

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-01-2017	A	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(77)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	LICETH LORENA RUEDAS CHINCHILLA		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	LUIS AUGUSTO JACOME GOMEZ		
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO A PARTIR DE PLANTAS HIPERACUMULADORAS PARA LA DEPURACIÓN DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL PARQUE TECNOLOGICO AMBIENTAL “LAS BATEAS” DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA CESAR.		
RESUMEN			
(70 PALABRAS APROXIMADAMENTE)			
<p>LA FITORREMEDIACIÓN, APROVECHA LA CAPACIDAD DE CIERTAS PLANTAS PARA ABSORBER, ACUMULAR, METABOLIZAR, VOLATILIZAR O ESTABILIZAR CONTAMINANTES. ESTAS FITOECNOLOGÍAS OFRECEN NUMEROSAS VENTAJAS EN RELACIÓN CON LOS MÉTODOS FISICOQUÍMICOS QUE SE USAN EN LA ACTUALIDAD, EN ESTE TRABAJO, SE PRESENTA UN SISTEMA PILOTO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL CON ESPECIES NATIVAS HELICONIA PSITTACORUM Y PENNISETUM PURPUREUM, PARA LA DEPURACION DE LOS LIXIVIADOS GENERADOS EN EL PARQUE TECNOLOGICO AMBIENTAL “LAS BATEAS”.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 77	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:1



**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO A PARTIR DE PLANTAS
HIPERACUMULADORAS PARA LA DEPURACIÓN DE LOS LIXIVIADOS
GENERADOS EN EL PARQUE TECNOLÓGICO AMBIENTAL “LAS BATEAS” DEL
MUNICIPIO DE AGUACHICA CESAR.**

AUTOR:

LICETH LORENA RUEDAS CHINCHILLA

**Trabajo Final presentado bajo la modalidad de pasantías como requisito para optar el
título de Ingeniera Ambiental**

Director:

Ingeniero Agrónomo

LUIS AUGUSTO JÁCOME GÓMEZ

Especialista en Microbiología Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Enero de 2017

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar donde estoy, por iluminar mi camino, por llenarme de fortaleza y paciencia para guiarme hacia esta gran meta en mi vida.

A mis padres que está en el cielo, especialmente a mi mama, que se esforzó para que yo estudiara esta carrera, por confiar en mí y siempre tener una voz de aliento en los momentos más difíciles, a ellos le dedico todos mis triunfos y éxitos.

Agradecimientos

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por la formación académica.

Al director de mi trabajo de Grado, Esp. Luis Augusto Jácome Gómez por su gran colaboración, confianza y apoyo en la realización de este trabajo.

A Cristian Mahecha, por su gran amor, compañía y apoyo incondicional paciencia durante el transcurso de mi carrera profesional.

Resumen

La fitorremediación, aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua. Estas Fito tecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo.

En este trabajo, se presenta un sistema piloto de un humedal de flujo subsuperficial horizontal con especies nativas *Heliconia psittacorum* y *Pennisetum purpureum*; para la depuración de lixiviados generados en el Parque Tecnológico Ambiental “las Bateas” del municipio de Aguachica, Cesar.

El sistema piloto constó de un Isotanco con capacidad de 1000 L para la recolección del lixiviado, conectado a tres unidades de tratamiento que con tenían sustratos (grava, granito y arena) de diferentes granulometría y las especies vegetales (*H. psittacorum*, *P. purpureum* y su combinación). Se trabajó con un volumen de 25L y un tiempo de retención de 96 horas.

Se realizó un seguimiento de las plantas para evaluar su capacidad de adaptación y después de 1 mes, se evaluó el lixiviado antes y después del proceso con muestras en el laboratorio, para determinar el porcentaje de remoción en 6 parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO₅, SST, conductividad, color y turbiedad).

La *H. psittacorum* obtuvo una alta eficiencia de remoción para la DBO₅ con un 71,23%, 48,23% para DQO y 84,61% para SST; para la *P. purpureum* se obtuvo una remoción de 71,23%

para DBO₅, 54,10% para DQO y 77,98% para SST; y con las especies en consorcio se obtuvo una remoción de 38,36% para DBO₅, 30,04% para DQO y 89,74% para SST. Los resultados aquí presentados plantean la necesidad de ampliar la evaluación del desempeño de especies nativas frente a la capacidad de tolerancia de las mismas para el manejo del estrés del contaminante.

Abstract

Phytoremediation takes advantage of the ability of certain plants to absorb, accumulate, metabolize, volatilize or stabilize contaminants present in soil, air, water. These phytotechnologies offer numerous advantages in relation to the physicochemical methods that are used today, for example, its wide applicability and low cost.

In this work, we present a pilot system of a horizontal subsurface flow wetland with native species *Heliconia psittacorum* and *Pennisetum purpureum*; For the purification of leachates generated in the "Las Bateas" Environmental Technology Park of the municipality of Aguachica, Cesar.

The pilot system consisted of an Isotanque with a capacity of 1000 L for the collection of the leachate, connected to three treatment units that had substrates (gravel, granite and sand) of different granulometry and plant species (*H. psittacorum*, *P. purpureum* And its combination). We worked with a volume of 25L and a retention time of 96 hours.

The plants were monitored to evaluate their adaptability and after 1 month, the leachate before and after the process was evaluated with samples in the laboratory to determine the percentage of removal in 6 physico-chemical parameters (COD, BOD5, SST , Conductivity, color and turbidity).

H. psittacorum obtained a high removal efficiency for BOD5 with 71.23%, 48.23% for COD and 84.61% for SST; For *P. purpureum* a 71.23% removal was obtained for BOD5, 54.10% for COD and 77.98% for SST; And the species in consortium obtained a removal of 38.36% for BOD5, 30.04% for COD and 89.74% for SST. The results presented here raise the need to extend the evaluation of the performance of native species versus the tolerance capacity of the same for the management of pollutant stress.

Índice

Capítulo 1: Diseño y evaluación de un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el Parque Tecnológico Ambiental “Las Bateas” del municipio de Aguachica Cesar.	1
1.1 Descripción de la empresa.	1
1.1.1 Misión.	2
1.1.2 Visión.	2
1.1.3 Objetivos	2
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.	3
1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignada la pasantía.	3
1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.	4
1.2.1 Planteamiento del problema.	6
1.3 Objetivos de la pasantía	7
1.3.1 General.	7
1.3.2 Específicos.	7
1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la misma.	8
Capítulo 2. Enfoque Referencial.....	10
2.1 Enfoque Conceptual.....	10
2.1.1 Conceptos relacionados con Relleno Sanitario.	10
2.1.2 Características de los lixiviados.	12
2.1.3 Tipos de la fitorremediación.	13
2.1.4 Los humedales naturales.	15
2.2 Enfoque Legal.....	19
Capítulo 3: Informe de cumplimiento de trabajo	22
3.1 Presentación de resultados	22
3.1.1 Revisión del estado del arte de la zona de estudio.	22
3.1.2 Revisión de documentos o artículos científicos relacionados con plantas nativas que han sido eficiente en la fitorremediación de lixiviados de los rellenos sanitarios.	24
3.1.3 Inspección a los recipientes donde se almacenó el lixiviado y se establecieron las plantas hiperacumuladoras para el proceso de depuración.	29

3.1.4 Diseño del sistema piloto.	30
3.1.5 Infraestructura para establecer el sistema piloto con las especies vegetales seleccionadas para la depuración del lixiviado.	31
3.1.6 Estudio de la carga de contaminantes que tiene los lixiviados antes del proceso.	34
3.1.7 Eficiencia de remoción del sistema piloto antes y después del proceso de fitorremediación.	35
3.1.8 Evaluación del potencial fitorremediador de las especies <i>H. psittacorum</i> y <i>P. purpureum</i> en el sistema piloto.	39
Capítulo 4. Diagnóstico final.	45
Capítulo 5. Conclusiones.	46
Capítulo 6. Recomendaciones.	47
Bibliografías.	48
Apéndices.	50
Apéndice A. Evaluación de algunos niveles de contaminación de las muestras.	51
Apéndice B. Caracterización de los lixiviados del relleno sanitario las Bateas.	55
Apéndice C. Registro fotográfico.	57

Lista de Tablas

Tabla 1. Matriz DOFA	5
Tabla 2. Actividades para el cumplimiento de los objetivos	8
Tabla 3. Clasificación general del lixiviado por edad.....	12
Tabla 4. Especies Vegetales existentes en la Zona de estudio.....	23
Tabla 5. Porcentaje de remoción.....	40

Lista de Figuras

Figura 1. Organigrama de la empresa.	3
Figura 2. Celda de disposición final del relleno sanitario las Bateas.....	11
Figura 3. Procesos llevados a cabo por las plantas para la descontaminación..	14
Figura 4. Humedal construido de flujo superficial	16
Figura 5. Elementos de un Humedal Artificial de flujo subsuperficial.	17
Figura 6. Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal.....	18
Figura 7. Humedal construido de flujo subsuperficial vertical.....	18
Figura 8. Plantas que afloran en las celdas antiguas (1), Heliconia psittacorum en el reservorio y gramíneas alrededor de las piscinas de lixiviados.	23
Figura 9. Clasificación Taxonómica.	26
Figura 10. Clasificación taxonómica.	27
Figura 11. Isotank de 1000 Litros.	29
Figura 12. Diseño del sistema piloto.....	31
Figura 13. Sistema piloto construido..	32
Figura 14. Trasplante manual de las especies.	33
Figura 15. Muestra de lixiviado en recipientes de 1 Litro..	34
Figura 16. Porcentaje de remoción de DQO.....	40
Figura 17. Porcentaje de Remoción de DBO.....	41
Figura 18. Porcentaje de Remoción de SST..	42
Figura 19. Porcentaje de remoción de conductividad.....	43
Figura 20. Porcentaje de remoción de color..	43
Figura 21. Porcentaje de Remoción de Turbiedad.....	44

Introducción

Los lixiviados presentan altos contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos y de sustancias tóxicas como metales pesados, entre otros compuestos. Los lixiviados pueden contaminar aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos, por esta razón los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan y sus lixiviados recogidos se tratan empleando la combinación de varios métodos.

La depuración de lixiviados a través de los distintos sistemas de tratamiento convencionales involucran un alto costo tanto en construcción como en operación. A pesar de esto, en muchos casos los porcentajes de remoción de contaminantes son deficientes, por este motivo se han diseñado métodos alternativos de depuración, de bajo costo y alta eficiencia como son los humedales artificiales. El presente trabajo se centra en el diseño y evaluación de un humedal artificial con plantas hiperacumuladoras para la depuración de lixiviados (fitorremediación); esta tecnología es de fácil manejo, amigable con el ambiente y además, bastante eficientes en la remoción de contaminantes en los lixiviados. Se evaluará el potencial fitorremediador de la *Heliconia psittacorum* y *Pennisetum purpureum*; resaltando su eficiencia en la remoción de contaminantes.

Capítulo 1: Diseño y evaluación de un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el Parque Tecnológico Ambiental “Las Bateas” del municipio de Aguachica Cesar.

1.1 Descripción de la empresa.

ASEO URBANO S.A.S E.S.P es una empresa privada que presta el servicio público domiciliario de Aseo y complementarios de Cúcuta, Villa del Rosario, los Patios, Aguachica y Yopal; ASEO URBANO se ha encargado de mantener las ciudades limpias. Para las cuales realizan diferentes actividades como:

Barrido de calles, avenidas, parques y aéreas públicas y recolección domiciliaria.

Disposición final y tratamiento de los residuos sólidos urbanos en el Relleno Sanitario las Bateas.

Recolección, transporte y disposición final de los residuos generados en podas.

El Parque Tecnológico Ambiental Las Bateas (PTALB) inicia operaciones desde el año 2007 en el mes de Agosto, este relleno está habilitado para recibir residuos urbanos no tóxicos, ni peligrosos y su diseño completa 10 hectáreas para las celdas de disposición final. Actualmente en relleno sanitario Las Bateas de Aguachica, están disponiendo también residuos de los siguientes

municipios: San Martín, Gamarra, Río de Oro, San Alberto, La Gloria, La Esperanza y Pelaya. También está prestando servicio de disposición final de residuos a varias empresas flotantes tales como: la concesionaria ruta del sol, Ejército Nacional y Freskaleche.

1.1.1 Misión. Generamos desarrollo y bienestar a la sociedad gestionando soluciones ambientales en aguas y residuos.

1.1.2 Visión Ser el mejor aliado en soluciones ambientales integrales e innovadoras que superes las expectativas de nuestros grupos de interés.

1.1.3 Objetivos de la empresa Mejorar los márgenes de rentabilidad financiera y económica.

El fomento de la responsabilidad social con los grupos de interés.

Brindar a nuestros clientes servicios con oportunidad, calidad y eficiencia buscando su satisfacción.

El cumplimiento de los requisitos legales en seguridad, salud ocupacional y ambiente, requisitos de otra índole vigente y aplicable a la organización.

El empleo responsable, racional y técnico de los recursos naturales.

La prevención de los incidentes, las lesiones personales, la enfermedad profesional y el daño a la propiedad.

La reducción del impacto socio-ambiental y la prevención de la contaminación que pudiere generar nuestra operación.

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional. A continuación se presenta el organigrama de la empresa ASEO URBANO S.A.S. E.S.P seccional Aguachica

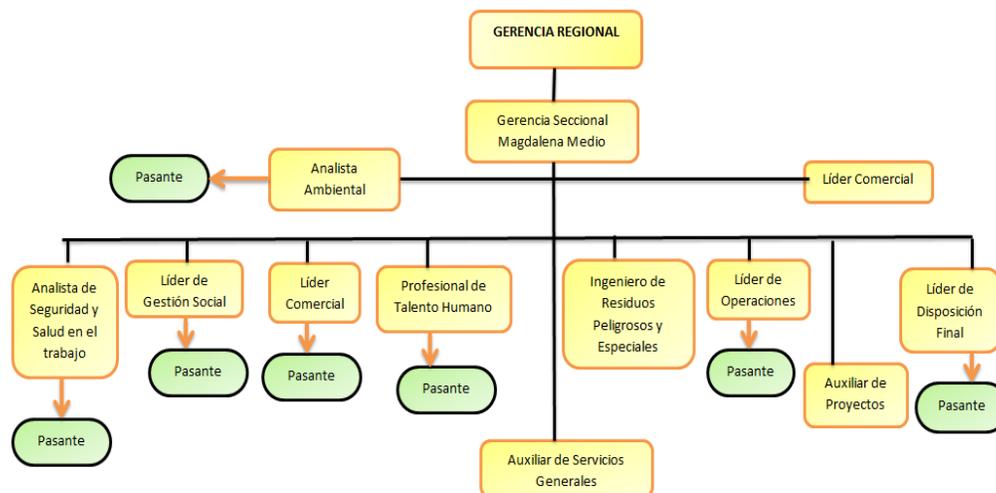


Figura 1. Organigrama de la empresa. Fuente: Autor del proyecto.

1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignando la pasantía se llevara a cabo en el área de gestión ambiental de la empresa ASEO URBANO S.A.S E.S.P seccional Aguachica, la cual es la encargada del cumplimiento del sistema de gestión ambiental de la empresa y el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente las funciones que se llevan a cabo en esta dependencia son:

Apoyar y ejecutar interventoría y auditorías ambientales de los procesos e instalaciones de la empresa tales como:

- Base de operaciones
- Relleno sanitario
- Zonas de pre tratamiento

- Celdas de seguridad y zonas de biorremediación.
- Apoyar en las actividades y programas del sistema de gestión de empresa
- Garantizar la participación del recurso humano en los sistemas de gestión ambiental

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.

En la empresa de servicios públicos de aseo urbano de Aguachica, Cesar cuenta con una dependencia de gestión ambiental el cual tiene una finalidad de atender todo lo relacionado con el ambiente y con la sociedad que pertenezca en el perímetro ambiental, contar con esta dependencia es fundamental para la operación de la empresa en cuanto a la normatividad y procesos ambientales.

Tabla 1*Matriz DOFA*

	FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
	El sitio de disposición final actual cuenta con su respectiva licencia ambiental dada por CORPOCESAR.	Los lixiviados generados en la celda transitoria de residuos ordinarios no son tratados o manejados de manera adecuada.
	La celda transitoria de residuos ordinarios cuenta con un sistema de drenaje, recolección de lixiviados y manejo de los gases generados.	Las piscinas de lixiviados han llegado hasta el máximo permisible que es 80% ocupado por el lixiviado.
MATRIZ DOFA	La forma de disponer los residuos sólidos ordinarios permite optimizar la capacidad de la celda transitoria al máximo.	El proceso de cobertura diaria de los residuos sólidos en la celda transitoria no es óptimo.
OPORTUNIDADES (O)	ESTRATEGIAS (FO)	ESTRATEGIAS (DO)
El control y seguimiento realizados por los entes de control fortalece el cumplimiento de la normatividad ambiental.	Formular un estudio de pre-factibilidad para el tratamiento de los lixiviados.	Ejecución de los planes de mejoramientos que establezcan los entes de control.
AMENAZAS (A)	ESTRATEGIAS (FA)	ESTRATEGIAS (DA)
Presencia de recicladores informales en la celda transitoria de residuos ordinarios.	Crear mecanismos para minimizar los asentamientos ilegales (recicladores)	Implementar dentro del diseño del relleno sanitario un sistema de drenaje, recolección y tratamiento adecuado para los lixiviados.
Falta de cultura ciudadana respecto al manejo de residuos sólidos desde las fuentes de generación.	Implementación de programas de sensibilización ambiental y cultura en manejo de residuos sólidos.	Optimizar la operación final del sitio de disposición final de los residuos sólidos ordinarios.
Contaminación a las aguas subterráneas y al suelo por infiltración de lixiviados.	Fortalecer el proceso de impermeabilización de las piscinas de lixiviados.	Optimizar el proceso de cobertura en la celda de residuos sólidos ordinarios.

Fuente: Autor del Proyecto.

1.2.1 Planteamiento del problema. El parque tecnológico Ambiental “Las Bateas” Se encuentra ubicado a 5,2 Km kilómetros del perímetro urbano de Aguachica sobre la vía que comunica al corregimiento de puerto mosquito con unas coordenadas geográficas $08^{\circ} 18' 45''$ latitud norte y $73^{\circ} 37' 37''$ longitud oeste y una altura de 150 msnm, este terreno presenta una topografía plana, el relleno es de tipo combinado zanja o trinchera y área, obteniendo un mejor aprovechamiento de las condiciones topográficas de la zona, cuenta con un área de disposición final de 10 hectáreas. Aprovechando la alta tasa de evapotranspiración que se presenta se realiza el almacenamiento de lixiviados en 3 piscinas de capacidad promedio de 4.000 m³, estas se encuentran impermeabilizadas con Geo membrana de 60 Mills.

La primera piscina obtiene por gravedad el lixiviado del primer pozo, la segunda piscina no recibe lixiviados de los pozos porque no tiene tubería solamente recibe por bombeo lixiviado de la piscina 1 y 3, esta última, también por gravedad recibe el lixiviado del segundo pozo.

La situación que se presenta actualmente es que no existe un manejo y tratamiento eficiente para la disminución de la carga de contaminantes del lixiviado; solamente se realiza recirculación en la piscina 1-2 y aspersion a las celdas antiguas; éstas se saturan a causa de las altas precipitaciones, produciendo derrames de lixiviados que da como resultado efectos negativos al suelo y a las aguas subterráneas.

Esta problemática es el resultado de la falta de recursos para la implementación de tecnologías que ayude a depurar el lixiviado de una forma rápida, eficaz y a su vez, minimizar los olores ofensivos.

1.3 Objetivos de la pasantía

1.3.1 General. Diseñar y evaluar un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el parque tecnológico ambiental “Las Bateas” del municipio de Aguachica Cesar.

1.3.2 Específicos. Seleccionar las especies vegetales que tengan la capacidad fitorremediadora y que se adapten a las condiciones climáticas de la zona de estudio para la depuración de lixiviados.

Analizar las condiciones de infraestructura del recipiente donde se observara de forma individual y en consorcio la actividad biológica de las plantas hiperacumuladoras más eficientes en la depuración de lixiviados.

Diseñar un sistema piloto de fitorremediación para la depuración de lixiviados, usando las especies vegetales seleccionadas.

Evaluar el nivel de contaminación del lixiviado a tratar en el sistema piloto antes y después del proceso.

Elaborar un informe donde se comparen los resultados de depuración de lixiviados, gracias a las plantas hiperacumuladoras seleccionadas con el fin de conocer quien fue más eficiente y hábil para bioacumular y/o degradar mayor el contaminante.

1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la misma.

Tabla 2

Actividades para el cumplimiento de los objetivos

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICO	ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN LA EMPRESA
Diseñar y evaluar un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el parque tecnológico ambiental “Las Bateas” del municipio de Aguachica Cesar.	Seleccionar las especies vegetales que tengan la capacidad fitorremediadora y que se adapten a las condiciones climáticas de la zona de estudio para la depuración de lixiviados.	Realizar una revisión del estado de arte de la zona de estudio. Revisar y analizar documentos o artículos científicos relacionados con experiencias en el uso de plantas hiperacumuladoras de lixiviados.
	Analizar las condiciones de infraestructura del recipiente donde se observara de forma individual y en consorcio la actividad biológica de las plantas hiperacumuladoras más eficientes en la depuración de lixiviados.	Realizar la inspección al recipiente donde se hará el vertimiento de lixiviado de las piscinas y se establecerán las plantas hiperacumuladoras para el proceso de depuración.
	Diseñar un sistema piloto de fitorremediación para la depuración de lixiviados, usando las especies vegetales seleccionadas.	Diseñar el sistema a emplear incluyendo planos, estudios y especificaciones de diseño Infraestructura para establecer el sistema piloto con las especies vegetales seleccionadas para la depuración del lixiviado.
Evaluar el nivel de contaminación del lixiviado a tratar en el sistema piloto antes y después del proceso.	Realizar estudios sobre la carga de contaminantes que tiene los lixiviados antes del proceso.	

Tabla 2. *Continuación*

	Calcular el porcentaje de remoción de contaminantes por parte del sistema piloto, con lo cual se podrá determinar la eficiencia del sistema.
Elaborar un informe donde se comparen los resultados de depuración de lixiviados, gracias a las plantas hiperacumuladoras seleccionadas con el fin de conocer quien fue más eficiente y hábil para bioacumular y/o degradar mayor el contaminante.	Recopilar información de las diferentes plantas utilizadas en el sistema, con el fin de conocer y comparar cual fue la más eficiente en bioacumular el contaminante.

Fuente: Autor del Proyecto.

Capítulo 2. Enfoque Referencial

2.1 Enfoque Conceptual

2.1.1 Conceptos relacionados con Relleno Sanitario. Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final (Decreto 838, 2005).

El procedimiento de confinar los desechos en un relleno sanitario depende básicamente de la configuración o topografía del terreno, de la potencialidad o no de acopio de material de cobertura, del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Actualmente se utilizan tres métodos básicos: trinchera o zanja, área y combinado (UNAD, 2012).

Método de trinchera o zanja. Este método se utiliza en terrenos planos donde las condiciones hidrogeológicas lo permitan; consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con retroexcavadora o tractor de oruga, acumulando a un lado el material de excavación para usarlo posteriormente como material de cobertura.

Método de área. Se emplea en terrenos que presentan cavidades de cierto tamaño a manera de depresiones naturales o también hondonadas producidas artificialmente por la explotación de canteras o extracción de diferentes materiales. Se adapta por lo general en áreas relativamente

planas, donde no es factible excavar por encontrarse muy próximo el nivel freático, o donde no es posible profundizar las fosas o trincheras.

Método Combinado. Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.

Celda de Residuos Ordinarios. Infraestructura ubicada en el relleno sanitario, donde se esparcen y compactan los residuos durante el día para cubrirlos totalmente al final del mismo (Decreto 838, 2005). En la figura 2, se observa la celda de disposición final del Relleno Sanitario Las Bateas.



Figura 2. Celda de disposición final del relleno sanitario las Bateas. Fuente: Autor del proyecto.

2.1.2 Características de los lixiviados. Los lixiviados, es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación (Decreto 2981, 2013).

Los lixiviados en el relleno arrastran a su paso material disuelto, en suspensión, fijo o volátil, lo que provoca que tengan elevadas cargas orgánicas y un color que varía desde café-pardo-grisáceo cuando están frescos hasta un color negro viscoso cuando envejecen. (Corena, 2008).

Las características del lixiviado de rellenos sanitarios se pueden representar usualmente por los parámetros básicos de DQO, DBO, la relación DBO/DQO, pH, sólidos suspendidos (SS), amoníaco (N-NH₃), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y metales pesados. En la Tabla 3, se muestran los tres tipos de lixiviados que se han definido de acuerdo a la edad del lixiviado.

Tabla 3

Clasificación general del lixiviado por edad

	Nuevo	Intermedio	Viejo
Edad (años)	<5	5-10	>10
pH	6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DQO	>10000	4000 – 10000	<4000
DBO₅	>0.3	0.1 – 0.3	<0.1
Compuestos orgánicos	80% (AGV)	5 – 30% AGV + ácidos húmicos y fulvicos	ácidos húmicos y fulvicos
Metales pesados	Bajo- Medio		Bajo
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

Fuente: (Salazar & Inés, 2009).

2.1.3 Tipos de la fitorremediación. Es una tecnología verde emergente para la remediación de suelos, sedimentos, agua superficial y subterránea, que se basa en el uso de la vegetación como principal agente des contaminador para eliminar (Fitoextracción, Fito degradación o Fito volatilización) o inmovilizar (Fito estabilización) contaminantes peligrosos para el medio ambiente (Benavides, 2015).

Esta definición afecta a todas las plantas que, con procesos químicos, biológicos y físicos ayudan a la biorrecuperación de sustratos contaminados. Se pueden distinguir dos tipos diferentes de “fitorremediación”: “in planta” y “ex planta” según se realice la degradación del contaminante dentro de la propia planta o fuera de ella. En el primer caso (in planta), la planta absorbe el contaminante y lo incluye dentro de ella, mientras que cuando es “ex planta”, dicha degradación se realiza en la zona de la rizosfera, debido a los exudados radicales y a la mayor actividad que existe en la zona.

El termino **Fitoestabilización** denota el uso de plantas para estabilizar los contaminante en el suelo, o bien simplemente por prevención de la erosión, la lixiviación, escorrentía, o mediante la conversión de los contaminantes a formas menos biodisponibles. (Pilon-Smits, 2005).

Las plantas también pueden utilizarse para extraer los contaminantes y acumularlos en sus tejidos, seguido por la cosecha del material vegetal (por encima del suelo). Esta tecnología se denomina **Fitoextracción**.

Las plantas pueden facilitar la biodegradación de contaminantes orgánicos por los microorganismos en su rizósfera. Esto se llama **Fito estimulación** o rizo degradación.

Las plantas también pueden degradar los contaminantes orgánicos directamente a través de sus propias actividades enzimáticas, en un proceso llamado **fitodegradación**. Después de la absorción en el tejido de la planta, ciertos contaminantes pueden dejar la planta en forma volátil, lo que se llama **fitovolatilización**. En la Figura 3, se muestran los posibles destinos de un contaminante durante la fitorremediación, donde se muestra que el contaminante puede ser estabilizado o degradado en la rizósfera, secuestrado o degradado dentro los tejidos de la planta o volatilizado.

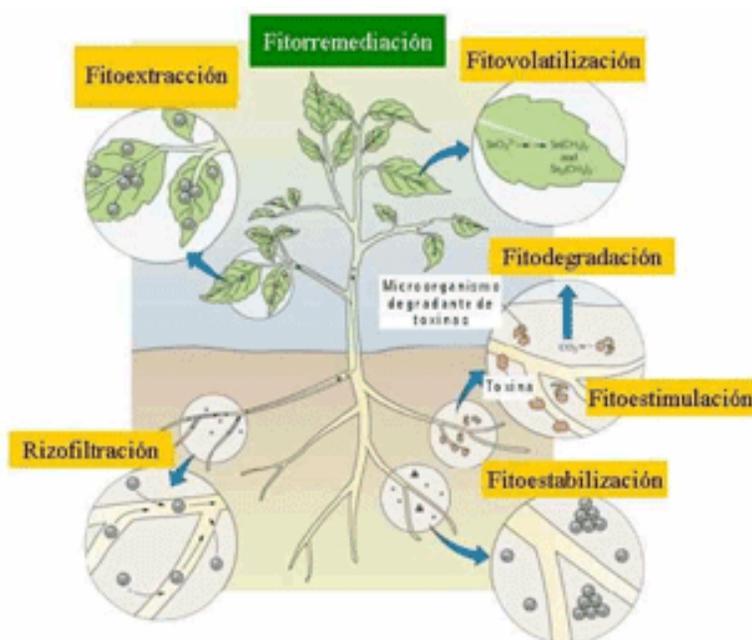


Figura 3. Procesos llevados a cabo por las plantas para la descontaminación. Fuente: (ArgenBio, 2007).

2.1.4 Los humedales naturales. Son complejos mosaicos de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, en los que el suelo se mantiene saturado de agua durante un largo periodo de tiempo cada año. En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales. Estos seres vivos junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos (Lahora, 2002).

Los humedales específicamente construidos con el propósito de controlar la contaminación del agua han recibido gran cantidad de nombres en las distintas partes del mundo donde han sido usados (Crites, 2000) La denominación más extendida es “Humedales Artificiales” o “Humedales Construidos”.

Los humedales artificiales. Son humedales que se han construido o modificado ampliamente por los seres humanos, dichos humedales son sistemas artificiales de tratamiento de aguas residuales poco profundos, generalmente menos de 1 metro de profundidad, pueden ser estanques o canales con vegetación especializada, ya sean plantas que viven en el agua (hidrofitos) o las que se desarrollan en terrenos permanentemente inundados o al menos saturados de agua, con bastante frecuencia (Higrofitos), y que dependen de procesos microbianos naturales, biológicos, físicos y químicos para el tratamiento de las aguas residuales. Uno de los rasgos más característicos de la vegetación de los humedales es su adaptación a vivir con una fuerte limitación de la disponibilidad del oxígeno en el suelo, es decir, en condiciones de

anaerobiosis que normalmente no soportan las plantas terrestres. Los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna (García & Corzo, 2008).

Humedales artificiales de flujo superficial: En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de los efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora. (García & Corzo, 2008). En un humedal artificial de flujo superficial la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, y su profundidad varía entre 1 y 4.5 metros. Este tipo de sistemas consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos de estos sistemas se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y la evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos (Crites, 2000).

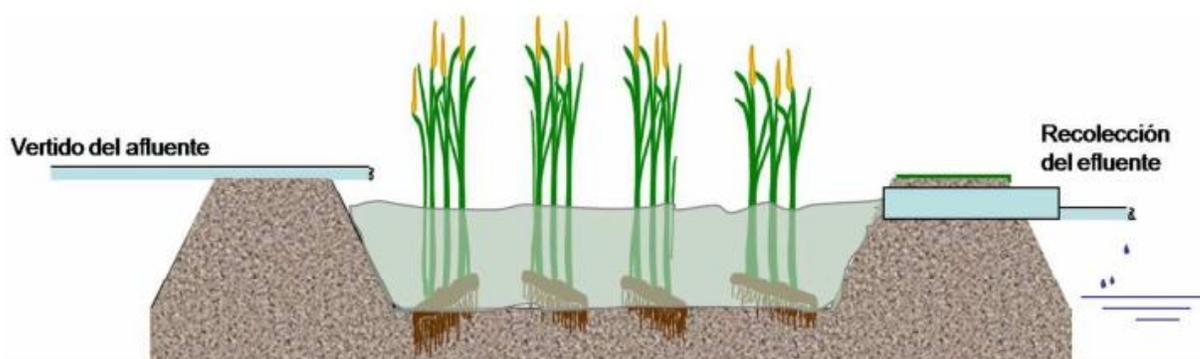


Figura 4. Humedal construido de flujo superficial. Fuente: (García & Corzo, 2008).

Humedales artificiales de flujo subsuperficial: Están compuestos de un medio filtrante, de un tipo de vegetación y microorganismos asociados, cada uno desempeñando funciones que favorecen el tratamiento del agua residual, a través de la captura y fijación de la materia orgánica y su posterior incorporación a los procesos fisiológicos de plantas y microorganismos (Peña, Madera, & Medina, 2013).

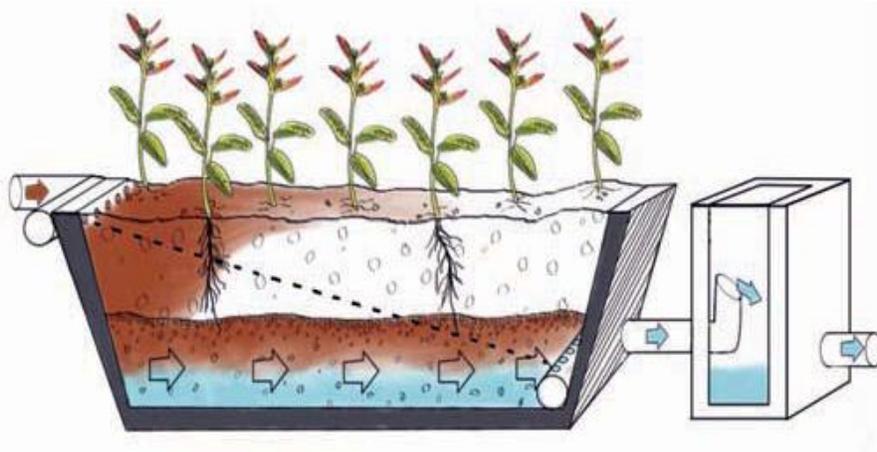


Figura 5. Elementos de un Humedal Artificial de flujo subsuperficial. Fuente: (Peña, Madera, & Medina, 2013).

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. (García & Corzo, 2008).

Humedales de flujo 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 de 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 6gDBO/m².día (García & Corzo, 2008).

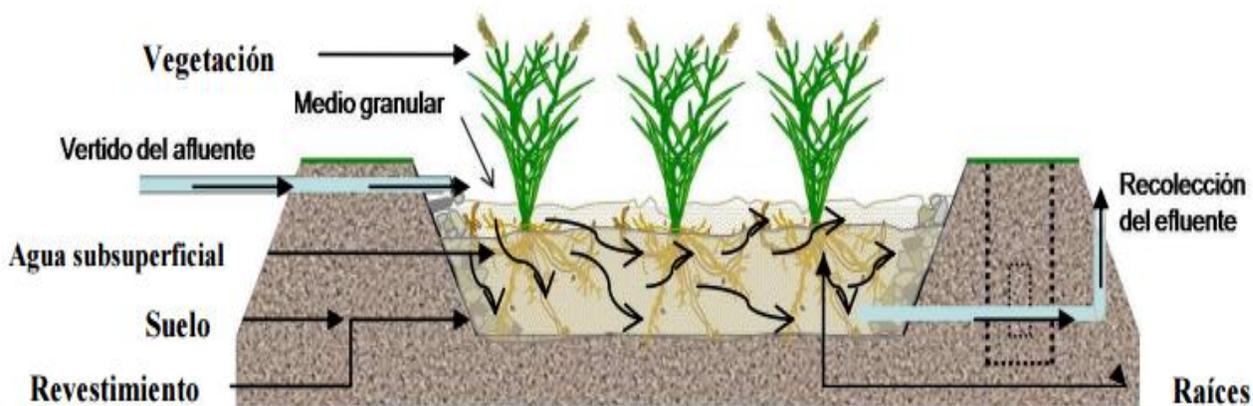


Figura 6. Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: (García & Corzo, 2008).

Humedales de flujo vertical. Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno (García & Corzo, 2008).

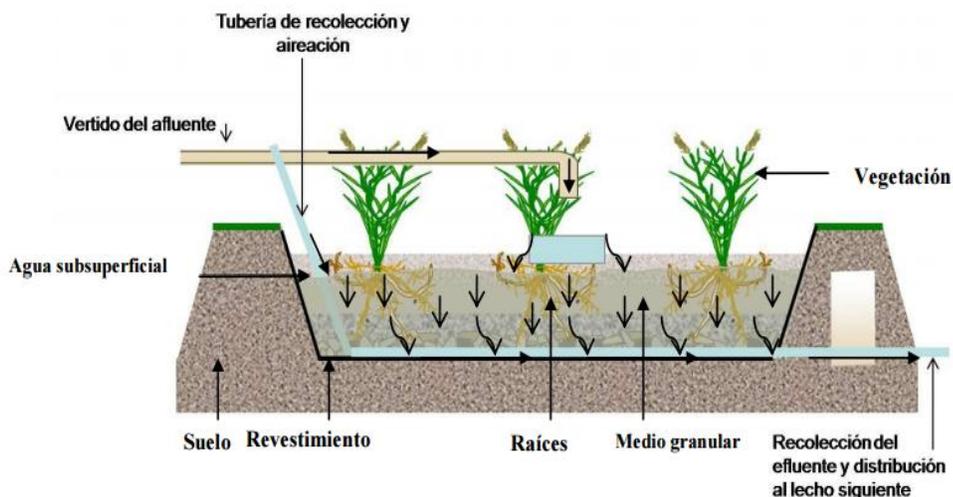


Figura 7. Humedal construido de flujo subsuperficial vertical. Fuente: (García & Corzo, 2008).

Tanto los humedales horizontales como los verticales pueden estar compuestos por los siguientes elementos: (1) estructuras de entrada del afluente, (2) impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada, (3) medio granular, (4) vegetación emergente típica de zonas húmedas, y (5) estructuras de salida.

2.2 Enfoque Legal

Constitución Política de Colombia 1991. Artículo 79: Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica.

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 ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)

.

Ley 9 de 1979. Código sanitario nacional.

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

Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos. Capítulo IV de los criterios de calidad para destinación del recurso teniendo en cuenta parámetros específicos del recurso hídrico, además se consideran las sustancias de interés sanitario (Artículo 20).

Decreto 1449 de 1997. Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática.

Decreto 838 del 23 de marzo de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 3200 del 29 de agosto de 2008. Por el cual se dictan normas sobre Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento y se dictan otras disposiciones.

Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI del decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 4728 del 23 octubre de 2010. Por el cual se hacen algunas modificaciones al decreto 3930 de 2010, en especial a la fijación de la norma de vertimientos, el protocolo para el monitoreo de los vertimientos en aguas superficiales y subterráneas, y sobre el plan de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos.

Decreto 303 del 6 de febrero de 2012. El presente decreto reglamenta el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico para el componente de concesión de aguas y el componente de autorizaciones de vertimientos.

Decreto 2981 del 20 de diciembre de 2013. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Define el servicio público de aseo como "El servicio de recolección municipal de residuos principalmente sólidos. También se aplicará esta ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos. Igualmente incluye, entre otras, las actividades complementarias de corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas; de lavado de estas áreas, transferencia, tratamiento y aprovechamiento.

Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Resolución 1096 del 2000. Reglamento Interno del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. Numeral F.6. Rellenos sanitarios desde página 77 hasta la 103, aborda temas sobre características de los sitios para ubicación de rellenos sanitarios, estudios previos, parámetros de diseño, control ambiental, operación y ejecución de obras. (Posada, 27).

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

Capítulo 3: Informe de cumplimiento de trabajo

3.1 Presentación de resultados

El siguiente trabajo presenta un informe de las actividades desempeñadas en la Empresa ASEO URBANO S.A.S E.S.P como requisito para obtener el título de ingeniera ambiental.

Todas las actividades que a continuación presento son parte del plan de trabajo modalidad de pasantías el cual corresponde el nombre de “Diseño y evaluación de un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el Parque Tecnológico Ambiental “Las Bateas” del municipio de Aguachica Cesar”.

3.1.1 Revisión del estado del arte de la zona de estudio. En primera instancia, se realizó el análisis del área de influencia del proyecto con el fin de conocer las condiciones climáticas, tipo de suelo e identificar y estudiar la capacidad fitorremediadora a las zonas de vida o formaciones vegetales existentes.

En la tabla 4, se reportan los nombres científicos de las plantas que afloran en los reservorios, alrededor de las piscinas de lixiviados y en las celdas antiguas donde se realiza la aspersión como se observan en la figura 8, siendo las más representativas y dominantes de la familia Heliconiaceae y Poaceae.

Tabla 4*Especie vegetales existentes en la Zona de Estudio*

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES		
Familia	Especie	Nombre Común
Heliconiaceae	<i>Heliconia psittacorum</i>	Platanillo
Poaceae	<i>Dichantium aristatum</i>	Pasto angleton
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i>	Pasto elefante
Poaceae	<i>Lolium multiflorum</i>	Pasto Ray Grass
Poaceae	<i>Panicum máximum</i>	Pasto Guinea
Poaceae	<i>Echinochloa polystachya</i>	Pasto Alemán
Fabaceae	<i>Arachis pintoi</i>	Maní forrajero
Poaceae	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Vetiver

Fuente: Autor del proyecto.

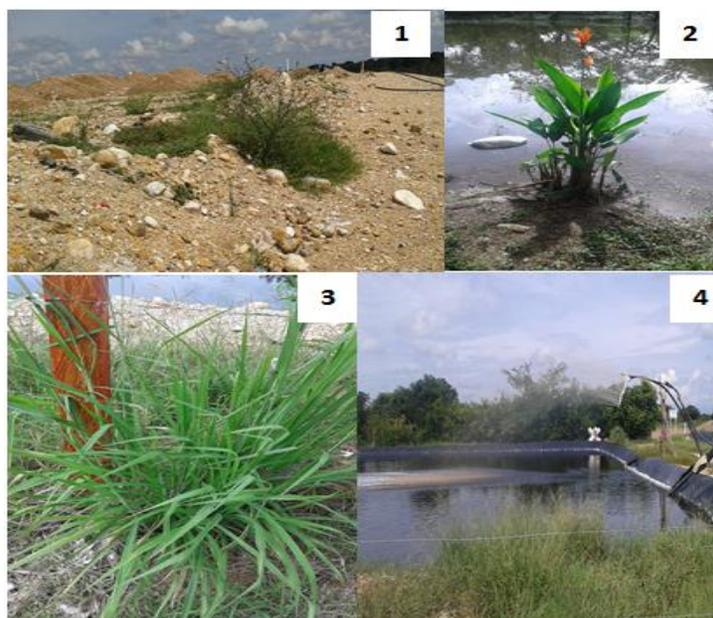


Figura 8. Plantas que afloran en las celdas antiguas (1), *Heliconia psittacorum* en el reservorio y gramíneas alrededor de las piscinas de lixiviados (3- 4). Fuente: Autor del Proyecto.

3.1.2 Revisión de documentos o artículos científicos relacionados con plantas nativas que han sido eficiente en la fitorremediación de lixiviados de los rellenos sanitarios. Se analizaron, diseños de sistema de tratamiento de lixiviados por fitorremediación que están en funcionamiento, realizados por estudiantes en algunos rellenos sanitarios:

El proyecto, Respuestas fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamiento con lixiviado de relleno sanitario (Aulestia, 2012) se realizó en el invernadero ubicado dentro de la Universidad del Valle, donde se llevó a cabo el montaje de las tres especies vegetales (*Colocasia esculenta*, *Heliconia psittacorum* y *Cyperus haspan*) que fueron sometidas a una fase inicial de aclimatación durante cinco semanas y una fase de tratamiento con riego de lixiviados del relleno sanitario de Presidente ubicado en el municipio de San Pedro en el departamento del Valle del Cauca durante ocho semanas; el cual, se encontraron diferencias significativas de los datos obtenidos de potencial hídrico y clorofila para el control y los tratamientos en *Colocasia esculenta* y *Heliconia psittacorum*; lo que sugiere que la especie asimila cargas de contaminantes de lixiviados del relleno sanitario, en cambio la especie *Cyperus haspan* mostró diferencias significativas en las respuesta fisiológicas lo que sugiere intolerancias para adaptarse al riego con lixiviado.

Diseño de sistemas de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario El Inga mediante electrocoagulación y fitorremediación (Guevara, Guanoluisa, & Torre, 2014) es un sistema de tratamiento para lixiviados con altas cargas de DBO₅, SST, DQO y color; se trataron dos tipos de muestra que se manejaban en el vertedero, la primera es un lixiviado con tratamiento previo con lodos activados y birreactores de membranas, y la segunda muestra es lixiviado crudo. Se utilizó la electrocoagulación con 8 electrodos de aluminio durante 20 minutos como primer tratamiento,

la fitorremediación a partir de pastos, alfalfa y maní forrajero como segunda fase y por último absorción en carbón activado; para esto se utilizó un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.

Basados en la revisión bibliográfica, se seleccionaron las especies vegetales teniendo en cuenta su capacidad de adaptarse a las condiciones climáticas de la zona de estudio, su potencial fitorremediador y desarrollarse en humedales construidos:

La especie *Heliconia psittacorum* que se muestra en la figura 9, es un género monotípico de la familia Heliconiaceae monocotiledónea; esta especie, se distribuyen en el Neotrópico, desde el Sur de México hasta el norte de Argentina; incluyendo las islas caribe.

Colombia es considerada el país más diverso en Heliconias con 94 especies que equivalen a aproximadamente el 50% del total de especies descritas. Recientemente estudios han evaluado su tolerancia a los lixiviados del relleno sanitario (Aulestia, 2012) resultando tener gran capacidad de adaptación al medio sin alteración de sus características fisiológicas, además se sugiere la evaluación de su posible potencial fitorremediador.

Reino: Plantae	
División: Magnoliophyta	
Clase: Liliopsida	
Orden: Zingiberales	
Familia: Heliconiaceae	
Género: <i>Heliconia</i>	
Especie: <i>Heliconia psittacorum</i>	

Figura 9. Clasificación Taxonómica. Fuente: (Mazza, 2007).

Esta especie herbácea es erecta rizomatosa perenne, aproximadamente de 0,8-1,5 m. de altura. Las hojas se encuentran sobre un pecíolo largo 25 cm, son basales, alternas, simples, enteras, de forma elíptico-lanceoladas a oblongo-lanceoladas con ápice en punta y nervadura central prominente, de 35-55 cm de longitud y 4-12 cm de anchas, de color verde intenso brillante superiormente, más claro inferiormente, y bases foliares tubulares envolventes que forman un pseudotallo de cerca 2,5 cm de diámetro. La inflorescencia está sobre un pedúnculo largo de 15-55 cm, es una espiga terminal erecta larga (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).

Las heliconias se propagan usualmente de manera natural a través del desarrollo de las yemas vegetativas presentes en su tallo rizomatoso, característica utilizada en producción para la multiplicación artificial. Un aspecto relevante de las heliconias es que pueden ser utilizadas tanto para el ornato de parques y jardines (Jerez, 2007).

La especie *Pennisetum purpureum* llamado vulgarmente pasto elefante; como lo muestra la figura 10, se evaluó su tolerancia al lixiviados del relleno sanitario el Inga (Guevara, Guanoluisa, & Torre, 2014), el cual alcanzó un valor máximo de absorción de 99,8 % para el cobre y 99,9 % para el zinc. Por otro lado, los parámetros de DQO y DBO5, los cuales presentaron valores de remoción de 90,3 % y 15,5 % respectivamente. Por otro lado, los sólidos totales y disueltos presentan remociones con valores alrededor del 85 %.

Reino: Plantae	
División: Magnoliophyta	
Clase: Liliopsida	
Orden: Poales	
Familia: Poaceae	
Género: <i>Pennisetum</i>	
Especie: <i>Pennisetum purpureum</i>	

Figura 10. Clasificación taxonómica. Fuente: (Bemhaja, 2000).

Pasto elefante es una planta que presenta alta tasa fotosintética y consecuentemente alta producción de materia seca. Las bajas temperaturas son la mayor limitante para su producción de forraje. El mayor volumen radicular se encuentra en los primeros 15 cm de profundidad, dependiendo del suelo. Prefiere suelos profundos, bien drenados y en general no resiste la sequía prolongada.

La floración puede ocurrir a partir de noviembre y la producción de semillas es rara por ser una planta protogénica, el estigma se desarrolla, marchita y muere antes de maduración de las anteras. Como consecuencia la multiplicación se realiza de manera vegetativa.

La importancia agronómica de la especie está dada por su gran potencial forrajero en cantidad y calidad cuando manejado para utilización directa, pastoreo o como reserva, silo y eventualmente heno. Dada su particular morfología y fisiología puede ser utilizado por vacunos de carne y leche. Como forrajera perenne adaptada a ecosistemas limitantes permite un uso racional del recurso suelo evitando su degradación y erosión (Bemhaja, 2000).

3.1.3 Inspección a los recipientes donde se almacenó el lixiviado y se establecieron las plantas hiperacumuladoras para el proceso de depuración. Las tres (3) unidades experimentales que se emplearon en el estudio para el establecimiento de las plantas, consisten en recipientes de 55 galones divididos diametralmente, cuyas características fueron definidas de acuerdo a las características que presentan en las diferentes especies, tales como tamaño, crecimiento y profundidad de las raíces. Los elementos definidos para las unidades experimentales son: un volumen de 116,25 Litros, material de soporte (grava, granito y arena) y dimensiones de 88 cm de largo x 58 cm de ancho x 29 cm de radio; además, Los recipientes tienen un orificio en la parte inferior para permitir el drenaje.

Para el almacenamiento del lixiviado se utilizó un Isotanque de polietileno con capacidad de 1000 lts, como muestra la figura 11.



Figura 11. Isotanque de 1000 Litros. Fuente: Autor del proyecto.

3.1.4 Diseño del sistema piloto. En base a los proyectos de investigación realizados acerca de los humedales artificiales y los estudios existentes acerca de plantas hiperacumuladoras, se procede al diseño del sistema piloto basado en humedales artificiales de tipo subsuperficial de flujo horizontal, usando las dos especies vegetales seleccionadas: *Heliconia psittacorum* y *Pennisetum purpureum*.

Estas especies son de fácil recolección, transporte, adaptabilidad, el grosor del tallo, la profundidad de sus raíces y su facilidad de propagarse, ayudan a evaluar su capacidad fitorremediadora.

La figura 12 muestra el diseño del sistema, consta de un Isotank aéreo de 1000 litros para el almacenamiento del lixiviado proveniente de la piscina de lixiviados N°2; dicho recipiente 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 lixiviado; este tubo se divide en 3 direcciones para cada unidad experimental; el cual, cada una tiene llaves de paso a la entrada y a la salida.

Dentro de cada unidad experimental, se adicionan sustratos, los cuales son: 25% de grava de granulometría 3/8", 25% de granito #3 y 50% de arena gruesa; los cuales, estos sirven como soporte de las plantas, filtro y permitir la circulación del lixiviado. Luego, se siembran las plantas en cada unidad experimental.

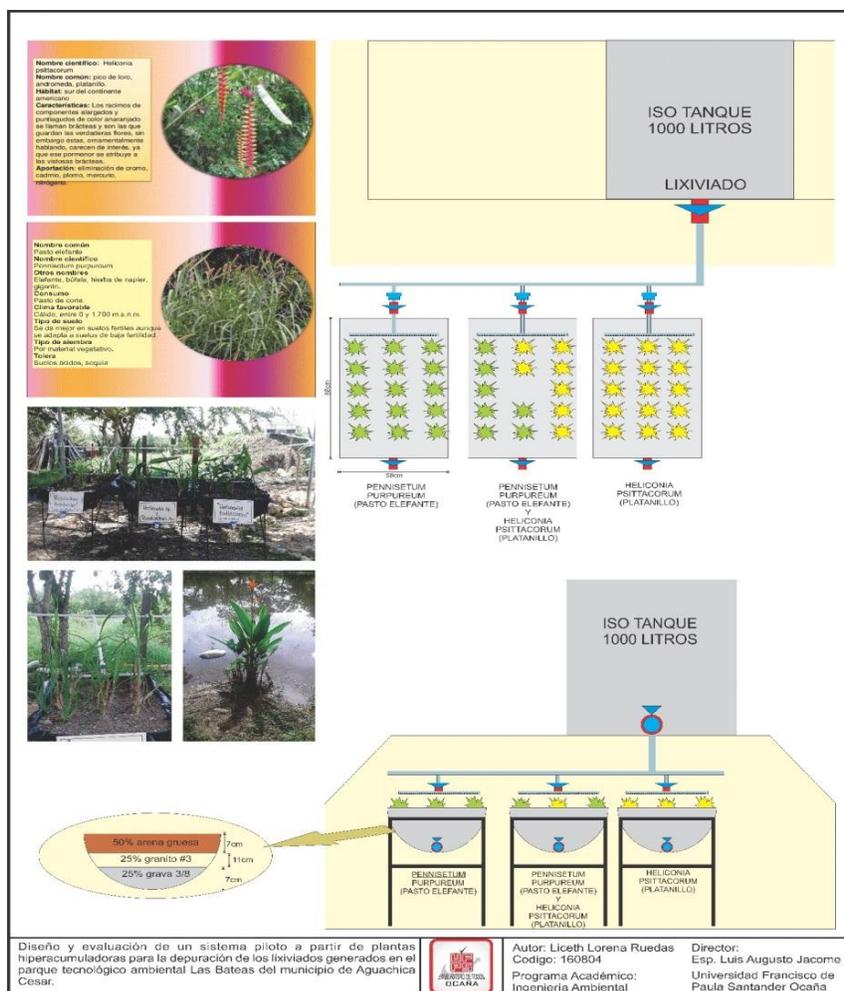


Figura 12. Diseño del sistema piloto. Fuente: Autor del proyecto.

3.1.5 Infraestructura para establecer el sistema piloto con las especies vegetales

seleccionadas para la depuración del lixiviado. La empresa Aseo Urbano destinó un espacio de 30 m² dentro del vivero del relleno sanitario Las Bateas de Aguachica, para la construcción del sistema piloto, el cual cuenta con una polisombra y un plástico para la protección de las lluvias con el fin de que no se alteren el tratamiento.

El sistema piloto se encuentra a 70 metros de las piscinas de lixiviados N°2 que almacenan los lixiviados provenientes de las celdas. En la figura 13 se observa el sistema piloto construido en el Vivero del Relleno Sanitario.



Figura 13. Sistema piloto construido. Fuente: Autor del proyecto.

Como se observa en la figura 14, la siembra en el sistema piloto se realizó, manualmente a cada unidad experimental de la siguiente forma: En el Primero 15 individuos de la especie *Heliconia psittacorum* (UE1), en el segundo se sembraron en consorcio *Heliconia psittacorum* Y *Pennisetum purpureum* en cantidades iguales y en el ultimo, 15 individuos de la especie *Pennisetum purpureum*. Luego, se dejaron por un mes las plantas trasplantadas, para que se adaptaran al sustrato.



Figura 14. Trasplante manual de las especies. Fuente: Autor del proyecto.

Después de los 30 días, se colocó en funcionamiento el sistema piloto permitiendo la entrada controlada del lixiviado, luego, se estableció un tiempo de retención de 4 días (96 h) y un volumen de 25 litros para que se diera el proceso de fitorremediación.

Transcurrido el tiempo de retención, el flujo del agua tratada salió por la llave de paso instalada en la parte inferior de cada unidad experimental; luego, se recolectaron las muestras en recipientes de 1000 ml como se observa en la figura 15, tanto antes como después del tratamiento para su análisis en el laboratorio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.



Figura 15. Muestra de lixiviado en recipientes de 1 Litro. Fuente: Autor del proyecto.

3.1.6 Estudio de la carga de contaminantes que tiene los lixiviados antes del proceso.

Se analizaron los resultados de los análisis fisicoquímicos de cada muestra tomadas a las tres piscinas de lixiviados del relleno sanitario por el laboratorio acreditado INGELAB de Cúcuta, con el fin de conocer su carga de contaminantes. (Ver apéndice B).

La composición de los lixiviados depende de la edad de la celda en la que se originan, por lo tanto, se deduce que se encuentra mayores concentraciones en las piscinas de lixiviados 2 y 3 el cual son más jóvenes, y concentraciones bajas, en la piscina de lixiviados 1 que tiene mayor edad; entonces se puede inferir, que los resultados de los lixiviados jóvenes resultan ser un líquido fácilmente biodegradable mientras que el lixiviado viejo debido a las reacciones llevadas a cabo dentro del relleno en el transcurso del tiempo ha disminuido la concentración de constituyentes orgánicos, se caracteriza por su baja biodegradabilidad.

3.1.7 Eficiencia de remoción del sistema piloto antes y después del proceso de fitorremediación. Se realiza la evaluación mediante el análisis del lixiviado antes y después del tratamiento. Para esta evaluación se analizó los resultados de las muestras estudiadas en el laboratorio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (Ver Apéndice A), y se calcularon los niveles de remoción en cuanto a DQO, DBO, SST conductividad, color Real y turbiedad.

Se encontró que la temperatura del lixiviado tanto antes como después del tratamiento no supera los 40 ° C.

El pH, es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. En un lixiviado el potencial de hidrogeno (pH) varía de acuerdo a su edad. En el caso del afluente se observó un pH alto, que es disminuido levemente, después de pasar por las unidades experimentales

La conductividad del agua es un valor muy utilizado para determinar el contenido de sales disueltas en ella. El lixiviado antes del proceso presenta una alta mineralización (9861 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad media), debido al elevado contenido en la mayoría de sus componentes químicos a comparación de los efluentes obtenidos al pasar por las unidades experimentales

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia

(Bolaños, Perez, & Efren, 2014). Se observó un alto grado de turbidez en el afluente (102 NTU), y una disminución alta en la Unidad experimental donde están sembradas en consorcio las especies *H. psittacorum* y *P. Purpureum* con un 29 NTU a comparación de las otras unidades experimentales.

La eficiencia de remoción en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por:

$$E = (S_0 - S) / S_0 \times 100$$

Dónde:

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

S: Carga contaminante de salida

S₀: Carga contaminante de entrada.

Para la unidad experimental con la especie *H. Psittacorum* se calculan los porcentajes de remoción para los parámetros de DQO, DBO, SST conductividad, color Real y Turbiedad:

El porcentaje de remoción de DQO

$$E = \frac{(902 \text{ mg/L O}_2 - 467 \text{ mg/L O}_2) \times 100}{902 \text{ mg/L O}_2} = 48,23 \%$$

El porcentaje de remoción de DBO₅

$$E = \frac{(730 \text{ mg/L O}_2 - 210 \text{ mg/L O}_2) \times 100}{730 \text{ mg/L O}_2} = 71,23 \%$$

El porcentaje de remoción de SST

$$E = \frac{(780 \text{ mg/LO}_2 - 120 \text{ mg/LO}_2) \times 100}{780 \text{ mg/LO}_2} = 84,61 \%$$

El porcentaje de remoción de Conductividad

$$E = \frac{(9861 \text{ } \mu\text{S/cm} - 3138 \text{ } \mu\text{S/cm}) \times 100}{9861 \text{ } \mu\text{S/cm}} = 68,18 \%$$

El porcentaje de remoción de Color real

$$E = \frac{(1455 \text{ UPtCo} - 663 \text{ UPtCo}) \times 100}{1455 \text{ UPtCo}} = 54,43\%$$

El porcentaje de remoción de Turbiedad

$$E = \frac{(102 \text{ NTU} - 32 \text{ NTU}) \times 100}{102 \text{ NTU}} = 68,63 \%$$

La segunda unidad experimental con las especies *H. Psittacorum* y *P. purpureum* se calculan los porcentajes de remoción para los parámetros de DQO, DBO₅, SST, conductividad, color Real y turbiedad:

El porcentaje de remoción de DQO

$$E = \frac{(902 \text{ mg/L O}_2 - 631 \text{ mg/L O}_2) \times 100}{902 \text{ mg/L O}_2} = 30,04 \%$$

El porcentaje de remoción de DBO₅

$$E = \frac{(730 \text{ mg/L O}_2 - 450 \text{ mg/L O}_2) \times 100}{730 \text{ mg/L O}_2} = 38,36\%$$

El porcentaje de remoción de SST

$$E = \frac{(780 \text{ mg/LO}_2 - 80 \text{ mg/LO}_2) \times 100}{780 \text{ mg/LO}_2} = 89,74\%$$

El porcentaje de remoción de Conductividad

$$E = \frac{(9861 \text{ } \mu\text{S/cm} - 2929 \text{ } \mu\text{S/cm}) \times 100}{9861 \text{ } \mu\text{S/cm}} = 70,30\%$$

El porcentaje de remoción de Color real

$$E = \frac{(1455 \text{ UPtCo} - 430 \text{ UPtCo}) \times 100}{1455 \text{ UPtCo}} = 70,45\%$$

El porcentaje de remoción de Turbiedad

$$E = \frac{(102 \text{ NTU} - 29 \text{ NTU}) \times 100}{102 \text{ NTU}} = 71,57 \%$$

La tercera unidad experimental con la especie *P. purpureum* se calculan los porcentajes de remoción para los parámetros de DQO, DBO₅, SST, conductividad, color Real y turbiedad:

El porcentaje de remoción de DQO

$$E = \frac{(902 \text{ mg/L O}_2 - 414 \text{ mg/L O}_2) \times 100}{902 \text{ mg/L O}_2} = 54,10 \%$$

El porcentaje de remoción de DBO₅

$$E = \frac{(730 \text{ mg/L O}_2 - 210 \text{ mg/L O}_2) \times 100}{730 \text{ mg/L O}_2} = 71,23 \%$$

El porcentaje de remoción de SST

$$E = \frac{(780 \text{ mg/LO}_2 - 130 \text{ mg/LO}_2) \times 100}{780 \text{ mg/LO}_2} = 77,98\%$$

El porcentaje de remoción de Conductividad

$$E = \frac{(9861 \text{ } \mu\text{S/cm} - 3334 \text{ } \mu\text{S/cm}) \times 100}{9861 \text{ } \mu\text{S/cm}} = 66,19 \%$$

El porcentaje de remoción de Color real

$$E = \frac{(1455 \text{ UPtCo} - 583 \text{ UPtCo}) \times 100}{1455 \text{ UPtCo}} = 59,93 \%$$

El porcentaje de remoción de Turbiedad

$$E = \frac{(102 \text{ NTU} - 33 \text{ NTU}) \times 100}{102 \text{ NTU}} = 67,65 \%$$

3.1.8 Evaluación del potencial fitorremediador de las especies *H. psittacorum* y *P. purpureum* en el sistema piloto. Se analizó la capacidad de depuración de *H. psittacorum* y *P. purpureum* y combinadas, por medios de parámetros fisicoquímicos como se observa en la tabla 5, con el fin de determinar cuál de las especies nativas presentó mejor eficiencia de remoción.

Tabla 5*Porcentaje de Remoción*

PARAMETROS	<i>H. psittacorum</i>	<i>H. psittacorum</i> y <i>P.purpureum</i>	<i>P.purpureum</i>
DQO	48,23 %	30,04%	54,10%
DBO ₅	71, 23%	38,36%	71,23%
SST	84,61%	89,74%	77,98%
CONDUCTIVIDAD	68,18%	70,30%	66,19%
COLOR	54,43%	70,45%	59,93%
TURBIEDAD	68,63%	71,57%	67,65%

Fuente: Autor del proyecto.

Demanda Química de Oxígeno: equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos. En la figura 16 se observa que la especie vegetal con mejores resultados, es la especie *Pennisetum purpureum*.

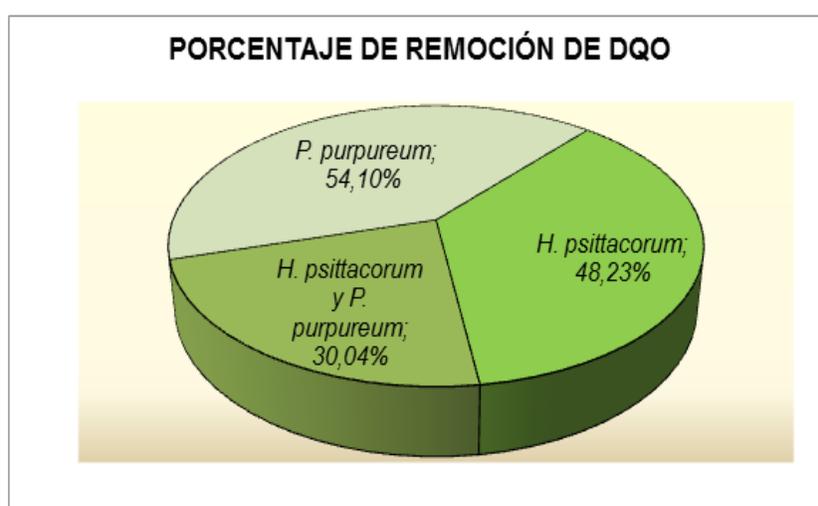


Figura 16. Porcentaje de remoción de DQO. Fuente: Autor del proyecto.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) mide el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia.

El periodo de incubación tras el cual se realiza la medición suele ser de 5 días, comparándose el valor obtenido con el original presente en la muestra. Se determina así la cantidad aproximada de oxígeno utilizado que se requerirá para degradar biológicamente la materia orgánica (Pérez, 2011). En la figura 17, se observa que la *H. psittacorum* igual que la *P. purpureum* tuvieron una alta eficiencia de remoción con un 71,23%. Las altas remociones se garantizan por el hecho de que las raíces de las plantas proporcionan sitios específicos como la rizósfera donde se desarrollan procesos microbiológicos, al igual que los procesos de adsorción y filtración (Crites, 2000).

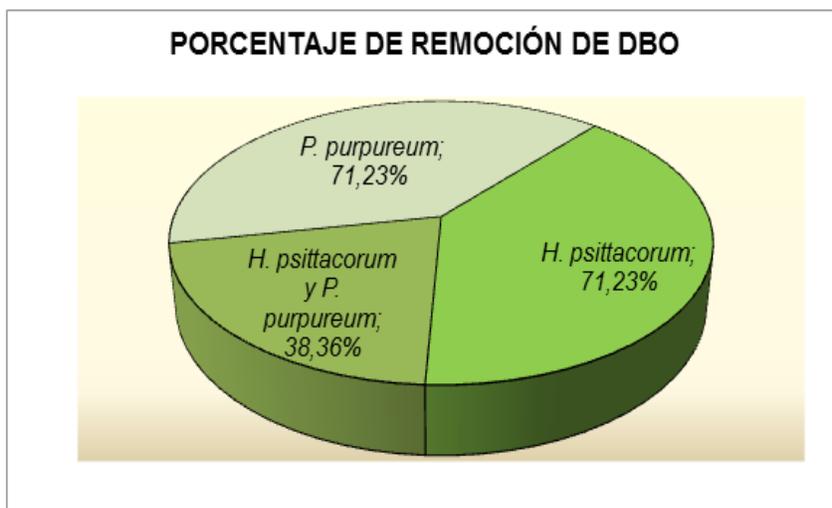


Figura 17. Porcentaje de Remoción de DBO. Fuente: Autor de proyecto.

Sólidos suspendidos Totales (SST): son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio (Barrenechea Martel, 2012).

La unidad experimental con ambas especies (*H. psittacorum* y *P. purpureum*) como se observa en la figura 18, mostraron los mejores resultados con una remoción del 89,74%, la *H. psittacorum* con el 84,61% superando a la *P. purpureum* con el 77,98%.

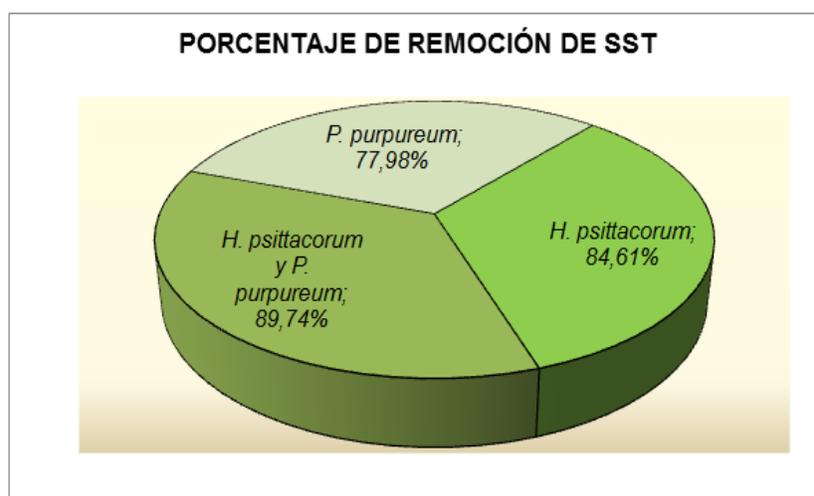


Figura 18. Porcentaje de Remoción de SST. Fuente: Autor de proyecto.

La conductividad es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, y es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (Goyenola, 2007). El mejor resultado mostrado para este parámetro según la figura 19 es la unidad experimental con las especies combinadas con un porcentaje de remoción del 70,30%, seguida de la *H. psittacorum* con un 68,18%, y por último la *P. purpureum* que removió el 66,19 %.

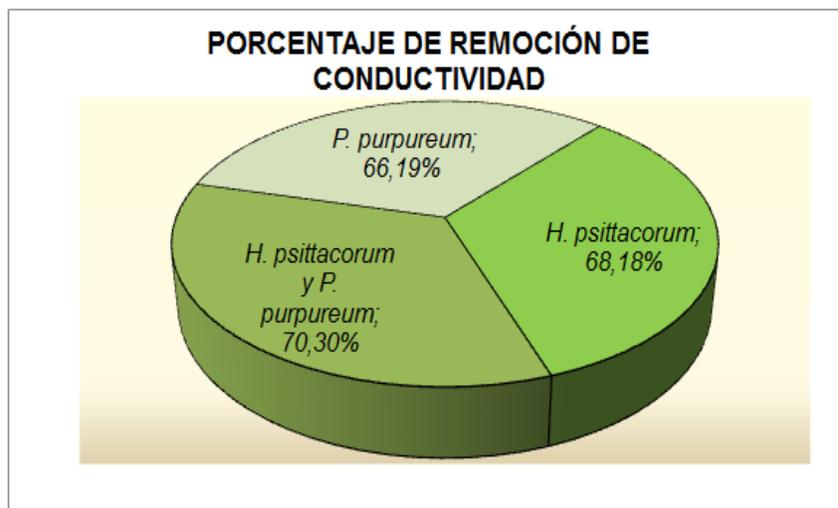


Figura 19. Porcentaje de remoción de conductividad. Fuente: Autor de proyecto.

El color en los lixiviados, es resultante de la formación de sulfuros metálicos que reaccionan con la liberación del sulfuro por las condiciones anaerobias de los metales (Valle Chavez, 2013). Lo que muestra la figura 20, son los resultados obtenidos del color, logrando los mejores resultados de remoción para la unidad experimental con ambas especies con un 70,45%, seguida de la *P. purpureum* con 59,93% y por último, la *H. psittacorum* que removió un 54,43%.

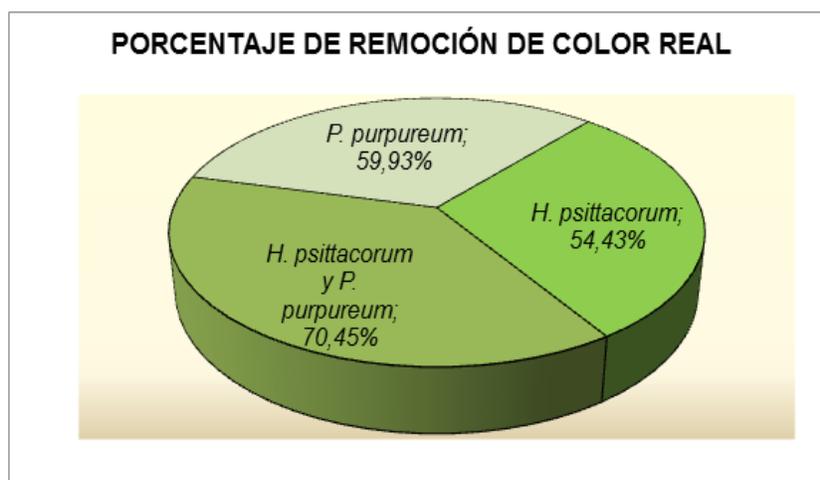


Figura 20. Porcentaje de remoción de color. Fuente: Autor de proyecto.

La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión (Valle Chavez, 2013).

Como se observa en la figura 21, los resultados obtenidos turbiedad fueron casi similares para las tres unidades de tratamiento, aunque logró los mejores resultados de remoción para la unidad experimental con las especies en consorcio con un 71,57%, seguida de la *H. psittacorum* que removió un 68,63% y por último, la *P. purpureum* que removió un 67,65%.

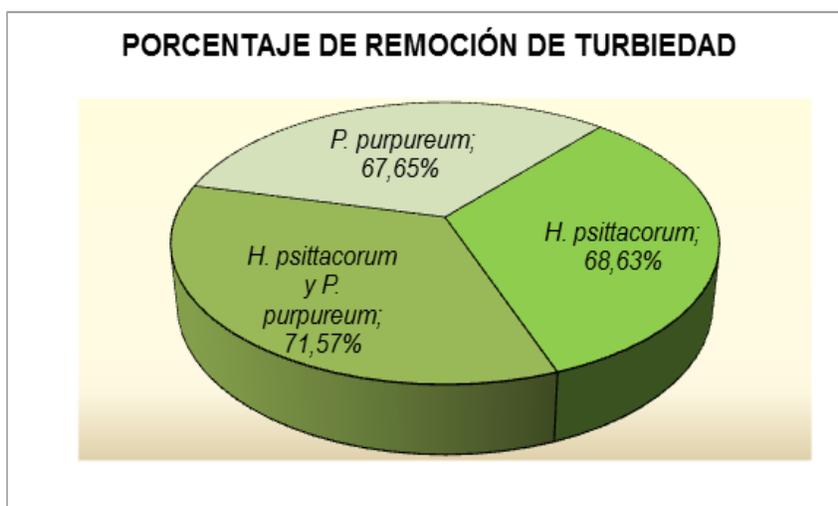


Figura 21. Porcentaje de Remoción de Turbiedad. Fuente: Autor de proyecto.

El porcentaje de remoción de turbiedad indica la eficiencia del sistema de clarificación y mide la fracción de la turbiedad inicial del agua cruda removida durante el proceso (Crites, 2000).

Capítulo 4. Diagnóstico final

En la empresa ASEO URBANO S.A.S. E.S.P se llevaron a cabo diferentes actividades como la medición de caudales de la red de lixiviados del relleno sanitario, monitoreo de gases, inspecciones al PTALB, capacitaciones en cuanto al aprovechamiento de los residuos sólidos y la construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial para la depuración de los lixiviados, la cual fue dada a conocer a los directivos desde el comienzo del proyecto hasta el final.

Otro aporte fue la evaluación de la eficiencia de remoción de las concentraciones de DQO, DBO, SST, color y turbidez en un tiempo de retención de 96 h y un volumen de 25 litros, con las especies vegetales nativas *H. psittacorum* y *P. purpureum*; el cual sobrevivieron a las condiciones del estrés brindadas.

Se comparte una alternativa nueva y económica para tratar las altas cargas de contaminantes de los lixiviados; esta es idónea para la empresa, ya que el método utilizado para el manejo de lixiviados en el PTALB, es el de evaporación y recirculación.

Capítulo 5. Conclusiones

Se seleccionaron las plantas *H. psittacorum* y *P. purpureum* por ser nativas y principalmente por sus potencial fisiológico, por tener enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces, por su habilidad para bioacumular y/o degradar el contaminante y por los diferentes estudios que se le han hecho en cuanto a su potencial fitorremediador.

La construcción del humedal artificial por ser de flujo subsuperficial, trajo varias ventajas como la filtración de los sólidos y las partículas en suspensión; disminución de la demanda química y biológica de oxígeno; no se generan olores ofensivos ni proliferación de plagas debido a que el fluido circula por debajo de la superficie del sustrato.

En cuanto a los estudios realizados a los lixiviados del relleno sanitario, se obtuvieron resultados con altas concentraciones de contaminantes en la piscina 2 y 3 por ser más joven a comparación de la piscina 1 que sus concentraciones fueron por ser un lixiviado viejo.

Cada especie en forma individual tuvo mejores remociones en DQO Y DBO a comparación de la remoción analizada en consorcio.

Este sistema presentó alta eficiencia de remociones cuando se analizaron las especies en consorcio, en cuanto a sólidos suspendidos, color y turbiedad; gracias a la filtración por el sustrato.

Capítulo 6. Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo, se hacen las siguientes recomendaciones:

Los resultados aquí presentados plantean la necesidad de ampliar la evaluación del desempeño de las especies nativas seleccionadas, frente a la capacidad de tolerar, transformar y bioacumular compuestos tóxicos como los metales.

Ambas especies sobrevivieron a las condiciones de estrés brindadas por el líquido percolado y removieron altas concentraciones de contaminantes, por lo tanto se recomienda ampliar la investigación sobre estas especies para la descontaminación de la matriz suelo.

Se sugiere el uso de humedales construidos como un sistema de tratamiento secundario, donde se asegure que los lixiviados a tratar se les disminuyan en altos porcentajes la concentración del contaminante; ya que la eficiencia del sistema es mayor si el lixiviado ha sido pretratado.

En base a los resultados obtenidos, se recomienda aumentar la densidad de siembra, trabajar con varios tiempos de retención y volumen, para que aseguren mayor eficiencia en remoción.

Bibliografías

- Decreto 838. (23 de Marzo de 2005). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Santa Fé de Bogota, D.C, Colombia.
- Decreto 2981. (20 de Diciembre de 2013). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Santa Fé de Bogotá, D.C, Colombia.
- ArgenBio. (2007). *Biotecnología*. Recuperado el 3 de Enero de 2017, de Por Que Biotecnología: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>
- Aseo Urbano S.A.S-E.S.P. (2015). *Rendición de cuentas Aseo Urbano S.A.S-E.S.P.* Aguachica.
- Aulestia, K. L. (2012). Tesis de Grado. *Respuestas fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamiento con lixiviado de relleno sanitario*. Santiago de Cali, Universidad del Valle.
- Barrenechea Martel, A. (2012). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*.
- Bemhaja, M. (2000). *PASTO ELEFANTE (Pennisetum purpureum Schum.) INIA LAMBARE*. (L. U. INIA., Ed.) Montevideo, Uruguay.
- Benavides, M. P. (2015). *Fitorremediación*, 109. Buenos Aires, Argentina.
- Bolaños, A., Perez, M., & Efren, G. (Marzo de 2014). Tutorial de Analisis de Agua. *Determinación de Turbidez*. Mexico.
- Corena, M. d. (2008). *Sistema de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Sincelejo.
- Crites, R. W. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Santa Fé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- García, J., & Corzo, A. H. (Noviembre de 2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Catalunya.
- Goyenola, G. (Junio de 2007). Cartillas de la Red Mapsa. *Guía para la utilización de las valijas viajeras*.
- Guevara, A., Guanoluisa, L., & Torre, E. d. (2014). Tesis de Grado. *Diseño de sistemas de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario El Inga mediante electrocoagulación y fitorremediación*. Ecuador: Quito.
- Jerez, E. (2007). El cultivo de las Heliconias. *Cultivos Tropicales*, 28(1), 29-35.
- Lahora, A. (2002). Depuración de Aguas residuales mediante humedales artificiales. Almeria, España.

- Mazza, G. (2007). *Heliconia psittacorum*. Obtenido de <http://www.photomazza.com/?Heliconia-psittacorum&lang=es>.
- Peña, E., Madera, C., & Medina, J. S. (14 de Noviembre de 2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en proceso de biorremediación: Caso *Heliconia psittacorum*. *Revista académica Colombia Ciencia*, 53., 469-481. Colombia.
- Pérez, F. &. (2011). Tesis de Grado. *Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas*. Tuxpan, Universidad Veracruzana, Facultad de ciencias químicas, Mexico.
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation Annual Review of Plants Biology. 56: 15-39.
- Salazar, L., & Inés, S. (25 de Septiembre de 2009). Tratamiento de lixiviados, Casos prácticos en diferentes Temperaturas. Barranquilla, Colombia.
- UNAD. (2012). Diseño de Rellenos Sanitarios. Bogotá, Colombia.
- Valle Chavez, A. M. (Octubre de 2013). Tesis de Grado. *Tratamiento Físicoquímico y Biológico de lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Chihuahua*. Chihuahua, Mexico.

Apéndices

Apéndice A. Evaluación de algunos niveles de contaminación de las muestras.

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Piscina de lixiviados PUNTO: Punto 1

TOMADA POR: Liceth Ruedas HORA: 16:10 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 21 de diciembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 22 de diciembre de 2016. HORA: 08:00 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, Turbidez, sólidos suspendidos totales, color.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 1
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	9,61
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	9861
OXIGENO DISUELTO	mg/L	5,1
DBO ₅	mg/L	730
DQO	mg/L	902
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	780
COLOR	UPtCo	1455
TURBIEDAD	NTU	102



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

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Sistema Piloto *Heliconia psittacorum* **PUNTO:** Punto 2

TOMADA POR: Liceth Ruedas **HORA:** 16:23 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 21 de diciembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 22 de diciembre de 2016. **HORA:** 08:00 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, Turbidez, sólidos suspendidos totales, color.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 2
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,7
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	3138
OXIGENO DISUELTO	mg/L	4,2
DBO ₅	mg/L	210
DQO	mg/L	467
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	120
COLOR	UPtCo	663
TURBIEDAD	NTU	32



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

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Sistema Piloto *Heliconia psittacorum* & *Pennisetum purpureum*

PUNTO: Punto 3

TOMADA POR: Liceth Ruedas **HORA:** 16:26 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 21 de diciembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 22 de diciembre de 2016. **HORA:** 08:00 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, Turbidez, sólidos suspendidos totales, color.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 3
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,4
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	2929
OXIGENO DISUELTO	mg/L	4,3
DBO ₅	mg/L	450
DQO	mg/L	631
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	80
COLOR	UPtCo	430
TURBIEDAD	NTU	29



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

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Sistema Piloto *Pennisetum purpureum* **PUNTO:** Punto 4

TOMADA POR: Liceth Ruedas **HORA:** 16:30 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 21 de diciembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 22 de diciembre de 2016. **HORA:** 08:00 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, Turbidez, sólidos suspendidos totales, color.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 4
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,5
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	3334
OXIGENO DISUELTO	mg/L	5,6
DBO ₅	mg/L	210
DQO	mg/L	414
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	130
COLOR	UPtCo	583
TURBIEDAD	NTU	33



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

Apéndice B. Caracterización de los lixiviados del relleno sanitario las Bateas

	INFORME DE RESULTADOS Y DE MUESTREO (Acreditado según Resolución 1089 de 01/06/2016)		
	CÓDIGO: MA-11-F-16	VERSIÓN: 1	

Compuestos Fenólicos	µg compuesto/L	< 0,00021	Análisis y Reporte
AOX - Compuestos Orgánicos Halogenados Absorbibles	mg/L	< 0,15	Análisis y Reporte

TABLA 9. COMPARACIÓN CON EL DECRETO 1076 DE 2015, TÍTULO 6 – RESIDUOS PELIGROSOS ANEXO 3 PISCINA DE LIXIVIADOS No. 3 (18-jul-2016)

Parámetro	Unidades	Piscina de lixiviados No. 3	Nivel máximo permisible en el lixiviado mg/L
		Punto 14	
pH	(Unid de pH)	6,8	N.E
Oxígeno disuelto - OD	(mgO ₂ /L°C)	1,72	N.E
Conductividad eléctrica	µs/cm/25,0°C	9,72	N.E
Temperatura agua	(°C)	32,6	N.E
Cadmio Total	mg de Cd/L	0,009	1,0
Cromo Total	mg de Cr/L	0,28	5,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO ₅	mg O ₂ /L	763	N.E
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg O ₂ /L	1600	N.E
Mercurio	mg Hg/L	0,013	0,2
Plomo Total	mg de Pb/L	0,35	5,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	120	N.E

N.E: No Especificado

TABLA 10. COMPARACIÓN CON EL DECRETO 1076 DE 2015, TÍTULO 6 – RESIDUOS PELIGROSOS ANEXO 3 PISCINA DE LIXIVIADOS No. 2 (18-jul-2016)

Parámetro	Unidades	Piscina de lixiviados No. 2	Nivel máximo permisible en el lixiviado mg/L
		Punto 15	
pH	(Unid de pH)	7,32	N.E
Oxígeno disuelto - OD	(mgO ₂ /L°C)	9,99	N.E
Conductividad eléctrica	µs/cm/25,0°C	12,38	N.E
Temperatura agua	(°C)	31,3	N.E
Cadmio Total	mg de Cd/L	0,009	1,0
Cromo Total	mg de Cr/L	0,28	5,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO ₅	mg O ₂ /L	1190	N.E
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg O ₂ /L	1770	N.E
Mercurio	mg Hg/L	0,004	0,2
Plomo Total	mg de Pb/L	0,34	5,0

 INGELAB <small>INGENIERÍA Y GESTIÓN DE SISTEMAS AMBIENTALES</small>	INFORME DE RESULTADOS Y DE MUESTREO (Acreditado según Resolución 1089 de 01/06/2016)		 IDEAM <small>Instituto de Estudios Ambientales</small>
	CÓDIGO: MA-11-F-16	VERSIÓN: 1	

Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	69	N.E
-----------------------------	------	----	-----

N.E: No Especificado

TABLA 11. COMPARACIÓN CON EL DECRETO 1076 DE 2015, TITULO 6 – RESIDUOS PELIGROSOS ANEXO 3 – PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1 (18-jul-2016)

Parámetro	Unidades	Piscina de lixiviados No. 1	
		Punto 16	Nivel máximo permisible en el lixiviado mg/L
pH	(Unid de pH)	7,85	N.E
Oxígeno disuelto - OD	(mgO ₂ /L/°C)	18,46	N.E
Conductividad eléctrica	µs/cm/25,0°C	7,02	N.E
Temperatura agua	(°C)	32,6	N.E
Cadmio Total	mg de Cd/L	0,010	1,0
Cromo Total	mg de Cr/L	0,36	5,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO ₅	mg O ₂ /L	274	N.E
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg O ₂ /L	723	N.E
Mercurio	mg Hg/L	<0,004	0,2
Plomo Total	mg de Pb/L	0,35	5,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	133	N.E

N.E: No Especificado

Apéndice C. Registro fotográfico



Las especies *H. Psittacorum* y *P. purpureum* sembradas en el vivero del relleno sanitario las Bateas.



Sustrato utilizado en el sistema piloto (Grava, granito y Arena gruesa).



Construcción y funcionamiento del sistema piloto.



Toma de las muestras antes y después del proceso.



Análisis de las muestras de lixiviados en el laboratorio.



Recirculación en las piscinas de lixiviados.



Aspersión en las celdas antiguas.