RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	**MARÍA MÓNICA SERRANO HERNÁNDEZ**
FACULTAD	**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE**
PLAN DE ESTUDIOS	**INGENIERIA AMBIENTAL**
DIRECTOR	**PABLO ALBERTO HERRERA**
TÍTULO DE LA TESIS	**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES JERUSALÉN DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA, CESAR**

RESUMEN
(70 palabras aproximadamente)

SE EMPLEARON LAS ESPECIES VEGETALES HELICONIA *PSITTACORUM* Y LIMNOCHARIS *FLAVA*, PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES COMO SISTEMA COMPLEMENTARIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES JERUSALÉN DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA. ES POR ESTO QUE EL PRESENTE TRABAJO SE BASA EN EL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL, CON EL FIN DE CONOCER EL POTENCIAL FITORREMEDIADOR EN EL TRATAMIENTO DEL RESIDUO.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 99	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES JERUSALÉN DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA, CESAR

Autor(a)

MARÍA MÓNICA SERRANO HERNÁNDEZ

Trabajo de grado presentado bajo la modalidad de pasantía como requisito para optar el título de Ingeniera Ambiental

Director

PABLO ALBERTO HERRERA

Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia **Julio De 2018**

Índice

Capítulo 1. Evaluación de un sistema piloto de humedales artificiales en el sistema de tratamiento de aguas residuales Jerusalén del municipio de Aguachica, Cesar 1
1.1 Descripción breve de la empresa 1
1.1.1 Misión. 2
1.1.2 Visión. 3
1.1.3 Objetivos de la empresa. 3
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional. 4
1.1.5 Descripción de la dependencia 5
1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia 6
1.2.1 Planteamiento del problema. 7
1.3 Objetivos de la Pasantía 8
1.3.1 Objetivo general. 8
1.3.2 Objetivos específicos. 8
1.4 Descripción de las actividades 9

Capítulo 2. Enfoques referenciales 10
2.1 Enfoque conceptual 10
2.1.1 Conceptos relacionados con los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). 10
2.1.2 Conceptos relacionados con las aguas residuales. 11
2.1.3 Conceptos relacionados con los humedales artificiales. 15
2.2 Enfoque legal 23

Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo 26
3.1 Presentación de resultados 26
3.1.1 Identificación de las especies vegetales con capacidad fitorremediadora que se adaptan a las condiciones climáticas de la zona de estudio. 26
3.1.2 Construir un sistema piloto de humedales artificiales para depurar la carga contaminante presente en el agua. 34

3.1.3 Determinar la eficiencia del sistema piloto basado en el cumplimiento de los parámetros seleccionados que se encuentran establecidos en la resolución 0631 de 2015……38

Capítulo 4. Diagnostico final..... 63

Capítulo 5. Conclusiones 64
Recomendaciones 66
Referencias..... 67
Apéndices..... 70

Lista de Tablas

Tabla 1: Matriz DOFA 6

Tabla 2: Estrategias Fo-Do-Fa-Da 6

Tabla 3: Actividades a desarrollar 9

Tabla 4: Identificación de especies vegetales 29

Tabla 5: Porcentajes de remoción de los parámetros 40

Tabla 6: Resultados para alcalinidad 41

Tabla 7: Resultados para dureza total 43

Tabla 8: Resultados para turbiedad 44

Tabla 9: Resultados para conductividad 46

Tabla 10: Resultados para oxígeno disuelto 47

Tabla 11: Resultados para demanda química de oxigeno 49

Tabla 12: Resultados para demanda bioquímica de oxigeno 51

Tabla 13: Resultados para nitratos 52

Tabla 14: Resultados para nitritos 54

Tabla 15: Resultados para nitrógeno amoniacal 55

Tabla 16: Resultados para fosfatos 56

Tabla 17: Resultados para sólidos suspendidos 57

Tabla 18: Resultados para potencial de hidrógeno 59

Tabla 19: Resultados para aluminio 60

Tabla 20: Resultados para sulfatos 61

Tabla 21: Resultados para coliformes totales 61

Tabla 22: Resultados para escherichia coli 62

Lista de Figuras

Figura 1: Estructura organizacional de la E.S.P.A. 4

Figura 2: Humedal artificial de flujo superficial 16

Figura 3: Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal..... 17

Figura 4: Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical..... 18

Figura 5: Plantas que afloran en el área, 1-2.3 gramíneas y 4 Limnocharis flava..... 30

Figura 6: Clasificación taxonómica de la especie H. Psittacorum 32

Figura 7: Clasificación taxonómica de la especie L. flava..... 33

Figura 8: Techo y montaje del sistema piloto 34

Figura 9: Montaje de tubería y sustrato en las unidades 35

Figura 10: Sustratos seleccionados 35

Figura 11: Diseño del sistema piloto..... 36

Figura 12: Construcción pasó a paso del sistema piloto 37

Figura 13: Entrada del flujo al sistema piloto 38

Figura 14: Toma de muestras del afluente del sistema piloto 39

Figura 15: Toma de muestras del efluente del sistema piloto 39

Figura 16: Muestras de agua residual 39

Figura 17: Resultados obtenidos de alcalinidad bajo las condiciones evaluadas..... 42

Figura 18: Resultados obtenidos de dureza total bajo las condiciones evaluadas..... 43

Figura 19: Resultados obtenidos de turbiedad bajo las condiciones evaluadas 45

Figura 20: Resultados obtenidos de conductividad bajo las condiciones evaluadas..... 46

Figura 21: Resultados obtenidos de oxígeno disuelto bajo las condiciones evaluadas..... 48

Figura 22: Resultados obtenidos de demanda química de oxígeno bajo las condiciones evaluadas 50

Figura 23: Resultados obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno bajo las condiciones evaluadas 51

Figura 24: Resultados obtenidos de nitratos bajo las condiciones evaluadas..... 53

Figura 25: Resultados obtenidos de nitritos bajo las condiciones evaluadas 54

Figura 26: Resultados obtenidos de fosfatos bajo las condiciones evaluadas..... 56

Figura 27: Resultados obtenidos de sólidos suspendidos bajo las condiciones evaluadas..... 58

Figura 28: Resultados obtenidos de potencial de hidrógeno bajo las condiciones evaluadas..... 59

Lista de Apéndice

Apéndice A. Resultados análisis fisicoquímicos 71

Apéndice B. Resultados análisis microbiológicos..... 75

Apéndice C. Resultados aluminio y sulfatos..... 79

Apéndice D. Registro fotográfico..... 83

Resumen

En este proyecto se emplearon las especies vegetales Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*, para la fitorremediación de aguas residuales como sistema complementario del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Jerusalén del municipio de Aguachica, Cesar. El sistema piloto consta de un tanque de 55 galones que almacena el agua residual, conectado a tres unidades de tratamiento recreando un humedal subsuperficial horizontal, que contienen gravas de diferente granulometría y las especies vegetales (H. *psittacorum,* Limnocharis *flava* y su combinación).

Se trabajó un solo tiempo de retención de 3 días (72 h). Se analizó el agua antes y después del tratamiento para determinar el porcentaje de remoción en 17 parámetros. Se mostró una eficiencia mayor de remoción en parámetros como DQO, DBO5, Nitratos, Fosfatos y Solidos suspendidos.

Según la investigación realizada con Limnocharis flava para evaluar su potencial fitorremediador se demostró que esta planta presenta características de aclimatación adecuadas a las condiciones en los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Entre las características más relevantes, es la capacidad de eliminación de DBO5, DQO y SST.

Introducción

En la actualidad la contaminación del agua es una problemática que ha aumentado, por lo cual el pensar en alternativas para descontaminar el agua ha sido un reto que el ser humano ha tomado en busca de la sostenibilidad. Para esto se han construido múltiples sistemas de tratamiento que en su mayoría no han presentado los mejores resultados, en busca de hallar medidas de bajo coste y con mayor remoción se ha pensado en los humedales artificiales como sistemas biológicos capaces de remover la carga contamínate de las aguas residuales.

Es por esto que el presente trabajo se basa en el diseño y la evaluación de un sistema piloto de humedal artificial, con el fin de conocer el potencial fitorremediador en el tratamiento del residuo. Conocer las distintas especies vegetales y los sustratos para ver la influencia de estos elementos durante el proceso de remoción de la carga contaminante.

En este proyecto se busca analizar las especies vegetales, tales como la Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava* para determinar su capacidad fitorremediadora.

Capítulo 1. Evaluación de un sistema piloto de humedales artificiales en el sistema de tratamiento de aguas residuales Jerusalén del municipio de Aguachica, Cesar

1.1 Descripción breve de la empresa

El primer asentamiento humano de Aguachica existió en terrenos aledaños al sitio donde hoy funciona la planta de tratamiento del acueducto, por la vía que conduce al caserío de la Yegüerita. Más tarde, cuando el pueblo fue creciendo, las autoridades pensaron en construir su primer acueducto, y fue así que por medio de tuberías de hierro trajeron el agua desde la quebrada Buturama y la depositaban en una alberca grande en un sitio que quedó en donde hoy funciona la parte alta del barrio María Eugenia, en terrenos del señor Adriano Yaruro. El líquido llegaba a las casas como venía de la quebrada, y en tiempos de invierno los habitantes le echaban un pedazo de lo que ellos llamaban Cloron para aclarar el agua. Este producto químico es lo que hoy se conoce como sulfato de aluminio.

Posteriormente las tuberías de hierro se fueron reemplazando por las de asbesto cemento y fueron ampliando las redes. Las autoridades más recientes fueron pensando en el tratamiento del agua y fue así, como en el año 1983 se inauguró la planta de tratamiento, desde esta fecha se comenzó a procesar el precioso líquido y la población a gozar de un servicio de agua clara y apta para el consumo humano.

En su aspecto jurídico se conoció inicialmente como acueducto municipal regido por una junta directiva y un administrador, más tarde por acuerdo del concejo municipal se transformó en las empresas municipales, posteriormente el acueducto paso a manos del departamento y se conoció la empresa con el nombre de EMPOCESAR, nuevamente al disolverse la empresa departamental paso a manos del municipio y se conoció con el nombre de EMPOAGUACHICA, regida también por una junta directiva y con un gerente a su cabeza. Con la aparición de la ley 142 de 1994, el ente municipal se transformó en una empresa industrial y comercial del estado cuya razón social es actualmente Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P.

La Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P, cuenta en su estadística con un total de Dieciséis Mil Cuatrocientos (16.400) subscritores de acueducto y Quince mil cuatrocientos (15.400) de alcantarillado, la prestación del servicio de acueducto se da por gravedad y debe contemplar racionamientos para el suministro, esto debido a fugas, los fraudes y el mal uso que los usuarios le dan al agua.

Actualmente se adelantan las obras de optimización del acueducto y alcantarillado para mejorar la continuidad del servicio y lograr un 100% de cobertura. La finalidad de la empresa es que aproximadamente en 4 años prestar el servicio las 24 horas del día.

1.1.1 Misión. “Somos una empresa dedicada a la organización y prestación de los servicios

públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la ciudad de Aguachica Cesar, para satisfacer las necesidades de los clientes con oportunidad, eficiencia, continuidad y calidad en niveles de excelencia, generando como valores agregados constantes, el fomento del crecimiento socioeconómico sostenible de la zona urbana con responsabilidad social empresarial, mediante la gestión del talento humano, los recursos físicos y la modernización tecnológica que garantice bajo principios y valores éticos la sostenibilidad económica, financiera y ambiental".

1.1.2 Visión. "Ser en el año 2020 una empresa reconocida regional y nacionalmente como modelo en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, caracterizada por una gestión orientada a resultados, que promueva con responsabilidad social empresarial el mejoramiento de la calidad de vida de la ciudadanía en general, con un talento humano de altos niveles en sus competencias; así como, por un comportamiento acorde con los principios y valores éticos".

1.1.3 Objetivos de la empresa. Somos una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios que desea brindar a la comunidad aguachiquence un buen servicio en el suministro de Agua potable, tratamientos de aguas residuales y saneamiento básico; y así contribuir al mejoramiento de la calidad de vida en este, nuestro municipio. Es por eso, que la empresa se ha trazado la misión y la visión para llevar a cabo el buen manejo y sostenimiento de la Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P.

- Organizar y prestar de forma eficiente y eficaz los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio de Aguachica Cesar.
- Construir, mantener y reparar oportunamente la infraestructura para la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio.

- Desarrollar una cultura orientada al manejo, mejoramiento y protección del medio ambiente que garanticen la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio de Aguachica Cesar.
- Promover el desarrollo del control social y la participación ciudadana en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio de Aguachica Cesar.
- Garantizar la rentabilidad económica y social requerida para la sostenibilidad de la empresa en el corto, mediano y largo plazo.
- Establecer una cultura orientada al cliente, soportada con procesos organizacionales efectivos que respondan a las necesidades y oportunidades del mercado.

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.

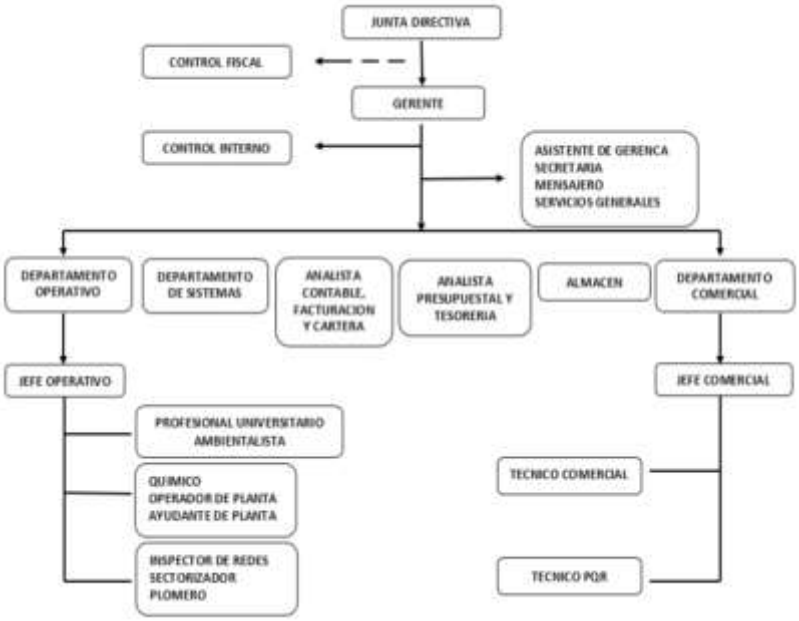


Figura 1: Estructura organizacional de la E.S.P.A. Fuente: Control interno de la E.S.P.A, 2017.

1.1.5 Descripción de la dependencia. La Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P dentro de su estructura organizacional no cuenta con un Departamento de Gestión Ambiental, sin embargo se encuentran delegadas funciones bajo la responsabilidad del ingeniero Pablo Alberto Herrera, como parte del proceso de control ambiental de la E.S.P Aguachica.

Control ambiental, es el cargo en el cual se encuentran inmersas las actividades de inspección, vigilancia y aplicación de medidas necesarias para disminuir o evitar la emisión de contaminantes provenientes de los procesos ocasionados por los habitantes del municipio de Aguachica-Cesar al medio ambiente y de esta manera contribuir al cuidado de la salud humana.

Las funciones principales que ejerce el ingeniero ambiental se especifican de la siguiente manera: Es el encargado de velar por el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, Supervisa las actividades de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, Promueve el mejoramiento de la gestión y desempeño ambiental al interior de la empresa, Brinda asesoría técnica-ambiental, mantiene actualizada la información ambiental de la empresa y genera informes periódicos.

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia

Tabla 1:

Matriz DOFA

FACTORES INTERNOS	
FORTALEZAS (F)	**DEBILIDADES (D)**
1. Cuenta con un Ingeniero Ambiental encargado del control ambiental de la empresa. 2. Cuenta con personal de apoyo en la realización de actividades de mejoramiento de la gestión ambiental. 3. Adelanta mejoras en los procesos y la infraestructura de las instalaciones. 4. Está vinculada al sector público, permitiendo una mejor comunicación con los entes de control.	**1.** No se cuenta con un departamento de gestión ambiental. **2.** No se están destinando los dineros suficientes para el mejoramiento de la gestión ambiental. **3.** No hay continuidad en la prestación del servicio de agua potable a la comunidad. **4.** Hay un alto costo que se paga de tasas retributivas por vertimientos.
FACTORES EXTERNOS	
OPORTUNIDADES (O)	**AMENAZAS (A)**
1. Fortalecimiento de la normatividad relacionada con el manejo del recurso. 2. Relaciones interinstitucionales y entes de control. 3. Recepción de recursos Públicos para el desarrollo de las actividades. 4. Uso de alternativas emergentes apropiadas para el tratamiento de aguas potables y residuales.	**1.** Efectos derivados del cambio climático, veranos e inviernos intensos. **2.** Informalidad en el uso de los servicios. **3.** Comportamiento y cultura de la comunidad. **4.** Problemas relacionados con la falta de remoción de la carga contaminante de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Fuente. Pasante

Nota. En la tabla se muestran los factores internos (Fortalezas- Debilidades) y factores externos (Oportunidades-Amenazas) de la E.S.P.A. Fuente: Pasante, 2017.

Tabla 2:

Estrategias Fo-Do-Fa-Da

ESTRATEGIAS	
ESTRATEGIAS (FO)	**ESTRATEGIAS (DO)**
F1+O4. Implementar sistemas pilotos como prueba de tratamientos novedosos para determinar la eficiencia de las alternativas. **F3+O3. Priorizar la inversión de los recursos en la adecuación de las**	D2+O3. Formular proyectos ante la alcaldía para que se destinen los recursos para determinadas obras. D4+04. Formular y evaluar las distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales

instalaciones y procesos que mejoren la prestación del servicio.	con el fin de conocer la eficiencia del sistema al depurar su carga contaminante.

ESTRATEGIAS	
ESTRATEGIAS (FA)	**ESTRATEGIAS (DA)**
F3+A2. Campañas masivas de instalación de medidores para formalizar el uso del servicio.	D1+A4. Establecer el departamento de gestión ambiental en el cual se presenten las iniciativas de depuración de la carga contaminante como sistema complementario.
F4+A3. Realizar conversatorios con la comunidad en donde los entes de control resuelvan dudas acerca de la prestación del servicio prestado por ESPA.	D2+A4. Definir un presupuesto para la implementación del sistema que garantice la solución de la problemática del tratamiento de las aguas residuales.

Fuente. Pasante

Nota. En la tabla se muestran las estrategias FO (Fortalezas-Oportunidades), DO (Debilidades-Oportunidades), FA (Fortalezas-Amenazas) y DA (Debilidades-Amenazas).
Fuente: Pasante, 2017.

1.2.1 Planteamiento del problema. La Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P cuenta con dos sistemas de tratamientos de aguas residuales, esto debido a la topografía y al sistema de alcantarillado que presenta el municipio de Aguachica.

Distribuidos en dos zonas y tributando a dos fuentes hídricas, estos dos sistemas son: Puerto Mosquito y Jerusalén. Actualmente estos sistemas presentan poca remoción de la carga contaminante lo cual ha mostrado las deficiencias del tratamiento.

El sistema de tratamiento Jerusalén se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 8°19’11.51” de Latitud Norte y 73°38’07.37” Longitud Oeste hacia las afueras del barrio Jerusalén, en predios de la finca Los Almendros en la Vereda Corral a 110 msnm. Esta propiedad es del municipio y el sistema descarga al terminar el tratamiento sus aguas al Caño El Pital.

La prueba piloto se realizara en el sistema de tratamiento de aguas residuales Jerusalén y lo que busca es estudiar su eficiencia en la remoción de la carga contaminante como tratamiento complementario, para servir como alternativa que al implementarse pueda ayudar en la disminución del alto costo de la tasa retributiva de la empresa.

1.3 Objetivos de la Pasantía

1.3.1 Objetivo general. Evaluar un sistema piloto de humedales artificiales en el sistema de tratamiento de aguas residuales Jerusalén del municipio de Aguachica, Cesar.

1.3.2 Objetivos específicos. Identificar las especies vegetales con capacidad fitorremediadora que se adapten a las condiciones climáticas de la zona de estudio.

Construir un sistema piloto de humedales artificiales para depurar la carga contaminante presente en el agua.

Determinar la eficiencia del sistema piloto basado en el cumplimiento de los parámetros seleccionados que se encuentran establecidos en la resolución 0631 de 2015.

1.4 Descripción de las actividades

Tabla 3:

Actividades a desarrollar

OBJETIVOS	
OBJETIVO GENERAL	
Evaluar un sistema piloto de humedales artificiales en el sistema de tratamiento de aguas residuales Jerusalén del municipio de Aguachica, Cesar.	
OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES A DESARROLLAR
Identificar las especies vegetales con capacidad fitorremediadora que se adapten a las condiciones climáticas de la zona de estudio.	• Realizar una revisión bibliográfica sobre las especies vegetales relacionadas con experiencias fitorremediadoras en aguas residuales. • Realizar una revisión de la zona de trabajo sobre plantas que afloren en el sector donde están ubicadas las lagunas. • Seleccionar las especies vegetales que se utilizaran en el sistema piloto de tratamiento.
Construir un sistema piloto de humedales artificiales para depurar la carga contaminante presente en el agua.	• Diseñar el sistema a emplear incluyendo especificaciones y plano del sistema piloto de humedales artificiales. • Construir la infraestructura necesaria para el buen funcionamiento del sistema depurador. • Establecer el inicio de operación del sistema permitiendo la entrada controlada del flujo.
Determinar la eficiencia del sistema piloto basado en el cumplimiento de los parámetros seleccionados que se encuentran establecidos en la resolución 0631 de 2015.	• Realizar la toma de las muestras de agua residual antes (afluente) y después (efluente) del tratamiento del sistema piloto de humedales artificiales. • Realizar el cálculo de los porcentajes según los resultados de las cargas contaminantes. • Evaluar la eficiencia del sistema y comparar los resultados con los parámetros de la resolución 0631 de 2015 para ver si se encuentra o no dentro de los límites permisibles.

Fuente. Pasante

Nota. En la tabla se muestran las actividades a desarrollar en la empresa para hacer posible el cumplimiento de los Objetivos Específicos. Fuente: Pasante, 2017.

Capítulo 2. Enfoques referenciales

2.1 Enfoque conceptual

2.1.1 Conceptos relacionados con los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

Laguna de estabilización. Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc) (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Laguna aerobia. Término a veces utilizado para significar "laguna de alta producción de biomasa". Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Laguna anaerobia. Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el

sulfuro de hidrógeno (H2S) (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Laguna de maduración. Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada - facultativa o primaria - secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Laguna facultativa. Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

2.1.2 Conceptos relacionados con las aguas residuales.

Aguas crudas. “Aguas residuales que no han sido tratadas” (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Aguas servidas. “Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales” (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Aguas residuales. “Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria” (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Aguas residuales domésticas (ARD). Las ARD contienen material suspendido y disuelto orgánico e inorgánico que, de acuerdo con el tipo de constituyente, se clasifican en: i) Convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos); ii) No convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, surfactantes, metales, sólidos disueltos) y iii) Emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.). Los no convencionales y los emergentes pueden encontrarse en las aguas residuales, debido a la predominancia de sistemas de alcantarillado combinado y ante todo a la potencial mezcla con agua residual industrial (ARI) (Metcalf & Eddy, 2003).

Aguas residuales municipales. “Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos” (Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

Las aguas residuales tienen unas características específicas que siendo medidas permiten evaluar la eficiencia del sistema piloto, estos parámetros se explicaran a continuación:

Potencial de hidrógeno (pH). Es una medida de la concentración de iones hidrogeno, y se define como pH: log (1/ $[H^+]$). Es una medida de la naturaleza acida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8 (Rigola Lapeña, 1990).

Dureza total. Debido a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Mide el contenido total de iones Ca^{++} y Mg^{++} (Rigola Lapeña, 1990).

Alcalinidad. Es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente lo iones bicarbonato, carbonato y oxhidrilo (Rigola Lapeña, 1990).

Turbiedad. La turbiedad en el agua resulta de la presencia de materiales solidos u opacos que dicho liquido transparente de por sí, mantiene en suspensión. Según el grado de finura del material suspendido y la menor o mayor abundancia del mismo, la turbiedad se presenta al observador bajo diversos aspectos (Domingo, 1999).

Conductividad. Se define como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Oxígeno disuelto. Es la cantidad de oxigeno que esta disuelta en el agua y que es esencial para la vida en los cuerpos de agua. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua y está relacionado con la capacidad del cuerpo de agua de ser soporte para la biota (Anónimo).

Sólidos suspendidos. Es la fracción de solidos presentes en agua como material no disuelto. En el laboratorio se distinguen de los disueltos por medio de la filtración. Los sólidos suspendidos comprenden a los sedimentables, flotantes y no sedimentables (coloidales) (Ramos Olmos, Sepúlveda Marqués, & Villalobos Moreto, 2002).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). “La demanda bioquímica de oxigeno se usa como una medida de la cantidad de oxigeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia” (Sette Ramalho, 1996).

Demanda química de oxígeno (DQO). “Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato o permanganato, por las materias oxidables contenidas en el agua, y también se expresa en ppm de O_2” (Rigola Lapeña, 1990).

2.1.3 Conceptos relacionados con los humedales artificiales.

Humedales naturales. Los humedales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial autodepurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie (Llagas Chafloque & Gómez, 2006).

Humedales artificiales. “Se definen los humedales artificiales como sistemas diseñados por el hombre, conformados por un substrato saturado, vegetación emergente y subemergente, organismos vivos y agua que simulan los beneficios de los humedales naturales” (Hammer & Bastian, 1989).

Humedales artificiales de flujo superficial. Los sistemas de flujo superficial (conocidos en inglés como surface flow constructed wetalnds o freewater surface constructed wetlands) son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmosfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de

lagunas convencionales. A diferencia de estas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

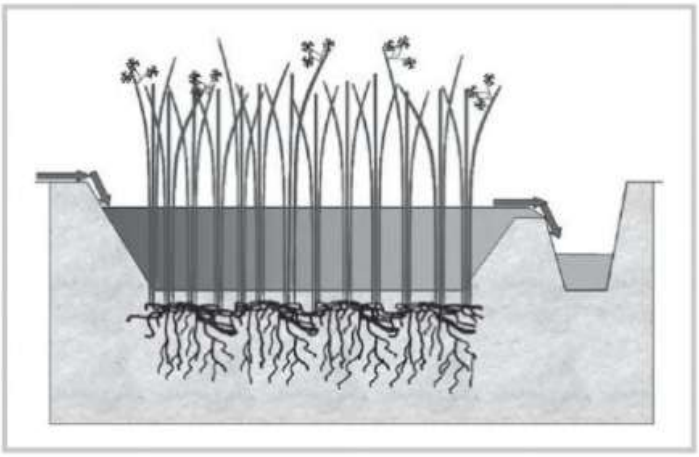


Figura 2: Humedal artificial de flujo superficial

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Humedales artificiales de flujo subsuperficial. Los sistemas de flujo subsuperficial (conocidos en inglés como subsurface flow constructed wetlands), se caracterizan porque la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: (a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: Humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) Humedales de flujo subsuperficial vertical (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m2 (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

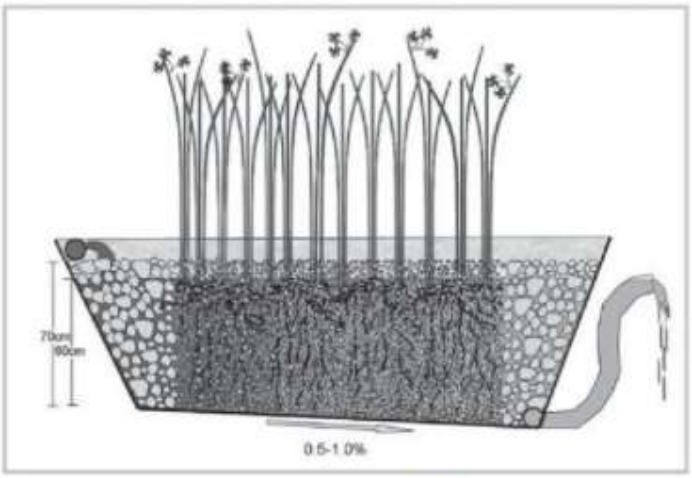


Figura 3: Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno. La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20 g DBO/m2 ·día (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

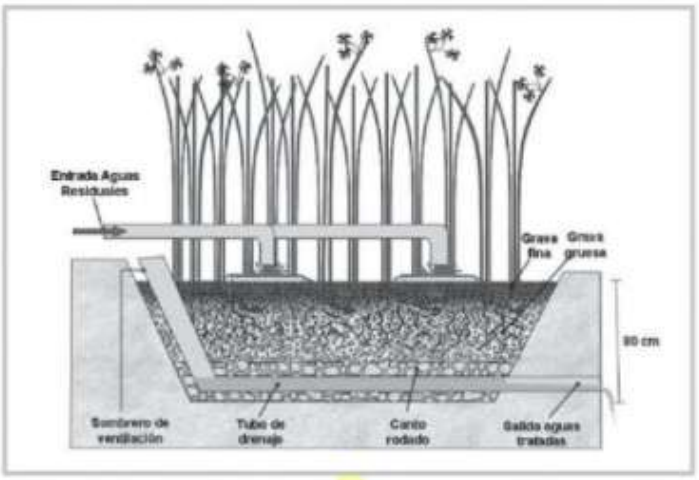


Figura 4: Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Los humedales según sean sus características de diseño poseen unos componentes importantes que manipulados correctamente garantizan la efectividad del proceso de remoción de los contaminantes, estos se explicaran a continuación:

Impermeabilización. Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar láminas sintéticas (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

Estructuras de entrada y salida. “Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y recogida de las aguas para alcanzar los rendimientos estimados, es por ello que las

estructuras de entrada y salida deben estar muy bien diseñadas y construidas" (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

Substrato (medio granular). En los humedales, el substrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Vegetación. El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales artificiales es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirve como substrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre (Lara Borrero, 1999).

Microorganismos. Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un

gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y altera las condiciones del potencial redox del substrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal (Lara Borrero, 1999).

En los humedales artificiales se plantan especies vegetales que poseen las capacidades de remover contaminantes presentes en las aguas residuales, todo este proceso funciona a través de unos principios que a continuación se explicaran:

Biorremediación. Es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas (Glazer & Nikaido, 1995).

Fitorremediación. Es una metodología dentro de la biorremediación que consiste en el uso de especies vegetales que debido a su capacidad de absorber, volatizar, tolerar y acumular altas concentraciones de contaminantes permiten la remoción de los mismos; esta práctica se diferencia de otras ya que tiene las características ser económica, no compleja y limpia ya que no afecta la estructura del suelo, ni utiliza reactivos químicos. La aplicación de esta técnica se basa en prácticas agronómicas comunes que buscan acercarse al estado óptimo del recurso, este entendido como la capacidad del suelo de realizar sus funciones de la mejor manera (Cordero Casallas, 2015).

Fitoextracción o fitoacumulación. En esta estrategia se explota la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje, las cuales pueden ser fácilmente cosechadas. Los contaminantes extraídos son principalmente metales pesados, aunque también puede extraerse cierto tipo de contaminantes orgánicos y elementos e isótopos radiactivos. Generalmente los sistemas de fitoextracción se implementan para extraer metales de suelos contaminados, por medio de plantas conocidas como metalofitas, es decir acumuladoras de metales; sin embargo, también pueden implementarse para tratar aguas residuales (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

Rizofiltración. Se basa exclusivamente en hacer crecer, en cultivos hidropónicos, raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

Fitoestabilización. Este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestración, lignificación o humidificación. Las plantas ejercen un control hidráulico en el área contaminada, es decir actúan como una bomba solar que succiona humedad de los suelos debido a sus altas tasas de evapotranspiración (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

Fitoestimulación. En este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

Fitovolatilización. Algunas plantas son capaces de volatilizar ciertos contaminantes, como mercurio y selenio, contenidos en suelos, sedimentos o agua. Tales contaminantes son absorbidos, metabolizados, trasportados desde su raíz a sus partes superiores y liberados a la atmósfera en formas volátiles, menos tóxicas o relativamente menos peligrosas en comparación con sus formas oxidadas. La transformación de dichos elementos se efectúa básicamente en la raíz, y su liberación se lleva a cabo durante la transpiración (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

Fitodegradación o fitotransformación. Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes). A través de reacciones enzimáticas que llevan a cabo plantas y microorganismos

en la rizósfera, es decir, la zona del suelo estrechamente asociada con las raíces de las plantas, dichos contaminantes son parcial o completamente degradados o transformados (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

2.2 Enfoque legal

Artículos 8, 79 y 80 de la Constitución Política de 1991. El Estado debe proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Decreto-ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.

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.

Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Decreto 3100 de 2003 y su modificatorio el Decreto 3440 de 2004. Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.

Decreto 3930 de 2010 y su modificatorio el Decreto 4728 de 2010. 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 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones – Modifica parcialmente el Decreto 1594 de 1984.

Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 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 2811 de 1974 en cuanto a Usos del Agua y Residuos Líquidos.

Resolución 75 de 2011. Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.

Resolución 330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 424 de 2001, 668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo

3.1 Presentación de resultados

3.1.1 Identificación de las especies vegetales con capacidad fitorremediadora que se adaptan a las condiciones climáticas de la zona de estudio.

3.1.1.1 Revisión bibliográfica sobre las especies vegetales relacionadas con experiencias fitorremediadoras en aguas residuales.

En la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia se implementó un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de agua residual ahí generada. Las especies vegetales utilizadas en este proyecto fueron Typha *latifolia* y Cyperus *papyrus,* especies propias de la región que se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas del lugar de estudio. Con ambas especies vegetales se logró un efluente con niveles inferiores de todos los parámetros analizados con respecto a los valores obtenidos en la caracterización inicial del agua residual original (Afluente). Sin embargo, la especie T. latifolia mostró un mejor rendimiento que la especie C. papyrus en términos de la calidad de agua obtenida en el efluente al finalizar el tratamiento (Bedoya Pérez, Ardila Arias, & Reyes Calle, 2014).

En Medellín se realizó un estudio en donde se investigó la remoción de la materia orgánica con agua residual sintética, en términos de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5) y mediciones in situ de pH, oxígeno y temperatura cada 15 días,

durante 3 meses, en seis sistemas de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal, a escala piloto, sembrados con tres diferentes especies vegetales: Canna *limbata*, Heliconia *psittacorum* y Phragmites *sp*; las remociones medias de DQO fueron de 97,31 % y 95,94 % para Canna *limbata*; 94,49 % y 93,50 % para Heliconia *psittacorum*; 97,39 % y 97,13% para Phragmites *sp*. En DBO5 fueron de 100 % y 99,36 % para Canna *limbata*; 99,09 % y 97,49 % para Heliconia *psittacorum*; 100 % y 99,45 % para Phragmites *sp* (Montoya, Ceballos, Casas, & Morató, 2010).

Un grupo de investigadores de la universidad de Antioquia realizo un estudio con el fin de comparar las remociones del carbono orgánico disuelto (cod) obtenidas con humedales piloto de flujo subsuperficial y de flujo superficial mediante Phragmites *australis*, usado como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de pequeñas comunidades y zonas rurales. Se realizó un estudio de tipo exploratorio experimental adicionando 100,12 mg/L. de carbono orgánico disuelto en agua sintética contaminada con Clorpirifos, con la que se alimentaron los humedales. Se efectuaron 20 muestreos, 16 de ellos para cuatro experimentos y los restantes, en los intervalos en que no se agregó plaguicida. Se tomaron muestras los días 1, 4, 8 y 11 en los seis humedales, tres de ellos subsuperficiales y tres superficiales. La principal variable respuesta fue carbono orgánico disuelto, medida en el analizador de carbono orgánico. Con los dos tipos de humedales se obtuvo alta eficiencia en la remoción del cod: 92,3% con flujo subsuperficial y 95,6% con flujo superficial. Esta alta remoción fue ocasionada por la interacción entre las plantas, la grava y los microorganismos (Agudelo C, Jaramillo G, Peñuela M, & Aguirre R, 2010).

Una estudiante de la Universidad de Antioquia realizó un estudio exploratorio experimental utilizando seis módulos simulando el comportamiento de humedales subsuperficiales de flujo horizontal, plantados con dos tipos de especies vegetales. Con el fin de determinar la eficiencia en la remoción de la materia orgánica y cadmio, se utilizó agua sintética que simuló la composición de drenajes ácidos de minería de carbón y se evaluaron variables fisicoquímicas y microbiológicas. Las especies utilizadas fueron Carrizo común o Phragmites *Australis* y Typha *domingensis.* Los análisis realizados en el sistema de humedales demostraron que estos fueron capaces de neutralizar el pH del agua sintética, ya que en el efluente el pH era de 6,36 para Phragmites, 6,53 para Typha y 6,65 para el humedal sin plantas. En general, las variables in situ OD, pH, conductividad y potencial redox no fueron explicadas ni por el tipo de planta ni por el nivel de pH. La remoción de DQO estuvo influenciada por el tipo de planta, presentando eficiencias altas entre 93% y 99%; el cadmio presentó altas eficiencias independiente del pH y tipo de planta con promedios entre 95% y 99% (Alzate Amariles, 2015).

En la vereda La Bananera del municipio de Pereira, se utilizaron humedales horizontales de flujo subsuperficial como tratamiento complementario para el tratamiento de aguas residuales domésticas de La Bananera. Para esto se dispusieron cuatro humedales de 90 m^2 cada uno, construidos a escala real para el tratamiento secundario del efluente de un tanque séptico y un filtro anaerobio arrojando promedios de remoción de 49,58 % para DBO_5 y 45,83 % para DQO. Los humedales de la planta de tratamiento estuvieron sometidos a un caudal medio de 0,27 L/s, para una carga hidráulica media aplicada alrededor de 2542 m^3/ha.d y un tiempo de retención hidráulica de 1,23 días obtenido como promedio anual. Las especies utilizadas en este proyecto

fueron: Musa *Velutina*, Scirpus *holoschoenus*, Alocasia *macrorrhiza* y Thypha *Latifolia* (Arroyave Gutiérrez, 2010).

3.1.1.2 Revisión de la zona de trabajo sobre plantas que afloran en el sector donde están ubicadas las lagunas.

Se realizó un análisis de la zona con el fin de identificar las especies vegetales presentes en el área, que afloran cerca del agua residual y que presentan un comportamiento positivo y dominante en el sitio de estudio.

Tabla 4: Identificación de especies vegetales

Identificación de especies vegetales		
Familia	**Especie**	**Nombre común**
Poaceae	Megathyrsus maximus	Pasto Guinea
Heliconiaceae	Heliconia Psittacorum	Platanillo
Cyperaceae	Scirpus holoschoenus	Junco de churrero
Limnocharitaceae	Limnocharis flava	Lechuga de agua
Poaceae	Phragmites Australis	Carrizo
Fabaceae	Arachis pintoi	Maní forrajero
Poaceae	Lolium multiflorum	Pasto Ray Grass

Nota. Especies vegetales presentes en la zona de estudio. Fuente: Pasante, 2017.



Figura 5: Plantas que afloran en el área, 1-2.3 gramíneas y 4 Limnocharis flava

Fuente: Pasante, 2017

3.1.1.3 Especies vegetales seleccionadas que se utilizaran en el sistema piloto de tratamiento.

Para este estudio se seleccionaron las plantas Heliconia *Psittacorum* y Limnocharis *flava* para el tratamiento de las aguas residuales del Sistema de Tratamiento Jerusalen, esto debido a su fuerte presencia en la región y sobre todo en la zona de estudio en la cual se encontraron múltiples individuos de estas especies. Otro aspecto importante son sus propiedades fisiológicas, características en sus raíces, tallos y hojas que nos hacen aludir un alto poder fitorremediador en las aguas residuales.

Estudios realizados sobre la Heliconia *Psittacorum* muestran su gran capacidad de remoción de la carga contaminante en aguas residuales, algunos de estos estudios mencionados anteriormente. Muy contrario a la especie Limnocharis *flava* que no cuenta con estudios relacionados con la Fitorremediación, pero que por sus características fisiológicas se le es tomada como muestra de investigación para analizar su comportamiento fitorremediador.

Debido a su notoria presencia dentro de la zona de estudio, se permitio la fácil recolección de las especies para llevar a cabo la investigación.

La Heliconia *psittacorum* es una especie herbácea erecta rizomatosa perenne, siempre verde, que forma velozmente densas matas altas de 0,8-1,5 m. Las hojas, sobre un peciolo largo hasta cerca de 25 cm, son basales, alternas, simples, enteras, de elíptico-lanceoladas a oblongo-lanceoladas con ápice en punta y nervadura central prominente en la página inferior, larga de 35-55 cm y anchas de 4-12 cm, de color verde intenso brillante superiormente, más claro inferiormente, y bases foliares tubulares envolventes que forman un pseudotallo de cerca de 2,5 cm de diámetro.

La inflorescencia está sobre un pedúnculo largo es de 15-55 cm, es una espiga terminal erecta larga de 6-12 cm con raquis levemente ondulado, generalmente de color naranja y 3-7 brácteas alternas, lanceoladas, cóncavas, cerosas, ligeramente espaciadas, de color rojo o rojo naranja brillante. Las brácteas subtenden 3-9 flores, sobre un pedicelo largo 1,6-1,8 cm, tubulares, normalmente de color naranja con mancha verde oscuro hacia el ápice, de 3-5 cm de largo. Las flores, en simetría bilateral, son hermafroditas, con 3 sépalos, de los cuales dos fusionados y uno libre, y 3 pétalos fusionados juntos, poco diferenciados entre ellos, 5 estambres fértiles y un estaminoide opuesto al sépalo libre. Los frutos son drupas subglobosas de color inicialmente de amarillo a naranja, luego azul oscuro brillante en su madurez, de cerca 0,8 cm de diámetro, conteniendo 1-3 semillas (Mazza, 2007).

Los estudios realizados con Heliconia *psitttacorum* para evaluar su potencial fitorremediador demuestran que esta planta presenta características de aclimatación adecuadas a las condiciones en los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en el país. Entre las características más relevantes, es la capacidad de eliminación de DBO5, DQO y SST, mayor a 60% en la mayoría de los estudios, su capacidad para acumular metales pesados sin detrimento de sus propiedades fisiológicas y su rápido crecimiento y desarrollo. Por otro lado, esta planta genera una ganancia estética por la belleza de su inflorescencia, lo cual a su vez, puede generar beneficios económicos al comercializarse (Peña Salamanca, Madera Parra, Sánchez, & Medina Vásquez, 2013).

CLASIFICACIÓN	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Heliconiaceae
Genero	Heliconia
Especie	Heliconia *psittacorum*



Figura 6: Clasificación taxonómica de la especie H. *Psittacorum*

Fuente: (Mazza, 2007)

La planta rizomatosa y perenne cuyo nombre científico es Limnocharis *flava*, pertenece a la familia Limnocharitaceae y es originaria del Sudeste asiático, aunque algunos sitúan su procedencia en América del sur. Puede llegar al medio metro de altura. Se emplea como ornamento en los jardines porque es ideal para los estanques. Sus rizomas son cortos pero robustos, con numerosas raíces fibrosas. Tiene tallos huecos y glabros.

Las hojas son de color verde claro, con largos pecíolos (erectos, delgados y triangulares), poseen una base acorazonada y se estrechan hacia el ápice, lo que les da apariencia sagitada, algunas tiene el margen ondulado, miden entre siete y quince centímetros, tienen de cuatro a seis pares de nervaduras perpendiculares a la principal pero paralelas entre ellas, numerosas nervaduras finas secundarias y una red reticular de otras minúsculas.

Florece a lo largo de todo el año. Comúnmente presenta de uno a cuatro pedúnculos florales, las flores son amarillas o blancas y poseen tres pétalos, de poco más de dos centímetros de diámetro, con numerosos estambres amarillos. El fruto es de forma esférica y está a medias cubierto por el cáliz (formado por tres sépalos verdes de punta obtusa), que es persistente (Anónimo, Florflores, 2012).

CLASIFICACIÓN	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Limnocharitaceae
Genero	Limnocharis
Especie	Limnocharis *Flava*



Figura 7: Clasificación taxonómica de la especie L. *flava*

Fuente: Pasante, 2017

3.1.2 Construir un sistema piloto de humedales artificiales para depurar la carga contaminante presente en el agua.

3.1.2.1 Diseño del sistema a emplear incluyendo especificaciones y plano del sistema piloto de humedales artificiales.

La construcción del sistema piloto no se llevó a cabo en el área del sistema de tratamiento de Jerusalén, debido a la inseguridad que presentan las instalaciones por no contar con personal de seguridad. La construcción se realizó en un terreno apartado principalmente para esta labor y que debido a sus características se consideró como un sitio ideal para el montaje. Aquí se adecuo un tejado para proteger el sistema de la lluvia e instalo el sistema.



Figura 8: *Techo y montaje del sistema piloto* Fuente: Pasante, 2017

El sistema diseñado consta de un tanque de 55 galones en el cual se almacena el agua residual, en este punto se toma la muestra para el análisis del agua residual sin tratar. Dicho tanque tiene en su parte inferior un orificio que lleva conectado una tubería de ½ pulgada de diámetro en la que se incluye una llave de paso para controlar el flujo del agua, a su vez este tubo se divide en 3 direcciones en las cuales estarán ubicadas las unidades experimentales separadas a

37 cm de distancia entre ellas, contando cada una con llaves de paso para controlar la entrada y salida del agua residual.



Figura 9: Montaje de tubería y sustrato en las unidades Fuente: Pasante, 2017

Cada unidad experimental está elaborada de polietileno de alta densidad, son recipiente de 60 litros divididos diametralmente, formando así una especie de contenedor. Las 3 unidades tienen dimensiones similares, correspondiendo a 67 cm de largo x 37 cm de ancho.

Dentro de cada una de las unidades se establece el sustrato que sirve como medio filtrante y soporte de las especies vegetales, los sustratos seleccionados son: Grava gruesa (25%), granito (25%) y arena gruesa (50%).



Arena gruesa

50%

Granito

25%

Grava gruesa

25%

Figura 10: Sustratos seleccionados Fuente: Pasante, 2017

Las especies vegetales escogidas son: Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*, siendo sembradas en las unidades experimentales y después de cumplido el tiempo de retención, el efluente saldrá por las diferentes llaves instaladas en la parte inferior de cada una de las unidades. Cada unidad con su respectivo recipiente en la parte de abajo para recibir el líquido residual tratado.

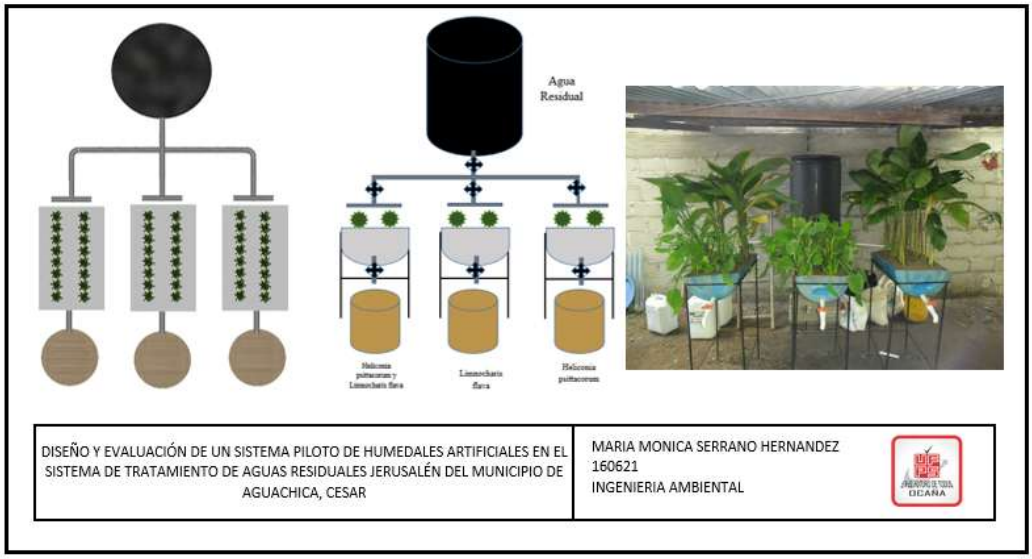


Figura 11: Diseño del sistema piloto Fuente: Autor, 2017

3.1.2.2 Construcción de la infraestructura necesaria para el buen funcionamiento del sistema depurador.

Como se había mencionado anteriormente se construyó un tejado que sirviera como protección del sistema en caso de lluvia, este fue hecho de manera artesanal con unos tubos de Pvc llenos de cemento y tejas de zinc. La base en la cual se situó el tanque de 55 galones fue hecha con unos bloques de cemento apilados con el fin de soportar el peso del tanque lleno del agua residual.

Las bases de las unidades experimentales fueron hechas de material metálico, con abrazaderas en la parte inferior para sostener el contenedor. Los tubos conectados al tanque y a las diferentes unidades se escogieron de ½ pulgada.

El sistema piloto cuenta con tres unidades experimentales; En la UE1 se siembran 16 individuos de la especie Heliconia psittacorum, en la UE2 se siembran 16 individuos de la especie Limnocharis flava y en la UE3 se siembran las dos especies en cantidades iguales.

Después de ser plantadas las especies en las unidades, se dejaron por un periodo de 30 días para su adaptación al sustrato y a las nuevas condiciones de vida.



Figura 12: Construcción pasó a paso del sistema piloto Fuente: Pasante, 2017

3.1.2.3 Inicio de operación del sistema permitiendo la entrada controlada del flujo.

Transcurrido el tiempo de adaptación de las especies vegetales (30 días) se permitió la entrada controlada del flujo.



Figura 13: Entrada del flujo al sistema piloto Fuente: Autor, 2017

3.1.3 Determinar la eficiencia del sistema piloto basado en el cumplimiento de los parámetros seleccionados que se encuentran establecidos en la resolución 0631 de 2015.

3.1.3.1 Toma de las muestras de aguas residuales antes (afluente) y después (efluente) del tratamiento del sistema piloto de humedales artificiales.

Pasado el tiempo de retención ya establecido 3 días (72 horas) y un volumen de 20 litros para que se diera el proceso de Fitorremediación, el flujo del agua tratada sale por la llave inferior de cada una de las unidades experimentales y así es recolectado en cada uno de los recipientes para su posterior análisis en el laboratorio.

Se tomaron tres muestras: 1000 ml de agua del afluente y de los diferentes efluentes para los análisis fisicoquímicos en el laboratorio de la Universidad, 500 ml de agua del afluente y de los diferentes efluentes para los análisis microbiológicos analizados en el laboratorio de la

Universidad y 250 ml de agua del afluente y de lo deferentes efluentes para pruebas de sulfatos y aluminios realizadas en el laboratorio Nancy Flórez de Valledupar.



Figura 14: Toma de muestras del afluente del sistema piloto Fuente: Pasante, 2017



Figura 15: Toma de muestras del efluente del sistema piloto fuente: Pasante, 2017

Todas las muestras previamente recolectadas, selladas y rotuladas.



Figura 16: Muestras de agua residual Fuente: Pasante, 2017

3.1.3.2 Cálculo de los porcentajes según los resultados de las cargas contaminantes.

La remoción se concibe como la capacidad que posee el sistema para eliminar parte de la concentración de los contaminantes que se encuentran en el agua residual. En esta investigación, para el cálculo del porcentaje de la eficiencia de la remoción, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

Dónde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]

S_o: Carga contaminante de entrada

S: Carga contaminante de salida

Tabla 5: Porcentajes de remoción de los parámetros

Parámetros	**Heliconia *psitttacorum***	**Limnocharis *flava***	**Heliconia *psittacorum* - Limnocharis *flava***
ALCALINIDAD	0	6,25	23,44
DUREZA TOTAL	61,54	46,15	46,15
TURBIEDAD	-333,33	-160	-213,33
CONDUCTIVIDAD	-34,92	97,76	-153,26
OXÍGENO DISUELTO	-3,17	-15,87	-15,87
DQO	75,24	97,14	69,05
$DB0_5$	76,24	-	70,72
NITRATOS	84,56	88,10	54,34
NITRITOS	50	50	50
N.AMONIACAL	-	-	-
FOSFATOS	50	30	70
SOLIDOS SUSPENDIDOS	50	50	-50
POTENCIAL DE HIDROGENO	2,70	-2,70	-1,35
ALUMINIO	-	-	-
SULFATOS	-	-	-

COLIFORMES TOTALES	-	-	-
ESCHERICHIA COLI	-	-	-

Nota: La tabla muestra los porcentajes de remoción de cada parámetro analizado para cada una de las especies o distintas unidades experimentales. Algunos de estos valores son negativos debido a que no hubo ninguna remoción por parte de la unidad, sino por el contrario un aumento en la carga contaminante durante el proceso por el sistema; otros porcentajes no fueron efectuados ya que se encuentran dentro de un rango mas no cuentan con un valor específico.

Fuente: Pasante, 2017

3.1.4.2 Evaluación de la eficiencia del sistema y comparación de los resultados con los parámetros de la resolución 0631 de 2015 para ver si se encuentra o no dentro de los límites permisibles.

Tabla 6: Resultados para alcalinidad

ALCALINIDAD					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L $CaCO_3$	Valor en efluente mg/L $CaCO_3$	Carga removida mg/L $CaCO_3$	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	320	320	0	0
2	Limnocharis *flava*	320	300	20	6,25
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	320	245	75	23,44

Nota: La tabla muestra la relación de alcalinidad antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.
Fuente: Pasante, 2017

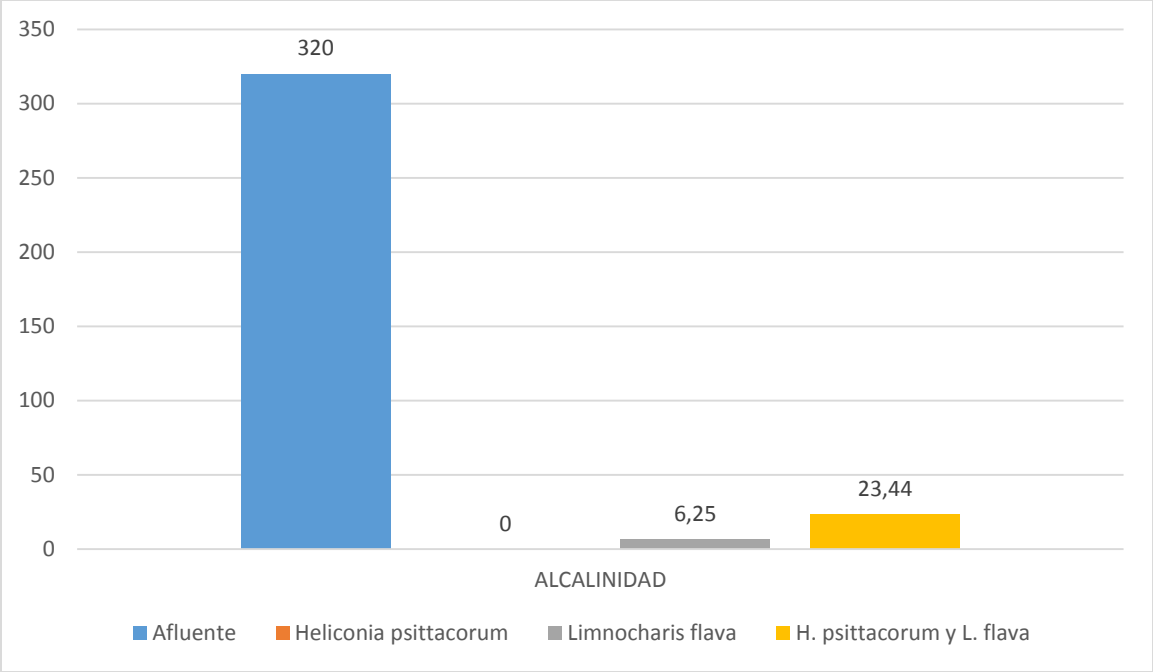


Figura 17: Resultados obtenidos de alcalinidad bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Alcalinidad. Como se observa en la tabla 6, el nivel de alcalinidad en el afluente es alto, sin embargo la remoción de este parámetro es relativamente baja; siendo así, la unidad experimental 3 de la especie Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava* la que muestra mejores resultados de remoción pues su porcentaje es de 23,44 %. La segunda unidad experimental de la especie Limnocharis *Flava* también tuvo un considerable porcentaje de remoción, siendo 6,25%.

La especie Heliconia *psittacorum* no mostro remoción alguna, manteniendo en el efluente el mismo valor del afluente.

No se tiene un rango específico para determinar si el tratamiento cumple con la resolución 0631, ya que este valor es de análisis y reporte.

Tabla 7: Resultados para dureza total

DUREZA TOTAL					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L $CaCO_3$	Valor en efluente mg/L $CaCO_3$	Carga removida mg/L $CaCO_3$	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	1300	500	800	61,54
2	Limnocharis *flava*	1300	700	600	46,15
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	1300	700	600	46,15

Nota: La tabla muestra la relación de dureza total antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental. Fuente: Pasante, 2017

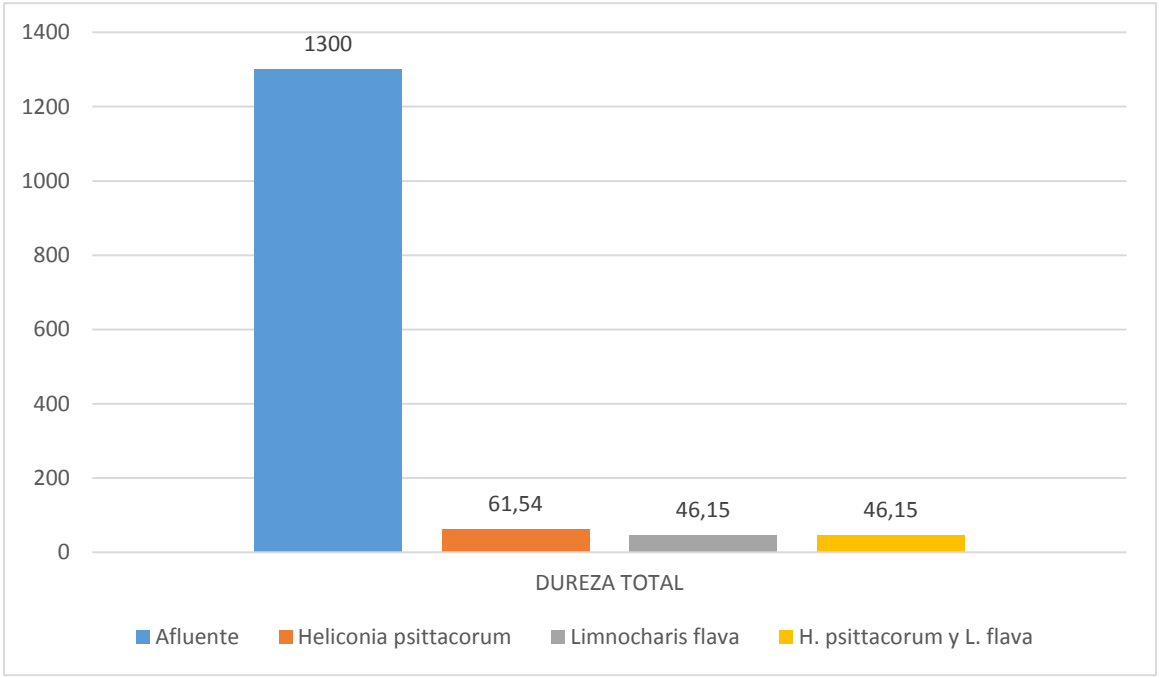


Figura 18: Resultados obtenidos de dureza total bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Dureza total. Los resultados observados en la tabla 7, muestran que a pesar que al entrar al sistema el valor de la dureza era de 1300 mg/L CaCo3, este valor bajo durante el tratamiento en cada una de las unidades experimentales. El mayor porcentaje de remoción se dio en la unidad experimental 1 con la especie Heliconia psittacorum logrando una remoción de 61, 54%, seguido de las unidades 2 y 3 que tuvieron el mismo rendimiento con un porcentaje de 46,15%.

No se tiene un valor establecido de las cantidades de dureza permitidas en los vertimientos, debido a que este parámetro es de análisis y reporte en la resolución 0631 de 2015. Se cree que las altas concentraciones de este parámetro en el afluente están relacionadas con la presencia de detergentes en el agua residual.

Tabla 8: Resultados para turbiedad

TURBIEDAD					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente NTU	Valor en efluente NTU	Carga removida NTU	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	15	65	-50	-333,33
2	Limnocharis *flava*	15	39	-24	-160
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	15	47	-32	-213,33

Nota: La tabla muestra la relación de turbiedad antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

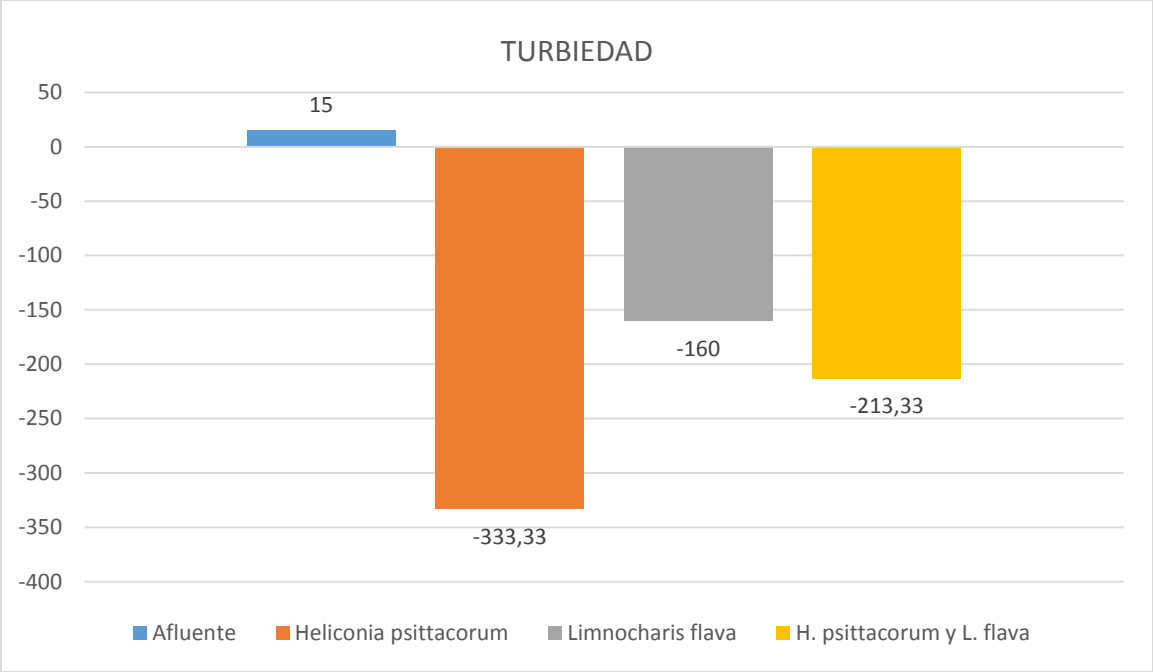


Figura 19: Resultados obtenidos de turbiedad bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Turbiedad. Los resultados observados para este parámetro no fueron favorables, los valores de los efluentes superaron el valor inicial del afluente. En el caso de la unidad experimental 1 Heliconia psittacorum esta dio como valor 65, la especie Limnocharis *flava* 39 y la unidad con ambas especies 47. Demostrando un aumento en la turbiedad luego de pasar por el sistema, no hubo remoción alguna, sino más bien un aumento en este parámetro.

El aumento de este elemento en el efluente, se estima se deba al sustrato utilizado. Se considera necesario para futuras investigaciones hacer análisis del sustrato para evaluar el aporte que pueda tener dentro del proceso de remoción.

Tabla 9: Resultados para conductividad

CONDUCTIVIDAD					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mS/cm	Valor en efluente mS/cm	Carga removida mS/cm	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	398	537	-139	-34,92
2	Limnocharis *flava*	398	8,9	389,1	97,76
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	398	1008	-610	-153,26

Nota: La tabla muestra la relación de conductividad antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

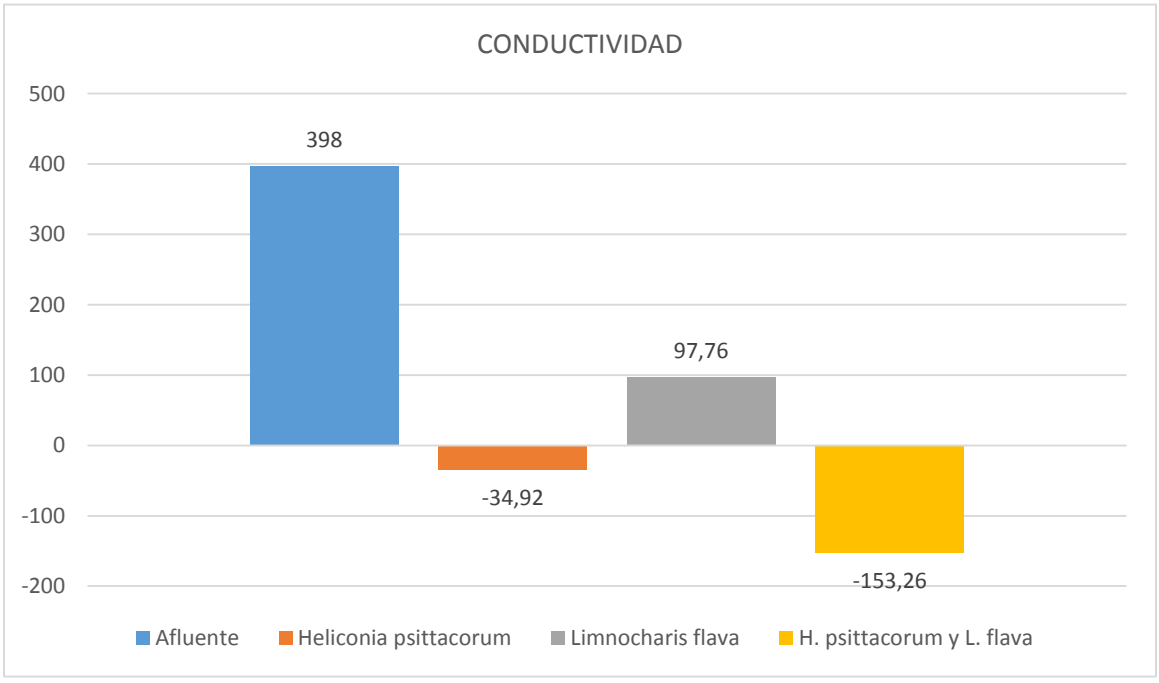


Figura 20: Resultados obtenidos de conductividad bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Conductividad. El mejor resultado mostrado para este parámetro según la tabla 9 es en las condiciones evaluadas de la unidad experimental 2 Limnocharis *flava* con una remoción de 97,76%, las especies Heliconia psittacorum y la unidad experimental con ambas especies mostraron un aumento en sus niveles (no hubo remoción alguna).

Este parámetro no está especificado en la resolución 0631 de 2015 y no se determina el cumplimiento o infracción de los niveles de conductividad presentes en el afluente y efluente.

El aumento de este elemento en el efluente, se estima se deba al sustrato utilizado. Se considera necesario para futuras investigaciones hacer análisis del sustrato para evaluar el aporte que pueda tener dentro del proceso de remoción.

Tabla 10: Resultados para oxígeno disuelto

OXÍGENO DISUELTO					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L O2	Valor en efluente mg/L O2	Carga removida mg/L O2	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	6,3	6,5	-0,2	-3,17
2	Limnocharis *flava*	6,3	7,3	-1	-15,87
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	6,3	7,3	-1	-15,87

Nota: La tabla muestra la relación de oxígeno disuelto antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

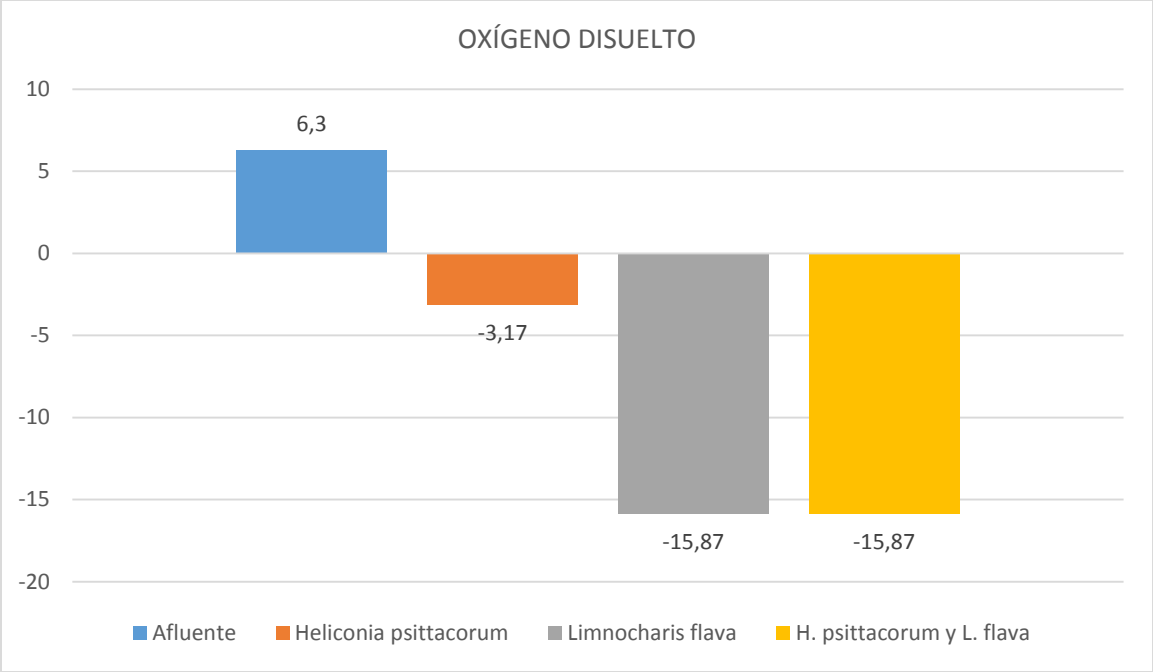


Figura 21: Resultados obtenidos de oxígeno disuelto bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Oxígeno disuelto. Como se puede apreciar en la tabla 10, el efluente supero los valores del afluente. Para la unidad 1 Heliconia psittacorum este obtuvo un valor de 6,5. Mientras que las unidades 2 y 3 obtuvieron un valor de 7,3. Hubo un aumento en los niveles de los efluentes para este parámetro.

El aumento de este elemento en el efluente, se estima se deba al sustrato utilizado. Se considera necesario para futuras investigaciones hacer análisis del sustrato para evaluar el aporte que pueda tener dentro del proceso de remoción.

El aumento de este elemento en el efluente, se estima se deba al sustrato utilizado. Se considera necesario para futuras investigaciones hacer análisis del sustrato para evaluar el aporte que pueda tener dentro del proceso de remoción.

No se ha encontrado alguna investigación con la cual se puedan comparar los diferentes valores negativos de cada uno de los parámetros.

Tabla 11: Resultados para demanda química de oxigeno

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L O2	Valor en efluente mg/L O2	Carga removida mg/L O2	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	210	52	158	75,24
2	Limnocharis *flava*	210	6	204	97,14
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	210	65	145	69,05

Nota: La tabla muestra la relación de demanda química de oxígeno antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental. Fuente: Pasante, 2017

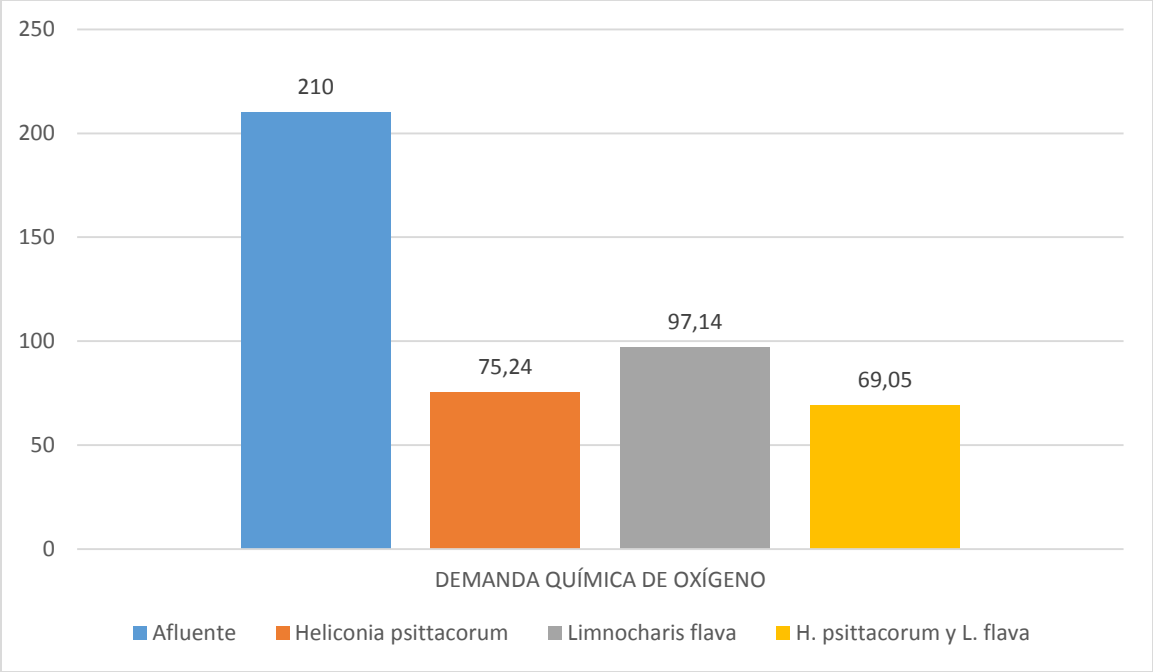


Figura 22: Resultados obtenidos de demanda química de oxígeno bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Demanda química de oxígeno. Se puede inferir que a pesar de las altas concentraciones en la carga contaminante de los afluentes, se presentan remociones considerables en todas las condiciones evaluadas. En dichas condiciones se observa que la especie vegetal con mejores resultados es Limnocharis *flava* removiendo en el mejor de los casos el 97,14% de DQO; bajo estas mismas condiciones también se destaca la Heliconia psittacorum con un 75,24% , mostrándose como una alternativa potencial.

El artículo 8 de la resolución 0631, establece para la DQO un valor límite máximo permisible (VLMP) de 180 mg/L O2; ya que todos los resultados después de los tratamientos

(efluentes) son menores a la carga estipulada, se puede determinar que bajo todas las condiciones evaluadas se cumple con lo establecido en la normatividad.

Tabla 12: Resultados para demanda bioquímica de oxigeno

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L O2	Valor en efluente mg/L O2	Carga removida mg/L O2	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	181	43	138	76,24
2	Limnocharis *flava*	181	<2,0		
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	181	53	128	70,72

Nota: La tabla muestra la relación de demanda bioquímica de oxígeno antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental. Fuente: Pasante, 2017

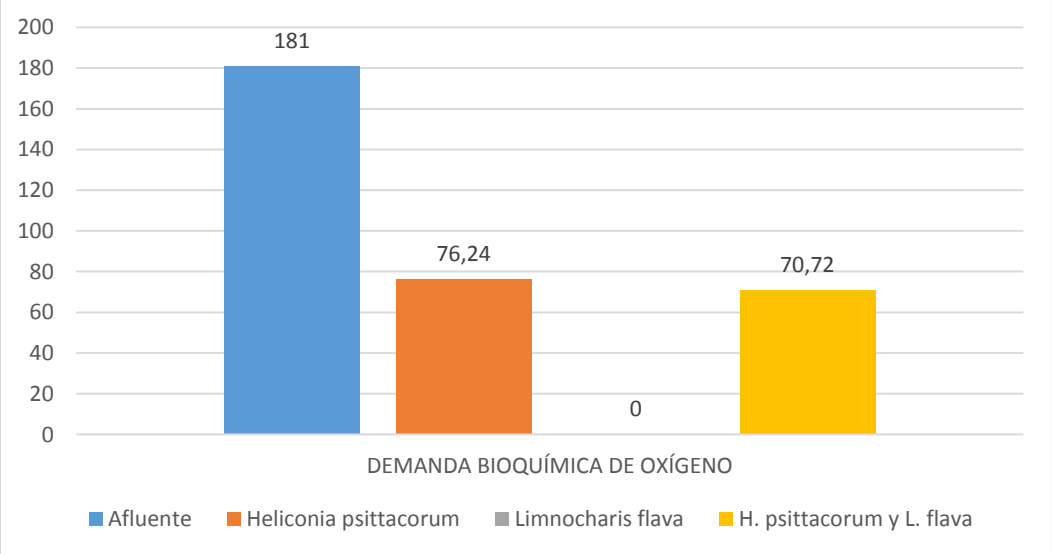


Figura 23: Resultados obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Demanda bioquímica de oxígeno. Este parámetro presentó en su afluente un valor de 181 mg/L O2. Para estas condiciones se observa que la especie Limnocharis *Flava* tuvo una mayor remoción debido a que su valor en el efluente fue menor de 2, siendo la mejor especie, seguida de la Heliconia psittacorum con un 76,24%, y por último la unidad experimental plantada con las dos especies que removió el 70,72%.

El valor límite máximo permisible (VLMP) para la DBO5 es de 90 mg/L O2; de esta manera se determina que las tres unidades experimentales cumplen con el valor establecido en la norma.

Tabla 13: Resultados para nitratos

NITRATOS					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L	Valor en efluente mg/L	Carga removida mg/L	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	311	48	263	84,56
2	Limnocharis *flava*	311	37	274	88,10
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	311	142	169	54,34

Nota: La tabla muestra la relación de nitratos antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

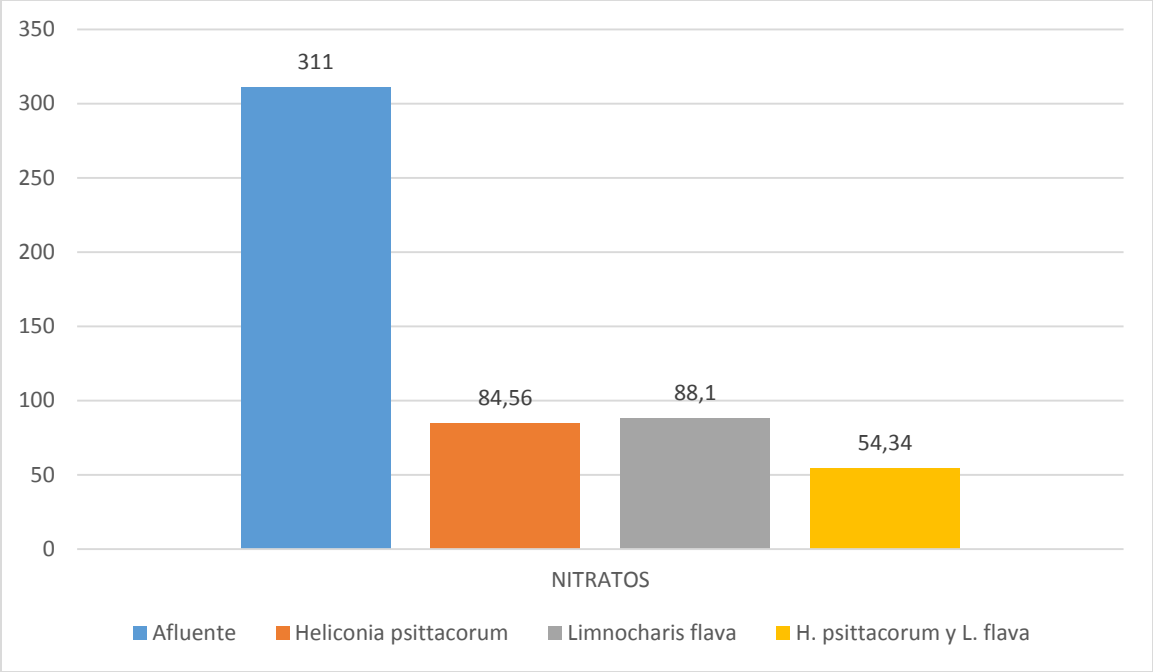


Figura 24: Resultados obtenidos de nitratos bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Nitratos. En la tabla 13 se puede observar como a pesar del alto valor del afluente, este considerablemente baja en el efluente. Siendo la unidad experimental Limnocharis *flava* el mejor resultado con un porcentaje de remoción de 88,10%, seguido de la especie Heliconia *psittacorum* con un 84,56% y por ultimo con la unidad 3 de ambas especies con un porcentaje de 54,34%.

No se tiene un valor establecido de las cantidades de dureza permitidas en los vertimientos, debido a que este parámetro es de análisis y reporte en la resolución 0631 de 2015.

Tabla 14: Resultados para nitritos

NITRITOS					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L	Valor en efluente mg/L	Carga removida mg/L	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	0,4	0,2	0,2	50
2	Limnocharis *flava*	0,4	0,2	0,2	50
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	0,4	0,2	0,2	50

Nota: La tabla muestra la relación de nitritos antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

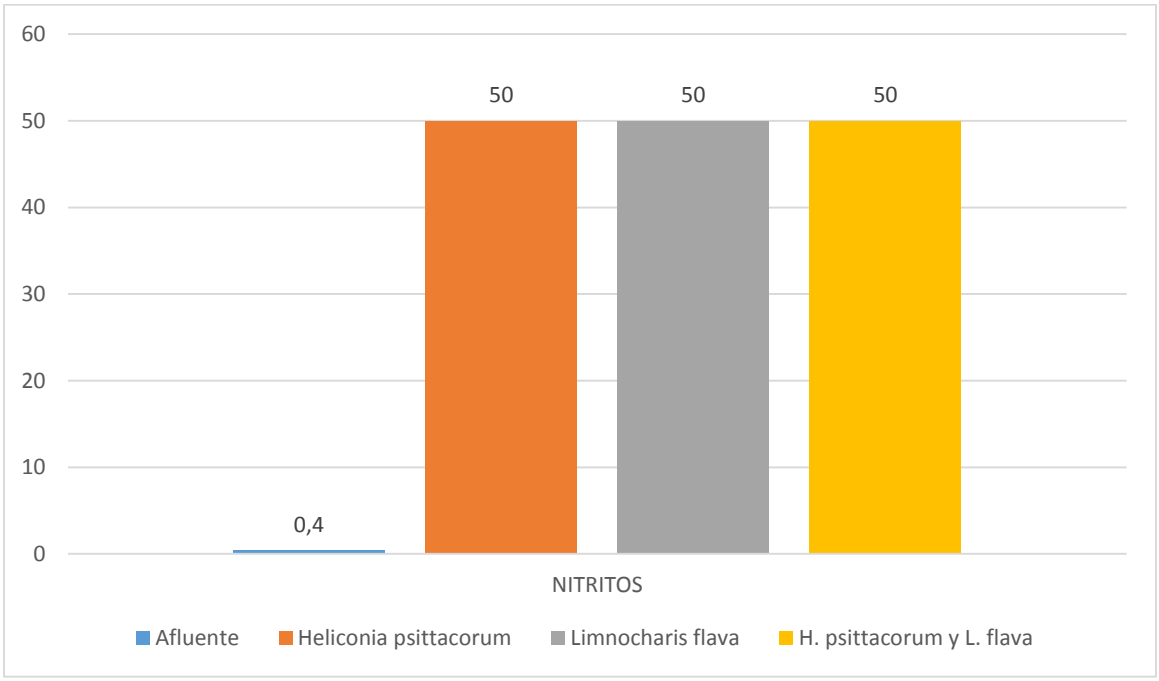


Figura 25: Resultados obtenidos de nitritos bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Nitritos. En la tabla 14 se puede apreciar que la remoción en cada una de las unidades fue de un 50%, disminuyendo así el nivel de este parámetro a la mitad luego de pasar por el sistema piloto.

Para este parámetro no se tiene un valor establecido, ya que solo es de análisis y reporte.

Tabla 15: Resultados para nitrógeno amoniacal

NITROGENO AMONIACAL			
		Evaluación	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L	Valor en efluente mg/L
1	Heliconia *psittacorum*	>3,5	1,3
2	Limnocharis *flava*	>3,5	1,0
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	>3,5	0,9

Nota: La tabla muestra la relación de nitrógeno amoniacal antes y después del tratamiento.

Fuente: Pasante, 2017

Nitrógeno amoniacal. La tabla 15 nos muestra que el valor del afluente es mayor de 3,5. Mientras que este valor disminuyo luego de pasar por el sistema. Demostrando tener mayor remoción la unidad 3 de ambas especies al tener como valor del efluente 0,9, seguido de la especie Limnocharis flava con un valor de 1,0.

Tabla 16: Resultados para fosfatos

FOSFATOS					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L	Valor en efluente mg/L	Carga removida mg/L	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	2,0	1,0	1,0	50
2	Limnocharis *flava*	2,0	1,4	0,6	30
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	2,0	0,6	1,4	70

Nota: La tabla muestra la relación de fosfatos antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

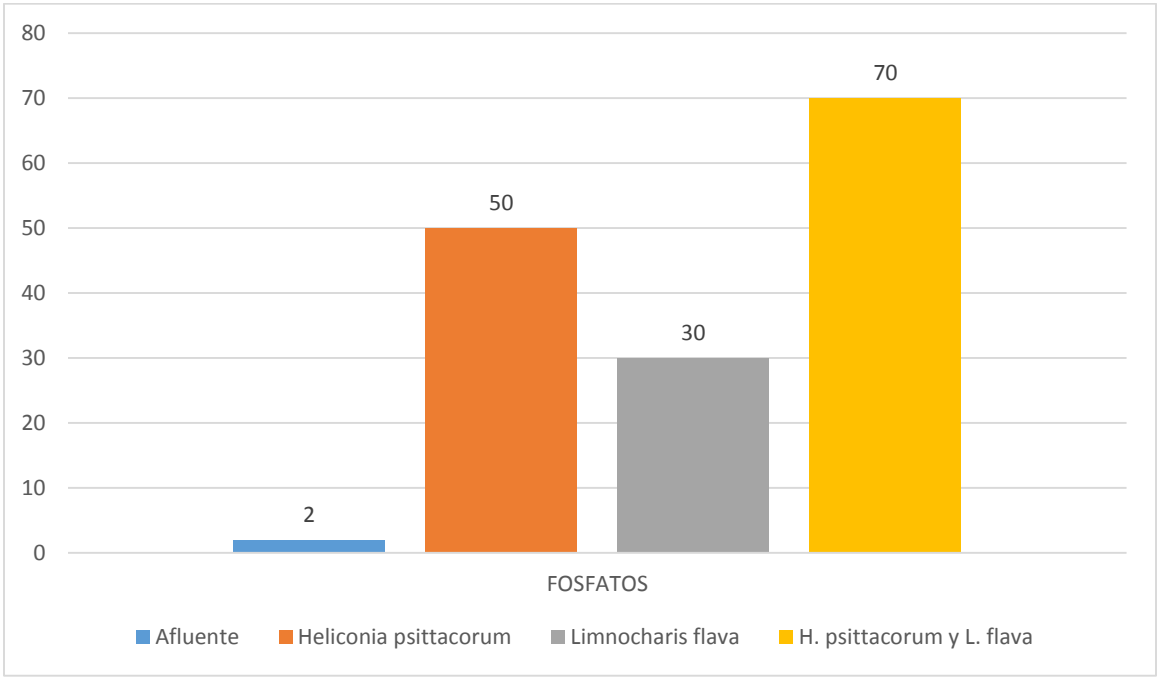


Figura 26: Resultados obtenidos de fosfatos bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Fosfatos. Para este parámetro el mejor resultado de remoción lo presento la unidad experimental 3 de ambas especies con un porcentaje de 70%, seguido también de un buen rendimiento por parte de la especie Heliconia psittacorum con un 50% y por último de la especie Limnocharis flava con un 30%.

Tabla 17: Resultados para sólidos suspendidos

SÓLIDOS SUSPENDIDOS					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L	Valor en efluente mg/L	Carga removida mg/L	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*	20	10	10	50
2	Limnocharis *flava*	20	10	10	50
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	20	30	-10	-50

Nota: La tabla muestra la relación de sólidos suspendidos antes y después del tratamiento, determinando la carga de removida y el porcentaje de remoción por cada unidad experimental.

Fuente: Pasante, 2017

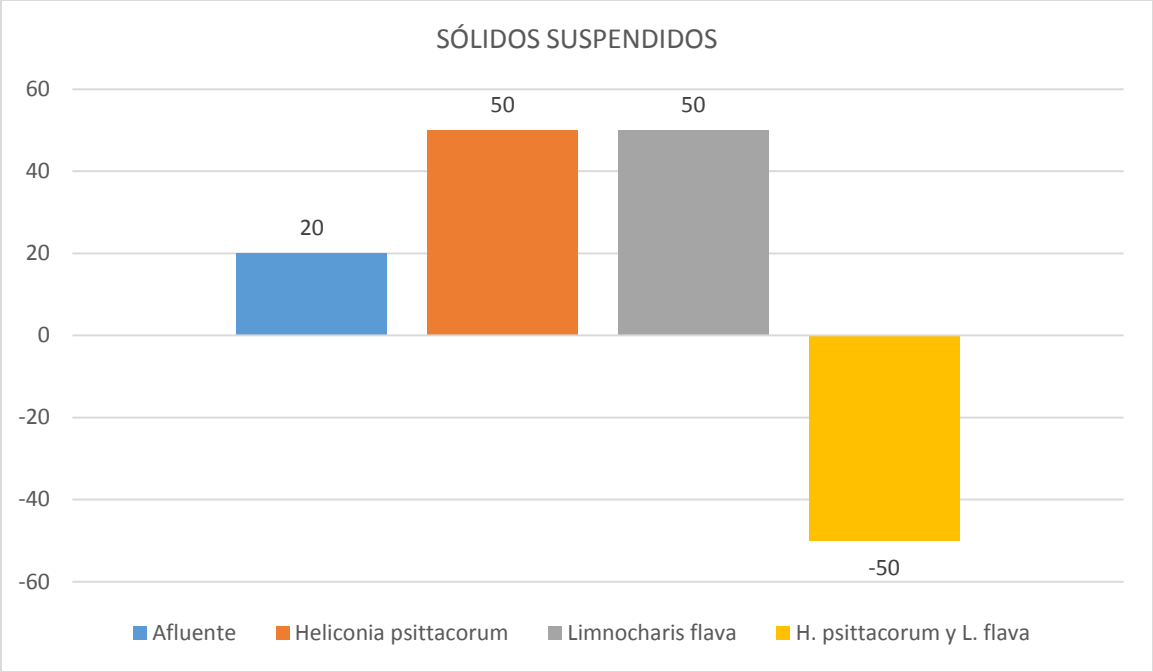


Figura 27: Resultados obtenidos de sólidos suspendidos bajo las condiciones evaluadas. En la gráfica se observa el afluente y los porcentajes de remoción de cada especie vegetal. Fuente: Pasante, 2017

Solidos suspendidos. Las especies Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava* mostraron un porcentaje de remoción de un 50%, en la unidad experimental 3 de ambas especies el valor del efluente supero el valor del afluente, no se presentó remoción alguna sino un aumento de la carga contaminante.

El aumento de este elemento en el efluente, se estima se deba al sustrato utilizado. Se considera necesario para futuras investigaciones hacer análisis del sustrato para evaluar el aporte que pueda tener dentro del proceso de remoción.

Tabla 18: Resultados para potencial de hidrógeno

POTENCIAL DE HIDRÓGENO					
		Evaluación		Resultado	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente pH	Valor en efluente pH	Carga removida pH	Porcentaje de remoción (%)
1	Heliconia *psittacorum*				

Potencial de hidrógeno. Para este parámetro la especie que mejor resultados dio fue la Heliconia psittacorum con un porcentaje de remoción de 2,70%, Mientras que las otras dos unidades aumentaron sus valores.

El aumento de este elemento en el efluente, se estima se deba al sustrato utilizado. Se considera necesario para futuras investigaciones hacer análisis del sustrato para evaluar el aporte que pueda tener dentro del proceso de remoción.

Tabla 19: Resultados para aluminio

ALUMINIO			
		Evaluación	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg/L	Valor en efluente mg/L
1	Heliconia *psittacorum*	<1,0000	<1,0000
2	Limnocharis *flava*	<1,0000	<1,0000
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	<1,0000	<1,0000

Nota: La tabla muestra la relación de aluminio antes y después del tratamiento. Fuente: Pasante, 2017

Aluminio. No hubo alguna variación en los valores para este parámetro luego del tratamiento.

Tabla 20: Resultados para sulfatos

SULFATOS			
		Evaluación	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente mg SO4/L	Valor en efluente mg SO4/L
1	Heliconia *psittacorum*	<10,0	76,2
2	Limnocharis *flava*	<10,0	128
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	<10,0	113

Nota: La tabla muestra la relación de sulfatos antes y después del tratamiento. Fuente: Pasante, 2017

Sulfatos. Los valores del efluente superaron el valor inicial del afluente. No hubo remoción alguna para este parámetro.

Tabla 21: Resultados para coliformes totales

COLIFORMES TOTALES			
		Evaluación	
Unidad experimental	Especie vegetal	Valor en afluente NMP/100ml	Valor en efluente NMP/100ml
1	Heliconia *psittacorum*	>1100	>1100
2	Limnocharis *flava*	>1100	>1100
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	>1100	>1100

Nota: La tabla muestra la relación de coliformes totales antes y después del tratamiento. Fuente: Pasante, 2017

Tabla 22: Resultados para escherichia coli

ESCHERICHIA COLI			
Unidad experimental	Especie vegetal	Evaluación	
		Valor en afluente NMP/100ml	Valor en efluente NMP/100ml
1	Heliconia *psittacorum*	>1100	>1100
2	Limnocharis *flava*	>1100	>1100
3	Heliconia *psittacorum* y Limnocharis *flava*	>1100	>1100

Nota: La tabla muestra la relación de escherichia coli antes y después del tratamiento.

Fuente: Pasante, 2017

Como se observan en las tablas 20 y 21 de los parámetros coliformes totales y E. Coli respectivamente, muestran cantidades mayores a 1100 NMP/100mL tanto en el afluente como en el efluente.

Capítulo 4. Diagnostico final

Al ser una alternativa nueva y de bajo costo, se hace factible su uso en el caso de tratamiento complementario como ayuda para tratar las altas cargas contaminantes presentes en el agua residual que llegan a las lagunas de oxidación de Jerusalén.

Ya que este humedal es de tipo subsuperficial, represento grandes ventajas debido a que tuvo control de olores y vectores, incluyendo su valor paisajístico pues mejora el aspecto visual.

Al ser las especies vegetales propias de la región, se garantizó su adaptación y crecimiento en las unidades.

Las especies vegetales utilizadas demostraron tener un fuerte potencial fitorremediador, mostrando su efectividad en la remoción de la carga contaminante.

Además de ello, durante la realización de la pasantía se pudo apoyar en la elaboración de planes de gestión ambiental, educación ambiental dentro y fuera de la institución y acompañamiento en las actividades de cumplimiento presentes en el plan de desarrollo municipal y también del PSMV.

Capítulo 5. Conclusiones

La implementación y el mantenimiento de los humedales artificiales poseen un bajo costo, por lo cual se hace viable ya que no requiere de múltiples cuidados. Esta opción puede ser de gran ayuda a zonas rurales en donde no se cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la construcción del sistema piloto se realizó el diseño del mismo, con sus respectivas especificaciones con el fin de asegurar la efectividad del proceso. Para la construcción de la infraestructura se tuvo la ayuda de personal de la E.S.P.A en actividades como la construcción del tejado y otras obras pesadas. Fue accesible encontrar cada uno de los materiales utilizados para el proyecto de investigación y algunos de estos fueron suministrados por parte de la empresa como ayuda para la construcción del sistema piloto.

Aunque se logró remover parte de la carga contaminante de algunos parámetros, también se notó poca remoción en otros. Se notó la importancia del análisis de sustrato, como estudio que muestre las posibles alteraciones que este puede tener sobre el proceso fitorremediador. En el caso de esta investigación no se realizó pero se recomienda para futuros estudios. Se mostró una eficiencia mayor de remoción en parámetros como DQO, DBO_5, Nitratos, Fosfatos y Solidos suspendidos.

Al ser los humedales un proceso de tipo biológico, representa una alternativa natural en la descontaminación de las aguas residuales. Se puede decir que entre los diferentes tipos de humedales, el de flujo subsuperficial es el más usado para el tratamiento de agua residual, debido principalmente a las ventajas que presenta en cuanto a evitar problemas de salubridad por las condiciones de exposición del agua residual.

Los humedales de flujo susbsuperficial logran mejores resultados en la remoción de contaminantes, operando dentro de un sistema, como tratamiento secundario o terciario, normalmente precedidos por algún tipo de pre-tratamiento o tratamiento primario de forma continua para garantizar su adecuado funcionamiento.

Las cargas orgánicas que soportan los humedales de flujo subsuperficial son bajas, de tal forma que la vegetación y especialmente el sustrato utilizado juegan un papel determinante. Es por esto que se requiere sumo cuidado a la hora de elegir las especies vegetales y el material poroso.

Según la investigación realizada con Limnocharis *flava* para evaluar su potencial fitorremediador se demostró que esta planta presenta características de aclimatación adecuadas a las condiciones en los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Entre las características más relevantes, es la capacidad de eliminación de DBO5, DQO y SST.

Recomendaciones

Es necesario ampliar la evaluación del desempeño de especies nativas y su respuesta frente a la capacidad de tolerancia de las mismas para el manejo del estrés del contaminante. Esta información beneficiará el desarrollo de nuevas tecnologías para resolver los problemas del tratamiento de aguas residuales mediante la Fitorremediación.

En base a los resultados obtenidos, se recomienda trabajar con varios tiempos de retención y volumen, para comparar la eficiencia y la variabilidad en la remoción de los contaminantes.

Se recomienda el uso de humedales artificiales como un sistema de tratamiento secundario, como se realizó en esta investigación donde se asegure que las aguas residuales a tratar se les disminuyan altos porcentajes de la carga contaminante; ya que la eficiencia del sistema es mayor en una muestra ya pre tratada.

Referencias

Agudelo C, R., Jaramillo G, M., Peñuela M, G., & Aguirre R, N. (2010). Remoción del carbono orgánico disuelto en humedales. *Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública*, 21-28.

Alzate Amariles, E. (2015). Influencia del pH y el tipo de macrofita en la remoción de materia orgánica y cadmio de un drenaje sintético de minería de carbón, por medio de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto. *(Tesis de Maestría). Universidad de Antioquia, Medellín.*

Anónimo. (s.f.). *Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales.* Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=lnnqaK9UCZAC&pg=PA73&dq=oxigeno+disuelto+en+agua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiF88nw3pfaAhURpFkKHWjiB1sQ6AEILzAC#v=onepage&q=oxigeno%20disuelto%20en%20agua&f=false

Bedoya Pérez, J., Ardila Arias, A., & Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Scielo*.

Cordero Casallas, J. K. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de útica (Cundinamarca).* Tesis de pregrado. Universidad libre, ingeniería ambiental, Bogotá.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales* (Nelson Antequera Duràn ed.). Cochabamba, Bolivia.

Domingo, I. t. (1999). *Ingenieria sanitaria I.* Santo Domingo: Búho.

García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con humedales construidos.* Obtenido de http://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474

Glazer, A. N., & Nikaido, H. (1995). *Microbial biotechnology: Fundamentals of applied microbiology.* New York: Freeman and Company.

Hammer, D. A., & Bastian, R. K. (1989). Wetlands ecosystems: Natural water purifiers? En D. A. Hammer (Ed.), *Constructed wetlands for wastewater treatment: Municipal, industrial and agricultural* (págs. 12-13). Boca Raton, London, New York, Washington D.C, United States of America: Lewis publishers.

Lara Borrero, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales.* Trabajo final (Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental), Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Llagas Chafloque, W. A., & Gómez, E. G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del instituto de investigaciones de la facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográfica, Vol 15*(Núm 17), pp. 86.

Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse.* New York: McGraw-Hill.

Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.* Santa Fé de Bogotá D.C.

Montoya, J., Ceballos, L., Casas, J., & Morató, J. (2010). ESTUDIO COMPARATIVO DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL USANDO TRES ESPECIES DE MACRÓFITAS. *Redalyc*, 75-76.

Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 69-70. Obtenido de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2002). Los contaminantes físicos del agua. En *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis* (pág. 87). California: Plaza & Valdés Editores.

Rigola Lapeña, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales.* Barcelona: Marcombo S.A.

Sette Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales.* Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, México: Reverté S.A.

Apéndices

Apéndice A. Resultados análisis fisicoquímicos

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
NIT. 800.163.130 - 0

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUÍMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Simple

LUGAR DE MUESTREO: Aguachica **PUNTO:** Afluente

TOMADA POR: Mónica serrano **HORA:** 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 de noviembre del 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 **HORA:** 09:03 a.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Alcalinidad, Dureza, Conductividad, Oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos, Potencial de hidrógeno, DQO, DBO5, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, N. amoniacal, Turbiedad.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR AFLUENTE
ALCALINIDAD	mg/L CaCO3	320
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO3	1300
TURBIEDAD	NTU	15
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	398
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	6,3
DQO	mg/L O2	210
DBO5	mg/L O2	181
NITRATOS	mg/L	311
NITRITOS	mg/L	0,4
N. AMONIACAL	mg/L	>3,5
FOSFATOS	mg/L	2,0
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	20
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,4

Diana Valdes

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT. 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUÍMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Simple

LUGAR DE MUESTREO: Aguachica **PUNTO:** Efluente UE1

TOMADA POR: Mónica serrano **HORA:** 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 de noviembre del 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 **HORA:** 09:03 a.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Alcalinidad, Dureza, Conductividad, Oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos, Potencial de hidrógeno, DQO, DBO5, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, N. amoniacal, Turbiedad.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR AFLUENTE
ALCALINIDAD	mg/L CaCO3	320
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO3	500
TURBIEDAD	NTU	65
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	537
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	6,5
DQO	mg/L O2	52
DBO5	mg/L O2	43
NITRATOS	mg/L	48
NITRITOS	mg/L	0,2
N. AMONIACAL	mg/L	1,3
FOSFATOS	mg/L	1,0
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	10
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,2

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT. 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUÍMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Simple

LUGAR DE MUESTREO: Aguachica **PUNTO:** Efluente UE2

TOMADA POR: Mónica serrano **HORA:** 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 de noviembre del 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 **HORA:** 09:03 a.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Alcalinidad, Dureza, Conductividad, Oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos, Potencial de hidrógeno, DQO, DBO5, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, N. amoniacal, Turbiedad.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR AFLUENTE
ALCALINIDAD	mg/L CaCO3	300
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO3	700
TURBIEDAD	NTU	39
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	8,9
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	7,3
DQO	mg/L O2	6
DBO5	mg/L O2	<2,0
NITRATOS	mg/L	37
NITRITOS	mg/L	0,2
N. AMONIACAL	mg/L	1,0
FOSFATOS	mg/L	1,4
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	10
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,6

Diana Valdes

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT. 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUÍMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Simple

LUGAR DE MUESTREO: Aguachica **PUNTO:** Efluente UE3

TOMADA POR: Mónica serrano **HORA:** 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 de noviembre del 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 **HORA:** 09:03 a.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Alcalinidad, Dureza, Conductividad, Oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos, Potencial de hidrógeno, DQO, DBO5, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, N. amoniacal, Turbiedad.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR AFLUENTE
ALCALINIDAD	mg/L CaCO3	245
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO3	700
TURBIEDAD	NTU	47
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	1008
OXÍGENO DISUELTO	mg/L O2	7,3
DQO	mg/L O2	65
DBO5	mg/L O2	53
NITRATOS	mg/L	142
NITRITOS	mg/L	0,2
N. AMONIACAL	mg/L	0,9
FOSFATOS	mg/L	0,6
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	30
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,5

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Apéndice B. Resultados análisis microbiológicos.

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
NIT 800 163 130 - 0

LABORATORIO BIOTECNOLOGIA ANIMAL
RESULTADOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: AGUA RESIDUAL

TIPO DE MUESTRA: SIMPLE

LUGAR DE MUESTREO: AGUACHICA PUNTO: AFLUENTE SISTEMA PILOTO

TOMADA POR: MONICA SERRANO

HORA: 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 HORA: 09:03 a.m.

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS	VALOR ADMISIBLE
Coliformes totales	Filtración por membrana	-------	0 UFC/100ml
E. coli	Filtración por membrana	-------	0 UFC/100ml
Aerobios mesofilos	Filtración por membrana	-------	100 UFC/100ml

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS
Coliformes totales	Tubos múltiples	>1100NMP/100Ml
E. coli	Tubos múltiples	>1100NMP/100Ml
Aerobios mesofilos	Recuento en placa	-------

NOTA:

Johanna Ximena Páez P.
JOHANNA XIMENA PAEZ PACHECO
COORDINADORA
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT 800 183 130 - 0

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA ANIMAL
RESULTADOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: AGUA RESIDUAL

TIPO DE MUESTRA: SIMPLE

LUGAR DE MUESTREO: AGUACHICA PUNTO: EFLUENTE UE 1

TOMADA POR: MONICA SERRANO

HORA: 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 HORA: 09:03 p.m.

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS	VALOR ADMISIBLE
Coliformes totales	Filtración por membrana	-------	0 UFC/100ml
E. coli	Filtración por membrana	-------	0 UFC/100ml
Aerobios mesofilos	Filtración por membrana	------	100 UFC/100ml

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS
Coliformes totales	Tubos múltiples	>1100NMP/100mL
E. coli	Tubos múltiples	>1100NMP/100mL
Aerobios mesofilos	Recuento en placa	------

NOTA:

JOHANNA XIMENA PAEZ PACHECO
COORDINADORA
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT. 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA ANIMAL
RESULTADOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: AGUA RESIDUAL

TIPO DE MUESTRA: SIMPLE

LUGAR DE MUESTREO: AGUACHICA PUNTO: EFLUENTE UE2

TOMADA POR: MONICA SERRANO

HORA: 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 HORA: 09:03 p.m.

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS	VALOR ADMISIBLE
Coliformes totales	Filtración por membrana	-------	0 UFC*100ml
E. coli	Filtración por membrana	-------	0 UFC*100ml
Aerobios mesofilos	Filtración por membrana	-------	100 UFC/100ml

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS
Coliformes totales	Tubos múltiples	>1100NMP/100mL
E. coli	Tubos múltiples	>1100NMP/100mL
Aerobios mesofilos	Recuento en placa	-------

NOTA:

JOHANNA XIMENA PAEZ PACHECO
COORDINADORA
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA ANIMAL
RESULTADOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: RESIDUAL

TIPO DE MUESTRA: SIMPLE

LUGAR DE MUESTREO: AGUACHICA PUNTO: EFLUENTE UE3

TOMADA POR: MONICA SERRANO

HORA: 03:00 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017

FECHA ENTREGA LABORATORIO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2017 HORA: 09:03 p.m.

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS	VALOR ADMISIBLE
Coliformes totales	Filtración por membrana	-------	0 UFC/100ml
E. coli	Filtración por membrana	-------	0 UFC/100ml
Aerobios mesofilos	Filtración por membrana	-------	100 UFC/100ml

MICROORGANISMO	TECNICA	RESULTADOS
Coliformes totales	Tubos múltiples	>1100NMP/100mL
E. coli	Tubos múltiples	>1100NMP/100mL
Aerobios mesofilos	Recuento en placa	-------

NOTA:

Johanna Ximena Páez P.
JOHANNA XIMENA PAEZ PACHECO
COORDINADORA
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

Apéndice C. Resultados aluminio y sulfatos.



Laboratorios
Nancy Flórez García S.A.S
Confiabilidad y Calidad en Pruebas
Nit. 844.000.588-0

IDEAM

COD: RO-104 Ver.: 06 del 17 de Agosto de 2017

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO
N° 10707

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ
DIRECCION : CALLE 9 Nº 9-31
CONTACTO : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ
CARGO : PARTICULAR

NIT : 1065895593
CIUDAD : AGUACHICA
TELEFONO : 3185212613

INFORMACION DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
LUGAR DE MUESTREO : SISITEMA PILOTO
PUNTO DE MUESTREO : AFLUENTE
CODIGO : 171133142
LOTE : N.A
REGISTRO INVIMA : N.A

TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
PLAN DE MUESTREO : N.S
PROC. DE MUESTREO : N.S

HORA MUESTRA : 03:00 a.m.
MUESTREO : 29/11/2017
RECEPCION : 29/11/2017
INICIO ENSAYOS : 29/11/2017
FINAL ENSAYOS : 30/11/2017
INFORME : 01/12/2017

ANALISIS	METODO - TECNICA	ESPECIFICACION	RESULTADO
Aluminio mg/L (A)	SM 3030 K / SM 3111 D - Espectrométrico	Análisis y Reporte	<1,0000
Sulfatos mg SO4/L (A)	SM 4500-SO4 E - Turbidimétrico	Análisis y Reporte	<10,0

Especificación: RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 ART 8 (CARGA MAYOR A 625 Kg/DIA Y MENOR A 3000 Kg/DIA DBO) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

NOTA :
Muestra tomada y traida al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parametro no requerido por la especificación
(A): Acreditado (S): Subcontratado
Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analizada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

REVISÓ

YECITH SANGUINO
Coordinador de Fisicoquímica

APROBÓ

KARINA CAMPO MORALES
Coordinadora Técnica

Fin de Informe

Página 1 de 1

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co
Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

Laboratorio Nancy Flórez García S.A.S

IDEAM

COD: RO-104 Ver.: 06 del 17 de Agosto de 2017

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO
N° 10704

INFORMACION DEL CLIENTE

EMPRESA : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ
DIRECCION : CALLE 9 N° 9-31 NIT : 1065896593
CONTACTO : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ CIUDAD : AGUACHICA
CARGO : PARTICULAR TELEFONO : 3186212613

INFORMACION DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL DOMESTICA HORA MUESTRA : 03:00 a.m.
LUGAR DE MUESTREO : SISTEMA PILOTO MUESTREO : 29/11/2017
PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE VE1 RECEPCION : 29/11/2017
CODIGO : 171133139 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE INICIO ENSAYOS : 29/11/2017
LOTE : N.A PLAN DE MUESTREO : N.S FINAL ENSAYOS : 30/11/2017
REGISTRO INVIMA : N.A PROC. DE MUESTREO : N.S INFORME : 01/12/2017

ANALISIS	METODO - TECNICA	ESPECIFICACION	RESULTADO
Aluminio mg/L (A)	SM 3030 K / SM 3111 D - Espectrométrico	Análisis y Reporte	<1,0000
Sulfatos mg SO4/L (A)	SM 4500-SO4 E - Turbidimétrico	Análisis y Reporte	76,2

Especificación: RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 ART 8 (CARGA MAYOR A 625 Kg/DIA Y MENOR A 3000 Kg/DIA DBO) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

NOTA :
Muestra tomada y traida al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parametro no requerido por la especificación
(A): Acreditado (S): Subcontratado

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analizada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

REVISÓ

YECITH SANGUINO
Coordinador de Fisicoquímica

APROBÓ

KARINA CAMPO MORALES
Coordinadora Técnica

Fin de Informe

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co
Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

Laboratorio
Nancy Flórez García S.A.S
Nit. 894100075-0

IDEAM

COD: RO-104 Ver.: 06 del 17 de Agosto de 2017

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO
N° 10705

INFORMACION DEL CLIENTE

EMPRESA : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ
DIRECCION : CALLE 9 N° 9-31 NIT : 1065895593
CONTACTO : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ CIUDAD : AGUACHICA
CARGO : PARTICULAR TELEFONO : 3185212613

INFORMACION DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL DOMESTICA HORA MUESTRA : 03:00 a.m.
LUGAR DE MUESTREO : SISTEMA PILOTO MUESTREO : 29/11/2017
PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE VE2 RECEPCION : 29/11/2017
CODIGO : 171133140 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE INICIO ENSAYOS : 29/11/2017
LOTE : N.A PLAN DE MUESTREO : N.S FINAL ENSAYOS : 30/11/2017
REGISTRO INVIMA : N.A PROC. DE MUESTREO : N.S INFORME : 01/12/2017

ANALISIS	METODO - TECNICA	ESPECIFICACION	RESULTADO
Aluminio mg/L (A)	SM 3030 K / SM 3111 D - Espectrométrico	Análisis y Reporte	<1,0000
Sulfatos mg SO4/L (A)	SM 4500-SO4 E - Turbidimétrico	Análisis y Reporte	128

Especificación: RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 ART 8 (CARGA MAYOR A 625 Kg/DIA Y MENOR A 3000 Kg/DIA DBO) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

NOTA :
Muestra tomada y traida al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parametro no requerido por la especificación
(A): Acreditado (S): Subcontratado
Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analisada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

REVISÓ

YECITH SANGUINO
Coordinador de Fisicoquímica

APROBÓ

KARINA CAMPO MORALES
Coordinadora Técnica

Fin de Informe

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co
Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

Laboratorio
Nancy Flórez García S.A.S
Contratistas y Consultores
Nit. 844.003.593-0

IDEAM

COD: RO 104 Ver: 06 del 17 de Agosto de 2017

CERTIFICADO DE ANALISIS FISICOQUIMICO
N° 10706

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ
DIRECCION : CALLE 9 Nº 9-31
CONTACTO : MARIA MONICA SERRANO HERNANDEZ
CARGO : PARTICULAR

NIT : 1065895593
CIUDAD : AGUACHICA
TELEFONO : 3185212613

INFORMACION DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA RESIDUAL DOMESTICA
LUGAR DE MUESTREO : SISTEMA PILOTO
PUNTO DE MUESTREO : EFLUENTE VE3
CODIGO : 171133141
LOTE : N.A
REGISTRO INVIMA : N.A

TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
PLAN DE MUESTREO : N.S
PROC. DE MUESTREO : N.S

HORA MUESTRA : 03:00 a.m.
MUESTREO : 29/11/2017
RECEPCION : 29/11/2017
INICIO ENSAYOS : 29/11/2017
FINAL ENSAYOS : 30/11/2017
INFORME : 01/12/2017

ANALISIS	METODO - TECNICA	ESPECIFICACION	RESULTADO
Aluminio mg/L (A)	SM 3030 K / SM 3111 D - Espectrométrico	Análisis y Reporte	<1,0000
Sulfatos mg SO4/L (A)	SM 4500-SO4 E - Turbidimétrico	Análisis y Reporte	113

Especificación: RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 ART 8 (CARGA MAYOR A 625 Kg/DIA Y MENOR A 3000 Kg/DIA DBO) - (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE)

NOTA :
Muestra tomada y traida al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parametro no requerido por la especificación
(A): Acreditado (S): Subcontratado
Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
El resultado aplica unicamente a la muestra recibida y analizada.
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

REVISÓ

YECITH SANGUINO
Coordinador de Fisicoquímica

APROBÓ

KARINA CAMPO MORALES
Coordinadora Técnica

Fin de Informe

Teléfonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co
Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar

Apéndice D. Registro fotográfico.



Paso a paso de la construcción del sistema piloto.



Adición de sustrato, siembra de las especies vegetales y búsqueda del agua residual para el sistema piloto.

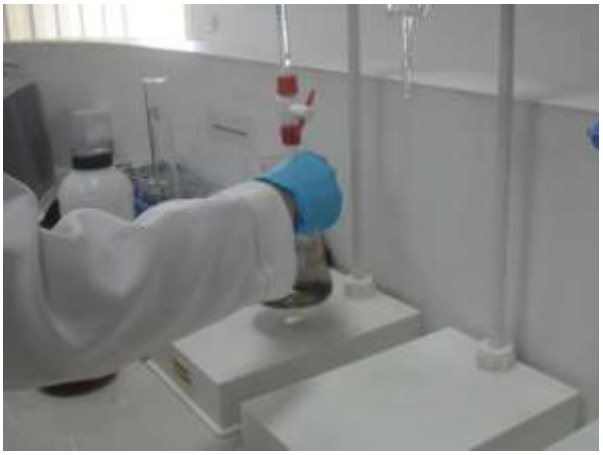





Llenado del tanque con el agua residual de la laguna y puesta en marcha del sistema.





Toma y análisis de las muestras.









