>UE</b>	<b>Unidades Experimentales</b>

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó la viabilidad del uso de la planta Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* autor de la especie) como alternativa de tratamiento de aguas residuales domesticas (ARD), en el corregimiento de Usenda, Municipio de Silvia Cauca., así pues se evaluó la eficiencia de este a partir de la caracterización de parámetros Fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas (ARD) provenientes del corregimiento de Usenda (pH, Conductividad, Alcalinidad, Oxígeno disuelto, Nitritos, Nitratos, Fosfatos, DBO, Acidez total, Dureza Carbonácea, Dureza Total, Turbidez) a la entrada y a la salida del sistema. Para dicho tratamiento se establecieron 2 tiempos de retención hidráulica (TRH) de 6 y 12 días respectivamente durante tres meses, donde se utilizó un tanque plástico de 200 litros como sedimentador para las ARD, un tanque de cabeza constante para regular el caudal, 5 tanques plásticos como unidades experimentales (UE) donde 4 de estos tenían la planta Jacinto de agua y uno como control, 10 llave de paso y tubería de ½ pulgada. Las medias de remoción obtenidas para los tiempos de retención (TRH) de 6 y 12 días fueron: DBO 61%, 89%, Fosfatos 44%, 83% respectivamente. Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO y los fosfatos teniendo en cuenta el TRH alcanzándose los valores más altos de remoción en el TRH de 12 días, en cuanto a Nitritos y Nitratos no se encontraron diferencias significativas en los dos TRH. Se concluye que los humedales artificiales con la planta Jacinto de agua son eficientes para ser implementados a escala real en el tratamiento de aguas residuales domesticas (ARD).

**Palabras claves:** Aguas residuales domésticas, fitorremediación, humedales artificiales, Jacinto de agua, macrófitas.

## ABSTRACT

This research assessed the feasibility of using the water Jacinto plant (*Eichhornia crassipes* author of the species) as an alternative to domestic wastewater treatment (ARD), in Usenda, Municipality of Silvia Cauca; thus the efficiency of this was evaluated from the characterization of physicochemical parameters of domestic wastewater (ARD) from the Useda corregimiento (pH, Conductivity, Alkalinity, Dissolved Oxygen, Nitrites, Nitrates, Phosphates, BOD, Total Acidity, Carbonaceous Hardness, Total Hardness, Turbidez) at the entrance and exit of the system. For this treatment, 2 hydraulic retention times (HRT) of 6 and 12 days were established respectively for three months, where a 200 litre plastic tank was used as a sedimentator for ARD, a constant head tank to regulate the flow rate, 5 plastic tanks as experimental units (EU) where 4 of them had the Jacinto water plant and one as a control, 10 pass-through wrenches and 1/2 inch tube. The elimination averages obtained for retention times (HRT) of 6 and 12 days were: BOD 61%, 89%, Phosphates 44%, 83% respectively. Significant differences in the elimination efficiency of BOD and phosphates were found taking into account the highest elimination values in the 12-day RHT, in terms of nitrites and nitrates no differences were found in both HrTs. It is concluded that artificial wetlands with the Jacinto water plant are efficient to be implemented on a real scale in domestic wastewater (ARD) treatment.

**Keywords:** Artificial wetlands, domestic wastewater, macrophytes, phytoremediation, water jacinto.

# 1 INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales, empezaron a existir desde que el hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad cotidiana.<sup>1</sup>

Ahora bien, la depuración de aguas residuales es una necesidad imperiosa de la sociedad moderna debido al peligro que significan estas aguas. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo los métodos convencionales para su tratamiento son impracticables, debido a sus altos costos de operación y mantenimiento, de aquí la necesidad de buscar métodos de bajo costo en los que pueda obtenerse algún subproducto<sup>2</sup>.

Los sistemas de tratamiento acuáticos son una variante adecuada para la depuración de estas aguas Rodríguez C. *et al*, 1992<sup>3</sup>. En ellos las plantas acuáticas funcionan como filtros biológicos removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos Lord R, 1982<sup>4</sup>. Estos sistemas, aunque son de bajo costo han sido desarrollados fundamentalmente en países desarrollados debido a la calidad de los efluentes obtenidos Kawai H. *et al*, 1987<sup>5</sup>.

De acuerdo a Martelo y Lara, 2012<sup>6</sup>, la importancia de la utilización de macrófitas flotantes como alternativa de tratamiento de aguas residuales radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento. Por lo tanto, este estudio se localizó en el corregimiento de Usenda municipio de Silvia, Cauca con el objetivo de evaluar una alternativa para el tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando plantas acuáticas, ya que estas han resultado ser una excelente alternativa a la hora de tratar aguas residuales, no solo por su eficiencia sino también por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento.

---

<sup>1</sup> OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Bioingeniería de aguas residuales distinto tipo de letra del documento

<sup>2</sup> RODRÍGUEZ PÉREZ, de Agreda Celia; DÍAZ MARRERO, Miguel; GUERRA DÍAZ, Luis y HERNÁNDEZ DE ARMAS, Julia María. Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales.

<sup>3</sup> Rodríguez C. *et al* citado por RODRÍGUEZ PÉREZ, de Agreda Celia; DÍAZ MARRERO, Miguel; GUERRA DÍAZ, Luis y HERNÁNDEZ DE ARMAS, Julia María. Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales.

<sup>4</sup> Lord R, 1982 citado por RODRÍGUEZ PÉREZ, de Agreda Celia; DÍAZ MARRERO, Miguel; GUERRA DÍAZ, Luis y HERNÁNDEZ DE ARMAS, Julia María. Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales.

<sup>5</sup> Kawai H. *et al*, 1987 citado por RODRÍGUEZ PÉREZ, de Agreda Celia; DÍAZ MARRERO, Miguel; GUERRA DÍAZ, Luis y HERNÁNDEZ DE ARMAS, Julia María. Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales

<sup>6</sup> MARTELO, Jorge y LARA BORRERO Jaime A. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. En: Revista de Ingeniería y Ciencia, ing. cienc. [Base de datos en línea]. Vol. 8, no. 15 (enero- junio 2012); p.23

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El corregimiento de Usenda cuenta con 124 familias, lo cual comprende un total de 485 habitantes de acuerdo al Plan de vida del municipio de Silvia, 2000.<sup>7</sup> Dicha comunidad actualmente dispone de un sistema de alcantarillado deficiente e incompleto sin la debida infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, además, existe un tanque séptico fuera de servicio, porque cumplió su vida útil, y la conducción existente está construida en tubería de PVC sanitaria con diámetros en su mayoría de 8 pulgadas. Algunos habitantes cuentan con pozos sépticos rudimentarios y sus efluentes son descargados en el suelo, acuíferos y fuentes superficiales<sup>8</sup> generando así malos olores y la proliferación de vectores. De igual modo por procesos de infiltración y lixiviación estas descargas caen a la quebrada Agua Vieja de la cual el municipio de Piendamó abastece uno de sus acueductos, por tanto, esto afecta a la población humana de este municipio, ya que la contaminación de desechos domésticos puede generar epidemias y emergencias sanitarias.

Igualmente puede generar altos costos en los procesos de potabilización del agua, puesto que un cuerpo de agua con dichas cargas contaminantes se tiene que someter a procesos más intensivos y excesivos para lograr una remoción parcial o total de los agentes contaminantes.

---

<sup>7</sup> Plan de vida del municipio de Silvia, 2000 - 2020

<sup>8</sup> Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Silvia E.S.P. (2015). Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Usenda, Silvia, Cauca.

### 3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en dos tiempos de retención hidráulica para el mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales domésticas?

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de Fitorremediación del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el corregimiento de Usenda, Silvia- Cauca.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales domésticas antes y después de los tratamientos
- Determinar la capacidad de Fitorremediación del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en diferentes tiempos de retención hidráulica.
- Proponer medidas de manejo para la disposición final de las aguas tratadas y las plantas usadas.

## 5 JUSTIFICACIÓN

Para el tratamiento de aguas residuales domesticas en el corregimiento de Usenda, se hizo indispensable utilizar alternativas que permitan disminuir el deterioro ambiental de forma sostenible a un bajo costo y en lo posible que cumplan con criterios como recuperación de recursos, fácil operación y mantenimiento.<sup>9</sup>

La utilización de macrófitas acuáticas como alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales ha resultado ser una excelente opción frente a los tradicionales métodos, ofreciendo la posibilidad de remover sustancias contaminantes de los cuerpos de agua.<sup>10</sup>

Por tal motivo la planta Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), se identifica por ser una de las especies acuáticas más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación, especialmente en regiones tropicales y subtropicales<sup>11</sup>

De acuerdo a lo anterior, con esta investigación no solo se pretendió que esta alternativa para el tratamiento de aguas residuales domesticas fuera reconocida en el lugar de implementación, sino que también a través de ella se logre incentivar a entidades ambientales y municipales para crear programas y proyectos que ayuden a minimizar el impacto ambiental causado por el vertimiento de aguas residuales domesticas sin un previo tratamiento sobre los cuerpos hídricos. Además, la mayoría de las investigaciones que promueven el uso de Jacinto de agua como alternativa al tratamiento de ARD, se han realizado en zonas donde predomina el clima cálido o templado, por consiguiente, cabe destacar la implementación de esta investigación en un clima predominantemente frio.

Por lo anterior, fue necesario contribuir con alternativas de tratamiento para las aguas residuales domesticas del corregimiento de Usenda, que de una u otra forma no solo ayuden a disminuir el impacto ambiental en los cuerpos de agua sino que también permitan brindar una mejor calidad de agua al Municipio de Piendamó que es el mayor afectado por esta problemática, así como también cabe mencionar la disminución de los impactos negativos generados al entorno paisajístico, por la acción directa del estancamiento de las ARD provenientes del corregimiento de Usenda, por consiguiente con esta alternativa también se pretendió aminorar la proliferación de patógenos y vectores que afecten a la salud de los habitantes del corregimiento de Usenda.

---

<sup>9</sup> VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Disponible en el repositorio institucional de la Universidad Industrial de Santander: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7580/2/121012.pdf>

<sup>10</sup> Ibid., p. 33

<sup>11</sup> Ibid., p.34

## 6 MARCO TEÓRICO

### 6.1 AGUAS RESIDUALES

Tal y como lo denomina García<sup>12</sup>, las Aguas residuales son una combinación o conjunto de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente.

#### 6.1.1 Constituyentes del agua residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales.<sup>13</sup>

### 6.2 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICO)

De acuerdo a Fernando y Lozano<sup>14</sup>, los índices de contaminación (ICO) consisten básicamente en una expresión matemática simple, de la combinación de un número de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, los cuales sirven como medida de la calidad del agua para diferentes usos. Además, de esto dichos índices son complementarios, en sentido ecológico, al índice general de calidad (IGC) y, por tanto, permiten precisar problemas ambientales específicos y con ello profundizar en la identificación de taxones con potencial indicador tal y como lo afirma CORTOLIMA.<sup>15</sup>

De esta forma los índices de contaminación se dividen o categorizan en los siguientes:

---

<sup>12</sup> GARCÍA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

<sup>13</sup> Ibid., p. 10

<sup>14</sup> SAMBONI, N.; REYES, A. Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta

<sup>15</sup> CORTOLIMA. Proyecto plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del rio Coello.

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): se expresa en numerosas variables, de las cuales las más representativas son: “conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos”.<sup>16</sup>

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): “al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales las más notorias es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas”.<sup>17</sup>

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): “se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos”.<sup>18</sup>

Índice de contaminación trófico (ICOTRO): “se determina en esencia por la concentración del fósforo total”.<sup>19</sup>

### 6.3 HUMEDALES ARTIFICIALES

**Figura 1. Humedal artificial a escala piloto**



**Fuente:** autores

Lara Borrero 1999<sup>20</sup>, define los humedales como áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener

---

<sup>16</sup> RAMÍREZ, A.; RESTREPO, R. y VIÑA, G. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación.

<sup>17</sup> Ibid., p. 141

<sup>18</sup> Ibid., p. 141

<sup>19</sup> Ibid., p. 142

<sup>20</sup> LARA BORRERO, Jaime Andrés. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Barcelona, 1999.

aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar (figura 1).

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales; son estas<sup>21</sup>:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.<sup>22</sup>
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.<sup>23</sup>
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.<sup>24</sup>

### 6.3.1 Clasificación de humedales artificiales

Delgadillo, *et. al* 2010<sup>25</sup>, aclara que los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres. Delgadillo, *et. al* 2010<sup>26</sup>, también menciona que, considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en: Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema.<sup>27</sup>

## 6.4 BIORREMEDIACIÓN

“La biorremediación es el proceso en el que se emplean organismos biológicos para resolver problemas de contaminación medioambiental con el fin de atacar algunos contaminantes específicos tales como los pesticidas clorados que son degradados por bacterias, o bien, de forma más general como en el caso de los derrames de petróleo que se tratan empleando varias técnicas, incluyendo la

---

<sup>21</sup> LARA BORRERO, Jaime Andrés. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Barcelona, 1999.

<sup>22</sup> *Ibid.*, p. 2

<sup>23</sup> *Ibid.*, p. 2

<sup>24</sup> *Ibid.*, p. 3

<sup>25</sup> Delgadillo, Oscar, *et al.* Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

<sup>26</sup> *Ibid.*, p.8

<sup>27</sup> *Ibid.*, p.8

adición de fertilizantes para facilitar la descomposición del crudo por las bacterias”.<sup>28</sup>

“Al contrario de la biodegradación, que se produce naturalmente, la biorremediación es un proceso iniciado por el hombre generalmente con el propósito de subsanar el medio ambiente”.<sup>29</sup>

Valero, 2006<sup>30</sup> recalca que no es posible tratar todos los contaminantes mediante el uso de la biorremediación; los metales pesados como el cadmio o el plomo no son absorbidos o captados fácilmente por los organismos. En el caso de la introducción de metales, como el mercurio en la cadena alimenticia, los procesos se tornan más complejos porque los organismos bioacumulan estos metales.

## 6.5 FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación según lo menciona Valero, 2006<sup>31</sup> puede considerarse como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas.

De acuerdo a Valero (2006)<sup>32</sup>, las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos, los cuales son:

- Fito extracción: Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)
- Rizo filtración: Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos
- Fito estabilización: Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire.
- Fito estimulación: Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)
- Fito volatilización: Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.

---

<sup>28</sup> Ryan, *et al.* 1991. citado por VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental).

<sup>29</sup> *Ibid.*, p. 3

<sup>30</sup> VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental).

<sup>31</sup> *Ibid.*, p. 7

<sup>32</sup> *Ibid.*, p. 8

- Fito degradación: Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.

## 6.6 PLANTAS MACRÓFITAS

Valero, 2006<sup>33</sup>, define las plantas macrófitas o macrófitos como aquellas que pueden vivir en terrenos inundados de forma permanente o durante largos períodos de tiempo en condiciones de encharcamiento. También se conocen como plantas palustres y su porte alcanza cierta importancia, ya que se pueden encontrar especies entre los (30 - 120 cm.) en los juncos, (60-130 cm) en los esparganios, (120-240 cm) en las enneas y en los carrizos (160-320 cm). Estas plantas pueden encontrarse en terrenos inundados e inundables con láminas de agua de poca altura o humedales que soportan aportes de origen fluvial y con una dinámica de inundaciones de origen pluvial, que aportan importantes cantidades de materia orgánica e inorgánica, (es normal encontrarlas a las salidas de los efluentes de las depuradoras o en corrientes establecidas de aguas no tratadas del tipo urbano o ganadero).

“Las plantas acuáticas han sido consideradas por mucho tiempo como malezas, debido a que con frecuencia impiden o dificultan las actividades humanas: cubren grandes extensiones de embalses, obstaculizan la irrigación y la pesca, ocasionan problemas a la acuicultura e imposibilitan el transporte fluvial”.<sup>34</sup>

En relación a lo anterior Valero, 2006<sup>35</sup> menciona que las macrófitas pueden clasificarse según su respectiva forma de fijación en:

- Macrófitas fijas al sustrato<sup>36</sup>
  - Macrófitas emergentes: en suelos anegados permanentes o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.
  - Macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas; sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos.
  - Macrófitas sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carofitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.<sup>37</sup>

<sup>33</sup> VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental).

<sup>34</sup> Ibid., p. 10

<sup>35</sup> Ibid., p. 10

<sup>36</sup> Ibid., p. 10

<sup>37</sup> Ibid., p. 11

- Macrófitas flotantes libres: Presentan formas muy diversas desde plantas de gran tamaño con roseta de hojas aéreas y/o flotantes y con raíces sumergidas bien desarrolladas a pequeñas plantas que flotan en la superficie, con muy pocas raíces o ninguna. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos pero muy ocasionalmente están sumergidos.<sup>38</sup>

## 6.7 JACINTO DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)

**Figura 2. *Eichhornia crassipes***



**Fuente: autores**

Jaramillo, 2012<sup>39</sup> menciona que el Jacinto de agua también se conoce como lirio de agua, camalote o lechugín es una planta acuática perenne, vascular de flotación libre con raíces sumergibles, fibrosas y comúnmente coloreadas, de climas cálidos y fríos, con flores lilas y azulados. Es la octava planta con crecimiento más rápido en el mundo por lo que le permite extenderse y sobrevivir en muchos sitios (Figura 2).

<sup>38</sup> VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental).

<sup>39</sup> JARAMILLO JUMBO, Mariuxi Del Cisne y FLORES CAMPOVERDE Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de Agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.

### 6.7.1 Hábitat

“Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerada como la maleza acuática. En la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo”.<sup>40</sup>

### 6.7.2 Distribución geográfica

“La *Eichhornia crassipes* se originó en la amazonia, Brasil, con una prolongación natural a otras áreas de Sudamérica”.<sup>41</sup> “Aunque en su área nativa se ha convertido en una maleza, el hombre lo ha introducido en muchos países tropicales y subtropicales”.<sup>42</sup>

## 6.8 NORMATIVIDAD AMBIENTAL

“El Derecho Ambiental se ha desarrollado progresivamente como lógica respuesta a la necesidad de explotar los recursos naturales en un marco de racionalidad, aprovechamiento sostenible y protección del medio ambiente”.<sup>43</sup> A continuación, en la tabla N° 1 se describirá brevemente las normas ambientales colombianas que rigen nuestro proyecto de investigación.

**Tabla 1. Normatividad Ambiental**

NORMA	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de Colombia	Contempla que es obligación del estado y de las personas garantizar un ambiente sano y velar por la protección de las riquezas culturales y naturales de la nación. Más específicamente aplicamos el Título II capítulo 3: “LOS DERECHOS COLECTIVOS Y DEL AMBIENTE”. Artículos 79, 80, 81, 82.

<sup>40</sup> Rzedowski citado por JARAMILLO JUMBO, Mariuxi Del Cisne y FLORES CAMPOVERDE Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de Agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.

<sup>41</sup> Barret y Forno, citado por JARAMILLO JUMBO, Mariuxi Del Cisne y FLORES CAMPOVERDE Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de Agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.

<sup>42</sup> Ibid., p. 41

<sup>43</sup> ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD (AEC), 2018. Legislación Ambiental.

Código 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	
Norma RAS 2000	Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico	<p><b>TITULO E. Reglamento de Aguas Residuales:</b> El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.</p> <p><b>E.2.</b> Caracterización de aguas residuales: Se establece el procedimiento que debe seguirse para la caracterización de las aguas residuales.</p> <p><b>E.2.3</b> Recolección y preservación de muestras.</p>
<b>DECRETO 1594 DE 1984</b>	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	<p><b>CAPITULO VI. Del Vertimiento De Los Residuos Líquidos.</b></p> <p><b>ARTÍCULO 66:</b> Las normas de vertimiento serán fijadas teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados al recurso.</p> <p><b>ARTICULO 72.</b> Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con los siguientes parámetros físico químicos establecidos por la norma.</p>
<b>DECRETO 3930 DE 2010</b>	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se	<p><b>CAPÍTULO VI. De Los Vertimientos.</b></p> <p><b>Artículo 24:</b> Prohibiciones.</p> <p><b>Artículo 25:</b> Actividades no permitidas.</p>

	dictan otras disposiciones.	
--	-----------------------------	--

## 7 ANTECEDENTES

### **El Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) en el tratamiento de aguas residuales**

Los tratamientos de aguas residuales que involucran macrófitas flotantes han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Su importancia radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento.<sup>44</sup>

De acuerdo a lo anterior y con la revisión de literatura se encontró estudios relacionados con la biorremediación del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el tratamiento de aguas residuales como el titulado: "Evaluación De Especies Acuáticas Flotantes Para La Fitorremediación De Aguas Residuales Industrial Y De Uso Agrícola Previamente Caracterizadas En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua" por Poveda, 2014<sup>45</sup>, en el cual, el propósito principal fue la exposición de las distintas especies acuáticas a muestras de aguas residuales industrial (lavadora de jeans) y de uso agrícola (Río Pachanlica) para determinar su uso potencial como especies fitorremediadoras y así cumplir con las normas ambientales vigentes en el país que se encuentran en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) y Norma INEN. La evaluación consistió en la exposición de las distintas especies acuáticas flotantes: *Azolla* (*Azolla spp.*), *Lenteja de agua* (*Lemna spp.*), *Salvinia* (*Salvinia spp.*), *Jacinto de agua* (*Eichhornia crassipes*) y el *Trébol de agua* (*Limnobiium laevigatum*) a las muestras de aguas residuales. Se analizó el porcentaje de incidencia de las muestras de agua en las especies acuáticas tomando datos semanales del número de hojas verdes. Y para la determinación del porcentaje de producción de biomasa se tomó datos semanales del peso seco y se determinó el mejor tratamiento con la utilización del programa estadístico Statgraphics y prueba de TUKEY al 95% de confianza. Los resultados finales fueron que el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna spp.*), son las plantas más promisorias para poner en marcha un proceso de fitorremediación. Para conocer

---

<sup>44</sup> MARTELO, Jorge y LARA BORRERO Jaime A. Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. En: Revista de Ingeniería y Ciencia, ing. cienc. [Base de datos en línea]. Vol. 8, no. 15 (enero- junio 2012); p. 1

<sup>45</sup> POVEDA O., Rebeca Abigai. "Evaluación De Especies Acuáticas Flotantes Para La Fitorremediación De Aguas Residuales Industrial Y De Uso Agrícola Previamente Caracterizadas En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua".

las características de las muestras de aguas residuales se analizó: pH, conductividad eléctrica, Sólidos totales, Sólidos disueltos, sólidos suspendidos, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Grasas y aceites, detergentes, coliformes fecales, color, turbidez, alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos y cloruros; durante 3 semanas y mediante graficas comparativas, cuadro de ponderaciones se determinó que las dos especies producían una disminución en la mayoría de los parámetros analizados, cabe recalcar que en el caso del agua residual industrial el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es la mejor especie, mientras que en el agua residual de uso agrícola las dos especies demuestran resultados similares.

Así también, se encontró el estudio realizado por Carreño, 2016<sup>46</sup>, Titulado “Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*”, en donde nos dice que los ecosistemas naturales, tales como los humedales, son los sistemas más productivos en el mundo como resultado de la abundancia de luz, agua, nutrientes. Debido a esta abundancia y favorabilidad es común encontrar la presencia de plantas que han desarrollado adaptaciones morfológicas y bioquímicas permitiéndoles aprovechar al máximo las ventajas de estas condiciones de su entorno, las cuales han sido comúnmente denominadas malezas acuáticas. Entre estas malezas flotantes (macrófitas) se encuentra el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), el cual tiene una amplia presencia en los cuerpos húmedos de Cundinamarca (Colombia), presentan una alta capacidad invasiva desarrollando un esparcimiento elevado en estos sistemas acuáticos. Pero esta planta tiene la capacidad de transformar la materia orgánica y sobre todo acumular diferentes metales pesados en su morfología. En la presente investigación, se diseñó y construyó un biosistema de tratamiento para la remoción y retención de cromo de aguas contaminadas por los residuos del proceso de las curtiembres, siendo la *Eichhornia crassipes*, el agente retenedor de estos compuestos contaminantes, donde se evidencio una solución económica y tecnológicamente viable para el sector industrial.

Por otro lado, Valderrama, L.T., Campos, C., Velandia, S. y Zapata, N.<sup>47</sup> en su trabajo Titulado: “Evaluación del efecto de tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna sp* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas”, evaluó a escala de laboratorio el efecto de tres tratamientos con Macrófitas acuáticas -*Eichhornia crassipes*, *Lemna sp.* Y *Limnobium laevigatum*- y de un tratamiento con micro algas en la remoción de indicadores de contaminación fecal (Coliformes fecales, *Escherichia coli* y Colifagos somáticos) en aguas residuales domésticas. Se evaluó la posible relación entre los tratamientos, las variables fisicoquímicas

---

<sup>46</sup> CARREÑO SAYAGO, Uriel Fernando. Diseño y Evaluación de un Biosistema de Tratamiento a Escala Piloto de Aguas de Curtiembres a Través de la *Eichhornia crassipes*.

<sup>47</sup> VALDERRAMA, L.T., Campos, C., Velandia, S. y Zapata, N. Evaluación del efecto de tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna sp* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas.

asociadas a cada uno de ellos y la remoción de los indicadores fecales. Las Macrófitas removieron en menor tiempo los indicadores bacterianos y *E. crassipes* fue la más eficiente en la remoción de fangos.

Finalmente, García y Bacares, 2012<sup>48</sup>, en su trabajo de investigación titulado “Comparación Y Evaluación De Tres Plantas Acuáticas Para Determinar La Eficiencia De Remoción De Nutrientes En El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas”, presentan un estudio comparativo acerca de la capacidad depuradora de nutrientes presentes en las aguas residuales, de tres plantas acuáticas flotantes, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*; donde sus partes foto sintetizadoras sobre la superficie del agua y sus raíces se extienden hacia abajo dentro de la columna de agua. El objetivo principal fue determinar si el sistema de reactores con plantas acuáticas remueve nutrientes y observar si es un sistema adecuado y complementario con las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales existentes en el país. La primera fase de la investigación consistió en la aplicación de plantas acuáticas en monocultivo con *Lemna M.* y *Eichhornia C.* utilizando el efluente de las PTAR-CITRAR en Lima para analizar el efecto depurador de las plantas acuáticas, además se trabajó con un control (sin plantas), los cuales funcionaron como sistemas “por tandas”, donde el estanque en acuarios posee un área de 36.0 dm<sup>2</sup>; desarrollándose por la homogeneidad en el tamaño de los estanques. La segunda fase o técnica de esta investigación consistió en un flujo lento del efluente de la PTAR-CITRAR atravesando estanques con niveles de agua poco profundo, en las cuales plantas acuáticas flotantes (*Lemna M.* y *Eichhornia C.*) son cultivadas. Los sistemas de flujo continuo se componen de tres estanques en el que además se implementó un sistema de filtros previo al tratamiento en estudio. Se concluyó que fue posible remover los nutrientes a un 90% como se esperaba pues estudios recientes hechos en el Perú y en América Latina que señalan eficiencia promedio del 95%. Sin embargo, se determinó como mejor tratamiento a *Eichhornia crassipes*, y con base a este resultado, esta especie se aplicó para la depuración de aguas residuales domésticas.

De igual forma, el estudio realizado por Valderrama, 1996<sup>49</sup>, titulado “USO DE DOS ESPECIES DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS, *Limnobium laevigatum* Y *Eichhornia crassipes* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGRO INDUSTRIALES” Se evaluó a escala piloto el efecto de dos macrófitas acuáticas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el mejoramiento de la calidad de un agua residual agroindustrial. Las dos macrófitas evaluadas fueron eficientes en la estabilización y neutralización del pH, disminución de las concentraciones de coliformes totales, DBO, DQO y sólidos suspendidos totales.

---

<sup>48</sup> GARCÍA y BACARES citado por GARCÍA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

<sup>49</sup> Valderrama Valderrama, L. (1). Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agro industriales.

Eficiencias promedio de remoción: coliformes totales, 68 y 22% con *L laevigatum* y *E. crassipes* respectivamente; DBO, 76 Y 53%; DQO, 26 Y 18%; sólidos suspendidos totales, 70 y 56% con *L laevigatum* y *E. crassipes* respectivamente. *L laevigatum* produjo un incremento en la alcalinidad total con respecto al afluente y fue más eficiente en la remoción de coliformes fecales que *E. crassipes*. Para los otros parámetros evaluados: temperatura, conductividad, sólidos disueltos y cloruros, las macrófitas no produjeron diferencias significativas en el afluente.

Por último, Rodríguez Pérez *et. al*<sup>50</sup>, realizaron un estudio comparativo denominado “Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales”. Este consistía en evaluar de la capacidad depuradora de cinco plantas acuáticas flotantes sobre las aguas residuales. Para analizar el efecto depurador de las plantas se trabajó además con controles (sin plantas) los cuales funcionaron como lagunas de estabilización. Los resultados obtenidos demuestran que mediante el uso de estas plantas se pueden obtener buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales domésticas, siendo significativo las remociones en carga de nitrógeno, y cargas de fósforo, observándose que el tamaño de la planta, así como su sistema radicular influyen en la remoción de contaminantes. Los estanques utilizados como lagunas o lagunas con plantas presentaron las siguientes dimensiones: 0.74m de ancho superior, 0.51m de ancho inferior, 1.50m de largo y 0.56m de profundidad, siendo el área superficial de 1.11m<sup>2</sup> y el volumen de 0.47m<sup>3</sup> para una profundidad efectiva de 0.50m de profundidad. A estos estanques se les suministraban de forma continua las aguas residuales provenientes de una comunidad cercana; dichas aguas eran previamente bombeadas a unos tanques almacenadores a partir de los cuales se alimentaban los estanques. Las muestras de agua fueron tomadas a la entrada y la salida de cada estanque, después que cada sistema se encontraba en el estado estacionario. A estas muestras se les determinaron según los Métodos Standart (1985) : DBO, NTK, PT, SST y Coliformes Fecales (CF), estas tres últimas pruebas no se les realizaron a todas las muestras. A las plantas cosechadas se les determinó humedad y nitrógeno. Los resultados obtenidos demuestran que mediante el uso de plantas acuáticas flotantes se pueden lograr buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales domésticas, siendo el jacinto de agua la planta más eficiente, lográndose remociones de hasta 70% en DBO.

---

<sup>50</sup> RODRÍGUEZ PÉREZ, de Agreda Celia; DÍAZ MARRERO, Miguel; GUERRA DÍAZ, Luis y HERNÁNDEZ DE ARMAS, Julia María. Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales.

## 8 METODOLOGÍA

### 8.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Silvia, se localiza en el departamento del Cauca, y se ubicada en el oriente caucano. Su cabecera se encuentra sobre las coordenadas: 2° 36 '57" de latitud norte y 76° 21' de longitud occidental Limita al oriente con los municipios de Páez e Inzá, al sur con Totoró, al occidente con Piendamó y Cajibío y al norte con Caldono y Jámbalo (figura 3).<sup>51</sup>

El Corregimiento de Usenda está constituido por siete veredas, su cabecera se encuentra ubicada al occidente del municipio de Silvia, localizado al oriente del departamento del Cauca, con una altitud aproximadamente 2464 metros sobre el nivel del mar, con predominio de clima frio, su temperatura promedio está estimada en los 12°C, con una humedad del 30%.<sup>52</sup>

#### Suelos

Los suelos de este corregimiento se encuentran en pequeñas áreas donde existen concentraciones de humedad dentro del paisaje, planos intramontanos.<sup>53</sup>

Son suelos derivados de cenizas volcánicas; moderadamente profundos limitados por una concentración de hierro; con texturas finas; moderadamente a bien drenados; de color pardo oscuro en la superficie y amarillo parduzco en los horizontes inferiores, frecuentemente presentan manchas rojizas; no presentan concreciones ni grietas.<sup>54</sup>

Químicamente estos suelos presentan una capacidad de intercambio catiónico muy alta; mediana en bases totales; saturación de bases muy bajas; saturación de calcio, magnesio y potasio muy bajo; carbón orgánico muy alto en la capa arabi y en lo alto en los horizontes subyacentes; muy bajo contenido de fósforo aprovechable; reacción mediana a ligeramente acida (pH 5.7-6.2).<sup>55</sup>

#### Hidrografía

El municipio de Silvia cuenta con 5 subcuencas hidrográficas: la subcuenca del rio Piendamó, la subcuenca del rio Cofre, la subcuenca del rio Ovejas, la subcuenca del rio Jámbalo o palo y la subcuenca del rio Pisno. Estas subcuencas son tributarias del rio Cauca a excepción de la subcuenca rio Pisno.<sup>56</sup>

---

<sup>51</sup> EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SILVIA E.S.P., 2015. Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Usenda, Silvia, Cauca.

<sup>52</sup> Ibid., p.

<sup>53</sup> Plan de vida del municipio de Silvia. 2000-2020.

<sup>54</sup> Ibid., p. 292

<sup>55</sup> Ibid., p. 292

<sup>56</sup> Ibid., p. 294

**Figura 3. Localización área de estudio**



**Fuente:** autores

**FASES:** Para llevar a cabo este trabajo de investigación se tuvieron en cuenta las siguientes fases:

- **FASE N° 1:** Revisión bibliográfica
- **FASE N° 2:** Trabajo de campo y laboratorio
- **FASE N° 3:** Análisis de resultados

### 8.1.1 Fase 1: revisión bibliográfica

En esta fase se realizó la recolección de información secundaria, contenida en bases de datos en línea como Scielo, Dialnet, revistas científicas, páginas web y normatividad ambiental vigente; además se obtuvo información acerca del sistema de alcantarillado con la comunidad de Usenda y conjuntamente participo el Alcalde Municipal de Silvia – Cauca. La información obtenida a través de las bases de datos en línea, fue principalmente relacionada con la capacidad de depuración que las macrófitas poseen para ser implementadas como alternativa de tratamiento para aguas residuales. Teniendo en cuenta lo anterior, se buscó información del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), su eficiencia en la descontaminación de aguas residuales, sus condiciones óptimas para su desarrollo, así como también se logró conocer las condiciones del lugar tales como el clima, temperatura, entre otras.

## 8.1.2 Fase 2: trabajo de campo y laboratorio

Esta fase se llevó a cabo por medio de las siguientes actividades:

### 8.1.2.1 Actividad N° 1: Reconocimiento del Área en que se trabajo

Se realizó una visita de reconocimiento al área de estudio, con la finalidad de saber el trayecto de las tuberías que provenían del corregimiento, además, para saber el lugar exacto de disposición de las ARD (figura 4). De esta forma el reconocimiento del área también sirvió para observar visualmente el área más pertinente para la instalación de las unidades experimentales y del tanque de almacenamiento de las ARD.

**Figura 4. Reconocimiento área de estudio**





Fuente: autores

### 8.1.2.2 Actividad N° 2: Aclimatación y caracterización de las plantas

Para esta investigación se compraron 30 individuos de Jacinto de agua a través de un proveedor que ofreció las características morfológicas adecuadas, teniendo en cuenta las condiciones que especifican Jaramillo y Flores, 2012<sup>57</sup>(figura 5). 20 de estos individuos se implementaron en las unidades experimentales (UE), los 10 restantes se dejaron como reserva en caso de perder algunos individuos en el proceso de aclimatación.

- Que tengan buena pigmentación.
- Que no presenten ninguna anomalía en ninguna de sus partes.
- Que sean plantas jóvenes. La *Eichhornia crassipes* se reconoce por el color azulado de sus raíces (Jaramillo y Flores, 2012)<sup>58</sup>
- Que posean buen espesor radicular y que no presenten necrosis en las hojas.

De acuerdo a Carrión y Cuenca, 2009<sup>59</sup>, se sabe que el Jacinto de agua se caracteriza por una gran resistencia a condiciones adversas. Sin embargo y de acuerdo a lo anterior después de haber obtenido las plantas con las mejores condiciones morfológicas se sometieron a un proceso de aclimatación. En dicho proceso las plantas se introdujeron dentro de estanques y se dejaron en un lugar ventilado e iluminado por un periodo de 3 días, tal y como lo afirma Juárez y Rico, 2009<sup>60</sup>. Este proceso fue de gran importancia, ya que como lo menciona

---

<sup>57</sup> JARAMILLO JUMBO, Mariuxi Del Cisne y FLORES CAMPOVERDE Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de Agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.

<sup>58</sup> Ibid., p. 55

<sup>59</sup> CUENCA L., Numan y CARRIÓN C., Ligia. Bioensayo Con Macrófitas Acuáticas Para El Tratamiento De Lixiviados Procedentes Del Relleno Sanitario De Pichacay.

<sup>60</sup> JUÁREZ PÉREZ, J.C. y RICO RODRÍGUEZ, M.A. Determinación Del Tiempo Máximo De Absorción Del Plomo (Pb) Y Cadmio (Cd) Por Macrófitas Acuáticas En Condiciones De Laboratorio.

Docaur, 1983<sup>61</sup> el rango óptimo de temperatura para distintas especies consta de 25 a 31°C.

### Figura 5. Aclimatación de las plantas



**Fuente: autores**

Antes de que los 20 individuos fueran dispuestos en sus respectivos sistemas de distribución de las ARD, implementamos una base de datos en Microsoft Excel 2016 para asignar a cada planta una numeración, la longitud de la planta, el peso y algunas observaciones de sus características morfológicas. Lo anterior se realizó con el fin de tener datos que permitieran comparar el número de natalidad o mortalidad de las mismas, así como también la variación de las características morfológicas a través del tiempo (figura 5).

---

<sup>61</sup> DOCAUR, 1983 citado por JARAMILLO JUMBO, Mariuxi Del Cisne y FLORES CAMPOVERDE, Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de Agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.

**Figura 6. Caracterización morfológica de las plantas**



**Fuente: autores**

### **8.1.2.3 Actividad N° 3: Aforo Volumétrico del tanque de distribución de ARD**

Para el aforo volumétrico se utilizó un recipiente de 200 litros (tanque de almacenamiento), en el cual se dispuso el agua residual doméstica proveniente del vertimiento, con el fin de medir el flujo de agua residual a la salida de dicho tanque, mediante tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada, para así obtener el volumen del agua vertida y de esta manera poder calcular el caudal promedio que se distribuiría a las unidades experimentales (UE) (figura 7).

De acuerdo a lo establecido por el IDEAM<sup>62</sup> en el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales, se buscó un recipiente plástico con un volumen de 20 Litros, así como también, un cronómetro y posteriormente se procedió a llenarlo conjuntamente con el conteo simultáneo del cronómetro. Esta actividad finalizó una vez el recipiente quedó lleno y al mismo tiempo se desactivó el cronómetro.

Dado que el volumen del tanque principal fue de doscientos litros, este procedimiento se realizó diez veces, con el fin de obtener la medición del flujo de agua que contenía el tanque principal.

De este modo, con los datos obtenidos (anexo 1) de volumen y tiempo se implementó la ecuación 1 para conocer el caudal.

---

<sup>62</sup> IDEAM, 2007

$$Q = \frac{\text{Volumen (L)}}{\text{Tiempo (s)}} \text{ Ecuación 1.}$$

Donde:

Q: Caudal

V: Volumen (Litros)

t: Tiempo (segundos)

**Figura 7. Aforo volumétrico**



**Fuente: autores**

#### **8.1.2.4 Actividad N° 4. Montaje del sistema de tratamiento**

A continuación, en la tabla 2 describiremos los materiales implementados para el montaje.

**Tabla 2. Materiales de construcción para el montaje**

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
Tanque de 200 L.	1
Tubería PVC ½ pulgada	1 tubo de 6 metros, 1 de 4 metros
Codos	2
Uniones	6
Llaves de paso	11

Pegante para PVC	2 frascos
Manguera Flexible	5 metros
Estanques plásticos	5
Plástico tipo invernadero	6 x 4 metros
Soporte de madera	1

#### 8.1.2.4.1 Tanque de almacenamiento

En un tanque de 200 litros (figura 8) fue depositada el agua residual doméstica proveniente del corregimiento de Usenda, la cual fue distribuida a los tanques de plástico (UE) mediante tubería de ½ pulgada (figura 8).

**Figura 8. Tanque de almacenamiento de las ARD**



**Fuente: autores**

#### 8.1.2.4.2 Tanque de cabeza constante

Este tanque se utilizó con la finalidad de regular el caudal de salida del tanque de almacenamiento a las UE, así como también, permitió un flujo constante de agua residual previniendo que la tubería se taponara por consecuencia del paso de residuos (figura 9).

**Figura 9. Tanque de cabeza constante**



**Fuente: autores**

#### **8.1.2.4.3 Tanques de plástico o unidades experimentales (UE)**

Para el sistema de tratamiento de aguas residuales con la planta Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), se acondicionó un sistema a escala piloto muy similar al propuesto por Carreño, 2016<sup>63</sup>.

En el sistema anterior, para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando el Jacinto de agua, se implementaron 5 tanques de plástico (UE) que constaban de 50 cm de largo, 60 cm de alto y 40 cm de ancho, cuatro de estos fueron para los diferentes tiempos de retención hidráulica, es decir para 6 y 12 días respectivamente, el restante se utilizó como blanco del experimento, es decir que se empleó como control (sin plantas) para los tratamientos (figura 10,11,12 y 13).

---

<sup>63</sup> CARREÑO SAYAGO, Uriel Fernando. Diseño y Evaluación de un Biosistema de Tratamiento a Escala Piloto de Aguas de Curtiembres a Través de la *Eichhornia crassipes*.

**Figura 10. Unidades experimentales (UE)**



**Fuente: autores**

Consecuentemente a estos 5 estanques se les adapto tubería de ½ pulgada más una llave de paso en la parte inferior para la regulación de la salida del caudal.

De esta forma en dichos estanques se depositó el agua residual hasta un llenado aproximado de 50 cm cada uno, lo anterior con base a lo especificado por Ávila, Castillo y Zárate, 2000<sup>64</sup>, ya que ellos indican que la columna de agua deberá estar entre los 0,45 metros hasta 1,2 metros con el fin de que las raíces de las plantas hagan contacto con el cuerpo de agua adicionado.

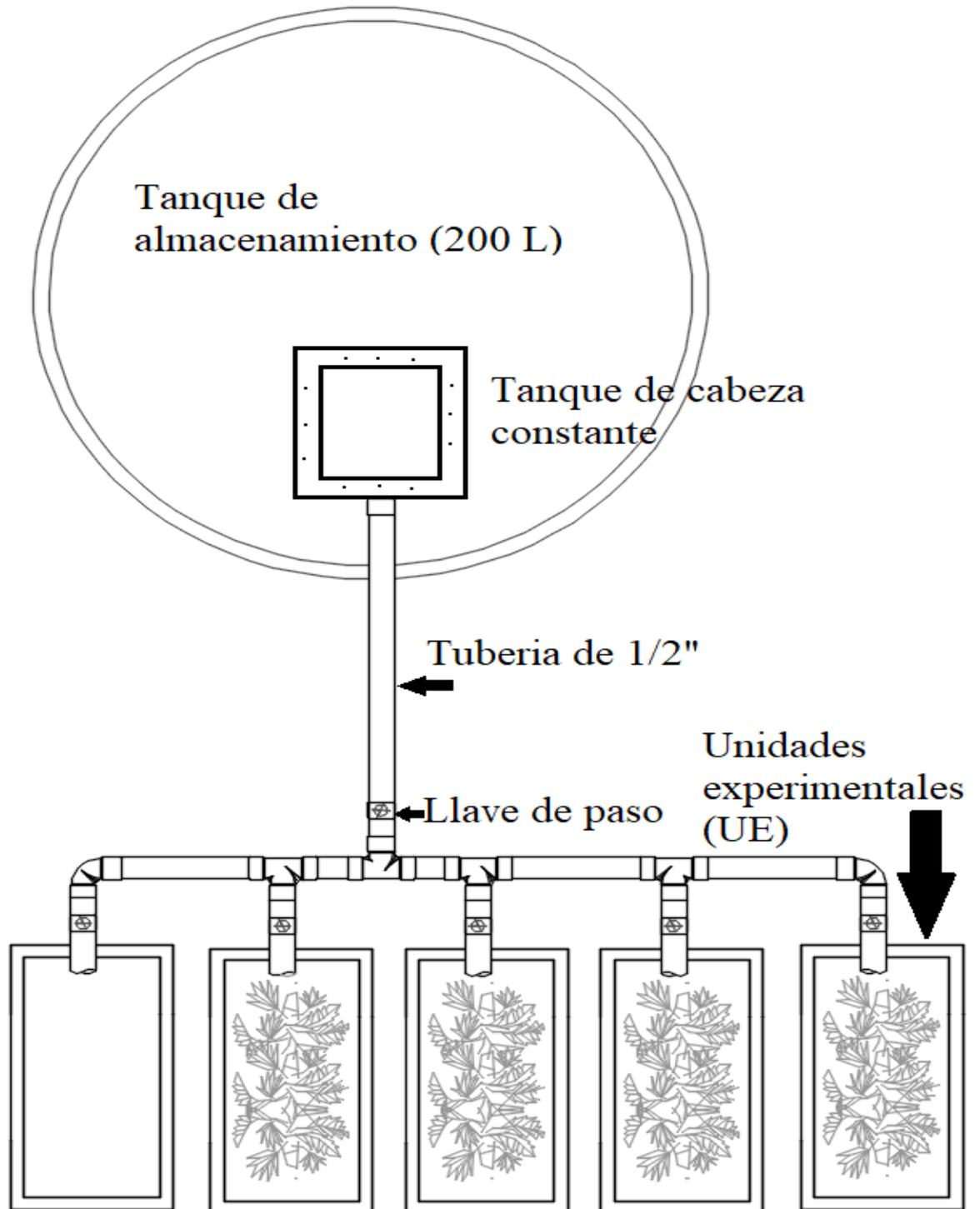
De igual manera en el lugar se implementó una cobertura con plástico de invernadero para prevenir incidencias directas del agua lluvia sobre el agua residual y sobre el desempeño fisiológico de las plantas como lo menciona Cuenca y Carrión.<sup>65</sup>

---

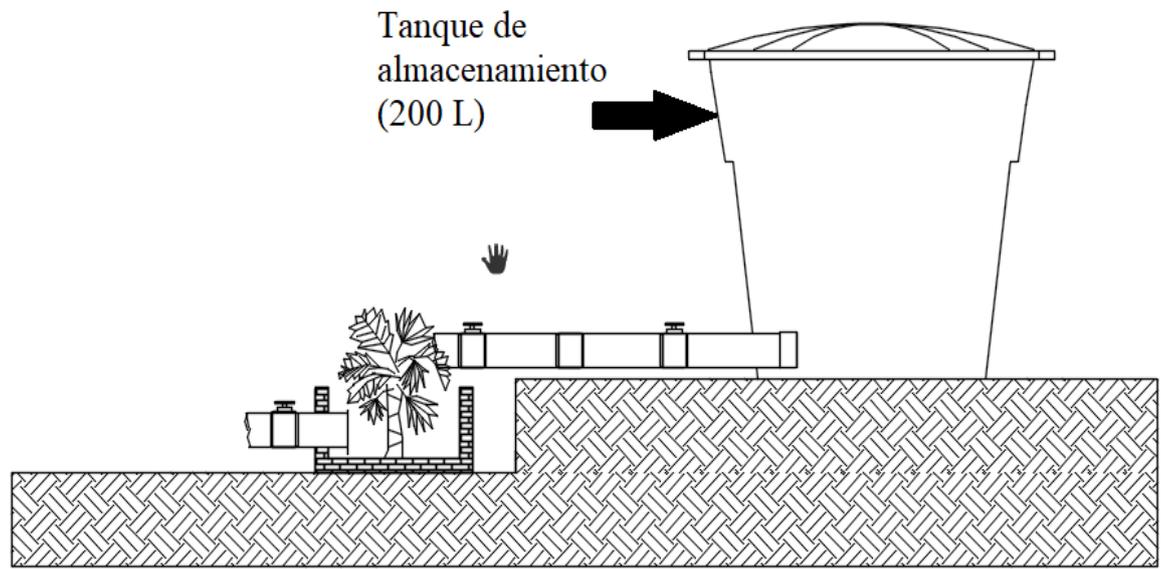
<sup>64</sup> ÁVILA NARANJO, José Domingo; CASTILLO QUIÑONEZ David Alberto y ZÁRATE ENRÍQUEZ Walter Salomón. Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), Alternativa para el Tratamiento de Agua Dulce en Producción Acuícola.

<sup>65</sup> CUENCA L., Numan y CARRIÓN C., Ligia. Bioensayo Con Macrófitas Acuáticas Para El Tratamiento De Lixiviados Procedentes Del Relleno Sanitario De Pichacay.

Figura 11. Diseño a escala Piloto de los tratamientos (vista aérea)



**Figura 12. Diseño a escala Piloto de los tratamientos (vista lateral)**



Vista lateral del montaje

**Figura 13. Sistema a escala piloto instalado**



**Fuente: autores**

#### **8.1.2.5 Actividad N° 5: Trabajo de laboratorio**

Se tomó la muestra del agua residual domestica que se encontraba depositada en el tanque de almacenamiento de 200 litros para así poder conocer las condiciones iniciales del agua, esta muestra fue colectada en 2 recipientes

plásticos de 1 litro cada uno (figura 14), transportadas en una nevera a 4°C dando así cumplimiento al protocolo de toma de muestras de aguas residuales del IDEAM.<sup>66</sup> Una vez recolectadas las muestras inicialmente fueron llevadas al laboratorio de la Corporación autónoma regional del Cauca (CRC) para así poder conocer las condiciones iniciales del agua y así obtener datos con una mayor confiabilidad.

**Figura 14. Recipientes con las muestras iniciales**



**Fuente: autores**

Por otro lado, una vez puesto en marcha los tratamientos, se procedió a tomar muestras en los distintos tiempos de retención hidráulica, es decir cada 6 y 12 días inicialmente. Cabe resaltar que cada una de las muestras fueron recolectadas en recipientes plásticos de un litro, transportadas en una nevera a 4°C y posteriormente llevadas al laboratorio de química de la Fundación Universitaria De Popayán (FUP) para su respectivo análisis.

A continuación, en la tabla 3 se describen los parámetros físico- químicos utilizados para determinar las condiciones del agua residual, de acuerdo a lo establecido en los índices ICO. De acuerdo a Ramírez et al., 1997<sup>67</sup> los parámetros a medir son los siguientes: conductividad, dureza, alcalinidad, DBO, coliformes totales, fosfatos, nitritos, nitratos y turbidez.

También las aguas residuales domesticas se sometieron a una caracterización microbiológica de tipo cualitativo que se realizó al inicio, al intermedio y al

---

<sup>66</sup> IDEAM, 2007.

<sup>67</sup> RAMÍREZ, A.; RESTREPO, R. y VIÑA, G. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación.

finalizar el tratamiento, en las instalaciones del laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán sede los robles.

**Tabla 3. Parámetros físico-químicos y microbiológicos para la caracterización de las ARD – Laboratorio FUP**

<b>Parámetros</b>	<b>Equipo Utilizado Laboratorio FUP</b>
Oxígeno	kit aquamerck
Ph	pH – metro
Conductividad	conductímetro YSI 600
Nutrientes (Nitritos, Nitratos, Fosfatos)	kit aquamerck
Turbidez	Turbidímetro
DBO	OXITOP
Alcalinidad	
Dureza	
Coliformes totales	

Fuente: autores

#### **8.1.2.6 Actividad N° 6. Medidas de manejo para la disposición final de las aguas tratadas y las plantas usadas.**

Para realizar la disposición final de las plantas se dispuso el traslado de los estanques hacia la Institución Educativa Marina Beltrán de Usenda de especialidad agropecuaria, en donde se propuso utilizar la metodología planteada por Valle Barrientos, 2009<sup>68</sup>, como alternativa para la disposición final de las mismas, además Valderrama, 1996.<sup>69</sup> Manifiesta que estas plantas se pueden utilizar sin ningún tipo de problema como abono, alimento animal o producción de energía.

#### **8.1.3 Fase N° 3 Análisis de resultados**

En esta etapa se realizó el análisis de los resultados obtenidos en la medición de los diferentes parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento implementando norma ambiental vigente, rangos ecológicos permisibles; además se empleó el Software SPSS versión 24.0, de esta forma se utilizaron análisis descriptivos con el fin de obtener promedios, posibles errores e

<sup>68</sup> VALLE BARRIENTOS, Carolina Isabel. Aprovechamiento del Jacinto acuático de la planta de tratamiento “ing. Arturo pazos sosa” para la producción de abono orgánico.

<sup>69</sup> Valderrama Valderrama, L. (1). USO DE DOS ESPECIES DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS, *Limnobium laevigatum* Y *Eichhornia crassipes* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGRO INDUSTRIALES.

igualmente los máximos y mínimos de cada parámetro fisicoquímico. Por otro lado, también se emplearon pruebas de tipo no paramétricas para muestras independientes a través de la prueba U de Mann Whitney y muestras relacionadas por medio de la prueba de Wilcoxon para poder estimar si hay diferencias significativas de los parámetros antes y después de los tratamientos.

## 9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

En la muestra inicial de la caracterización de las aguas residuales domésticas realizadas en el Laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán sede los Robles, se midieron los parámetros establecidos en los índices ICO<sup>70</sup> para aguas residuales y posteriormente fueron comparados con la Normatividad vigente donde se establecen los límites máximos para el vertimiento de dichas aguas (Resolución 631 de 2015)<sup>71</sup> y de igual manera se contrasto con los rangos ecológicos.<sup>72</sup>

Con esta caracterización inicial se pudo evidenciar que parámetros como la DBO, DQO y SST no cumplen con los límites máximos permisibles para dichos vertimientos (Tabla 4). De acuerdo a lo anterior se puede determinar la gran problemática ambiental que presenta estas aguas residuales domésticas, puesto que al tener valores tan elevados pueden repercutir negativamente en el equilibrio ecológico de la quebrada Agua Vieja de acuerdo a lo especificado por Espigares y Pérez 1985<sup>73</sup>, ya que, habrá mayor turbidez y, por lo tanto, menor penetración lumínica lo que lleva a una alteración en las cadenas tróficas, sin embargo, en el último análisis fisicoquímico los tratamientos arrojan gran disminución en este parámetro. (Tabla 5)

**Tabla 4. Caracterización, comparación y fisicoquímica de las ARD antes de los tratamientos. (resolución 0631 de 2015 y Rangos Ecológicos)**

Caracterización, comparación y fisicoquímica de las ARD							
Parámetros	Unidad o método	TRH 6 Promedio (X)	Error Estándar(± S)	TRH 12 Promedio (X)	Error Estándar(± S)	Limite permisible (Resolución 0631 del 2015)	Rangos Ecológicos
Oxígeno	mg/L	4,33	±0,06	4,29	±0,05		7,0-9,0
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	262,85	±1,94	261,42	±2,31	90	
Conductividad	US/cm	462,85	±3,43	458,28	±3,09	90	20-50

<sup>70</sup>RAMÍREZ, A.; RESTREPO, R. y VIÑA, G. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación.

<sup>71</sup> Resolución 631 de 2015. De las Normas de vertimiento. Bogotá, 2015.

<sup>72</sup> Roldan P, G.A., Ramírez R, J.J. Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia, 2008.

<sup>73</sup> ESPIGARES GARCÍA, M. y PÉREZ LÓPEZ, JA. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985

Dureza Carbonácea	mmol/L	6,9	±0,22	6,74	±0,22	Análisis y reporte	
Dureza total	mg/L	164,28	±6,77	158,57	±6,86	Análisis y reporte	<10 baja productividad 10-25 media >25 alta
Alcalinidad	mg/L	471,57	±4,04	468,28	±3,80	Análisis y reporte	<160
pH		8,06	±0,007	8,04	±0,01	6,00-9,00	
Acidez Total	mg/L	259	±2,64	256,71	±2,05	Análisis y reporte	
Turbidez	NTU	167,17	±1,06	167,27	±1,08	90,00	
Fosfatos	mg/L	4,92	±1,92	3	±0,0	Análisis y reporte	0,001 – 0,002
Nitritos	mg/L	0,03	±0,0	0,02	±0,0	Análisis y reporte	0,01
Nitratos	mg/L	50	±0,0	50	±0,0	Análisis y reporte	0,02

**Tabla 5. Comparativa de los valores máximos permisibles (resolución 0631 de 2015 y Rangos Ecológicos) con los valores de la muestra final después de los tratamientos.**

Caracterización y comparación fisicoquímica de las ARD							
Parámetros	Unidad o método	TRH 6 Promedio (X̄)	Error Estándar(±S)	TRH 12 Promedio (X̄)	Error Estándar(±S)	Limite permisible (Resolución 0631 del 2015)	Rangos Ecológicos
Oxígeno	mg/L	4,22	±0,34	3,14	±0,21		7,0-9,0
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	102,14	±17,97	29,28	±9,46	90	
Conductividad	US/ cm	320,57	±32,07	188,70	±41,63	90	20-50
Dureza Carbonácea	mmol/L	4,08	±0,39	2	±0,28	Análisis y reporte	
Dureza total	mg/L	125,71	±14,59	82,85	±11,25	Análisis y reporte	<10 baja productividad 10-25 media >25 alta

Alcalinidad	mg/L	171,57	±37,28	75	±23,45	Análisis y reporte	<160
pH		8,03	±0,012	7,47	±0,16	6,00-9,00	
Acidez Total	mg/L	184,85	±22,55	97,64	±19,54	Análisis y reporte	
Turbidez	NTU	18,28	±6,29	49,94	±16,54	90,00	
Fosfatos	mg/L	1,67	±0,38	0,5	±0,22	Análisis y reporte	0,001 – 0,002
Nitritos	mg/L	0,17	±0,14	0,01	±0,00	Análisis y reporte	0,01
Nitratos	mg/L	28,57	±2,42	25,71	±5,90	Análisis y reporte	0,02

## 9.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLANTAS

En la caracterización de las plantas se encontró que, al finalizar los tratamientos se obtuvieron 18 plantas jóvenes con respecto a las 20 iniciales en las 4 UE. Además de esto, también se evidenció que estas plantas presentaban buena pigmentación, raíces de color azuladas, no tenían anomalías y siete de ellas mostraban inflorescencias. En contexto las plantas de Jacinto de agua se proliferaron de manera eficiente en estas ARD. La información al respecto se puede encontrar en el anexo 7.

**Figura 15. Toma de peso de las plantas**



**Fuente: autores**

### 9.3 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Los resultados obtenidos demostraron que al inicio del tratamiento las ARD contenían presencia de *Aero bacter* y *E. coli*. Al intermedio del tratamiento, es decir al tercer muestreo para el TRH de 12 días y de 6 días, las muestras arrojaron negativo para *E. coli* y positivo para *Aero bacter* (Tabla 6).

**Tabla 6. Caracterización microbiológica de las ARD.**

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA			
	MUESTREO (INICIAL)	MUESTREO (INTERMEDIO)	MUESTREO (FINAL)
<i>Aero bacter</i>	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
<i>E. coli</i>	POSITIVO	NEGATIVO	NEGATIVO

De la misma forma en el séptimo muestreo para los 2 TRH de 6 y de 12 se hizo la caracterización microbiológica final. En esta se encontró los mismos resultados de la prueba intermedia. Lo que demuestra que tal y como lo afirma Van der Steen *et al*<sup>74</sup> la *Eichhornia crassipes*, es capaz de remover o inhibir hasta en un 99% el acondicionamiento para la carga microbiológica (*E. coli*) a partir de los 6 días.

**Figura 16. Cultivo microbiológico**



**Fuente: autores**

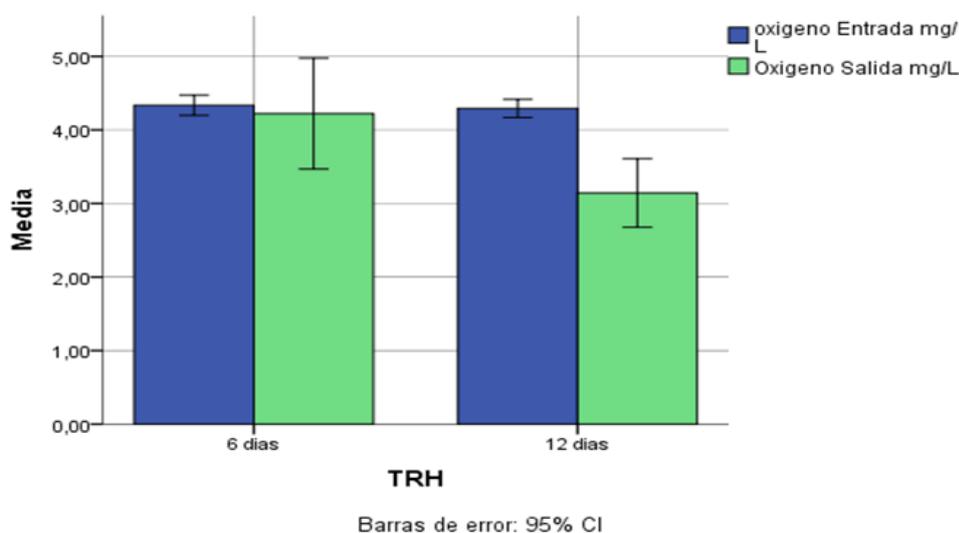
<sup>74</sup> VAN DER STEEN citado por GARCÍA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

## 9.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (ARD).

### 9.4.1 Oxígeno

En la gráfica 1, se observa la concentración de oxígeno disuelto en el sistema en los dos TRH, es decir a los 6 y 12 días, donde se evidencia que en el tiempo de retención de 6 días la concentración de oxígeno a la entrada como a la salida del sistema tiende a ser igual, debido a que en estas aguas la materia orgánica es muy alta y su eliminación en este tipo de humedales es compleja, ya que, esta eliminación es el resultado de la interacción de numerosos procesos físicos, químicos y bióticos que suceden de forma simultánea<sup>75</sup>. Así pues, al hacer el análisis estadístico con la prueba de Wilconxon para muestras relacionadas (anexo 1), arroja un resultado de significancia  $P \geq 0,05$  (anexo 3) en el TRH de 6 días, lo cual indica que los datos obtenidos a la entrada como a la salida del tratamiento no presentan variaciones es decir tienden a ser iguales.

**Grafica 1. Media de entrada y salida del oxígeno disuelto (OD)**



Adicionalmente se observa que en el TRH de 12 días a la entrada del sistema la media de los datos obtenidos es la misma del TRH de 6 días debido a que el afluente para los dos TRH es el mismo, sin embargo, a la salida del sistema en el TRH de 12 días se ve una disminución de la concentración del oxígeno, debido a que los microorganismos presentes en el agua residual consumen el oxígeno

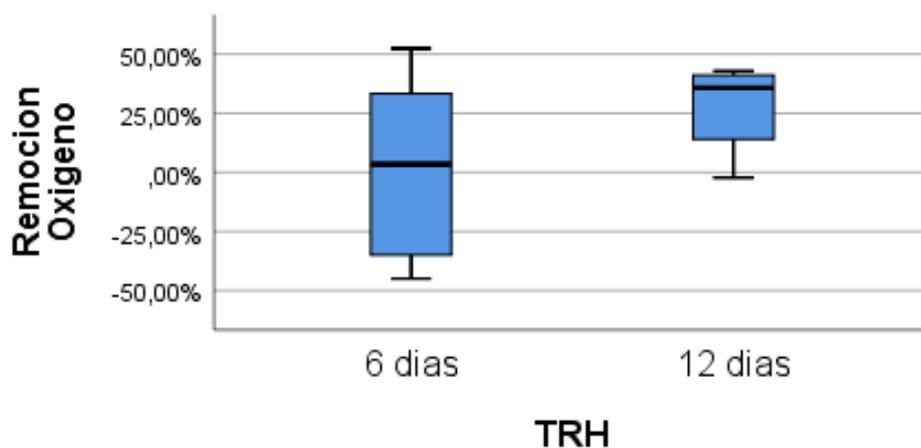
<sup>75</sup> García, JOAN, Corzo Angelica. DEPURACIÓN CON HUMEDALES ARTIFICIALES. Guía práctica de Diseño, construcción y explotación de sistema de humedales de flujo superficial.

para llevar a cabo los procesos de transformación y eliminación<sup>76</sup> de materia orgánica, además de la oxidación de algunos parámetros químicos como los procesos de nitrificación; además al hacer la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, es decir la concentración de oxígeno a la entrada y salida del sistema en el TRH de 12 días, arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) lo cual indica que los resultados obtenidos son significativos para el análisis.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos TRH, se evidencia que la mayor disminución del oxígeno disuelto se dio en el TRH de 12 días, sin embargo, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes arroja una significancia de  $P \leq 0,05$  (anexo 5) lo cual indica que los datos obtenidos a la salida del sistema en los dos TRH, es decir a los 6 y 12 días muestran variación por lo tanto son significativos, por lo que se deduce que el tiempo de retención influye en la disminución del oxígeno.

Sin embargo, los valores obtenidos de OD en los dos tiempos de retención son bajos. Esto se puede explicar debido a la implementación de la cubierta de plástico utilizada en el montaje y que como consecuencia causa impacto negativo en el efecto de aireación del sistema, lo anterior se afirma en el estudio realizado por Valderrama *et al.*, 2003.<sup>77</sup>

**Grafica 2. Remoción oxígeno**



En la gráfica 2, se puede observar el porcentaje de remoción obtenido en los dos TRH de 6 y 12 días, en donde se evidencia que en el TRH de 6 días hay porcentajes con valores negativos debido quizá a errores en la medición de este parámetro en el laboratorio, obteniendo así valores de -45% y/o también al crecimiento de algas u otros microorganismos que cuando mueren van al fondo

<sup>76</sup> OTALORA. R. ALEJANDRA P. 2011. Evaluación Del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas Mediante Humedales Artificiales De Alta Tasa En La Locación Petrolera De Caño Gandul.

<sup>77</sup> VALDERRAMA *et al.* Op.cit., p. 195

y en su putrefacción consumen el oxígeno del agua<sup>78</sup>, sin embargo en este tiempo fue donde se obtuvo el mayor porcentaje de remoción alcanzando valores en el sistema del 52% de remoción de oxígeno.

Por otro lado, en el TRH de 12 días se obtienen valores 13,98% de remoción hasta alcanzar un 42,86%. (anexo 6)

Así pues, en la remoción del oxígeno en el sistema si influye el tiempo, ya que como se mencionó anteriormente fue en el menor tiempo de retención es decir a los 12 días donde se obtuvo la mayor remoción, debido a que las plantas son capaces de transportar el oxígeno en grandes cantidades desde los tallos hacia las raíces y rizomas, contribuyendo a los procesos de depuración<sup>79</sup>.

#### **9.4.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

En la gráfica 3, se evidencia la media de entrada y salida de la DBO en el sistema en los dos TRH ( 6 y 12 días), observándose que en el TRH de 6 días hay una diferencia si se compara la entrada con la salida en este tiempo mostrando así una disminución de la DBO a la salida, debido a que por procesos de nitrificación en los cuerpos de agua con altas poblaciones de bacterias nitrificantes ocurre una demanda adicional de oxígeno, por la oxidación de cualquier compuesto de nitrógeno no oxidado previamente<sup>80</sup>, además, al hacer el análisis estadístico para el TRH de 6 días por medio de la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas arroja una significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3) lo cual indica que los resultados obtenidos a la entrada y la salida del sistema en este tiempo de retención muestran una diferencia y son significativos para el análisis.

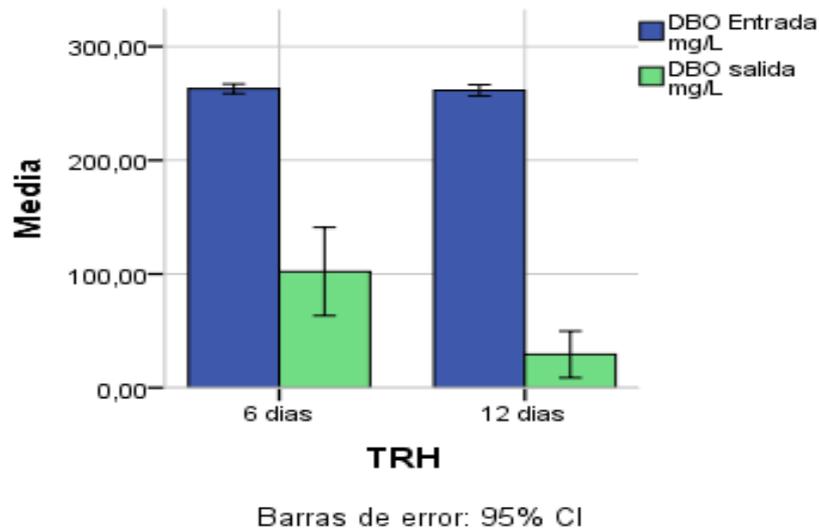
---

<sup>78</sup> SOTO, F. José Luis. 2016. Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abonados del río segura. Master Universitario en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Valencia

<sup>79</sup> COLEMAN *et al.*, 2000. Citado por: OTALORA R. Alejandra P. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño gandul. Universidad Nacional de Colombia.2011.

<sup>80</sup> ROLDAN P, G.A., RAMÍREZ R, J.J. Fundamentos de limnología Neotropical. Universidad de Antioquia, 2008. Pag 230.

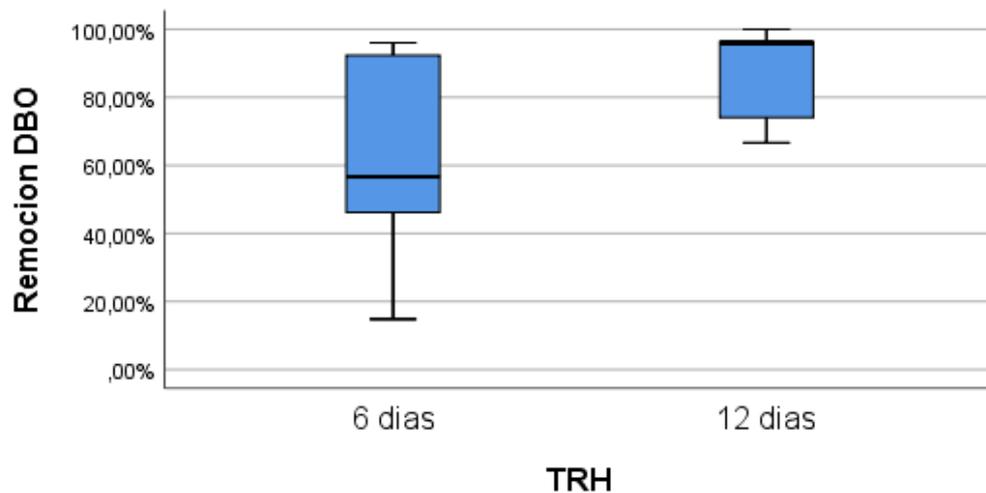
**Grafica 3. Media de entrada y salida de la DBO.**



Así también, en la gráfica 3 se puede observar el comportamiento de la DBO en el TRH de 12 días, donde hay una notable diferencia a la entrada y salida del sistema ya que, con el paso de la ARD por el tratamiento, las plantas y los microorganismos han tenido mucho más tiempo para la degradación de la materia orgánica. Además, esta diferencia se puede constatar con la prueba estadística de Wilcoxon realizada a los resultados obtenidos de la entrada y salida en el TRH de 12 días donde arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4), lo cual indica que hay una variación en los datos obtenidos.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos TRH se evidencia que fue en el TRH de 12 días donde se dio la mayor disminución de la DBO, sin embargo, al hacer la prueba estadística U de Mann Whitney para muestras independientes nos arroja un nivel de significancia de  $P \leq 0,05$  (anexo 5) lo cual indica que los resultados obtenidos a la salida del sistema en los dos TRH son significativos para el análisis.

**Grafica 4. Remoción DBO**



En cuanto a la remoción de la DBO, en la gráfica 4 se observa que en los dos TRH la remoción de este parámetro toma valores mayores al 40%.

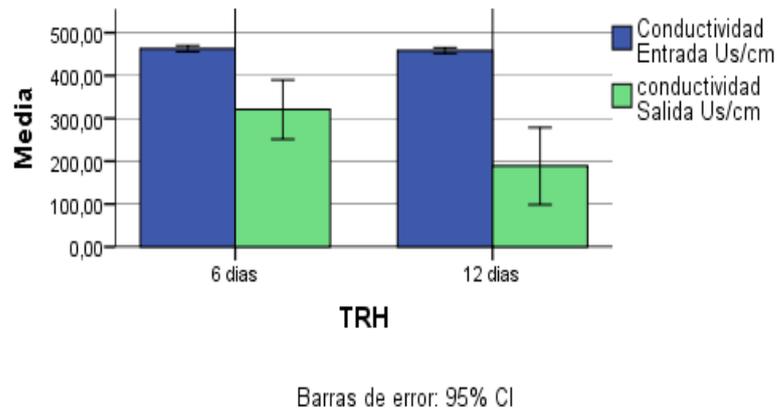
Así bien, en el TRH de 6 días los porcentajes de remoción van desde el 44% al 92,31%, mientras que en el TRH de 12 días estos porcentajes van desde 78% al 98%, por lo cual es en el TRH de 12 días donde se da la mayor remoción de DBO, (anexo 6) debido a que entre mayor tiempo de retención la DBO es removida por medio de la actividad biológica y la absorción sobre la superficie de las plantas y detritos de la columna de agua.<sup>81</sup>

### 9.4.3 Conductividad

En la gráfica 5, se puede observar la media de entrada y salida de conductividad a lo largo del sistema, en donde en el TRH de 6 días si se compara la entrada y la salida en este tiempo de retención se evidencia que hay una variación de estas ARD al pasar por el tratamiento, teniendo así una disminución a la salida del sistema, debido a que las plantas y microorganismos establecidos en el humedal han ido asimilando los iones disueltos en el agua, así mismo al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilcoxon da un significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3) lo cual indica que los datos obtenidos a la entrada y a la salida en este tiempo de retención son diferentes por lo cual son significativos para su análisis.

<sup>81</sup> PÉREZ L. María E. 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de durango. Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados. S.C.

**Grafica 5. Media de entrada y salida de conductividad**

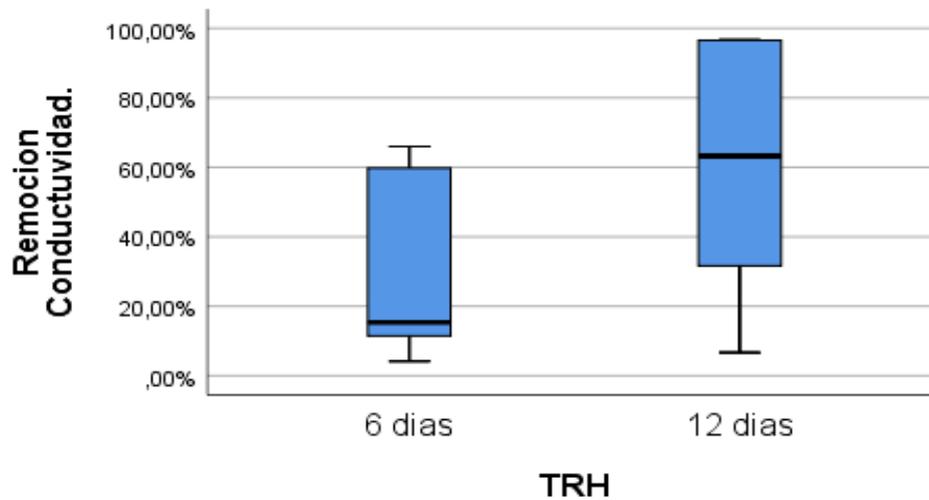


También, al comparar la entrada y salida del tiempo de retención de 12 días se nota una gran diferencia de la disminución de la conductividad en el sistema a la salida del mismo, ya que, como se mencionó anteriormente la entrada al sistema es la misma para los dos tiempos de retención (6 y 12 días), así mismo esta diferencia se corrobora con la prueba estadística de Wilcoxon a la que fueron sometidos los datos obtenidos en este tiempo arrojando un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) al igual que en el tiempo de retención de 6 días.

Ahora bien, al comparar la salida del sistema en los dos TRH se observa que se da una disminución de la conductividad al paso por el sistema tanto en el TRH de 6 días como en el de 12 días, sin embargo la mayor disminución obtenida en el sistema se dio en el TRH de 12 días, por lo cual, se deduce que el tiempo de retención influye en la disminución de este parámetro debido a que las plantas y microorganismos presentes en el humedal han tenido mucho más tiempo para la asimilación de dicho parámetro.

Así mismo, al realizar el análisis estadístico para muestras independientes es decir los datos obtenidos a la salida del sistema en los dos tiempos de retención por medio de la prueba U de Mann Whitney arroja una significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5) lo cual indica que los datos obtenidos a la salida del sistema en los dos tiempos de retención muestran diferencias significativas por lo tanto son aptos para el análisis.

**Grafica 6. Remoción conductividad**



En la Grafica 6, se evidencia la remoción en porcentaje de la conductividad en el sistema a los 6 y 12 días a lo largo del tratamiento, observándose que en el tiempo de retención de 6 días los porcentajes de remoción están dentro del 11% al 60%, de acuerdo a esto García, 2012<sup>82</sup> afirma que dichos porcentajes de remoción se deben a la alta concentración de sales dispuestas en las ARD, sin embargo en el TRH de 12 días este porcentaje aumenta obteniendo así porcentajes entre el 30% y el 96% como se puede observar en la gráfica.

Así también, al hacer el análisis estadístico descriptivo (anexo 6), la media del porcentaje de remoción a los 6 días es del 31,13% mientras que en el TRH de 12 días es de 59,55%.

Por otro lado, se evidencia que en el TRH de 12 días es donde se obtiene el mayor porcentaje de remoción alcanzando el 100%, lo que nos lleva a deducir que el tratamiento si funciona, además esta disminución de la conductividad en el sistema obedece a la asimilación de algunos iones que las plantas tienen para incorporarlos a sus tejidos. De acuerdo a resultados obtenidos en anteriores estudios se demuestra la reducción de la conductividad significativamente.<sup>83</sup>

#### **9.4.4 Alcalinidad**

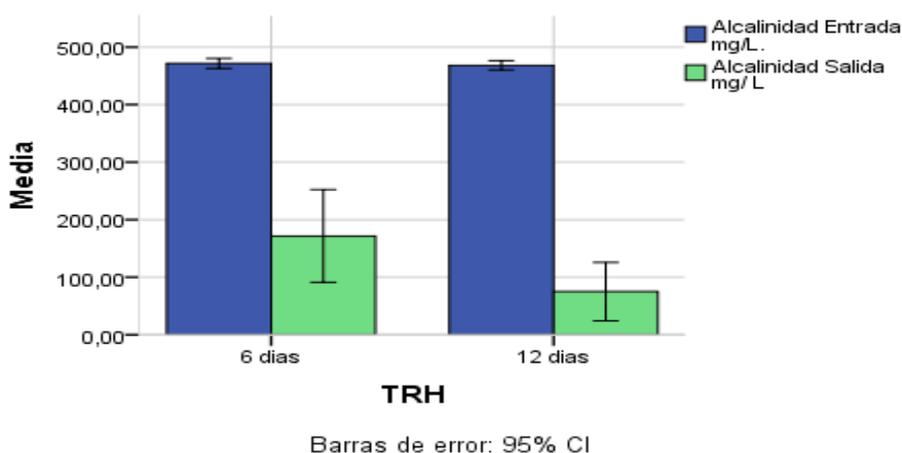
Conocer la alcalinidad de un cuerpo de agua es fundamental para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida

<sup>82</sup> GARCÍA y BACARES citado por GARCÍA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

<sup>83</sup> ZARATE, Guido. DURANDE Bazua. 2008. Citado por: RINCÓN M. Jeimmy Alexandra. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de la universidad libre.

y duradera.<sup>84</sup> Ahora bien, en la gráfica 7 se puede observar las medias de entrada y salida a lo largo del tratamiento en los dos tiempos de retención hidráulica, evidenciándose que la entrada para los dos tiempos no presenta variación debido a que el afluente es el mismo.

**Grafica 7. Media de entrada y salida de alcalinidad**



Ahora bien, al comparar la entrada con la salida en el tiempo de retención de 6 días, se ve una diferencia en cuanto a la alcalinidad, notándose que en la salida del sistema la alcalinidad disminuye tomando valores que no superan los 200 mg/L.

Además, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilcoxon a los datos obtenidos a la entrada y salida del sistema en el TRH de 6 días da un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3), esto indica que los datos obtenidos son diferentes por lo tanto son significativos para su análisis.

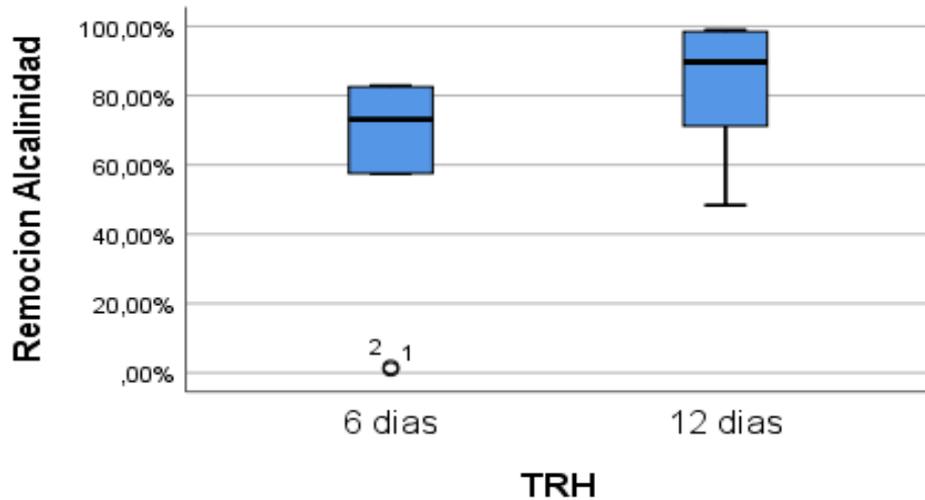
También, al comparar la media de entrada y salida del sistema en el tiempo de retención de 12 días, se observa la disminución de la alcalinidad en la salida del sistema tomando valores que no superan los 100mg/L, así también al someter los datos obtenidos en este TRH al análisis estadístico por medio de la prueba de Wilcoxon da una significancia de  $P \leq 0,05$  (anexo 4) al igual que en el TRH de 6 días.

Por otro lado, al comparar la salida del sistema en los dos tiempos de retención (6 y 12 días) se observa que la mayor disminución se dio en el TRH de 12 días, esta diferencia entre la disminución de la alcalinidad en los dos TRH se corrobora con el análisis estadístico por medio de la prueba de U de Mann Whitney para

<sup>84</sup> Roldan, 2003. Citado por: CORTOLIMA.

muestras independientes donde nos da un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5) por lo cual los datos analizados son estadísticamente significativos.

**Grafica 8. Remoción alcalinidad**



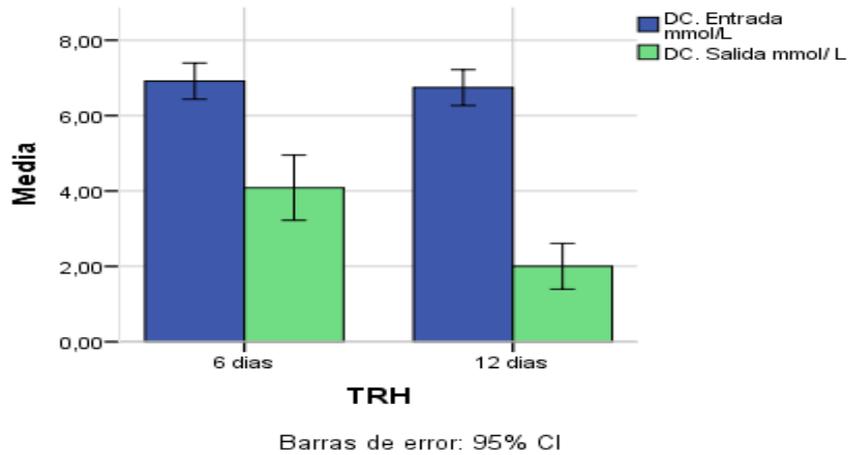
En la gráfica 8 se puede observar que en el TRH de 6 días a lo largo del sistema se obtuvieron valores de remoción entre el 1 al 80%, evidenciándose en la gráfica que al inicio del sistema es decir en el primer muestreo a los 6 días la remoción de alcalinidad fue del 1,01%, después de ese muestreo en el TRH de 6 días el porcentaje de remoción alcanza valores del 80%. Por el contrario, en el TRH de 12 días en el primer muestreo se obtiene un valor del 48,37%, así como también a lo largo del sistema en este TRH los valores del porcentaje de remoción alcanzan valores del 98,44%. (anexo 6)

#### 9.4.5 Dureza carbonácea

En la gráfica 9 se observa la media de Dureza carbonácea en los dos tiempos de retención hidráulica, notándose que en la entrada del sistema en los dos TRH esta es igual debido a que el afluente para ambos es el mismo.

Ahora bien, al comparar la entrada y salida en el tiempo de retención de 6 días se observa una disminución de la dureza carbonácea, en donde, la salida toma valores de 4 mmol/L mientras que a la entrada los valores obtenidos alcanzan valores de 7 mmol/L, así pues esta diferencia se corrobora con el análisis estadístico al que fueron sometidos los datos por medio de la prueba de Wilcoxon donde arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3), esto indica que los datos obtenidos tanto a la entrada como a la salida no son estables, es decir tienen una variación que los hace significativos para su análisis.

**Grafica 9. Media de entrada y salida de Dureza carbonácea**



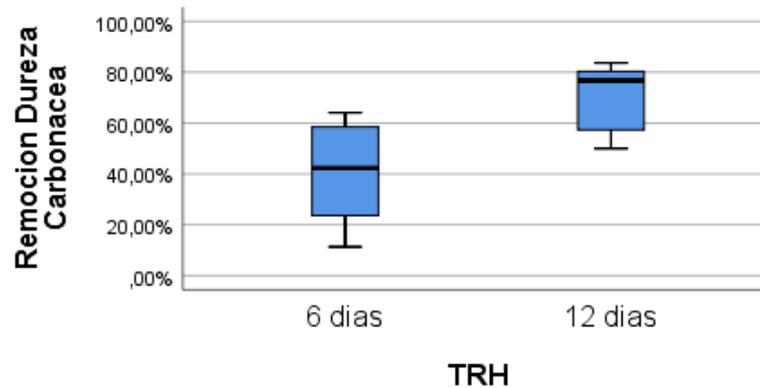
También, al comparar la entrada con la salida en el TRH de 12 días se observa una disminución a la salida del sistema, evidenciándose que esta disminución toma valores de 2mmol/L mucho menor si se compara con el resultado obtenido en el TRH de 6 días, así también al hacer el análisis estadísticos por medio de la prueba de Wilconxon a los datos obtenidos en el TRH de 12 días se obtiene un valor de significancia de  $P \leq 0,05$  (anexo 4) al igual que en el tiempo de retención de 6 días.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos tiempos de retención se observa que fue en el TRH de 12 días donde se dio la mayor disminución de la Dureza carbonácea, ya que esta es considerada también dureza temporal que es la parte que desaparece cuando el agua es ablandada por ebullición o por procesos de ablandamiento por  $\text{CaCO}_3$ , a causa de la precipitación de los Carbonatos de Calcio y Magnesio<sup>85</sup>.

Así mismo, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney a los datos obtenidos a la salida del sistema en los tiempos de retención se obtiene un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5), indicando que los datos obtenidos en estos dos tiempos no son iguales, por lo cual son significativos para su análisis.

<sup>85</sup> ROLDAN P. Gabriel & RAMÍREZ R. Jhon J. 2008. Fundamentos De Limnología Neotropical. 2da edición. Pág. 230.

**Grafica 10. Remoción Dureza carbonácea**



La gráfica 10 nos ilustra el porcentaje de remoción de la Dureza Carbonácea en los dos TRH a lo largo del tratamiento evidenciándose que en el TRH de 6 días es donde se muestra una diferencia estadística ya que como se observa en la gráfica los valores de porcentaje de remoción están entre 25 al 58% mientras que en el TRH de 12 días estos porcentajes están entre el 58 al 80%. (anexo 6) Notándose así que fue en el TRH de 12 días en donde se dio la mayor remoción de la Dureza Carbonácea a lo largo del tratamiento.

#### **9.4.6 Dureza Total**

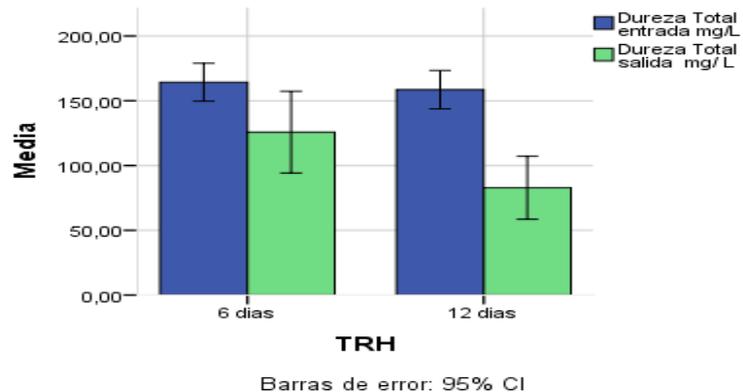
En la gráfica 11 se puede observar la media de entrada y salida del sistema en los dos tiempos de retención (6 y 12 días), donde la entrada para los dos tiempos no varía debido a que el afluente es el mismo para ambos.

Ahora bien, al comparar la media obtenida de la entrada y la salida en el TRH de 6 días se observa una pequeña disminución a la salida del sistema tomando valores que no alcanzan los 150 mg/L, lo que si ocurre con los valores alcanzados en la entrada al sistema que toman valores que sobrepasan los 150mg/L, sin embargo y de acuerdo con la clasificación para la dureza expuesta por Roldan<sup>86</sup> los datos obtenidos clasifican el agua a la entrada como a la salida del sistema como un agua dura y que por lo regular son muy productivas, sin embargo hay que tener en cuenta que una mayor productividad esta generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones<sup>87</sup>.

<sup>86</sup>. ROLDAN P. Gabriel & RAMÍREZ R. Jhon J. 2008. Fundamentos De Limnología Neotropical. 2da edición.

<sup>87</sup>Ibid, p. 230

**Grafica 11. Media de entrada y salida de Dureza total**



Además, los datos obtenidos se analizaron por medio de la prueba estadística de Wilcoxon donde se obtuvo una significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3), de esta forma los resultados fueron estadísticamente significativos para su análisis.

También, al comparar la media de entrada y salida del sistema en el TRH de 12 días se observa que a la salida del mismo hay una disminución de la dureza total en el agua tomando valores que no sobrepasan los 100 mg/L lo que, si ocurre en el TRH de 6 días, sin embargo, el agua en este tiempo de retención y de acuerdo a Roldan<sup>88</sup> se clasifica como un agua moderadamente dura. Además, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilcoxon arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) brindando datos estadísticamente significativos.

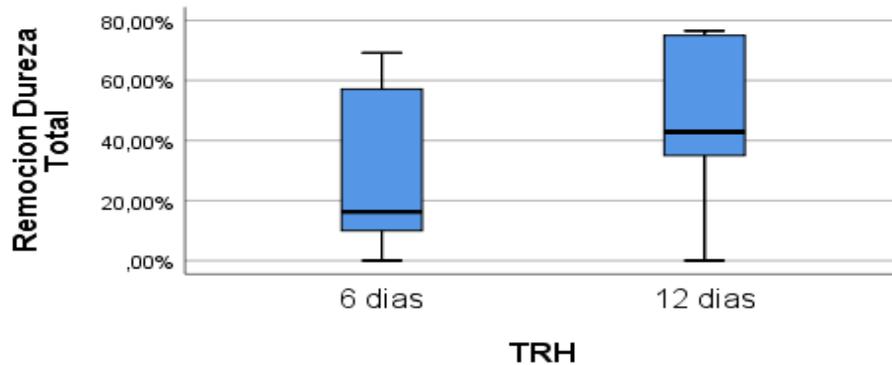
Por otro lado, al comparar las salidas en los dos tiempos de retención hidráulica se observa que la mayor disminución de dureza total se dio en el TRH de 12 días por lo cual es considerada un agua moderadamente dura, y por lo general aguas con durezas intermedias pueden poseer flora y fauna más variada, pero son menos productivas en términos de biomasa<sup>89</sup>.

Así mismo al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes, es decir para las salidas en los dos TRH nos da un valor de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5) por lo cual los datos obtenidos a la salida del sistema tanto en el TRH de 6 días como en el de 12 días son diferentes estadísticamente por lo tanto son significativos para su análisis.

<sup>88</sup>ROLDAN P. Gabriel & RAMÍREZ R. Jhon J. 2008. Fundamentos De Limnología Neotropical. 2da edición.

<sup>89</sup> Ibid, p. 230

**Grafica 12. Remoción Dureza total**



Ahora bien, en la gráfica 12 se evidencia que la remoción de la dureza total durante el tratamiento en el TRH de 6 días alcanza un porcentaje de remoción del 58% mientras que en el TRH de 12 días alcanza un valor del 76%, así como también al hacer el análisis estadístico descriptivo (anexo 6), la media de porcentaje de remoción para el TRH de 6 días fue de 26,46% y para el TRH de 12 días fue de 48,18%, por lo cual el tiempo de retención influye en la remoción, así como también se puede deducir que el tratamiento biológico con *Eichhornia crassipes* si funciona.

#### 9.4.7 pH

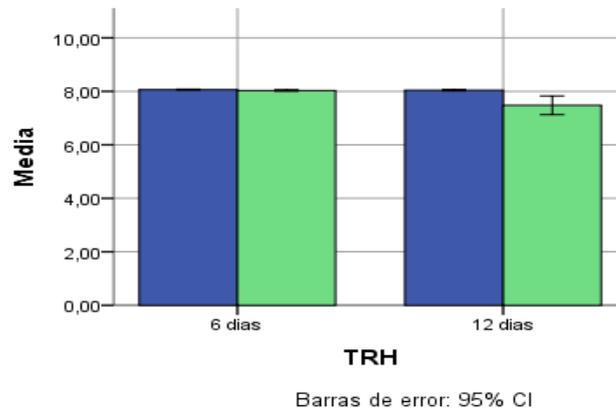
En la gráfica 13 se observa la media de pH a la entrada y salida en los dos tiempos de retención, donde la entrada al sistema en los dos TRH no presenta variación debido a que el afluente es el mismo para ambos.

Ahora bien al analizar la entrada y salida del sistema en el TRH de 6 días, se puede observar que tanto a la entrada como a la salida del mismo los valores no cambian tomando así valores de 8 U pH, y al comparar estos resultados con la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015), están dentro de los límites máximos permitidos, ya que estos van de 5 – 9 y en su promedio los datos obtenidos están dentro de estos rangos, Así como también al estar el pH entre estos rangos la vida de las especies acuáticas se ve favorecida<sup>90</sup>.

---

<sup>90</sup>DELGADILLO, Oscar, *et al.* Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

**Grafica 13. Media de entrada y salida pH**



Además, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba para muestras relacionadas de Wilcoxon a los resultados obtenidos en el TRH de 6 días tanto a la entrada como a la salida, arrojo un nivel de significancia  $p \leq 0,05$  (anexo 3) por lo cual los datos son significativos para su análisis.

También, al comparar la entrada y la salida del sistema en TRH de 12 días se observa que a diferencia en el TRH de 6 días hay una disminución de pH en la salida del sistema en el TRH de 12 días, sin embargo, esta disminución se encuentra entre los límites máximos permisibles por la Resolución 0631 de 2015 ya que van de 5 – 9. Así también al hacer el análisis estadístico para este TRH por medio de la prueba de Wilcoxon arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) lo cual corrobora esta diferencia además de saber que los datos fueron estadísticamente significativos para su análisis.

Por otro lado, y al comparar las salidas del sistema en los dos TRH se observa que la mayor disminución de pH se dio en el TRH de 12 días, sin embargo, hay que tener en cuenta que en los dos tiempos los resultados obtenidos están dentro de los rangos óptimos e inhibidores en los procesos de Nitrificación, desnitrificación y amonificación<sup>91</sup>.

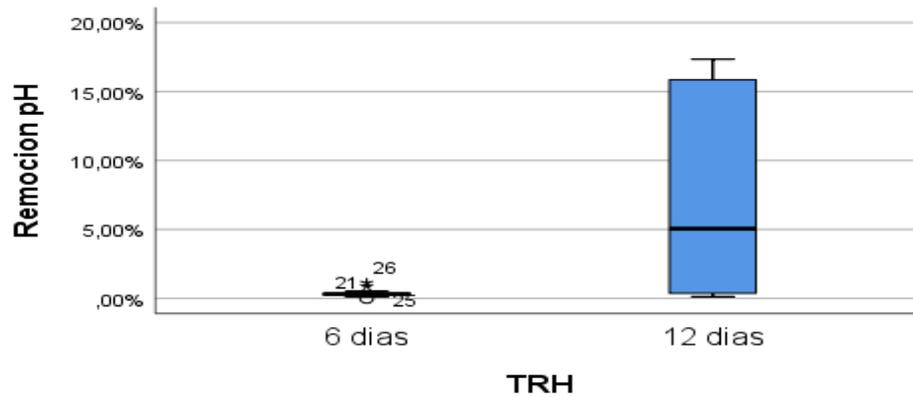
Además, al someter los datos obtenidos al análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5), arrojando datos significativos.

Así también, si se compara los resultados obtenidos de pH en los dos TRH se observa que este toma valores cercanos a la neutralidad como se registró en el estudio de Valderrama *et al*<sup>92</sup>.

<sup>91</sup> YÁÑEZ T. Sandra.2018. Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical.

<sup>92</sup> VALDERRAMA *et al*. Op.cit., p. 194

**Grafica 14. Remoción pH**



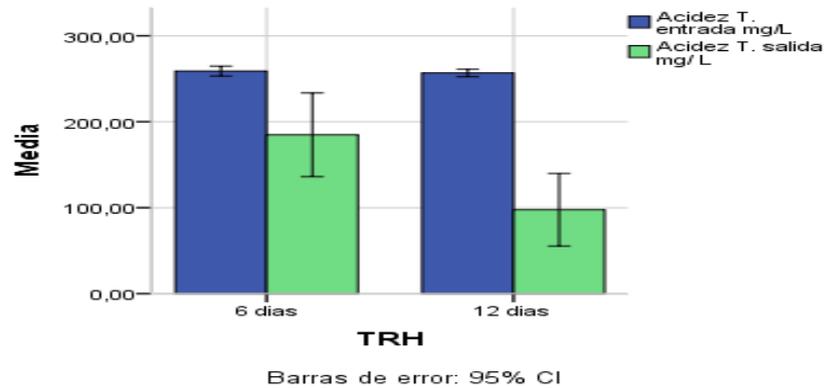
De acuerdo a lo evidenciado a través de la estadística en la gráfica 14 el pH tiende a estar en rangos similares entre la salida y la entrada del sistema con una diferencia de 0,38% en el TRH de 6 días, en contraste a este resultado se puede expresar que en dicho parámetro las unidades tienden a estar iguales. Sin embargo, en el TRH de 12 días el análisis estadístico muestra un porcentaje de 7,05%, lo cual indica que el TRH de mayor lapso de tiempo, tiende a inestabilizar el Ph. Aunque cabe resaltar que, en todo el transcurso de los muestreos, la *E. crassipes* logra mantener la estabilidad del pH en las aguas tratadas. De este modo se deduce que el tiempo de retención influye en el cambio de pH (anexo 6), así como también las plantas y los microorganismos, ya que la actividad fotosintética reduce el contenido de CO<sub>2</sub> mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce dióxido de Carbono causando un efecto contrario con respecto al pH del medio acuático.<sup>93</sup>

#### **9.4.8 Acidez total**

En la gráfica 15 se puede observar la media de entrada y salida en los dos TRH de la Acidez total, donde se observan variaciones en cuanto a la concentración de esta durante el tratamiento.

<sup>93</sup> MARÍN, G. Rafael, 2003. Físicoquímica Y Microbiología De Los Medios Acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Pág. 11 – 14.

**Grafica 15. Media de entrada y salida de la acidez total**



Así pues, al analizar la entrada y salida del sistema en el TRH de 6 días, se observa una disminución a la salida del mismo, tomando una concentración a la entrada que no sobrepasa los 300 mg/L, valor similar en la entrada del TRH de 12 días, debido a que el afluente para ambos es el mismo, sin embargo en el TRH de 6 días a la salida se ve una disminución de la Acidez total tomando valores que no sobrepasan los 200 mg/L por lo cual se deduce que las plantas como los microorganismos establecidos en las UE han ido asimilando los ácidos presentes en este tipo de aguas, además, esta disminución es considerada favorable, ya que, la acidez es una propiedad causada por el Dióxido de Carbono o por los ácidos minerales fuertes que pueden tener efectos nocivos en el uso.<sup>94</sup>

Además, al hacer el análisis estadístico para la entrada y salida del sistema en el TRH de 6 días por medio de la prueba de Wilcoxon arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3) por consiguiente se corrobora la diferencia en este tiempo en la entrada y salida al sistema, así como también se puede evidenciar que los datos son estadísticamente significativos.

También, al comparar la entrada y salida en el TRH de 12 días se observa que a la salida del sistema la disminución de la Acidez total toma valores que no sobrepasan los 100 mg/L a diferencia del TRH de 6 días, de esta manera se deduce que la disminución está relacionada con el tiempo en que las plantas y microorganismos han tenido para la asimilación de este parámetro.

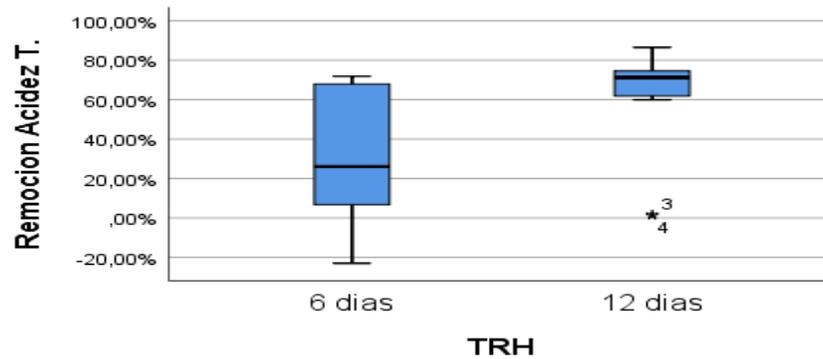
Igualmente, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilcoxon a los datos obtenidos a la entrada y salida del sistema en el TRH de 12 días arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) al igual que en el TRH de 6 días.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos TRH, se evidencia que fue en el TRH de 12 días donde se dio la mayor disminución de la acidez en el sistema, por lo tanto, se deduce que el tiempo de retención favorece la disminución de la acidez en los HA.

<sup>94</sup> MORALES, R. Catalina. Oxidación del efluente de un humedal artificial de flujo vertical para reusó en agricultura.

Así mismo al hacer el análisis estadístico para muestras independientes por medio de la prueba U de Mann Whitney arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5), con este análisis se comprueba que los datos obtenidos a la salida del sistema tanto en el TRH de 6 días como en el de 12 días son estadísticamente significativos.

**Grafica 16. Remoción acidez total**



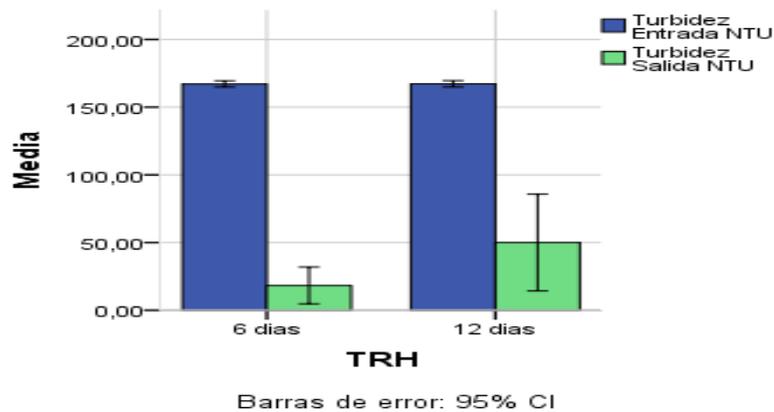
En la gráfica 16 se ilustra el porcentaje de remoción de la acidez total en los dos TRH a lo largo del sistema, donde se ve que en el TRH de 6 días este porcentaje toma valores de 4,43% en el primer muestreo hasta 71,89% a lo largo del sistema, mientras que en el TRH de 12 días en el primer muestreo toma valores del 1,12% hasta alcanzar una remoción del 86,49%.

De igual forma, al hacer el análisis estadístico descriptivo (anexo 6) la media de remoción para el TRH de 6 días fue de 29,53% y para el TRH de 12 días fue del 62,43%, lo cual indica que el tiempo de retención influye en la remoción de dicho parámetro.

#### 9.4.9 Turbidez

En la gráfica 17 se observa la media de entrada y salida en el sistema en los dos TRH, donde no se evidencia diferencias en la entrada al sistema en los dos TRH debido a que el afluente para ambos es el mismo.

**Grafica 17. Media de entrada y salida de la turbidez**



Así pues, al comparar la entrada y salida en el TRH de 6 días se observa una notable disminución de la turbidez, debido a que las plantas favorecen los procesos físicos de sedimentación y adherencia de material en suspensión<sup>95</sup>, además para corroborar esta diferencia se analizaron los datos por medio de la prueba de Wilconxon donde arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3), indicando que los datos obtenidos a la entrada y salida del sistema en TRH de 6 días son diferentes, por tanto, se consideran estadísticamente significativos.

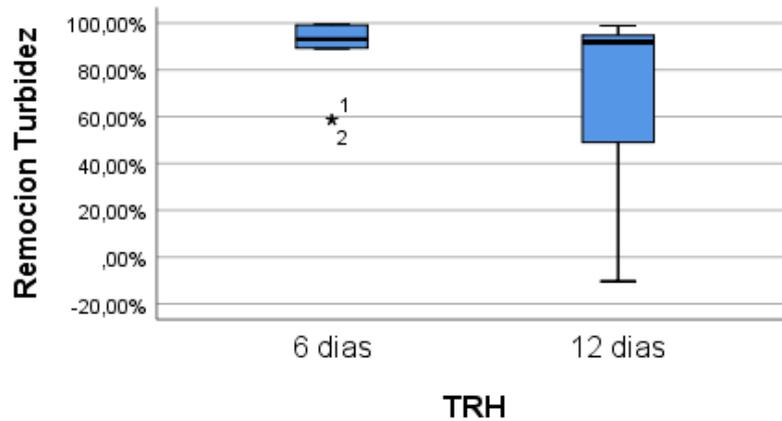
Así mismo, al analizar la entrada y salida del sistema en el TRH de 12 días, se observa que a la salida de este hay una disminución, sin embargo, esta disminución es mucho mayor si se compara con la obtenida en el TRH de 6 días. Así mismo al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilconxon a los datos obtenidos a la entrada y a la salida del sistema en el TRH de 12 día arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4), indicando que los datos obtenidos son diferentes y estadísticamente significativos para su análisis.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos TRH, se evidencia que a diferencia de los demás parámetros analizados, el TRH de 6 días fue donde se dio la mayor disminución de Turbidez en el sistema, siendo esto de gran importancia, ya que la turbidez está relacionada con la transmisión de la luz, por lo que incide directamente en la producción primaria y en el flujo de energía dentro del ecosistema.<sup>96</sup> Sin embargo, al hacer el análisis estadístico para muestras independientes por medio de la prueba U de Mann Whitney arroja un nivel de significancia  $P \geq 0,05$  (anexo 5), esto indica que los resultados obtenidos a la salida del sistema en los dos tiempos no presentan variación, por lo tanto no son significativos para su análisis.

<sup>95</sup> NÚÑEZ, *et al.* 2006. Citado por: RINCÓN M. Jeimmy A., MILLÁN, B. Nohora F. Evaluación De Un Humedal Artificial De Flujo Subsuperficial Para El Tratamiento De Aguas Residuales De La Universidad Libre

<sup>96</sup> ROLDAN P. Gabriel & RAMÍREZ R. Jhon J. 2008. Fundamentos De Limnología Neotropical. 2da edición. Pág. 157

**Grafica 18. Remoción turbidez**



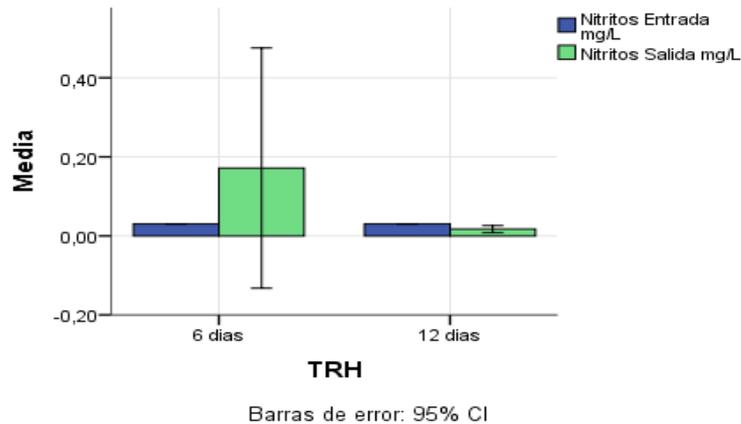
En la gráfica 18 se puede observar el porcentaje de remoción de la turbidez a lo largo del sistema en los dos TRH, evidenciándose que, a diferencia de los parámetros anteriormente mencionados, el TRH de 6 días toma valores de 58,61% en los primeros muestreos, después los porcentajes de remoción alcanzan valores mayores al 80%, concluyendo con un porcentaje del 99% de remoción, por el contrario, en el TRH de 12 días los valores de remoción están entre el 50 y el 90%. (anexo 6)

Así pues, fue en el TRH de 6 días donde se dio la mayor remoción de Turbidez en el sistema, debido a que en este tiempo la descomposición de las partes muertas de las plantas no se da significativamente lo cual puede influir en el material en suspensión.

#### **9.4.10 Nitritos**

En la gráfica 19 se puede observar la media de entrada y salida del sistema en los dos TRH, evidenciándose que la entrada en los dos TRH es igual debido a que el afluente es el mismo para ambos.

**Grafica 19. Media de entrada y salida de los nitritos**



Ahora bien, al comparar la entrada y salida de Nitritos en el TRH de 6 días, se observa un aumento de estos a la salida del sistema debido posiblemente a un error en la medición de este parámetro en el laboratorio o de cierta forma este aumento se pudo haber dado por la acción de la producción residual de algunos microorganismos, los cuales tienen la capacidad de aumentar los nitritos en las salidas de los tratamientos y/o a que no se terminó el proceso de nitrificación por falta de oxigenación en el TRH de 6 días, es decir, el proceso mediante el cual se forman nitritos y nitratos a partir de Amoniaco<sup>97</sup>. También al realizar el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilconxon a los datos obtenidos a la entrada y salida del sistema en este TRH arroja un nivel de significancia  $P \geq 0,05$  (anexo 3), indicando que los datos obtenidos no muestran variación a lo largo del sistema.

También, al comparar la entrada y la salida en el TRH de 12 días se observa una pequeña disminución a la salida en el sistema debido a los procesos biológicos activos en el agua ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato<sup>98</sup>. Así mismo, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilconxon a los datos obtenidos a la entrada como a la salida del sistema en el TRH de 12 días arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) comprobando que los datos son estadísticamente significativos para su análisis a diferencia de lo obtenido en el TRH de 6 días.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos TRH, se evidencia que se logró una mayor disminución en el TRH de 12 días, por lo cual se deduce que el TRH influye en la disminución de los Nitritos en las ARD.

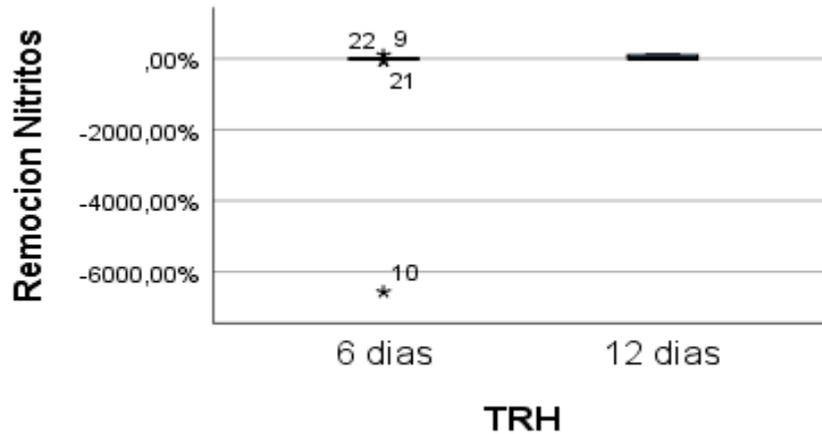
Así mismo, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes, es decir las salidas del sistema en los dos TRH arrojo un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5) por lo cual los datos

<sup>97</sup>. ROLDAN P. Gabriel & RAMÍREZ R. Jhon J. 2008. Fundamentos De Limnología Neotropical. 2da edición

<sup>98</sup> IDEAM., 2009. Determinación De Nitrito En Agua Por Espectrofotometría.

obtenidos en las salidas del sistema en los dos tiempos muestran variación por lo tanto son estadísticamente significativos para su análisis.

**Grafica 20. Remoción nitritos**



En la gráfica 20 se evidencia la poca remoción de este parámetro a lo largo del sistema en los dos TRH es decir a los 6 y 12 días, así como también cabe notar que en la gráfica 19 se observa valores negativos de -6566,67% en el TRH de 6 días, esto debido quizá a un error en la medición de este parámetro en el laboratorio o probablemente este resultado se produjo porque el sistema implementado estaba aportando a la formación de nitritos a través de procesos de nitrificación o también por falta de una óptima oxigenación, tal y como se manifiesta en la descripción inicial de este parámetro. (anexo 6)

Además, en los dos TRH no se alcanza una remoción del 0,01% por lo cual se analiza que los resultados obtenidos de este parámetro no fueron lo suficientemente significativos para la remoción de Nitritos en el agua residual, sin embargo, en la literatura revisada se dice que no es habitual encontrar concentraciones significativas de nitritos en ARD.<sup>99</sup>

#### 9.4.11 Nitratos

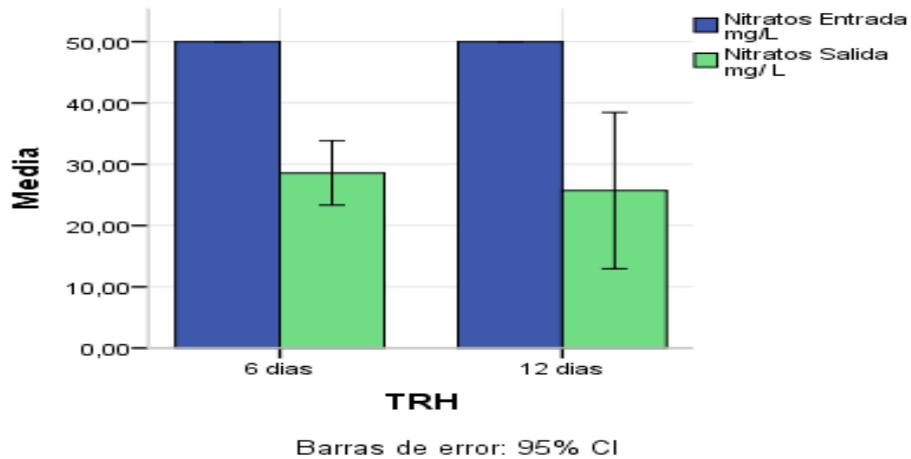
En la gráfica 21 se puede observar la media de entrada y salida a lo largo del tratamiento en los dos TRH (6 y 12 días), en donde no se ve una diferencia en

---

<sup>99</sup>GARCÍA, Joan, CORZO Angelica. Depuración con humedales artificiales. Guía práctica de Diseño, construcción y explotación de sistema de humedales de flujo superficial. pág. 15.

cuanto a la concentración de Nitratos de entrada al sistema debido a que el afluente es el mismo para ambos tiempos.

**Grafica 21. Media de entrada y salida de nitratos**



Ahora, al comparar la entrada y salida del sistema en el TRH de 6 días se observa que a la salida hay una disminución de los nitratos debido a que para las plantas el Nitrógeno es un nutrimento vital que utilizan en la síntesis de proteínas para su crecimiento, especialmente en forma de Nitrato.<sup>100</sup> Además, esta diferencia en la concentración de nitratos a la entrada y salida en este tiempo se corrobora con el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilcoxon donde se obtuvo un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3) por lo cual se deduce que los datos obtenidos son diferentes, convirtiéndolos en significativos estadísticamente.

También, al comparar la entrada y salida del sistema en el TRH de 12 días se evidencia a la salida una disminución un poco menor de los nitratos si se compara con la obtenida en el TRH de 6 días, así mismo al hacer la prueba estadística de Wilcoxon a los datos obtenidos a la entrada como a la salida del sistema en este tiempo arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4) al igual que en el TRH de 6 días.

Por otro lado, al comparar las salidas del tratamiento en los dos TRH, se evidencia que fue en el TRH de 12 días donde se da la mayor disminución, sin embargo, en los dos TRH los nitratos sobrepasan los 10mg/L lo cual puede ser tóxico para los organismos, así como también producir eutrofización.<sup>101</sup>

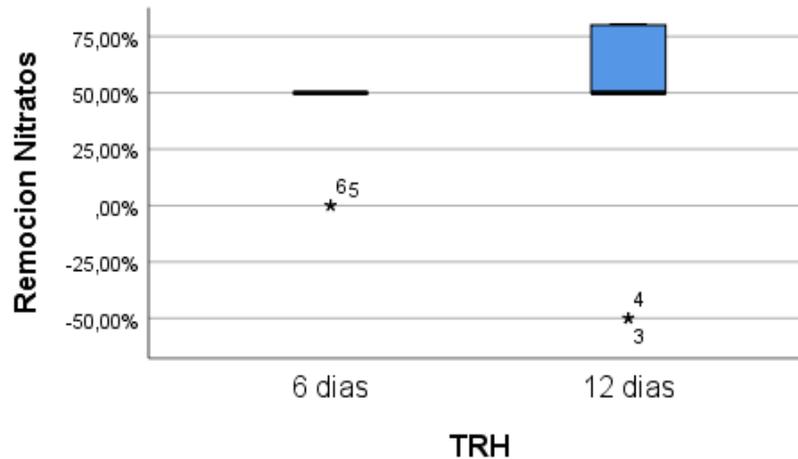
Igualmente, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney a los datos obtenidos a la salida del sistema en los dos TRH se obtiene

<sup>100</sup> CERVANTES, CARRILLO et al. 2000. Citado por ROMERO AGUILAR Mariana, COLIN CRUZ Arturo, SÁNCHEZ SALINAS Enrique, ORTIZ HERNÁNDEZ Ma. Paula. Tratamiento de aguas Residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la Remoción de Carga Contaminante

<sup>101</sup> GOYENOLA Guillermo, 2007. Guía para la utilización de las valijas viajeras.

un nivel de significancia  $P \geq 0,05$  (anexo 5) lo cual indica que los datos obtenidos no muestran variación estadística.

**Grafica 22. Remoción nitratos**



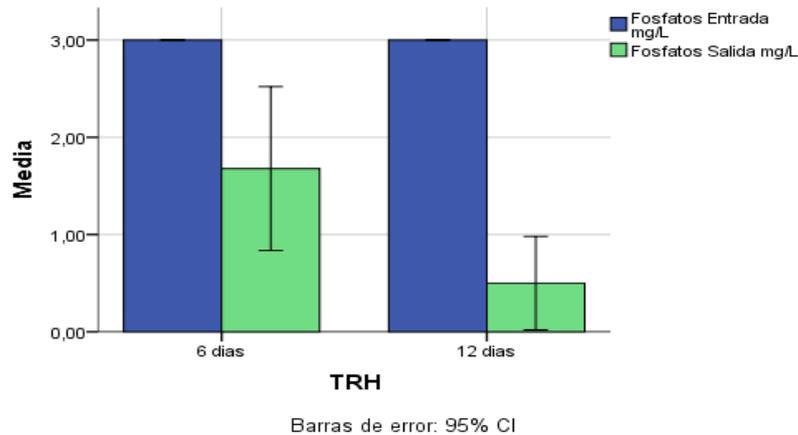
Ahora en la gráfica 22, se puede observar el porcentaje de remoción de nitratos en el sistema en los dos TRH es decir a los 6 y 12 días, evidenciándose que en el TRH de 6 días toma valores del 0 al 50% por el contrario en el TRH de 12 días hay valores del 50 al 75% (anexo 6), por lo cual el TRH influye en la remoción de los nitratos debido a que el sistema ya está maduro, es decir que los microorganismos ya están asociados a las plantas permitiendo así la mineralización de la materia orgánica, y con ello la liberación de los compuestos como amoníaco, nitratos y ortofosfatos entre otros, que son asimilables por las plantas.<sup>102</sup>

#### 9.4.12 Fosfatos

En la gráfica 23 se observa la media de entrada y salida del sistema en los dos TRH, evidenciándose que en la entrada en los dos TRH no hay variación debido a que el afluente es el mismo para ambos.

<sup>102</sup> PÉREZ L. María E. 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de durango. Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados. S.C. pág. 7.

**Grafica 23. Media de entrada y salida de los fosfatos**



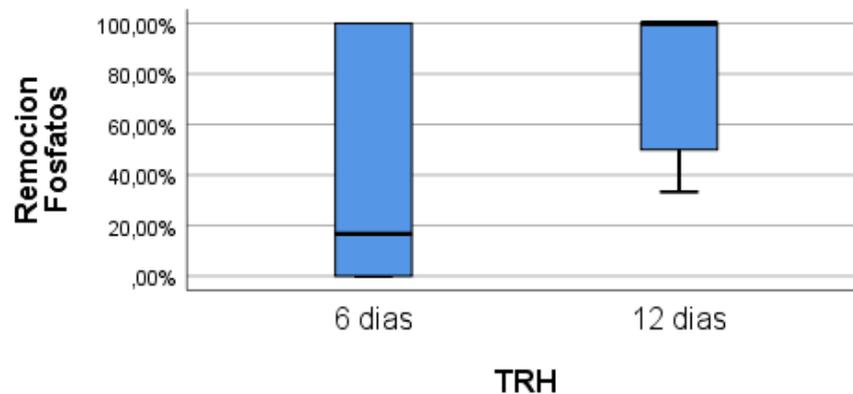
Ahora bien, al comparar la entrada y salida del sistema en TRH de 6 días, se observa una disminución a la salida del sistema debido a que el fosforo es esencial para el crecimiento de los organismos pero también en concentraciones elevadas estimula el crecimiento acelerado de microorganismos provocando así la eutrofización.<sup>103</sup> Así también, al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilconxon arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 3) por lo cual los datos son estadísticamente significativos para su análisis.

También, al comparar la entrada y la salida de sistema en el TRH de 12 días, se observa igualmente una disminución a la salida del sistema, debido a que las plantas han tenido mucho más tiempo para adsorber este nutriente, igualmente al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba de Wilconxon arroja una significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 4), de esta manera se corrobora la diferencia estadística en la entrada y la salida del sistema en el TRH.

Por otro lado, al comparar las salidas del sistema en los dos TRH, se evidencia que fue en el TRH de 12 días donde se dio la mayor disminución de Fosfatos, por tanto, se deduce que el tiempo de retención influye en la disminución de dicho parámetro, así como también las plantas y microorganismos establecidos en el humedal. También al hacer el análisis estadístico por medio de la prueba U de Mann Whitney arroja un nivel de significancia  $P \leq 0,05$  (anexo 5) por lo cual se corrobora la diferencia estadística que hay entre la salida del sistema en el TRH de 6 días con la de 12 días.

<sup>103</sup> APHA 1992, Citado por ROMERO AGUILAR Mariana, COLIN CRUZ Arturo, SÁNCHEZ SALINAS Enrique, ORTIZ HERNÁNDEZ Ma. Paula. Tratamiento de aguas Residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la Remoción de Carga Contaminante.

**Grafica 24. Remoción fosfatos**



Los porcentajes de remoción de fosfatos en los dos TRH muestran una diferencia, como se puede observar en la gráfica 24, evidenciándose que en el TRH de 6 días se obtienen valores del 0 a 100%, por el contrario en el TRH de 12 días se obtienen valores a partir de 50 a 100%, así como también al hacer el análisis estadístico descriptivo (anexo 6) la media de porcentaje de remoción obtenida para cada TRH fue de 44,05% en el tiempo de 6 días y de 83,3% a los 12 días, lo cual indica que el tiempo influye en la remoción de los fosfatos debido a que estos son absorbidos por las plantas en diferentes formas iónicas, el cual se integra al metabolismo principalmente en el proceso de la fotosíntesis, razón por la cual disminuye su concentración en el agua a su paso por los humedales.<sup>104</sup>

---

<sup>104</sup>ROMERO AGUILAR Mariana, COLIN CRUZ Arturo, SÁNCHEZ SALINAS Enrique, ORTIZ HERNÁNDEZ Ma. Paula. Tratamiento de aguas Residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la Remoción de Carga Contaminante

## 10 MEDIDAS DE MANEJO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS TRATADAS Y LAS PLANTAS USADAS.

Como resultado final de los tratamientos se realizó una inspección de las aguas resultantes y se logró evidenciar que visualmente había desaparecido la turbidez que distingue a las ARD, así mismo se inhibieron los olores que dichas aguas propagaban. De igual forma se examinaron de manera visual los 38 individuos de Jacinto de agua dispuestos en las 4 UE para la disposición final.

Al concluir esta fase las unidades experimentales se entregaron a la Institución Educativa Marina Beltrán de Usenda, donde se propuso alternativas para la disposición final de las aguas y de las plantas, en la Institución Educativa con modalidad agropecuaria. Luego se realizó una charla con 10 estudiantes del grado once, en donde se propuso usar las plantas como parte de compostaje para producir abonos orgánicos a partir de la metodología dispuesta por Valle Barrientos, 2009<sup>105</sup>, de igual manera se incentivó a utilizar las aguas resultantes de los tratamientos con fines de riego en las labores agrícolas de la Institución. De la misma manera se explicó los potenciales riesgos de las ARD en el ambiente, así como también el uso de técnicas alternativas para el tratamiento de estas aguas y conjuntamente se les dio a conocer la investigación realizada con el Jacinto de agua en la localidad. Al finalizar esta charla se entregó a cada uno de los asistentes un folleto (anexo 8) que contenía lo mencionado anteriormente, con el fin de que cada estudiante pudiera observar de forma didáctica cada una de las actividades realizadas.

**Figura 17. Charla con estudiantes del grado once**



**Fuente: autores**

De igual manera las aguas resultantes de estos procesos residuales se podrían verter sobre cualquier cuerpo hídrico sin alterar el equilibrio de los procesos

<sup>105</sup> VALLE BARRIENTOS, Carolina Isabel. Aprovechamiento del Jacinto acuático de la planta de tratamiento "ing. Arturo pazos sosa" para la producción de abono orgánico.

acuáticos, ya que la implementación del Jacinto de agua asimilaría la carga contaminante, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación. En este punto también es importante sugerir medidas de manejos que abarquen beneficios múltiples para la población residente del corregimiento o para extender estos conocimientos a otras regiones similares, es decir que mediante estas plantas se logre extender su uso en zonas o fincas agrícolas, a través de procesos que involucren aguas residuales semejantes a las domesticas, ya que al utilizar estas plantas como alternativa de depuración, se puede lograr obtener beneficios secundarios de mucho provecho para la siembra, la fertilización, riego o en otros casos se podría llegar a disponer de alimento para equinos y bovinos.

## 11 CONCLUSIONES

De acuerdo a la normatividad establecida las aguas residuales domésticas provenientes del corregimiento de Usenda no se encuentran dentro de los límites permisibles ante la Resolución 631 de 2015 antes de pasar por los tratamientos biológicos.

Se determinó que la implementación de humedales artificiales con la planta Jacinto de agua para el tratamiento de ARD es viable para implementar en zonas rurales que no cuentan con una planta de tratamiento para dichas aguas, debido a la alta tasa de remoción que los parámetros evaluados arrojaron en la prueba piloto, además resulta siendo un sistema de bajo costo y fácil operación.

Se logró comprobar que la implementación a escala piloto de este tratamiento biológico en climas fríos resulta viable y no afecta la proliferación y eficiencia del Jacinto de agua, por lo cual es factible realizarlo a escala real.

Los Fosfatos fue el parámetro removido de manera más eficiente en el TRH de 12 días; a pesar de la gran carga demandada por las aguas residuales domesticas de este corregimiento, se obtuvo valores superiores al 80%, lo que demuestra que las plantas aprovecharon este nutriente de manera más eficiente, debido a los microorganismos presentes en las raíces de las mismas.

La eficiencia de remoción de la DBO en el modelo a escala piloto alcanzo valores superiores al 90% en los dos TRH evidenciando claramente que las altas concentraciones de MO son removidas satisfactoriamente gracias a la actividad microbiológica presente en las raíces de las plantas, por consiguiente, demuestra resultados positivos para tratar aguas residuales domesticas con altos contenidos de MO.

En parámetros como la Turbidez, el TRH de 6 días fue óptimo para obtener el mayor rango de remoción, debido a que los sólidos suspendidos presentes en la columna de agua son rápidamente asimilados por las raíces y los microorganismos presentes en las mismas, de esta manera la turbidez es removida de manera eficiente después de 6 días de TRH.

En cuanto a Nitratos, se pudo evidenciar que durante el tratamiento hubo diferencias significativas en la remoción, que especifican rangos entre 50 y 75% en el TRH de 12 días, lo que determina que a través de los procesos metabólicos de la microbiología del agua se dan nutrientes residuales que terminan siendo fuente de asimilación en la planta Jacinto de agua.

Se demostró que la *Eichhornia crassipes* presento gran eficiencia de remoción en cuanto a los parámetros microbiológicos, debido a que en el laxo de 6-12 días logro remover de manera eficaz la *E. coli*,

Las aguas resultantes de las UE contenían rangos muy inferiores a los mostrados inicialmente, lo que demuestra que este tipo de aguas se podrían verter sobre cualquier cuerpo hídrico sin alterar el equilibrio de los procesos acuáticos o también se pueden implementar de manera eficiente en labores de riego o labores agrícolas en general.

Los individuos de Jacinto de agua mostraron buenas características morfológicas, de esta forma se puede inferir que estas plantas pueden ser implementadas como constituyente secundaria de abonos y compostajes, puesto que asimilan las grandes cargas de nutrientes contenidas en las aguas y las aprovecha de manera eficiente.

## **12 RECOMENDACIONES**

Teniendo en cuenta que el Jacinto de agua es capaz de asimilar grandes cantidades de nutrientes para el crecimiento y desarrollo, se recomienda implementar UE de dimensiones más grandes, ya que a mayor tasa de nutrientes la planta prolifera de manera rápida, lo que conlleva a saturar la capacidad de los tanques donde se alojan las plantas.

De acuerdo a la proposición para la disposición final de las plantas, se recomienda un uso y manejo responsable de la planta en zonas con climas similares al lugar donde se realizó la investigación, debido a que esta planta presenta alta tasa de proliferación, lo cual la convierte en una planta invasiva si no se cuenta con una zona apta para el respectivo manejo y disposición.

### 13 BIBLIOGRAFÍA

ÁVILA NARANJO, José Domingo; CASTILLO QUIÑONEZ David Alberto y ZÁRATE ENRÍQUEZ Walter Salomón. Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), Alternativa para el Tratamiento de Agua Dulce en Producción Acuícola. Guayaquil, 2000, 96 h. Tesis de grado (Ingeniero Acuicultor). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD. Disponible en: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/legislacion-ambiental>

CARREÑO SAYAGO, Uriel Fernando. Diseño y Evaluación de un Biosistema de Tratamiento a Escala Piloto de Aguas de Curtiembres a Través de la *Eichhornia crassipes*. En: Revista Colombiana de Biotecnología [base de datos en línea]. Vol. 18, no. 2 (Julio-diciembre 2016); p. 8 [citado en 20 de abril de 2017] disponible en bdigital Portal de revistas UN <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/52271>

CORTOLIMA. Proyecto plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Coello. Disponible en la web: [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/pom\\_coello/diagnostico/l211.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/l211.pdf)

CUENCA L., Numan y CARRIÓN C., Ligia. Bioensayo Con Macrófitas Acuáticas Para El Tratamiento De Lixiviados Procedentes Del Relleno Sanitario De Pichacay. Cuenca, 2009, 37 h. Empresa Municipal De Aseo de Cuenca (EMAC). Departamento Técnico. Disponible en la web: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2982/1/07569.pdf>

DELGADILLO, O.; CAMACHO, A.; PÉREZ, L.; ANDRADE, M.; DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES. Centro Andino para la Gestión y uso del Agua (Centro AGUA). Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia, 2010. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SILVIA E.S.P., 2015. Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Usenda, Silvia, Cauca. [Citado en 16 abril de 2017]. Disponible en versión física en la Alcaldía Municipal de Silvia-Cauca.

ESPIGARES GARCÍA, M. y PÉREZ LÓPEZ, JA. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985. Citado en: AGUAS RESIDUALES. COMPOSICIÓN. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL AGUA (CIDTA). Universidad de Salamanca. Disponible en: [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

GARCÍA J., CORZO H. Sistemas Naturales De Depuración. En: Depuración Con Humedales Construidos: Guía Práctica De Diseño, Construcción Y Explotación De Sistemas De Humedales De Flujo Subsuperficial. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, 2008

GARCÍA y BACARES citado por GARCÍA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas. Lima, 2012, 282 h. Tesis de grado (ingeniero Sanitario). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Disponible en el repositorio digital de la Universidad Nacional de Ingeniería: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1292>

GOYENOLA Guillermo, 2007. Guía para la utilización de las valijas viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de sistemas Acuáticos. RED MAPSA. Junio de 2007.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, (IDEAM). Toma de muestras de aguas Residuales. Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, Republica de Colombia. 2017. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, (IDEAM). NITRITO EN AGUA POR ESPECTROFOTOMETRÍA. Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, Republica de Colombia. 2009. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitrito+en+agua+por+Espectrofotometr%C3%ADa.pdf/4775634c-c6ba-4c95-8e98-0696ace02c03>

JARAMILLO JUMBO, Mariuxi Del Cisne y FLORES CAMPOVERDE Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Cuenca, 2012, 128 h. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Disponible en el repositorio digital de la Universidad Politécnica Salesiana: [dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf)

JUÁREZ PÉREZ, J.C. y RICO RODRÍGUEZ, M.A. Determinación Del Tiempo Máximo De Absorción Del Plomo (Pb) Y Cadmio (Cd) Por Macrófitas Acuáticas En Condiciones De Laboratorio. Querétaro, 2009. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Disponible en el repositorio digital de la Universidad Autónoma de Querétaro: [http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2009/OctavoVerano\\_38/17\\_Juarez\\_Perez.pdf](http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2009/OctavoVerano_38/17_Juarez_Perez.pdf)

LARA BORRERO, Jaime Andrés. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. 122 h. Trabajo de grado (Master en Ingenierías y Gestión Ambiental). Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 1999. Disponible en la web: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/06/depuracionaguasresidualesconhumedalesartificiales.pdf>

MARTELO, Jorge y LARA BORRERO Jaime A. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. En: Revista de Ingeniería y Ciencia, ing. cienc. [Base de datos en línea]. Vol. 8, no. 15 (enero-junio 2012); p.23 disponible en el repositorio de revistas académicas universidad EAFIT: <http://publicaciones.eafit.edu.co/>

MARÍN, G. Rafael, 2003. Físicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas. Madrid, España.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. RESOLUCIÓN 0631 DE 2015. De las normas de vertimiento. Bogotá, 2015. Pag 8.

MORALES, R. Catalina. Oxidación Del Efluente De Un Humedal Artificial De Flujo Vertical Para Reusó En Agricultura. Trabajo de grado opción auxiliar de Investigación. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad De Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, 2007.

OROZCO, J. Álvaro. Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Acodal). Primera edición. Septiembre 2005. Bogotá. Pág. 4

OTÁLORA R, Alejandra P., Evaluación Del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas Mediante Humedales Artificiales De Alta Tasa En La Localización Petrolera De Caño Guandul. Trabajo final para optar el título de Magister en ingeniería ambiental. Universidad Nacional De Colombia, Facultad De Ingeniería, Departamento De Ingeniería Química, Bogotá. 2011

PÉREZ L. María E. 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de durango. Tesis para optar el título de Doctor en ciencia y tecnología ambiental. Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados. S.C. Chihuahua, 2009

Poveda O., Rebeca Abigail. 2014. "Evaluación De Especies Acuáticas Flotantes Para La Fitorremediación De Aguas Residuales Industrial Y De Uso Agrícola Previamente Caracterizadas En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua". Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8455>

RAMÍREZ, A.; RESTREPO, R. y VIÑA, G. CUATRO ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTINENTALES. FORMULACIONES Y APLICACIÓN. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1, no. 3 (diciembre 1997); p. 19 [citado en 21 de abril de 2017] disponible en Scielo Colombia: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>

RINCON M, Jeimmy Alexandra. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de la universidad libre. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería. Bogotá, 2013.

RODRÍGUEZ PÉREZ, de Agreda Celia; DÍAZ MARRERO, Miguel; GUERRA DÍAZ, Luis y HERNÁNDEZ DE ARMAS, Julia María. Acción Depuradora De Algunas Plantas Acuáticas Sobre Las Aguas Residuales. La Habana, 5h. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría"(ISPJAE). Facultad de Ingeniería Química. Disponible en la Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01280e08.pdf>

Roldan P. Gabriel & Ramírez R. Jhon J. 2008. FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL. 2da edición

ROMERO AGUILAR Mariana, COLIN CRUZ Arturo, SÁNCHEZ SALINAS Enrique, ORTIZ HERNÁNDEZ Ma. Paula. Tratamiento de aguas Residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la Remoción de Carga Contaminante. Universidad del estado de Morelos. Facultad de Química, México, 2009.

SAMBONI, N.; REYES, A. Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. En: Ingeniería y Competitividad [base de datos en línea]. Vol. 13, No. 2 (2011); p. 49 – 60. [Citado en 20 de junio de 2017]. Disponible en biblioteca digital de la Universidad del Valle <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3448/1/04Art.pdf>

SOTO, F. José Luis. 2016. ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN LOS MEANDROS ABONADOS DEL RIO SEGURA. Master Universitario en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Valencia

VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Disponible en el repositorio institucional de la Universidad Industrial de Santander: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7580/2/121012.pdf>

Valderrama Valderrama, L. (1). USO DE DOS ESPECIES DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS, *Limnobium laevigatum* Y *Eichhornia crassipes* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGRO INDUSTRIALES. Universitas Scientiarum, 3(1-2), 83-97. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/5058>

VALDERRAMA, L.; CAMPOS, C.; VELANDIA, S.; ZAPATA, N. Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna sp* y *L. Laevigatum*) en la Remoción de Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas Residuales Domesticas. Facultad de Ciencias. Universidad Javeriana de Bogotá. (2003) Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/residadaa.pdf>

VALLE BARRIENTOS, Carolina Isabel. Aprovechamiento del Jacinto acuático de la planta de tratamiento “ing. Arturo pazos sosa” para la producción de abono orgánico. Guatemala, 2009, 78 h. Tesis de Maestría (Ingeniero Sanitario). Universidad De San Carlos. Facultad de Ingeniería. Disponible en la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0392\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0392_MT.pdf)

VAN DER STEEN, et al. Citado por GARCÍA TRUJILLO, Zarela Milagros. Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas. Lima, 2012, 282 h. Tesis de grado (ingeniero Sanitario). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Disponible en el repositorio digital de la Universidad Nacional de Ingeniería: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1292>

YÁÑEZ T. Sandra. Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical. Grado en Química. Universidad de Coruña. Facultad de Ciencias.

## 14 ANEXOS

### Anexo 1. AFORO VOLUMÉTRICO

<b>AFORO VOLUMÉTRICO PARA 200 LITROS</b>			
	<b>VOLUMEN</b>	<b>TIEMPO (Sg)</b>	
<b>1</b>	<b>20</b>	<b>1,25</b>	
<b>2</b>	<b>20</b>	<b>1,23</b>	
<b>3</b>	<b>20</b>	<b>1,22</b>	
<b>4</b>	<b>20</b>	<b>1,40</b>	
<b>5</b>	<b>20</b>	<b>1,28</b>	
<b>6</b>	<b>20</b>	<b>1,26</b>	
<b>7</b>	<b>20</b>	<b>1,28</b>	
<b>8</b>	<b>20</b>	<b>1,28</b>	
<b>9</b>	<b>20</b>	<b>1,29</b>	
<b>10</b>	<b>20</b>	<b>1,29</b>	

## Anexo 2. CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIOS CERTIFICADOS

Reporte N° 126		CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		<b>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA.</b>	Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1

Fecha: Mayo 11 de 2018.	
Cliente: William Benavides	Solicitud N°: 105
Dirección: Popayán	Teléfono:
Municipio de muestreo: Silvia	Fecha de Recepción: Abril 24 de 2108.
	Fecha de Análisis: Abril 24 a mayo 10.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	N/A
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0391	Usenda, Silvia

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm.	476
DBO <sub>5</sub>	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	255
DQO	SM5220D	mg/L	472
SST	SM2540D	mg/L	483
Alcalinidad	SM 2320B	mgCaCO <sub>3</sub> /L	194
Dureza Total	SM 2340C	mgCaCO <sub>3</sub> /L	41.0
Ortofosfatos	SM4500-P E, Modifica	mg PO <sub>4</sub> -P/L	4.8
Coliformes Totales	SM 9223 B	Ufc/100ml	3.5E7
Coliformes Fecales	SM 9223 B	Ufc/100ml	1.1E6

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.  
-Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA  
Responsable Laboratorio Ambiental

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 092 - 8203251  
 Línea verde: 018000932855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
 www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

COTIZACION DE SERVICIOS

Fecha Cotización 11/10/2018  
 Consecutivo 86154  
 Nombre WILLIAN BENAVIDEZ  
 Dirección CALLE 12N 31 34  
 Cédula / Nit Código 1061776601  
 Teléfono 3185781585

CONCEPTOS

Item	Código	Descripción	Cantidad	Vir Unitario	Total	Iva
1	215	Temperatura	1	1,890	1,890	360
2	217	Alcalinidad mg/LCaCO3	1	4,000	4,000	760
4	218	Dureza Total mg/LCaCO3	1	9,660	9,660	1,840
5	220	Conductividad $\mu$ S/cm	1	6,110	6,110	1,160
13	223	DQO mg/L O2	1	31,650	31,650	6,010
8	224	Nitratos mg/L NO3-	1	7,590	7,590	1,440
10	227	Nitritos mg/L NO2-	1	7,830	7,830	1,490
11	229	coliformes totales NMP/100ml	1	22,310	22,310	4,240
12	230	E-Coli NMP/100ml	1	40,700	40,700	7,730
7	221	Solidos disueltos totales mg/L	1	3,060	3,060	580
					<b>Sub Total</b>	<b>134,820</b>
					IVA	25,810
Observación					<b>Total</b>	<b>160,430</b>
ANALISIS DE LABORATORIO PARA AGUA CRUDA USENDA SILVIA CAUCA					<b>Valor a Pagar</b>	<b>160,430</b>

Forma de Pago CONTADO ELABORO: YECIKA JIMENA PORTILLA BURBANO

Plan de Pagos			
Cuota	Intrs Fnciatio	Valor a Paga	Saldo

MATERIALES			
Descripción	Cantidad	Vir Unitario	Subtotal

### Anexo 3. Prueba de Wilconxon para TRH 6 DÍAS

#### OXIGENO

##### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre oxígeno E. y Oxígeno mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,683	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

#### DBO

##### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre DBO E. y DBO5 mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

#### CONDUCTIVIDAD

##### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Conductividad E. y conductividad ms/cm es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## ALCALINIDAD

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Alcalinidad E. y Alcalinidad mg/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## DUREZA CARBONÁCEA

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Dureza Carbonacea E. y Dureza C. mmol/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## DUREZA TOTAL

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Dureza Total E. y Dureza T. mg/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## pH

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre pH entrada y pH es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## ACIDEZ TOTAL

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Acidez Total E. y Acidez Total mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,003	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## TURBIDEZ

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Turbidez E. y Turbidez Ntu es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## NITRITOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Nitritos E. y nitritos mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,461	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## NITRATOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Nitratos E. y Nitratos mg/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## FOSFATOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre PO4 E. y PO4 mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,011	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## Anexo 4. Prueba de Wilconxon para TRH 12 DÍAS

### OXIGENO

#### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre oxígeno E. y Oxígeno mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

### DBO

#### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre DBO E. y DBO5 mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

### CONDUCTIVIDAD

#### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Conductividad E. y conductividad ms/cm es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## ALCALINIDAD

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Alcalinidad E. y Alcalinidad mg/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## DUREZA CARBONÁCEA

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Dureza Carbonacea E. y Dureza C. mmol/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## DUREZA TOTAL

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Dureza Total E. y Dureza T. mg/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## pH

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre pH entrada y pH es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## ACIDEZ TOTAL

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Acidez Total E. y Acidez Total mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## TURBIDEZ

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Turbidez E. y Turbidez Ntu es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,002	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## NITRITOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Nitritos E. y nitritos mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,014	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## NITRATOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre nNitratos E. y Nitratos mg/ L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,005	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## FOSFATOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre PO4 E. y PO4 mg/L es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

## Anexo 5. Prueba U DE MANN WHITNEY para las salidas de los 2 TRH

### OXIGENO

#### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Oxígeno mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,021 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

### DBO

#### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de DBO5 mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,001 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

### CONDUCTIVIDAD

#### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de conductividad ms/cm es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,035 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## ALCALINIDAD

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Alcalinidad mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,009 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## DUREZA CARBONÁCEA

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Dureza C. mmol/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,000 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## DUREZA TOTAL

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Dureza T. mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,039 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## pH

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de pH es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,050 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## ACIDEZ TOTAL

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Acidez Total mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,016 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## TURBIDEZ

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Turbidez Ntu es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,194 <sup>1</sup>	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## NITRITOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de nitritos mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,031 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## NITRATOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Nitratos mg/ L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,125 <sup>1</sup>	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## FOSFATOS

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de PO4 mg/L es la misma entre las categorías de tiempo de retención (h).	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,014 <sup>1</sup>	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

<sup>1</sup>Se muestra la significación exacta para esta prueba.

## Anexo 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO (% DE REMOCIÓN)

### Oxígeno

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Oxígeno</b>	6 días	Media		1,7811%	8,98623%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-17,6324%	
			Límite superior	21,1947%	
		Media recortada al 5%		1,5690%	
		Mediana		3,4091%	
		Varianza		1130,533	
		Desv. Desviación		33,62339%	
		Mínimo		-45,00%	
		Máximo		52,38%	
		Rango		97,38%	
		Rango Inter cuartil		69,48%	
		Asimetría		-,047	,597
		Curtosis		-1,126	1,154
	12 días	Media		27,3141%	4,23353%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	18,1681%	
			Límite superior	36,4601%	
		Media recortada al 5%		28,0943%	
		Mediana		35,8232%	
		Varianza		250,919	
		Desv. Desviación		15,84043%	
		Mínimo		-2,27%	
		Máximo		42,86%	
		Rango		45,13%	
Rango Inter cuartil		27,20%			
Asimetría		-,696	,597		
Curtosis		-,985	1,154		

### DBO

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción DBO</b>	6 días	Media		61,6488%	6,64809%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	47,2864%	
			Límite superior	76,0111%	
		Media recortada al 5%		62,3422%	

		Mediana	56,6239%		
		Varianza	618,759		
		Desv. Desviación	24,87487%		
		Mínimo	14,81%		
		Máximo	96,00%		
		Rango	81,19%		
		Rango Inter cuartil	46,58%		
		Asimetría	,014	,597	
		Curtosis	-,590	1,154	
	12 días	Media	89,0484%	3,48797%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	81,5131%	
			Límite superior	96,5837%	
		Media recortada al 5%	89,6834%		
		Mediana	96,0000%		
		Varianza	170,323		
		Desv. Desviación	13,05078%		
		Mínimo	66,67%		
		Máximo	100,00%		
		Rango	33,33%		
		Rango Inter cuartil	23,15%		
		Asimetría	-1,084	,597	
		Curtosis	-,793	1,154	

## Conductividad

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Conductividad ad.</b>	6 días	Media	31,1343%	6,59298%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	16,8911%	
			Límite superior	45,3776%	
		Media recortada al 5%	30,7013%		
		Mediana	15,3300%		
		Varianza	608,544		
		Desv. Desviación	24,66868%		
		Mínimo	4,12%		
		Máximo	65,94%		
		Rango	61,82%		
		Rango Inter cuartil	48,73%		
		Asimetría	,400	,597	
		Curtosis	-1,852	1,154	

	12 días	Media		59,5498%	8,71618%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		40,7196%	
			Límite superior		78,3799%	
		Media recortada al 5%		60,4261%		
		Mediana		63,2675%		
		Varianza		1063,604		
		Desv. Desviación		32,61295%		
		Mínimo		6,66%		
		Máximo		96,67%		
		Rango		90,01%		
		Rango Inter cuartil		65,04%		
		Asimetría		-,323	,597	
		Curtosis		-1,207	1,154	

## Alcalinidad

Descriptivos						
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error		
<b>Remoción Alcalinidad</b>	6 días	Media		64,0433%	7,47625%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		47,8918%	
			Límite superior		80,1947%	
		Media recortada al 5%		66,4938%		
		Mediana		73,1250%		
		Varianza		782,520		
		Desv. Desviación		27,97356%		
		Mínimo		1,01%		
		Máximo		82,96%		
		Rango		81,95%		
		Rango Inter cuartil		25,01%		
		Asimetría		-1,870	,597	
		Curtosis		2,485	1,154	
12 días	12 días	Media		84,3061%	4,78921%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		73,9597%	
			Límite superior		94,6526%	
		Media recortada al 5%		85,4887%		
		Mediana		89,6842%		
		Varianza		321,112		
		Desv. Desviación		17,91959%		
		Mínimo		48,37%		

		Máximo	98,95%	
		Rango	50,58%	
		Rango Inter cuartil	27,33%	
		Asimetría	-1,224	,597
		Curtosis	,393	1,154

## Dureza carbonácea

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Dureza Carbonácea</b>	6 días	Media	41,2982%	4,92223%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	30,6644%	
			Límite superior	51,9320%	
		Media recortada al 5%	41,7028%		
		Mediana	42,3077%		
		Varianza	339,197		
		Desv. Desviación	18,41729%		
		Mínimo	11,25%		
		Máximo	64,06%		
		Rango	52,81%		
		Rango Inter cuartil	36,96%		
		Asimetría	-,471	,597	
		Curtosis	-1,050	1,154	
		12 días	Media	71,2402%	3,29908%
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	64,1129%	
			Límite superior	78,3674%	
	Media recortada al 5%		71,7332%		
	Mediana		76,6968%		
	Varianza		152,375		
	Desv. Desviación		12,34401%		
	Mínimo		50,00%		
	Máximo		83,61%		
	Rango		33,61%		
	Rango Inter cuartil	23,73%			
Asimetría	-,988	,597			
Curtosis	-,799	1,154			

## Dureza Total

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Dureza Total</b>	6 días	Media		26,4640%	6,70138%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	11,9865%	
			Límite superior	40,9414%	
		Media recortada al 5%		25,5583%	
		Mediana		16,2500%	
		Varianza		628,719	
		Desv. Desviación		25,07427%	
		Mínimo		0,00%	
		Máximo		69,23%	
		Rango		69,23%	
		Rango Inter cuartil		48,33%	
		Asimetría		,920	,597
		Curtosis		-,874	1,154
		12 días	Media		48,1762%
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	35,4826%	
			Límite superior	60,8699%	
	Media recortada al 5%		49,2808%		
	Mediana		42,8571%		
	Varianza		483,329		
	Desv. Desviación		21,98474%		
	Mínimo		0,00%		
	Máximo		76,47%		
	Rango		76,47%		
	Rango Inter cuartil		40,10%		
Asimetría			-,323	,597	
Curtosis		,268	1,154		

## pH

Descriptivos					
	Tiempo de retención (h)		Estadístico	Error de desviación	
<b>Remoción pH</b>	6 días	Media		0,3771%	0,07810%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,2084%	
			Límite superior	0,5459%	
		Media recortada al 5%		0,3568%	

		Mediana	0,3050%		
		Varianza	,085		
		Desviación	0,29222%		
		Mínimo	0,00%		
		Máximo	1,12%		
		Rango	1,12%		
		Rango Inter cuartil	0,16%		
		Asimetría	1,610	,597	
		Curtosis	2,706	1,154	
	12 días	Media	7,0514%	1,90497%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,9360%	
			Límite superior	11,1669%	
		Media recortada al 5%	6,8644%		
		Mediana	5,0500%		
		Varianza	50,805		
		Desviación	7,12775%		
		Mínimo	0,12%		
		Máximo	17,35%		
		Rango	17,23%		
		Rango Inter cuartil	15,61%		
		Asimetría	,439	,597	
		Curtosis	-1,644	1,154	

## Acidez Total

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Dev. Error	
<b>Remoción Acidez T.</b>	6 días	Media	29,5340%	8,16595%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	11,8925%	
			Límite superior	47,1754%	
		Media recortada al 5%	30,1006%		
		Mediana	26,0956%		
		Varianza	933,558		
		Desv. Desviación	30,55418%		
		Mínimo	-23,02%		
		Máximo	71,89%		
		Rango	94,91%		
		Rango Inter cuartil	61,68%		
		Asimetría	,161	,597	

		Curtosis	-1,074	1,154	
	12 días	Media	62,4346%	7,17832%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46,9268%	
			Límite superior	77,9424%	
		Media recortada al 5%	64,5048%		
		Mediana	71,2891%		
		Varianza	721,395		
		Desv. Desviación	26,85880%		
		Mínimo	1,12%		
		Máximo	86,49%		
		Rango	85,37%		
		Rango Inter cuartil	13,40%		
		Asimetría	-1,929	,597	
		Curtosis	2,827	1,154	

## Turbidez

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Turbidez</b>	6 días	Media	89,3119%	3,60070%	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	81,5330%	
			Límite superior	97,0907%	
		Media recortada al 5%	90,4572%		
		Mediana	93,1277%		
		Varianza	181,511		
		Desv. Desviación	13,47259%		
		Mínimo	58,61%		
		Máximo	99,40%		
		Rango	40,79%		
		Rango Inter cuartil	9,77%		
		Asimetría	-1,962	,597	
		Curtosis	2,884	1,154	
		12 días	Media	69,6148%	10,15538%
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	47,6755%	
			Límite superior	91,5542%	
	Media recortada al 5%		72,4381%		
	Mediana		91,8485%		
	Varianza		1443,844		
	Desv. Desviación		37,99795%		

	Mínimo	-10,43%	
	Máximo	98,84%	
	Rango	109,27%	
	Rango Inter cuartil	45,78%	
	Asimetría	-1,493	,597
	Curtosis	1,200	1,154

## Nitritos

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Dev. Error	
<b>Remoción Nitritos</b>	6 días	Media		-	468,97463
				471,4286%	%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-	
				1484,5867	
				%	
		Límite superior		541,7295%	
		Media recortada al 5%		-	
				164,5503%	
		Mediana		0,0000%	
		Varianza		3079120,8	
				79	
		Desv. Desviación		1754,7424	
				0%	
		Mínimo		-6566,67%	
	Máximo		100,00%		
	Rango		6666,67%		
	Rango Inter cuartil		16,67%		
	Asimetría		-3,739	,597	
	Curtosis		13,984	1,154	
	12 días	Media		42,8571%	13,72527%
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	13,2055%		
		Límite superior	72,5088%		
Media recortada al 5%		42,0635%			
Mediana		0,0000%			
Varianza		2637,363			
Desv. Desviación		51,35526%			
Mínimo		0,00%			
Máximo		100,00%			

		Rango	100,00%	
		Rango Inter cuartil	100,00%	
		Asimetría	,325	,597
		Curtosis	-2,241	1,154

## Nitratos

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Nitratos</b>	6 días	Media		42,8571%	4,85262%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	32,3737%	
			Límite superior	53,3406%	
		Media recortada al 5%		44,8413%	
		Mediana		50,0000%	
		Varianza		329,670	
		Desv. Desviación		18,15683%	
		Mínimo		0,00%	
		Máximo		50,00%	
		Rango		50,00%	
		Rango Inter cuartil		0,00%	
		Asimetría		-2,295	,597
		Curtosis		3,792	1,154
		12 días	Media		48,5714%
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	23,0641%	
			Límite superior	74,0787%	
	Media recortada al 5%		52,3016%		
	Mediana		50,0000%		
	Varianza		1951,648		
	Desv. Desviación		44,17746%		
	Mínimo		-50,00%		
	Máximo		80,00%		
Rango			130,00%		
Rango Inter cuartil			30,00%		
Asimetría			-1,800	,597	
Curtosis			2,414	1,154	

## Fosfatos

Descriptivos					
	tiempo de retención (h)		Estadístico	Desv. Error	
<b>Remoción Fosfatos</b>	6 días	Media		44,0476%	12,99915%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,9647%	
			Límite superior	72,1306%	
		Media recortada al 5%		43,3862%	
		Mediana		16,6667%	
		Varianza		2365,690	
		Desv. Desviación		48,63836%	
		Mínimo		0,00%	
		Máximo		100,00%	
		Rango		100,00%	
		Rango Inter cuartil		100,00%	
		Asimetría		,247	,597
		Curtosis		-2,182	1,154
	12 días	Media		83,3333%	7,41249%
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	67,3196%	
			Límite superior	99,3471%	
		Media recortada al 5%		85,1852%	
		Mediana		100,0000%	
		Varianza		769,231	
		Desv. Desviación		27,73501%	
		Mínimo		33,33%	
		Máximo		100,00%	
		Rango		66,67%	
Rango Inter cuartil		50,00%			
Asimetría		-1,168	,597		
Curtosis		-,585	1,154		

**Anexo 7. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLANTAS AL INICIO Y AL FINALIZAR EL TRATAMIENTO**

<b>MEDICIÓN INICIAL DE PLANTAS. JACINTO DE AGUA (<i>Eichhornia crassipes</i>)</b>			
<b>(19/03/2018) 19/06/18</b>			
<b>PLANTA</b>	<b>LONGITUD RAÍZ</b>	<b>N° DE HOJAS</b>	<b>BIOMASA</b>
1	67 CM	9	214Gr
2	63 CM	6	151Gr
3	63 CM	6	135Gr
4	59 CM	7	308Gr
5	79 cm	8	235Gr
6	12 cm	7	32Gr
7	87 cm	8	400Gr
8	60 cm	7	156Gr
9	61 cm	10	278Gr
10	56 cm	5	174Gr
11	79 cm	7	318Gr
12	64 cm	8	202Gr
13	70 cm	6	154Gr
14	53 cm	7	215Gr
15	62 cm	5	150Gr
16	60 cm	9	240Gr
17	83 cm	2	148Gr
18	61 cm	6	160Gr
19	85 cm	7	417Gr
20	56 cm	4	141Gr
21	36 cm	4	78Gr
22	61 cm	5	142Gr
23	60 cm	5	150Gr
24	167 cm	6	121Gr
25	61 cm	5	117Gr
26	12 cm	6	86Gr
27	60 cm	8	375Gr
28	33 cm	5	147Gr

<b>MEDICIÓN FINAL DE PLANTAS. JACINTO DE AGUA (<i>Eichhornia crassipes</i>)</b>			
<b>PLANTA</b>	<b>LONGITUD RAÍZ</b>	<b>N° DE HOJAS</b>	<b>BIOMASA</b>
1	86	6	422Gr
2	89	8	378Gr
3	88	3	389Gr
4	73	8	276Gr
5	75	7	197Gr
6	44	4	224Gr
7	98	5	221Gr
8	102	9	171Gr
9	91	6	236Gr
10	96	6	198Gr
11	101	11	402Gr
12	99	4	138Gr
13	86	3	123Gr
14	80	6	152Gr
15	78	9	356Gr
16	73	3	177Gr
17	96	3	162Gr
18	85	6	236Gr
19	94	8	321Gr
20	73	9	302Gr
21	51	7	226Gr
22	78	10	285Gr
23	74	2	112Gr
24	158	4	175Gr
25	92	1	100Gr
26	33	6	79Gr
27	93	3	121Gr
28	46	3	93Gr
29	41	7	103Gr
30	54	9	138Gr
31	34	11	126Gr
32	29	7	88Gr
33	64	5	91Gr
34	61	9	107Gr
35	69	10	114Gr
36	35	4	76Gr
37	39	7	96Gr
38	27	5	59Gr

## **Anexo 8. FOLLETO DIDÁCTICO**

bonato, Sus raíces pueden alojar microorganismos que asociados a ellas favorece su acción depuradora. En general, estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como Cadmio, Mercurio, Arsénico).



### Bibliografía

VALERO ALVARADO, Magda Liliana. Aplicación Tecnológica De Las Macrófitas A La Depuración De Aguas Residuales Con La Ayuda De Microorganismos. Bucaramanga, 2006, 70 h. Especialización (Ingeniero Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Disponible en el repositorio institucional de la Universidad Industrial de Santander. <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7580/2/121012.pdf>

Benavidez William D.<sup>1</sup>

Fernández Alejandra<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Tesistas de Ecología, Fundación Universitaria De Popayán, Cauca, Colombia

[benavidezw951@universitarios.co]

Jacinto de agua.  
Una alternativa  
eficiente, económica y  
amigable para  
recuperar aguas  
residuales domesticas

Alejandra Fernández  
William D. Benavidez

Fundación Universitaria De  
Popayán  
Facultad De Ciencias  
Naturales



### Contaminación del agua

La contaminación del agua es el resultado de la adición de componentes externos y se ha originado debido al creciente desarrollo industrial y urbano ocurrido especialmente durante las dos últimas décadas. De esta forma el ciclo natural del agua se afecta impidiendo su utilización normal.

### ¿Por qué es indispensable recuperar las aguas?

La recuperación o tratamiento de las aguas es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del am-

biente, la salud y la calidad de vida.

### ¿Cuáles son las alternativas a usar?

Los procesos utilizados principalmente son físicos, químicos y biológicos. En este último se destaca la Fito remediación como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento. Este proceso permite el uso de plantas para recuperar cuerpos de agua. Existen gran variedad de plantas y entre ellas está el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

### ¿Qué es el Jacinto de agua?

El Jacinto de agua



(*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática, con gran facilidad de proliferación, además de contar con gran abundancia en zonas tropicales y subtropicales.

### ¿De qué forma contribuye a la recuperación del agua?

Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrato, sulfato, cloro, fosfato y car-



## Anexo 9. FOTOGRAFÍAS

### CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLANTAS



### ACLIMATACIÓN



## Diseño Montaje



## Laboratorio de análisis de las ARD

