

**IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL Y POZO DE ABSORCIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LAS BATERÍAS
SANITARIAS EN UNA FINCA DE LA VEREDA SANTA MARÍA DEL MUNICIPIO
DE TIMBIO CAUCA**



**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
AUTÓNOMA
DEL CAUCA**

**LUIS CARLOS DAZA PACHECO
ANDRES CAMILO CANACUAN CEBALLOS**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
2017**

**IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL Y POZO DE ABSORCIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LAS BATERÍAS
SANITARIAS EN UNA FINCA DE LA VEREDA SANTA MARÍA DEL MUNICIPIO
DE TIMBIO CAUCA**



LUIS CARLO DAZA PACHECO

ANDRES CAMILO CANACUAN CEBALLOS

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Ambientales y Sanitarios

**Director:
INGENIERA
AURA LUZ MOLANO**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “Implementar Un Sistema De Tanque Séptico, Humedal De Flujo Subsuperficial Horizontal Y Pozo De Absorción Para El Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas De Las Baterías Sanitarias En Una Finca De La Vereda Santa María Del Municipio De Timbio Cauca”. Una vez revisado el escrito final y aprobado la sustentación del mismo, lo autorizan para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Firma del Director de Trabajo de Grado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico en primera instancia a mis padres, que con su esfuerzo, dedicación y trabajo duro, me brindaron la oportunidad de cumplir este sueño.

En segundo lugar, se lo dedico a mis hermanas y a mi sobrino por un apoyo incondicional, por sus consejos oportunos que me motivaron a seguir luchando para alcanzar este objetivo.

En tercer lugar dedico este trabajo a mi prometida por acompañarme muchos años en este arduo proceso siendo una de las motivaciones más grandes para salir adelante día a día.

Luis Carlos Daza Pacheco

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo, a mis padres Luis Carlos y Raquel Eugenia por su apoyo incondicional, unos grandes amigos en los que puedo confiar, gracias por creer en mis capacidades. Agradezco de antemano sus enseñanzas, su sacrificio y los valores inculcados, por enseñarme el valor de tener una familia y construir un hogar basado en amor, respeto y esfuerzo, por hacer de cuatro paredes un santuario de paz, por poner mano dura cuando mi vida se desviaba del camino correcto.

Agradezco a mi tía Paulina por ser una madre quien me ha acompañado y ha estado a mi lado desde el día de mi nacimiento hasta hoy, sin esperar nada a cambio, tan solo verme feliz, gracias por esos consejos, regaños, apoyo y por mostrarme los colores de la vida.

Quiero agradecer a mis hermanas Isabel y Victoria, a mi sobrino Juan Esteban, quienes me brindaron su apoyo incondicional y la motivación necesaria para seguir en la lucha.

Agradezco a mi prometida Daniela y mi niña Isabella por ser la motivación más grande para levantarme con actitud a afrontar día a día los obstáculos que la vida me impuso durante este arduo proceso, les agradezco por ser el motor que mueve mi vida, por llenarme de su amor, cariño, comprensión y hermosos momentos que hemos vivido a lo largo de estos años.

A mi Primo Arquitecto Julián Gómez quien ha sido más que un primo, mi hermano quien con su comprensión, paciencia, calidez, buenos consejos y respaldo, me ha enseñado a nunca rendirme, a luchar todos los días y a ser un buen profesional.

Agradezco a los propietarios de la finca Villa Lucia, Hermes Idrobo y Liliana Pacheco por darnos un voto de confianza para la realización de este trabajo.

A mis compañeros de clase por darme su apoyo y tenderme la mano cuando lo necesite, por brindarme su amistad y experiencias que solo se vivirán una vez en

la vida, resaltando a mi compañeros Fabio Daza y Andrés Canacuan, amigos incondicionales que gracias a su compañerismo fue posible la culminación de este trabajo.

A los docentes que me han acompañado en este proceso y que me han guiado durante todos estos años, que más que un docentes fueron amigos en los que podía confiar, tales con el Ingeniero Ronald Cerón, Ingeniera Aura Molano (Directora), Ingeniero Diego Pinto, Biólogo Arnold Arias, Ingeniero Decano Juan Pablo Prado.

Luis Carlos Daza Pacheco

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar siempre conmigo en los momentos que más lo necesite, por iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a personas que fueron un soporte durante toda mi carrera.

A mis padres salomón Canacuan y Martha Isabel Ceballos por sus consejos, comprensión, su amor, por la ayuda en momentos difíciles de mi vida y por el gran apoyo que me brindaron para culminar mi carrera, tanto moral como económicamente. Ellos me han inculcado todos los valores para crecer como persona de bien, me aclararon cuales eran mis objetivos y mis metas a futuro, mil gracias.

A mis tías maría rosario Canacuan y Blanca Ligia Canacuan por sus lindos ánimos que me brindaron día a día. Así mismo agradecerle infinitamente a mi querida abuela por haberme sacado adelante en mi infancia con mucho esfuerzo y dedicación, un abrazo para ella.

Agradezco a mis hermanos y primos que de una u otra manera, colocaron un granito de arena durante el transcurso de mi vida estudiantil.

A mis amigos que logre hacer durante toda mi carrera, con los cuales nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, a mi compañero de tesis Luis Carlos daza a quien admiro por sus esfuerzos para el logro de su carrera y de este proyecto.

Andrés camilo Canacuan Ceballos

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por acompañarme y bendecirme durante toda mi etapa universitaria, agradezco infinitamente a toda mi familia por el gran apoyo incondicional, sus consejos, su amor y sobre todo la paciencia absoluta, ellos estuvieron a mi lado durante todo el transcurso de este largo camino

También quiero dar las gracias especialmente a la ingeniera: Aura Luz Molano, por su gran apoyo y motivación para la culminación de mi estudio profesional y para la elaboración de esta tesis.

Agradecimientos sinceros al ingeniero: Ronald Cerón por brindarme un gran apoyo incondicional.

A la corporación universitaria autónoma del Cauca y su facultad de ciencias ambientales y desarrollo sostenible y a todo el cuerpo de docentes que me brindaron sus conocimientos, por su tiempo compartido, sus enseñanzas, motivaciones, dedicación y por impulsarme a mi formación profesional.

Finalmente a todos mis compañeros y amigos que de una u otra forma marcaron una gran amistad en la etapa de nuestro camino profesional.

Andrés camilo Canacuan Ceballos

CONTENIDO

RESUMEN	16
ABSTRAC.....	17
INTRODUCCION	18
CAPITULO I: PROBLEMA	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	19
1.2 JUSTIFICACION	21
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	22
2. CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL.....	23
2.1 ANTECEDENTES.	23
2.2 BASES TEORICAS.	25
2.2.1 AGUAS RESIDUALES.....	25
2.2.2 TANQUE SEPTICO.....	26
2.2.3 HUMEDALES CONSTRUIDOS	27
2.2.4 PLANTAS UTILIZADAS.....	30
2.2.5 VEGETACION ESTUDIADA.....	30
2.2.6 LECHO FILTRANTE.....	31
2.2.7 MICROORGANISMOS.....	32
2.2.8 DEPURACION DE HUMEADLES ARTIFICIALES.....	32
2.2.9 POZO DE ABSORCION.	34
2.2.10 NORMATIVIDAD.	35
3. CAPITULO III: METODOLOGIA.....	36
3.1 LOCALIZACION.....	36
3.2 FASE I: ESTUDIO DE TERRENO.....	37
3.2.1 ESTUDIO TOPOGRAFICO.....	37

3.3.2 ESTUDIO DE INFILTRACION.....	37
3.3. FASE 2: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA	28
3.3.1 DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO.....	28
3.3.1.1 METODO DE DISEÑO	39
3.3.1.2 CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO.....	40
3.3.2 DISEÑO DEL HUMEDAL DE FSH.....	41
3.3.2.1 CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL HFSH.....	42
3.3.2.2 RECOLECAT Y SIEMBRA DE PLANTA.....	46
3.3.3. DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION.....	47
3.3.3.1 METODO DE DISEÑO.....	48
3.3.3.2 CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION.....	49
3.4. FASE 3: EVALUCACION DEL SISTEMA.....	50
3.4.1 VARIABLE REPUETA.....	50
3.4.2 ANALISIS ESTADISTICO.....	51
4. CAPITULO IV: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS	52
4.1. FASE 1: ESTUDIO DEL TERRENO.....	52
4.1.1 ESTUDIO TOPOGRAFICO	52
4.1.2 ETSUDIO DE INFILTRACION.....	53
4.2. FASE 2: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA.....	53
4.2.1 DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO.....	53
4.2.2. DISEÑO DEL HFSH.....	55
4.2.3 DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION.....	58
4.3. FASE 3: EVALUACION DEL SISTEMA.....	59
4.3.1 PRES DE LA VARIABLES FISICOQUIMICAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	59
4.3.2 EFICIENCIA DE REMOCION.....	60
4.3.2.1 DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO (DBO).....	60
4.3.1.2 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).....	63

4.3.2.3 SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	66
4.4 COMPORTAMIENTO DEL CYPERUS PAPYRUS.....	71
4.5 PRESUPUESTO DE OBRA.....	72
5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 CONCLUSIONES.....	76
5.2 RECOMENDACIONES.	77
BIBLIOGRAFIA.	78
ANEXOS	84

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N°1. ZONA DE ESTUDIO.....	36
FIGURA N° 2. CULTIVO DE CAFÉ FINCA VILLA LUCIA.....	37
FIGURA N° 3 CONSTRUCCION DEL TANQUE SEPTICO.....	41
FIGURA N° 4. CONTRUCCION DE HUMEDAL.....	46
FIGURA N° 5. SIEMBRA DE PLANTAS.....	47
FIGURA N° 6. CONSTRUCCION DEL POZO DE ABSORCION.....	49
FIGURA N° 7. MUESTRAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA.....	51
FIGURA N° 8. ESTUDIO TOPOGRAFICO.....	53
FIGURA N° 9. HINSTALACIONES HIDRAULICAS DEL TANQUE SEPTICO.....	55
FIGURA N° 10. AVANCE DEL HUMEDAL.....	57
FIGURA N° 11. POZO DE ABSORCION TERMINADO.....	58

INDICE DE GRAFICAS

	Pág.
GRAFICA N° 1. COMPORTAMIENTO DE DBO ENTRADA Y SALIDA.....	61
GRAFICA N° 2. COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE DBO.....	63
GRAFICA N° 3. COMPORTAMIENTO DE DQO ENTRADA Y SALIDA.....	65
GRAFICA N° 4. COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE DQO.....	66
GRAFICA N° 5. COMPORTAMIENTO DE SST ENTRADA Y SALIDA.....	68
GRAFICA N° 6. COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE SST.....	69
GRAFICA N° 7. PROMEDIO DEL PORCENTAJES DE REMOCION VARIABLES.....	71

INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 1. ESPECIES MAS UTILIZADAS PARA AGUEAS RESIDUALES.	30
TABLA N° 2. PROCESOS DE DEPURACION DE A.R. DOMESTICAS CON HUMEDALES.....	33
TABLA N° 3. POROSIDAD DEL TERRENO SEGÚN LA TAZA DE INFILTRACION.....	38
TABLA N° 4. CALCULO DE DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO	40
TABLA N° 5. DOTACION POR HABITANTE SEGÚN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD.....	43
TABLA N° 6. DIMENSIONAMIENTO DEL HFSH.....	44
TABLA N° 7. CALCULO PARA EL DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION.....	49
TABLA N° 8. CALCULO PARA EL DIEÑO DEL TANQUE SEPTICO.....	54
TABLA N° 9. MUESTRAS DBO DE ENTRADA AL SISTEMA.....	56
TABLA N° 10, DIMENIONAMIENTO DEL HFSH.....	56
TABLA N° 11. DIMENSIONAMIENTO DEL POZO DE ABSORCION... ..	58
TABLA N° 12. VARIABLES FISICOQUIMICA ENTRADA AL SISTEMA	59
TABLA N° 13. DATOS ESTADISTICOS PARA DBO ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA	60
TABLA N° 14. DATOS ESTADISTICOS PARA DQO ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA.....	64
TABLA N° 15. DATOS ESTADISTICOS PARA SST ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA.....	67
TABLA N° 16. PRESUPUESTO DE OBRA.....	72
TABLA N° 17. PRESUPUESTO DE OBRA DEL SISTEMA IMPLEMENTADO EN LA UNAM.....	73

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO N° 1. PLANO DEL PROYECTO.....	84
ANEXO N° 2. VISTA EN PLANTA Y PERFIL DEL TANQUE SEPTICO.....	85
ANEXO N° 3. VISTA EN PLANTA Y PERFIL DEL HUMEDAL.....	85
ANEXO N° 4. VISTA EN PLANTA Y PERFIL POZO DE ABSORCION.....	86
ANEXO N° 5. PRUEBA FISICOQUIMICA DE ENTRADA.....	87
ANEXO N° 6. PRUEBA FISICOQUIMICA DE SALIDA.....	87
ANEXO N° 7. CONSTRUCCION DEL POZO DE ABSORCION.....	88
ANEXO N° 8. CONSTRUCCION DEL TANQUE SEPTICO.....	89
ANEXO N° 9. CONSTRUCCION DEL HUMEDAL.....	90

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en diseñar, construir y evaluar un tratamiento para las aguas residuales domésticas de una finca agrícola, en este caso la finca Villa Lucia que se encuentra ubicada en la vereda Santa María, Municipio de Timbio Cauca, dicha finca tenía un pozo séptico convencional y se necesitaba cambiar este sistema, la razón fue la ampliación de su terreno predestinado para la agricultura. Teniendo en cuenta el bajo presupuesto de obra, es necesario un sistema de fácil construcción, operación y mantenimiento.

Por esta razón se implementó un sistema experimental capaz de dar solución a esta problemática, este consiste en tres pasos o elementos que se complementan formando un sistema capaz de reducir la materia orgánica. El tratamiento consiste en un tanque séptico de dos cámaras, la primera cámara permite la sedimentación de sólidos, la segunda cámara evita turbulencias y almacena el agua contaminada lista para pasar al humedal de flujo subsuperficial.

El humedal recibe el agua contaminada y por medio de varios procesos como filtración y biodegradación, efectúa la depuración de la materia orgánica y descontamina el agua para pasar al tercer tratamiento.

El último tratamiento es un pozo de absorción, el cual recibe el agua ya descontaminada del humedal y la infiltra uniformemente en el terreno, ya que el agua no se va a reutilizar, el pozo realiza un filtrado más al agua por medio de sus paredes hechas en concreto y ladrillo con juntas abiertas.

Con este sistema se pretende dar buena eficiencia para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que es de fácil operación y mantenimiento, lo que hace bajar aún más los costos, este es uno de los objetivos planteados en este estudio.

Palabra Clave: Agua Residual, tanque séptico, humedal, vegetación, biodegradación, filtración, depuración, materia orgánica, absorción.

ABSTRAC

The objective of this research was to design, construct and evaluate a treatment for the wastewater of an agricultural property, in this case the property Villa Lucia that is located in the village Santa Maria, Municipality of Timbio Cauca, said farm had a well Conventional septic and need to change this primitive system, the reason was the expansion of its predestined land for agriculture. Taking into account low budgets of work and an efficient system with easy operation and maintenance was needed.

For this reason, the system is an experimental system capable of solving this problem, this is an element that is complemented by a system capable of reducing organic matter. The treatment is in a two-chamber septic tank, which allows the sedimentation of solids in its first chamber and in the second chamber of contaminated water, ready to pass the subsequent treatment that is the surface flow wetland.

The wetland receives the polluted water and means of several processes such as filtration and biodegradation, purifies the organic matter and discards the water to pass third treatment.

The last treatment is an absorption well, which receives decontaminated water from the wetland and infiltrates it evenly into the soil, further filtering the water through its walls.

This system is intended for good efficiency for wastewater treatment and is easy to operate and maintain, which makes the costs even more one of the objectives set out in this study.

Keywords: Wastewater, septic tank, wetland, vegetation, biodegradation, filtration, purification, organic matter, absorption.

INTRODUCCION

En Colombia se generan más de 4.5 millones de m³ mensuales de aguas residuales en actividades domésticas, agropecuarias e industriales [45].

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2010, en Colombia, cerca del 90% de estas aguas son vertidas directamente a los ríos y el 6% a los suelos sin ningún tipo de tratamiento, convirtiéndose así en la principal fuente de contaminación. En el Departamento del Cauca existen 111 PTAR, de ellas tan solo 25 se encuentran en funcionamiento [3]. La situación se pone cada vez más delicada, en la zona rural es mucho más complicado el tratamiento de agua residual ya que no cuentan con alcantarillado municipal como es el caso de la Vereda Santa María del municipio de Timbio Cauca, donde cada propietario debe hacerse cargo de su agua residual doméstica. La Finca Villa Lucia, lugar donde se ejecutó el proyecto, es una finca cafetera con ansia de ampliar su terreno, actualmente con 3 hectáreas y con posibilidad de ampliación a 4 hectáreas para aprovechamiento agrícola donde se vieron en la necesidad de tratar sus aguas residuales domésticas. Se implementó un sistema experimental que tiene la capacidad de remover la materia orgánica del agua y así poder infiltrarla al terreno sin efectos adversos al medio ambiente.

El sistema consiste en 3 tratamientos que al juntarlos tiene la capacidad de tratar el agua eficientemente y a un costo módico de construcción y operación. Este se conectara a los baños que cuentan con un servicio completo donde se incluye dos inodoros, dos duchas, dos lavamanos y un orinal, se tratará el agua en 3 pasos. El primer paso es un tanque séptico, que ayudara a sedimentar la materia orgánica y solo enviar agua al siguiente paso, el segundo es un humedal de flujo subsuperficial horizontal en el cual ocurre la filtración y Fitoremediación con *Cyperus Papyrus*, estas plantas ayudan a descontaminar el agua para enviarla al último paso. El último tratamiento es un pozo de absorción, el cual filtra un poco más el agua ya que tiene un revestimiento en concreto y ladrillo con conjunta abiertas y alrededor una cama de piedra para facilitar el filtrado mientras se infiltra en el terreno.

Con este tratamiento se busca descontaminar el agua e infiltrarla en el terreno sin efectos adversos.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestra era la contaminación que ha creado el ser humano es ilimitada, la contaminación a los suelos y fuentes hídricas por vertimientos se ha convertido en una de las problemáticas ambientales más alarmantes en Colombia. En la actualidad las aguas residuales sin tratamiento son responsables del 80% de la mortalidad en los países en vía de desarrollo, esta situación se encuentra muy relacionada con deficientes coberturas de los sistemas de alcantarillado municipal en las zonas rurales, además el inadecuado tratamiento y disposición final de las aguas residuales incrementan esta problemática, teniendo en cuenta que en el país la infraestructura disponible en materia de tratamiento de aguas residuales tiene únicamente un cubrimiento efectivo del 8% de la población. [17], [18].

La clave para evitar gran parte de la contaminación es la depuración adecuada de las aguas residuales domésticas, urbanas y rurales, esta es una labor ardua ya que el incremento poblacional hace que cada vez sea más difícil el control de sus aguas servidas.

En algunos lugares se hace el tratamiento de las aguas residuales domesticas pero no es técnicamente viable, generando problemas ambientales, de salud y jurídicos. Tenemos el caso de España denunciado por Bruselas ante la justicia europea por no garantizar un adecuado tratamiento a las aguas residuales de los municipios de Cataluña, Galicia y Andalucía [1]. La misma situación se presenta en la Ciudad de Bogotá la PTAR El Salitre se encarga de captar las aguas residuales que generan 2,2 millones de habitantes, hoy en día se tratan $4m^3/s$ de agua y remueve solo el 40% de la materia orgánica y el 60% de SST, razón por la

cual ha sido muy criticada ya que devuelve al río Bogotá el agua prácticamente sin tratar causando así una grave contaminación hídrica. [2]

En el Departamento del Cauca existen 111 PTAR, de ellas tan solo 25 se encuentran en funcionamiento, las demás desde su construcción dejaron de operar, en municipios como el Patía se encuentran 10 de las cuales dos operan bien y una en regular estado [3].

La zona rural se ve más afectada, como es el caso de la vereda de Santa María municipio de Timbio Cauca, que cuenta con 670 habitantes [24] y una densa producción agrícola, es en este lugar donde se ubica la finca Villa Lucía en la que se llevara a cabo este proyecto, ya que el mal manejo de las aguas residuales domésticas podría afectar los terrenos predestinados para la agricultura.

Así, surge la necesidad de implementar un sistema de bajo presupuesto y que la capacidad de tratar las aguas residuales domésticas con eficiencia para ser devueltas al medio en mejores condiciones higiénicas y dar un producto de alta calidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Una de las problemáticas que más aquejan a la población de la Vereda Santa María del Municipio de Timbio Cauca, es el manejo integral y ecológico de las aguas residuales domesticas ya que predomina la agricultura como sustento diario de los habitantes y es necesario realizar un tratamiento para que dichas aguas no lleguen a contaminar los cultivos, por tal razón el interés de la ingeniería es ayudar a contribuir con alternativas ecológicas para la depuración y tratamiento de aguas residuales domesticas que imiten fenómenos naturales y se descontamine el agua sin efectos nocivos al medio ambiente. El sistema de humedales construidos cada día son más utilizados ya que presentan efluentes de buena calidad, además viabilidad económica en construcción, operación y mantenimiento [15]. Las nuevas tecnologías para intentar solucionar esta problemática debe tener en cuenta la sostenibilidad del medio ambiente, en este orden de ideas los humedales son una gran opción como tratamiento secundario o terciario según el diseño o las necesidades que se tengan, estos sistemas emulan procesos que se dan naturalmente con la capacidad de devolver efluentes aptos para verter o reutilizar. [16]

En el caso de la finca Villa Lucia se diseñó un sistema de acuerdo a la necesidad del propietario, teniendo en cuenta el aprovechamiento del suelo para uso agrícola (café), se debe hacer un tratamiento adecuado a las aguas residuales domesticas para evitar la contaminación a las plantas de café, el sistema que se implementó consiste en 3 pasos, como pre tratamiento un tanque séptico, tratamiento secundario humedal de flujo subsuperficial horizontal y terciario un pozo de absorción. Con la combinación de estos tratamientos se obtiene un sistema capaz de minimizar la contaminación de los suelos para el aprovechamiento agrícola.

Los beneficios que trae la ejecución del proyecto aparte del tratamiento de las aguas residuales, es la minimización de vectores (roedores, malos olores, etc.), ya que el tratamiento es subterráneo, así se protege la integridad de los 9 habitantes, entre los cuales hay 3 niños y 6 adultos, se garantizan suelos aptos para cualquier tipo de cultivo teniendo en cuenta que se utilizaba un pozo séptico convencional y

se buscaba cambiar este método debido a la contaminación de los suelos y fuentes hídricas subterráneas, brindando así una mejor calidad de vida, tanto a los propietarios de la finca como a sus cultivos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar, construir y evaluar un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas de las baterías sanitarias de una finca ubicada en la Vereda Santa María del Municipio de Timbio Cauca.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos (DBO, DQO SST) a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Estudiar el comportamiento y adaptabilidad del *Cyperus Papyrus* en humedales construidos para tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Valorar la viabilidad económica de este sistema para implementar en zonas rurales de escasos recursos.

2. CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES

Las primera investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales con humedales se realizó en el Instituto Max Planck de Plön, en Alemania dirigido por la Doctora Seidel en el año 1952 [30]. Los humedales se construyeron específicamente para el tratamiento de aguas residuales y el primero que se construyó entró en funcionamiento en el año 1974 en Othofresen [31], desde esta fecha en países europeos y estados unidos se empezó a experimentar a escala piloto [22]. En la actualidad se ha expandido en países de América Latina y Asia ya que se han dado excelentes resultados en cuanto a remoción de varios contaminantes [32].

Los humedales se diseñaron para el tratamiento de aguas residuales domésticas, pero en la actualidad sus usos varían, como en la depuración de drenajes en minas, los tratamientos de escorrentía pluvial, urbana y agrícola, el tratamiento de lodos y lixiviados de rellenos sanitarios [33].

En México debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos y la falta de mantenimiento, solo el 36% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. Los humedales artificiales son una alternativa para un debido tratamiento, gracias a su alto contenido de remoción de contaminantes. Un sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial. En el primero se integraron organismos de especies *Phragmites Australys*, en el segundo se instaló *Typha Dominguensis* y en el tercero se instalaron las dos especies. Los módulos fueron instalados a la salida de un tratamiento primario, el cual contiene las aguas residuales de un edificio. En el agua se analizaron los siguientes parámetros (DQO), los iones de nitrógeno (N-NO₃, N-NO₂ y N-NH₄). También se realizó el conteo de bacterias asociadas de la carga orgánica. Los resultados demostraron que el sistema es una opción para la remoción de la carga

orgánica del sistema se comportó de la siguiente manera. La DQO presento una mayor remoción durante la temporada de estiaje (90.2% en temporada de lluvias). En el tercer módulo la descomposición de la materia orgánica es mayor debido a la descomposición de la misma por las biopelículas microbianas formadas sobre el tezontle y por la presencia de las dos especies de plantas instaladas en este módulo. Con respecto al fósforo los resultados indicaron una baja eficiencia del sistema, la remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de los humedales artificiales no es muy eficaz debido al poco contacto entre el agua residual y el terreno. [46]

Estudios realizados de los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal mediante sus plantas tienen impacto significativo en la eficiencia de la remoción de DQO por el transporte de oxígeno, favoreciendo un medio aerobio [34]. Para los humedales construidos se han estudiado varias clases de plantas pero las que más se adaptan son las que están acostumbradas a medios inundados [35], como la espadaña (*T. latifolia*), papiro (*Cyperus Papyrus*), Juncos (*Juncus effuses*), caña (*Phragmites australis*). Teniendo en cuenta que cada una de estas plantas tienen pros y contras según el tipo de aguas residuales que se va a tratar, pueden reducir las concentraciones de oxígeno debido a la insuficiencia de intercambio de gases en la superficie, esto puede disminuir la oxidación biológica y bajar la depuración de materia orgánica [31].

Los humedales se constituyen en principal tecnología para el tratamiento del agua, teniendo en cuenta la acumulación de sustancias tóxicas en las plantas y la transformación de compuestos por sus propiedades biológicas, se están empleando especies como el papiro (*Cyperus Papyrus*) para estudiar su potencial fitoremediador, y los resultados han sido prometedores, su capacidad de eliminación de DBO, DQO y SST, por encima del 70 % de remoción sin detrimento de sus propiedades fisiológicas [36]

2.2. BASES TEORICAS.

El tratamiento de aguas residuales ha sido un reto para la ingeniería, ya que es uno de los focos de contaminación ambiental más comunes, teniendo en cuenta que el crecimiento poblacional es exponencial. En la zona rural es una problemática a la que se le debe dar solución por la presencia de casos de deterioro de la salud humana por aguas residuales domésticas en la agricultura, un estudio realizado por la División de Salud y Ambiente OPS-OMS, se ha demostrado que la presencia de bacterias y parásitos en los productos agrícolas está relacionada con la calidad microbiológica de las aguas de riego. [11]

Por tal razón se han creado alternativas para la depuración y el tratamiento de aguas residuales doméstica en la zona rural con sistemas que emplean 3 etapas, la primera de sedimentación, el segundo, un tratamiento biológico y por último infiltración en el terreno, en este caso se utilizará como pretratamiento un pozo séptico por su eficiencia en la sedimentación de excretas. [10]

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. [50]

Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Las aguas residuales se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. [46]

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. [50]

2.2.2. Tanque Séptico.

El tanque séptico es el sistema de pretratamiento convencionalmente más utilizado en el mundo, es un dispositivo en forma de cajón que tiene los siguientes beneficios:

- Separar sólidos de la parte líquida.
- Proveer digestión a la materia orgánica.
- Almacenar los sedimentos.
- Permitir la descarga de líquido clarificado para un próximo tratamiento.

Los sólidos se sedimentan en el fondo y en la parte superior se acumulan las grasas y aceites, el líquido clarificado pasa al siguiente tratamiento por una tubería que se localiza por debajo de la capa de grasas y aceites. Los sólidos que se

acumulan en el fondo deben retirarse después de un tiempo, hay tanques que necesitan limpieza cada 5 años. El efluente que es solo líquido sale del tanque y se dirige al siguiente tratamiento, que en este caso es el humedal de flujo subsuperficial horizontal. [10]

Ventajas y desventajas de la construcción de un pozo séptico

- Ventajas
 - Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, parques y moteles.
 - Limpieza no frecuente.
 - Tiene un bajo costo de construcción y operación.
 - Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.
- Desventajas
 - Uso limitado para un máximo de 350 habitantes.
 - También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.
 - Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío).[8]

Para la construcción del tanque séptico se utilizarán las especificaciones según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. [21]. En tanque séptico, se tendrán en cuenta unas variables básicas como la pendiente del terreno, el caudal y tiempo de retención hidráulica.

2.2.3. Humedales Construidos

La siguiente etapa del proceso es el humedal, los mecanismos que utilizan son:

Sedimentación de SS, filtración y precipitación química, adsorción e intercambio iónico, transformación de contaminantes, biodegradación por medio de microorganismos y muerte natural de patógenos [9], en este se usan plantas y un

medio granular por el que pasa el agua y se dan diferentes procesos biológicos, físicos y químicos para retener los contaminantes. [8]

Los humedales se clasifican en:

- Humedal de flujo superficial
 - El agua está expuesta a la atmosfera
 - Circula a través de tallos y hojas de las plantas
 - Profundidad de lámina de aguas de 0,3 a 0,4m
 - Presencia de plantas

- Ventajas
 - Proporcionan la incorporación de hábitat de vida silvestre y oportunidades para la recreación pública.
 - La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención.

- Desventajas
 - Presencia de malos olores
 - Presencia de vectores.
 - Agua en contacto con la superficie
 - Gran necesidad de terreno, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno.
 - El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y se acumulan con el tiempo.
 - En climas fríos en el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación.

- Humedal de flujo subsuperficial
 - La circulación de agua es de tipo subterráneo
 - Circula a través de un medio granular
 - Contacto con las raíces y rizomas de las plantas.

- Profundidad de la lámina de agua de 0,3 a 0,9m
 - Biopelícula crece adherida al medio granular y las raíces y rizomas de las plantas.
- Ventajas
 - El agua no se expone en la superficie.
 - Carencia de malos olores
 - Carencia de vectores.
 - La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención.
 - También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.
 - Desventajas
 - El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
 - La mayoría del agua contenida en los humedales de flujo superficial es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco.[13]

Para este estudio se ha escogido el humedal de flujo subsuperficial como opción viable por sus características operacionales ya que el agua circula a través del medio granular, se realizará en arena gruesa, arena y grava media teniendo en cuenta que cada una de estas características tiene un tamaño en mm, porosidad y conductividad hidráulica 1000, 5000 m/d respectivamente [8], y sus ventajas en construcción según Carlos Días en su estudio “*Tratamiento de aguas residuales a través de humedales*”.

2.2.4. Plantas utilizadas

La función de las plantas en los humedales está básicamente determinada por sus rizomas. Son organismos autótrofos es decir convierten el carbono inorgánico en orgánico, transfieren oxígeno desde la atmósfera por medio de sus hojas hasta las raíces, gracias a esta función se crean en sus raíces zonas aerobias donde microorganismos utilizan el oxígeno para producir la degradación de materia orgánica. [19]

En la tabla 1, se muestran las especies de plantas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales con humedales.

Tabla 1. Especies Más Utilizadas Para tratamiento de Aguas Residuales

Especies	Nombre Hispánico	Nombre Científico	Penetración de raíces (cm)	Tasa de Transferencia de O ₂ (g/m ² -d)	N. plantas por m ²
Reed	Cañamo	Pragmites sp	60 – 76	4.8	2.4
Bulrush	Papiro	Cyperus Papyrus	76	5.7	2.4
Rushes	Junco	Juncus sp	30	ND	ND
Cattails	Tifácea	Typha sp	30	2.1	ND
Bamboo	Guadua	Bambusa sp	100 – 200	ND	ND
Bamboo	Bambulina	Dendrocalamus sp	30 – 40	ND	ND

Fuente: M. Peña 2003

2.2.5. Vegetación Estudiada

Para este proyecto la planta a utilizar es *Cyperus Papyrus*, comúnmente denominada Papiro ya que según M. Peña, M. Ginneken, C. Madera en su estudio “Humedal de Flujo subsuperficial: Una alternativa natural para el tratamiento de aguas domesticas en zonas tropicales” se ajusta a las necesidades de terreno, clima y estructura del humedal, teniendo en cuenta penetración del rizoma entre 70 y 76 cm en vertical favoreciendo la tasa de transferencia de O₂ que es de 5,7 g/m²-d, y un número de plantas de 2 a 4 por cada metro. [5]

Estas plantas presentan la ventaja de que tienen un bajo valor alimenticio y, por tanto, no se ven atacadas por animales como otros tipos de plantas. Además resiste rangos de pH bajos, por tal motivo constituyo el criterio principal para la selección de la vegetación de este estudio [14]

2.2.6. Lecho filtrante

Como es debido en los humedales, el sustrato está formado por arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico.

Una de las principales funciones de los humedales, es que deben tener una retención hidráulica suficiente para así poder permitir el paso de agua a través de este, lo cual obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente una grava seleccionada lo cual su diámetro debe ser pequeño.

Los restos de vegetación en los humedales artificiales son muy importantes ya que tiene varias razones [18].

- El soporte de microorganismos en el humedal es elevado
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal
- Muchos de los cambios biológicos y microbianos tienen lugar dentro del sustrato
- Sirve de almacenamiento para el depósito de muchos contaminantes
- Cuando se acumulan restos de vegetación en el humedal, esto hace que aumente la cantidad de materia orgánica [18].

Nota: la materia orgánica es la que da el intercambio de materia, fija microorganismos y es una buena fuente de carbono, que está a la vez actúa como una fuente vital de energía para algunos microorganismos biológicos en el humedal [14].

2.2.7. Microorganismos

En el humedal de flujo subsuperficial los microorganismos tienen la función de realizar el tratamiento biológico. En la parte superior del humedal, donde hay presencia de oxígeno que ha sido liberado por las raíces de las plantas, es en ese sector donde se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y la desinfección [19].

Los principales microorganismos presentes son: 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 alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad del proceso del humedal. Así mismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera [17].

2.2.8 Depuración en un Humedal Artificial

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS), y nitrógeno, así como niveles significativos de metales y patógenos. La eliminación de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual doméstica con el suelo. Los mecanismos básicos de tratamiento son tamizados, sedimentación, precipitación química, adsorción y degradación microbiológica de la DBO y del nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación [20].

En la tabla 2 se presentan los procesos para de depuración de aguas residuales domésticas por humedales.

Tabla 2. Procesos de depuración de aguas residuales domesticas con humedales

Contaminantes	Depuración
Solidos suspendidos	Sedimentación Filtración
Materia Orgánica	Degradación aerobia Degradación anaerobia
Patógenos	Sedimentación Filtración Muerte Natural
Fósforo	Adsorción por el lecho Asimilación por las plantas
Metales	Asimilación por plantas Intercambio iónico
Nitrógeno	Filtración microbiana y desinfección

Fuente: J. Mena (2006)

Los humedales de flujo subsuperficial son sistemas con alta eficiencia en remoción de materia orgánica, según el estudio realizado en la Universidad Libre de Colombia en el que se evaluó a escala piloto un tipo de humedal con flujo subsuperficial. Este estudio consistió en que se construyeron 2 humedales a escala banco en acrílico transparente, uno de ellos plantado con especies típicas de los humedales naturales de la Ciudad de Bogotá y una unidad control sin ninguna plantación, se evaluaron durante 2 meses para determinar la disminución de materia orgánica, SST, P y N, entre otros parámetros fisicoquímicos. Los resultados fueron que en realidad la diferencia entre los parámetros físicos determinados para el humedal con y sin plantas no fueron tan significativos, pero si hubo gran significancia para la disminución de materia orgánica teniendo un 60% de remoción, en el caso del N amoniacal se llegó a remociones hasta del 90%, algo más que se observó fue que el contacto del agua con la superficie del humedal permite el intercambio de gases aumentando el OD [9].

Como se pudo evidenciar en el artículo anterior es muy importante tener en cuenta algunos parámetros de diseño convencionales como los estipulados en un estudio realizado en la University of Life, en la Ciudad de Kostelec nad Cernymi Lesy, Republica Checa en el que se diseñan y construyen 2 humedales uno de flujo subsuperficial horizontal y otro de flujo subsuperficial vertical.

El humedal de flujo subsuperficial horizontal se diseñó con unas tasas de carga de DBO_5 que van desde 20 mg/L a 30 mg/L y SST que van desde 20 mg/L a 30 mg/L, para la degradación microbiana se tuvo en cuenta que la concentración de oxígeno disuelto en los lechos de filtración es muy limitada, los SS se eliminan por filtración y sedimentación por lo tanto la eficacia es muy alta. [6]

Los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domesticas son reactores biológicos y se podría estimar su rendimiento mediante una cinética de primer orden de flujo pistón para la remoción de DBO_5 y N, según el estudio realizado en la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana México, en el que se diseñaron y construyeron humedales de flujo subsuperficial escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domesticas que se vierten al rio Tecate, basándose en el TRH, velocidad de carga superficial y estimar las eficiencias de remoción de materia orgánica biodegradable (DBO_5) y N por medio de la ecuación de reactores flujo pistón. Las concentraciones anuales en promedio del rio son durante 2003 y 2004 de DBO_5 86 mg/L, DQO 195 mg/L, N 40,3 mg/L y SS 124 mg/L. Estos parámetros fueron evaluados aguas debajo de la descarga de la PTAR. [7]

2.2.9. Pozo de Absorción

El tercer y último tratamiento es el pozo de absorción, este consiste en un pozo cubierto de forma circular cuyas paredes se revisten en ladrillo dejando aberturas entre ellos y pegando en seco, permitiendo a través de sus paredes la infiltración de agua proveniente del humedal. [10]

Ventajas y desventajas de pozo de absorción

- Ventajas
 - Evita que un terreno se sature de agua en la superficie
 - Fácil construcción y mantenimiento
 - Ocupa poco espacio
 - Filtra por última vez el líquido proveniente del humedal para garantizar un mejor tratamiento.
 - Infiltra el agua uniformemente en el terreno evitando estancamiento.
- Desventajas
 - Necesita grandes excavaciones de terreno.
 - Si el agua proveniente está muy contaminada es posible que se contaminen los suelos ya que el pozo solo hace una filtración muy sencilla con material como ladrillo y piedra. [10]

Combinando estos tres tratamientos obtenemos un sistema eficiente para el tratamiento de aguas residuales domesticas teniendo en cuenta que cada uno tiene características diferentes como sedimentación, Fitoremediación, filtración e infiltración en el terreno.

2.2.10. Normatividad

- Reglamento RAS 2000 TITULO E: Reglamentos técnico de diseño para unidades de tratamiento no mecanizados para sistemas de aguas residuales. El presente título incluye generalidades, caracterización de aguas residuales, sistemas de tratamiento.
- Reglamento RAS 2000 TITULO B: El propósito de este capítulo es fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos y limites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto.
- Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015: Resolución por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisible en los vertimientos puntales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

3. CAPITULO III: METODOLOGIA

Para la ejecución de este proyecto fue necesario desarrollarlo en 3 fases siguiendo una secuencia lógica, la primera fase fue el estudio del terreno, la segunda diseño y construcción del sistema y la tercera Evaluación del Sistema.

3.1. LOCALIZACION

Este proyecto se llevó a cabo en la finca Villa Lucia, ubicada en la vereda Santa María, Municipio de Timbió-Cauca. A 29° 20' Norte y a 29° 35' Oeste respecto del meridiano de Bogotá. [11] Al norte limita con el Municipio de Popayán en una extensión de 10 km, al sur con el Municipio de Rosas en un perímetro de 6 km, por el oriente con el Municipio de Sotará en una longitud de 15 km y al occidente con el Municipio del Tambo en una extensión de 20 km, con 1850 m.s.n.m. [11] [12].

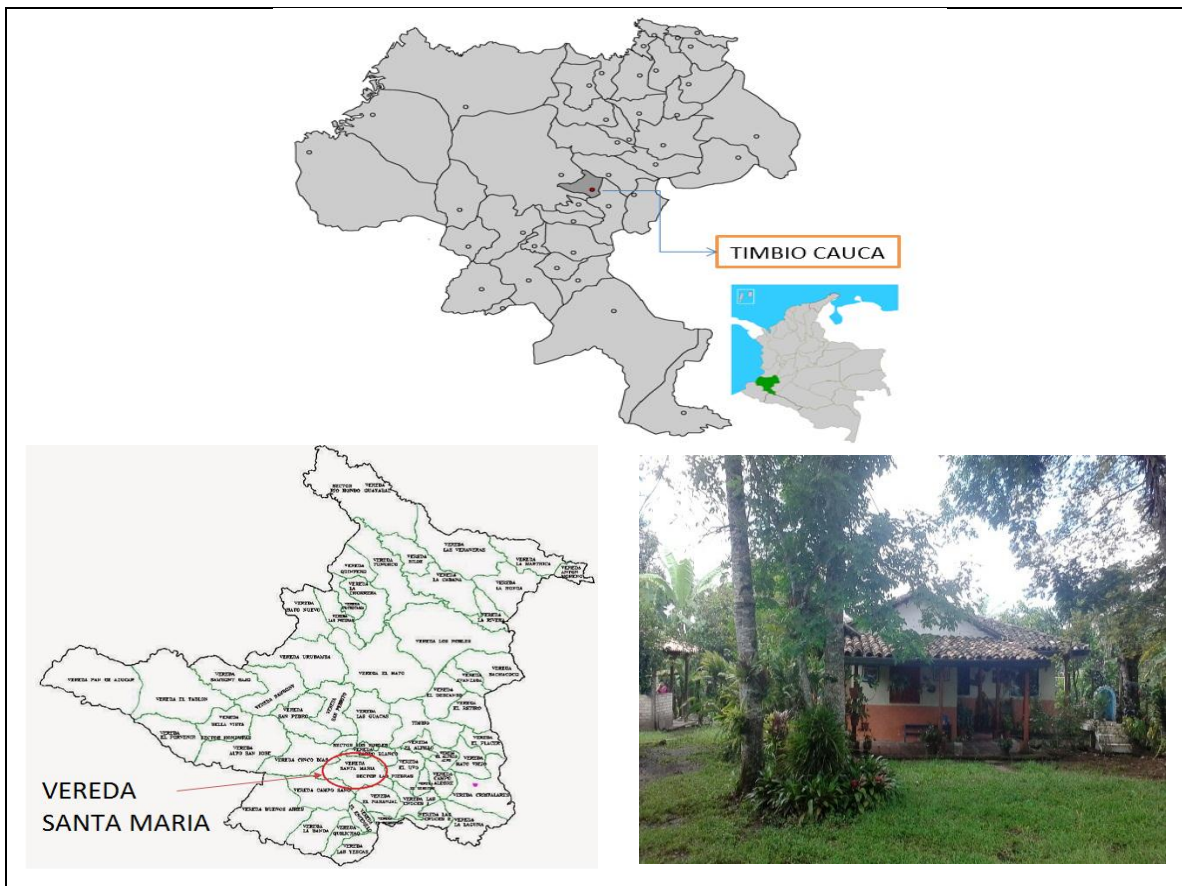


Figura 1. Zona de Estudio

Fuente: Alcaldía de Timbio Cauca

La Finca Villa Lucia, está ubicada en la vereda Santa María, Municipio de Timbio-Cauca, la temperatura del lugar es aproximadamente 20°C, es una finca familiar dedicada a la actividad cafetera, donde cuentan con aproximadamente 3050 plantas de café.



Figura 2. Cultivos de Café finca Villa Lucia

A continuación se presentan las tres fases necesarias para dar cumplimiento a los objetivos planteados para este proyecto.

3.2. FASE 1: ESTUDIO DEL TERRENO

3.2.1. Estudio Topográfico: El estudio planimétrico y altimétrico se realizó con la estación total que permite conocer la pendiente apta para la construcción del sistema, teniendo como referencia la cota batea de la tubería de salida de la caja de inspección donde convergen las descargas de los baños, así se instaló la tubería que conecta la caja de inspección con el tanque séptico a una pendiente del 2%.

3.2.2. Estudio de infiltración: En primer lugar se realizó un estudio de infiltración en el terreno, donde se va a construir el pozo de absorción, para verificar si el suelo es apto para este proceso. [28] El estudio consiste en realizar un hueco de 30 cm³ en la parte donde se construyó el pozo de absorción, luego se llenó con agua hasta el fondo de manera que se sature durante un lapso de 1 hora, cuando

ya se haya culminado la hora, cronometrar el tiempo en el que se demorar en drenar 2,5 cm. Por último se verificó este dato en la tabla 3. [28]

Tabla 3. Porosidades del terreno según la tasa de filtración

Tasa de infiltración (Tiempo requerido para que el agua baje 2,5 cm en min)	Porosidad del Terreno Absorción	Tipo de suelo
1 o menos 2 3	Absorción Rápida	Arena gruesa o grava
4 5	Absorción Media	Arena fina Franco Arenoso
10 15 30 (a)	Absorción Lenta	Franco arcilloso
45 50 60 (b)	Terreno semipermeable	Arcilla Compacta

(a) Inapropiado para pozos de absorción si sobrepasa de 30 min/2,5cm.

(b) Terreno inapropiado para tratamientos que utilicen el suelo como medio de absorción, cuando la tasa de filtración es mayor de 60min/2,5cm.

Fuente: Revista empresas públicas de Medellín 2013.

3.3. FASE 2: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA

3.3.1 DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO

Para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la finca Villa Lucia, se diseñó como pre-tratamiento, un tanque séptico convencional de 2 baffles que retendrá los sólidos en el primer baffle y en el segundo baffle retendrá agua para evitar turbulencia al pasar al siguiente tratamiento.

Para dimensionar el tanque séptico se trabajó con un método muy apropiado para el diseño de tanques sépticos que lo estipula el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 título E [27].

3.3.1.1 Método de diseño:

1. Zona de grasa: El volumen de las grasas es el 40% del volumen de los lodos según la RAS 2000
2. Zona de Sedimentación: El volumen de sedimentación se expresa con la ecuación numero 1:

$$Q * TRH \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

- Q = Caudal
 - TRH = Tiempo de retención hidráulica
3. Zona de Digestión: A mayor Temperatura, mayor tiempo de digestión, expresada en la ecuación

$$T_{digestion} = 30 * 1,035^{35-T} \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

- T = Temperatura

$$Vol\ Digestion = 0,5 \frac{L}{ha - dia} * Numero\ de\ Personas * T_{digestion}$$

4. Volumen de Lodos: El volumen de lodos se expresa en la ecuación numero 3:

$$V = \gamma * n * P \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

- γ = Tasa de producción de lodos $\gamma = Pd^n$
- $n \leq 5$ años $60 \frac{L}{per.dia}$
- $n > 5$ años $40 \frac{L}{per.dia}$
- P = Años de limpieza

3.3.1.2. CALCULO PARA EL DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO

La tabla 4 muestra el procedimiento para el diseño del tanque séptico convencional de dos cámaras.

Tabla 4. Cálculos de diseño del tanque séptico

	Formula
Volumen de Lodos	$V = \gamma * n * P$
TRH	$1.5 - 0.3 * \text{Log}(\text{hab} * \frac{L}{\text{hab.dia}})$
V Sedimentación	$Q * TRH$
T Digestión	$30 * 1.035^{35-22}$
V Digestión	$0,5 \frac{L}{\text{ha} - \text{dia}} * N \text{ Per} * T \text{ dig}$
Área superficial	$\frac{Vt}{\text{Profundidad}}$
Ancho-Largo	Relación 2: 1
H Altura lodo	$\frac{V \text{ lodos}}{As}$

Fuente: Elaboración Propia

La construcción del tanque séptico se puede evidenciar en la figura 3.

El tanque séptico se construyó en ladrillo y concreto, con concreto pulido en el interior, contara con 2 baffles y el muro que los separa se construyó en ladrillo y concreto con un codo de 90° y 4" de diámetro en el medio que facilita el transporte de agua de un baffle al otro y 2 tapas en concreto reforzado con hierro. La parte hidráulica se realizara con tubería en PVC de 4" de diámetro y codos de 90°, ver anexo 10.



Figura 3. Construcción del Tanque Séptico.

3.3.2. DISEÑO DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

Para el diseño del humedal de flujo subsuperficial horizontal se trabajó con uno de los métodos más apropiados en el diseño de humedales construidos que se denomina “modelo P-K-C*”, ya que existen varias formas de diseñarlos, pero algunas son para grandes poblaciones y los datos darían errados [22].

Se trata de un modelo de primer orden, muy reconocido como una de las metodologías más avanzadas en la simulación del funcionamiento de los humedales de flujo subsuperficial [22].

Los modelos k-C* y P-k-C*, propuestos por Kadlec y Knight y Kadlec y Wallace, se basan en un modelo de primer orden, principalmente desarrollado para el cálculo del tamaño de los humedales construidos de flujo subsuperficial, conceptualmente, este método es un modelo que asume el flujo del sistema como un reactor de flujo a pistón (modelo K-C*), en donde el tiempo medio de permanencia de las partículas que entran al humedal es el mismo. La combinación de este y un sistema de un número aparente de tanques en serie (TIS) (modelo P-K-C*), donde los tiempos de retención y la distribución de los valores de la constante cinética de

transformación del contaminante (K) son cambiantes con el tiempo. Este último surge como la actualización del modelo K-C* debido al comportamiento indefinido de los humedales construidos en diferentes partes del mundo [22].

La ecuación 4 muestra el modelo matemático que representa al método P-k-C*, utilizado para el diseño del humedal, en función de variables que pueden ser suministradas con análisis simples, excepto la concentración de fondo (C*) y la constante cinética k. La concentración de fondo es dependiente de la concentración de entrada del contaminante, mientras que la constante k, puede ser determinada a través de estudios o por informe de la literatura consultada. [22].

$$A = \frac{\left[\left(\frac{C_i - C^*}{C - C^*} \right)^{\frac{1}{P}} - 1 \right] P * Q}{K} \quad \text{Ecuacion 4}$$

Donde:

- A = Área superficial m²
- C = Concentración de salida mg/L
- C_i = Concentración de entrada mg/L
- C* = Concentración de fondo del Humedal mg/L
- P = Numero aparente de tanques en serie
- K = Constante cinética de primer orden m/d
- Q = Caudal de agua m³/día

3.3.2.1. CALCULOS PARA EL DISEÑO DE HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

Para el cálculo de caudal máximo que entra al sistema se utilizó datos proporcionados por el reglamento de agua potable y saneamiento básico RAS título B, literal 2.5.2 donde se halla la dotación neta de agua consumida por habiente en un día según el nivel de complejidad del sistema.

En la Tabla 5, se encuentran la dotación neta de agua consumida por habitante*día según el nivel de complejidad y clima de la zona de estudio.

Tabla 5. Dotación por habitante según el nivel de complejidad

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab.día)	Dotación Neta (L/hab.día)
	Climas Templado y Frio	Clima Cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: RAS 2000 título B

El nivel de complejidad del sistema es bajo ya que es un sistema para tratamiento de aguas residuales domiciliarias para 8 habitantes, la zona de estudio tiene un clima templado en promedio 20°C, según el RAS la dotación por persona.día es de 90 L/hab.día por 8 habitantes de la finca, redondeando a 9 habitantes por sugerencia de RAS 2000 para que el sistema no se colmate. La ecuación 5 representa la Dotación Neta de entrada al sistema en L/hab.día:

$$DN = 90 \frac{L}{hab.día} * 9 hab = 810 \frac{L}{día} * \frac{1m^3}{1000L} = 0.81 \frac{m^3}{día} \quad \text{Ecuacion 5}$$

$$Q = 0.81 \frac{m^3}{día}$$

La carga de entrada de DBO al humedal es de acuerdo al resultado de las 3 muestras que se tomaron previamente en el pozo séptico de la finca Villa Lucia, donde se perforó la tapa del pozo y se sacaron 3 muestras para enviarlas al laboratorio del Acueducto y Alcantarillado De Popayán para su análisis.

Después de obtener los análisis de las 3 muestras de laboratorio se procedió a dimensionar el humedal, teniendo en cuenta la DBO de entrada al sistema que se muestra en la Ecuación 6:

$$DBO = \frac{\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}}{3} = \frac{DBO_{mg}}{L} \quad \text{Ecuacion 6}$$

Según el reglamento RAS 2000 el tanque séptico tiene una remoción de DBO entre 20% y 25%, por lo tanto a la DBO de la ecuación 6 se le resta el 25% quedando así como concentración de entrada 202,5mg/L

De acuerdo con Kadlec y Wallace, para un Sistema súper (cargas de entrada > 200mg/l) se tienen las siguientes variables, Concentración de fondo $C^*=20\text{mg/l}$

$$N=243$$

$$K=30\text{yr}^{-1} = 0.082\text{d}^{-1}$$

En la tabla 6, se presentan los cálculos de dimensionamiento del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal

Tabla 6. Dimensionamiento del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal

	Formula
Área Superficial	$A_s = \frac{\left[\left(\frac{C_i - C^*}{C - C^*} \right)^{\frac{1}{P}} - 1 \right] P * Q}{K}$
Ancho: Largo	Relación 2:1
Carga de Entrada	$C_e * Q$
Carga Superficial	$\frac{C_e}{A_s}$
Carga Transversal	$\frac{C_e}{\text{Ancho} * h}$

Fuente: Elaboración Propia

Para la construcción del humedal se asume flujo continuo, donde se utilizó en la entrada y en la salida tubería tipo flauta para garantizar una distribución

homogénea del flujo, a la cual se le realizó orificios de $\frac{1}{2}$ ", con una separación recomendada de 5 cm entre cada uno de ellos [25].

Las instalaciones hidráulicas del sistema se construyeron en tubería PVC de 4" de diámetro.

El medio de soporte que se utilizó arena gruesa en el fondo, arena en el medio y por último grava media, para facilitar el filtrado y la adherencia de la biopelículas teniendo en cuenta que cada una de estas características tiene un tamaño en mm, porosidad y conductividad hidráulica 1000, 1500 y 5000 m/d respectivamente, teniendo en cuenta que la capa de grava es de 0.8 m. [14]

Para impermeabilizar el terreno donde se instaló el humedal, se utilizó una geomembrana de polietileno lisa de densidad alta calibre 40, con esta se garantiza que no se presenten filtraciones al suelo. Ver figura 4.

Se decidió una relación largo-ancho de 2:1 ya que el régimen hidráulico y la resistencia al flujo es menor a otras relaciones como 10:1, que tiene el inconveniente de que se desborde por el incremento de la resistencia al flujo por causa de la acumulación de residuos de vegetación [14].



Figura 4. Construcción de humedal

El cálculo de la retención hidráulica se realizó con la ecuación 7:

$$t = \frac{LWyn}{Q} = 2.37 \text{ días Ecuación 7} \quad [26]$$

Donde:

- L = Largo de la celda del humedal m
- W = Ancho de la celda del humedal m
- y = Profundidad de la celda del humedal m
- n = porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través de humedal. La porosidad es un porcentaje expresado como decimal.
- Q = Caudal medio a través del humedal m³/d

3.3.2.2. Recolecta y Siembra de las Plantas

La especie utilizada para esta investigación fue *Cyperus Papyrus* (papiro), esta especie se seleccionó por su alta adaptabilidad a las condiciones climatológicas adversas presentadas en zona de estudio, se desarrolla en medios con abundante agua y suelos contaminados. [5]

Las plantas se recolectaron en un humedal natural ubicado en la sede Norte del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) de la ciudad de Popayán que amablemente cedieron las plantas para esta investigación, se cortaron tallos de 10 cm, así se garantiza un mejor crecimiento y evolución de la planta [5], se escogen según el color y grueso de tallo ya que entre más gruesas y verdes las plantas, son más resistente [5]. Las plantas se transportaron en bolsas plásticas con agua para evitar el daño al rizoma, se dejaron una semana en contenedores con agua para provocar estrés y así favorecer la adaptabilidad.

Las plantas se sembraron con una densidad de 9 plantas por m², obteniendo 18 plantas en total. En la figura 5 se observa la estación y siembra de las plantas.



Figura 5. Siembra de Plantas

3.3.3. DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION

El Pozo de absorción es el último tratamiento que se escogió como mejor opción para el tratamiento de agua residual domesticas de la finca Villa Lucia ya que recibe el agua del humedal, ayuda a filtrarla aún más y a infiltrarla en el terreno ya que se necesitaría más estudios para poderla reutilizar. Para la construcción de

pozo de absorción hay que tener en cuenta que todos los terrenos no son aptos para este tratamiento, por esta razón previamente se debe hacer un estudio de filtración. El tiempo que se demoró en drenar 2,5 cm en una hora fue de 3min, según la tabla 3, la porosidad del terreno es de absorción rápida y presenta características de arena gruesa y grava, aptas para construcción de pozos de absorción.

Para el dimensionamiento del pozo de absorción se utilizó un método muy común y fácil para diseñar pozos de absorción en zonas rurales según la Revista de empresas pública de Medellín. [28]

3.3.3.1. Método de diseño

1. Tasa de infiltración: Es el tiempo que tarda el agua en infiltrarse 2.5 cm, en un hueco de 30cm³, después de ser saturado varias veces.
2. Área de absorción requerida por persona: 1.30m³
3. Diámetro: 1.50m adoptado
4. Área de Absorción requerida en m²: El área de absorción se expresa en la ecuación 9:

$$A = \pi * D * h \quad \text{Ecuacion 9}$$

Donde:

- A = Área requerida
- D = Diámetro
- h = Profundidad

3.3.3.2. CALCULO PARA EL DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION

En la tabla 7 se muestra el procedimiento para el diseño de pozos de absorción.

Tabla 7. Calculo para diseño de pozo de absorción

	Formula
Taza de infiltración	$\frac{Tiempo}{2.5\text{ cm}}$
Área de absorción	$N\text{ per} * A\text{ requerida. Per}$
Profundidad h	$\frac{A}{\pi * D}$

Fuente: Elaboración propia

El pozo de absorción se construyó en ladrillo y concreto con juntas abiertas para facilitar la filtración, una tapa de concreto reforzado con hierro se realizó una cama en grava gruesa y piedra, tanto en el fondo como a los lados, entre la estructura y la excavación. La parte hidráulica se realizará en tubería PVC de 4" de diámetro. En la figura 6 se muestra la construcción del pozo de absorción.



Figura 6. Construcción del Pozo de Absorción.

3.4. FASE 3: EVALUACION DEL SISTEMA

3.4.1. VARIABLE REPUESTA

Las variables fisicoquímicas que se analizaron fueron seleccionadas de acuerdo a las características más relevantes de las aguas residuales, como lo son los parámetros DBO, DQO y SST, establecido en la resolución 0631 del 2015 de MINAMBIENTE “Por lo cual 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.” [29] En este caso se encuentra dentro del sector de aguas residuales de uso doméstico establecidas en esta resolución 0631 de 2015

Se tomaron 3 muestras puntuales a la entrada y 3 a la salida del sistema, con una intensidad de muestreo de una muestra por semana a la misma hora, se recolectaron en embaces de plástico de un litro y se refrigeraron al instante en un contenedor a 4°C para evitar datos erróneos.

Las muestras de entrada fueron enviadas al laboratorio del acueducto y alcantarillado del municipio de Popayán y las de salida se enviaron al laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) donde se analizan bajo la misma metodología. La figura 7 evidencia la muestra 2 de entrada del sistema y la muestra 1 de salida del sistema.



Figura 7 Muestras de entrada y salida del sistema

3.4.2. ANALISIS ESTADISTICO

La unidad experimental de esta investigación es el sistema de tratamiento de aguas residuales doméstica que consta de tanque séptico, humedal de flujo subsuperficial horizontal y pozo de absorción, implementado en la finca Villa Lucia, donde las variables de respuesta fueron DBO, DQO, SST, las planta utilizadas para la evaluación de este sistema fue el *Cyperuss Papyrus*.

El experimento realizado fue de medidas repetidas, es decir se tomaron varias muestras a cada parámetro analizado (3 muestras de entrada, 3 muestras de salida), ya que esto permite examinar y comparar las tendencias en el tiempo de las respuestas del comportamiento de cada variable en el sistema. [29]

Para las variables respuesta del sistema se realizó un análisis estadístico descriptivo y exploratorio sencillo donde se calculó el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de asimetría, la mediana y el coeficiente de variación,

mediante Microsoft office Excel 2015. No se hace necesario hacer pruebas estadísticas rigurosas, debido a que las diferencias entre la entrada y la salida del sistema de las diferentes variables analizadas son significativas, además como la unidad experimental es un solo sistema, no se hace necesario hacer pruebas de T ni de varianza. [18]

4. CAPITULO IV: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Este proyecto se llevó a cabo en tres fases según la metodología planteada dando cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos. A continuación se dará a conocer los resultados obtenidos.

4.1. FASE I: ESTUDIO DEL TERRENO

4.1.1. Estudio Topográfico: El estudio planimétrico y altimétrico ayudo a conocer la pendiente apta para la construcción del sistema, georeferenciado por medio de un GPS con una orientación Norte 749650,018 y Este 1041770,373, una elevación de 1824,546 msnm, teniendo como referencia DELTA cota batea de la tubería de salida de la caja de inspección donde convergen las descargas de los baños, así se instaló la tubería que conecta la caja de inspección con el tanque séptico a una pendiente del 2%. Ver figura 8

Las curvas de nivel están separadas 2m una de la otra en sentido norte, con una pendiente del 2% sobre el punto de referencia (DELTA cota batea), dando como resultado una pendiente apta en las tuberías y garantiza el arrastre de sedimentos. Ver anexo 1 plano del levantamiento topográfico.



Figura 8 Estudio Topográfico

4.1.2. Estudio de Infiltración: Se cronometro el tiempo, dando como resultado 3min para drenar 2,5 cm, esto indica que la porosidad del terreno es de absorción rápida y presenta características de arena gruesa y grava, este resultado es positivo para el proyecto ya que el terreno es apto para implementación de pozos de absorción. [28]

4.2. FASE 2: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA

4.2.1. DISEÑO DEL TANQUE SEPTICO.

El diseño del tanque séptico se realizó según el método estipulado por la RAS 2000 donde el Área superficial = $2,75m^2$, el ancho = 1,17m y Largo 2.40m la tabla 8 muestra los resultados del procedimiento.

Tabla 8. Cálculos de diseño del tanque séptico

	Formula	Resultado
Volumen de Lodos	$V = \gamma * n * P$	$1.8m^2$
TRH	$1.5 - 0.3 * \text{Log}(\text{hab} * \frac{L}{\text{hab. dia}})$	14.7 hora
V Sedimentación	$Q * TRH$	$0.55m^3$
T Digestión	$30 * 1.035^{35-22}$	46.9 dias
V Digestión	$0,5 \frac{L}{\text{ha} - \text{dia}} * N \text{ Per} * T \text{ dig}$	$0.23 m^3$
Área superficial	$\frac{Vt}{\text{Profundidad}}$	$2.75 m^2$
Ancho-Largo	Relación 2: 1	$\text{Ancho} = 1.17m$ $\text{Largo} = 2.40m$
H Altura lodo	$\frac{V \text{ lodos}}{As}$	$0.65m$

Fuente: Elaboración propia

La tubería se conecta desde la caja de inspección ubicada a un costado de la casa, con un diámetro de 4", una longitud horizontal de 7m y una pendiente de 2% tomando como referencia la cota batea de la tubería de salida de la caja de inspección, ver anexo.8

Se utilizó tubería en PVC con accesorios como codos de 90° diámetro 4", tee diámetro 4" En la figura 9 se observa la instalación hidráulica del tanque séptico dando servicio a los baños. Ver anexo 2 vista en planta y perfil de tanque séptico.



Figura 9 Instalación Hidráulica del Tanque Séptico

4.2.2. DISEÑO DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

El caudal se calculó con ayuda de la dotación neta encontrada en la RAS 2000 que dicta para poblaciones con clima templado y nivel de complejidad bajo 90 L/hab.día reemplazando en la ecuación 5

$$DN = 90 \frac{L}{hab. dia} * 9 hab = 810 \frac{L}{dia} * \frac{1m^3}{1000L} = 0.81 \frac{m^3}{dia} \quad Ecuacion 5$$

$$Q = 0.81 \frac{m^3}{dia}$$

El Caudal con el que se trabajó es de 0,81 m³/día.

La carga de entrada de DBO al humedal es de acuerdo al resultado del análisis de las muestras de entrada al sistema, la tabla 9 se muestran la carga de DBO de entrada al sistema.

Tabla 9. Muestras de DBO de Entrada

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
254.48 mg/L	270.00 mg/L	284.28 mg/L

Los resultados de DBO de las muestras se promedian para obtener un solo resultado como lo muestra la ecuación 6.

$$\begin{aligned}
 DBO &= \frac{254.48 \text{ mg/L} + 270.00 \text{ mg/L} + 284.28 \text{ mg/L}}{3} \\
 &= \frac{270,00 \text{ mg}}{L} \quad \text{Ecuacion 6}
 \end{aligned}$$

El tanque séptico tiene una remoción de DBO de 25%, como la concentración total de DBO es de 270.00 mg/L, se le quita el 25% de remoción del tanque séptico quedando así como concentración de entrada concentración de entrada = 202,5 mg/L, de acuerdo a Kadlec y Wallace la concentración de fondo es de = 20mg/l, N=243, K= 0,082d⁻¹. Con estos dato se dimensionó el humedal, teniendo como Área Superficial = 2,81 m², Ancho = 1,20m y Largo 2,40m, la tabla 10 muestra los cálculos de dimensionamiento del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal.

Tabla 10. Dimensionamiento del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal

	Formula	Resultado
Área Superficial	$A_s = \frac{\left[\left(\frac{C_i - C^*}{C - C^*} \right)^{\frac{1}{P}} - 1 \right] P * Q}{K}$	$A_s = 2.81 \text{ m}^2$
Ancho: Largo	Relación 2:1	$Ancho = 1.20 \text{ m}$ $Largo = 2.40 \text{ m}$
Carga de Entrada	$C_e * Q$	$202.5 \frac{\text{mg}}{L} * 0.81 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 164.02 \frac{\text{g}}{\text{dia}}$
Carga Superficial	$\frac{C_e}{A_s}$	$\frac{164.02 \text{ g/dia}}{2.81 \text{ m}^2} = 58.37 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$

Carga Transversal	$\frac{Ce}{Ancho * h}$	$\frac{164.02 \frac{g}{dia}}{1.20 m * 0.8} = 170.86 \frac{g}{m^2 \cdot dia}$
-------------------	------------------------	--

Fuente: Elaboración Propia

La retención hidráulica se calculó con la ecuación 8, Reemplazando los datos quedo de la siguiente forma, Ecuación 8:

$$t = \frac{(20m) * (1,20m) * (0,8m) * (1,0)}{0,81 \frac{m^3}{dia}} = 2,37 \text{ dias} \quad \text{Ecuacion 8}$$

La retención hidráulica del humedal es de 2,37 días, en los que se va a realizar el proceso de descontaminación por medio de la biopelícula formada entre el soporte filtrante y el rizoma de las plantas. Ver anexo 9. Teniendo en cuenta que la biopelícula necesita de 3 a 4 meses para formarse totalmente. De acuerdo a los resultados obtenidos se realizó el diseño del humedal. Ver anexo 3. Posteriormente se llevó a cabo la construcción del humedal y 2 meses después de la siembra de las planta se realizó el primer muestreo. Ver figura 10.



Figura 10 Avance del humedal

4.2.3. DISEÑO DEL POZO DE ABSORCION

El diseño del pozo de absorción se trabajó teniendo en cuenta que se drenaron 2,5 cm en 3 minutos, según la tabla 3, la porosidad del terreno es de absorción rápida y presenta características de arena gruesa y grava. Ver Anexo 4 vista en planta y en perfil del pozo de absorción. A partir del resultado de la prueba de infiltración fue posible el dimensionamiento y construcción del pozo de absorción ya que el terreno tiene características apropiadas. [28] Ver anexo 7.

El pozo de absorción quedó con las siguientes dimensiones: Profundidad = 2,5m y 1,5m de ancho, el procedimiento de diseño se muestra en la tabla 11. En la figura 11 se muestra el pozo de absorción operando.



Figura 11. Pozo de absorción terminado

Tabla 11. Dimensionamiento del Pozo de Absorción.

	Formula	Resultado
Taza de infiltración	$\frac{\text{Tiempo}}{2.5 \text{ cm}}$	$\frac{3 \text{ min}}{2.5 \text{ cm}}$ Absorción rápida
Área de absorción	$N \text{ per} * A \text{ requerida. Per}$	11.7 m ²
Profundidad h	$\frac{A}{\pi * D}$	2.5m

Fuente: Elaboración Propia

4.3. FASE 3: EVALUACION DEL SISTEMA

Una vez puesta en operación el sistema y realizados los muestreos necesarios se procedió a la medición y análisis de las variables fisicoquímicas, obteniendo los siguientes resultados.

4.3.1. Presentación de variables fisicoquímicas de Entrada y Salida del Sistema

La tabla 12 muestra las variables fisicoquímicas de entrada y salida del sistema con su respectivo valor, al final los niveles permisibles según la resolución 0631 de 2015 del MINAMBIENTE.

Tabla 12. Variables fisicoquímicas de entrada y salida del Sistema.

MUESTRAS DE ENTRADA			
VARIABLES FISICOQUÍMICAS			
Muestreos	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
1 Muestra	254.48	450.30	200.10
2 Muestra	270.00	413.40	147.30
3 Muestra	224.28	320.80	150.70
MUESTRAS DE SALIDA			
1 Muestra	34,85	487,00	138,00
2 Muestra	28,70	124,00	70,00
3 Muestra	1,15	136,00	50,01
Valores permisible Resolución 0631/15	90,00	200,00	100,00

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla 12 las variables de entrada son superiores a los niveles permisibles que da la resolución 0631 de 2015 y es evidente que los valores de salida están por debajo de los límites máximos permisibles, esto se debe posiblemente a que el tiempo que se estimó para que la biopelícula se desarrollara es prudente, las plantas se han desarrollado de la forma esperada y

se están esparciendo por el lecho, además esto demuestra que el diseño e implementación del humedal fue el correcto, cumpliendo la función para lo cual fue construido. A continuación se muestra el estudio estadístico y la eficiencia de remoción de cada una de las variables.

4.3.2 EFICIENCIA DE REMOCION

4.3.2.1. Demanda biológica de Oxígeno (DBO)

En la tabla 13 se observa el comportamiento de la DBO a la entrada y a la salida con un porcentaje de remoción promedio del 91,82%, desde el primer muestreo (34,85mg/L), los valores de DBO están por debajo del nivel permisible que da la resolución 0631/15 (90 mg/L). Con esto se evidencia que el sistema está dando resultados positivos para la remoción de este parámetro, es posible que se deba a que la biopelícula ya está formada y los microorganismos están cumpliendo con la degradación de materia orgánica.

Tabla 13. Datos estadísticos para DBO entrada y salida del Sistema.

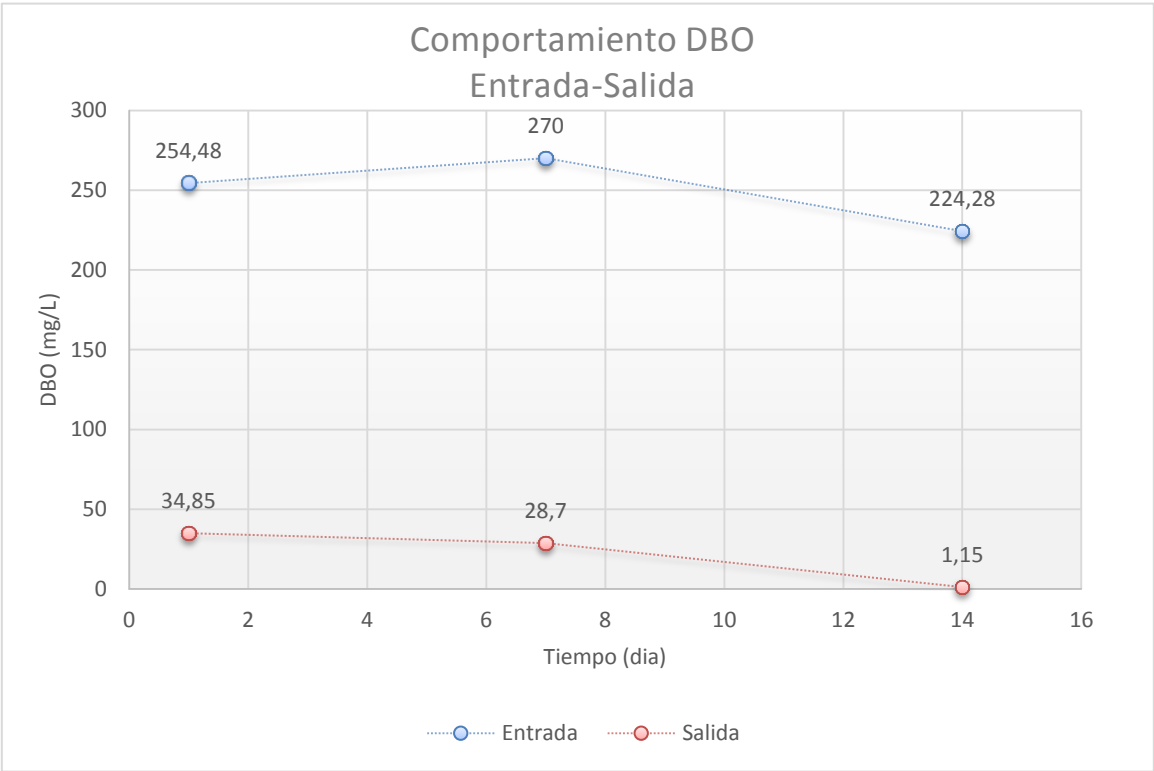
Muestra	DBO		
	Entrada	Salida	Remoción (%)
1	254,48 mg/l	34,85 mg/l	86,30
2	270,00 mg/l	28,70 mg/l	89,37
3	224,28 mg/l	1,15 mg/l	99,80
Promedio	249,58 mg/l	21,56 mg/l	91,82
Desviación Estándar	23,2494	17,9467	7,0764
Coefficiente Asimetría	-0,9051	-1,5060	1,3725
Mediana	254,48	28,70	89,37
Coefficiente de Variación	0,93%	83,21%	0,77
Máximo de Entrada	270,00 mg/l		
Máximo de Salida		34,85 mg/l	
Diferencia de Promedios	228,02 mg/l		

Valor permisible Resolución 0631/15	90,00 mg/l
--	------------

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que tiene un coeficiente de variación de 83,21% en la DBO de salida, lo que indica en este caso que los datos varían significativamente uno del otro con tendencia a disminuir la concentración en el transcurso de los días, en la gráfica 1 se observa claramente el comportamiento de los datos de DBO a la entrada y salida del sistema, al comparar los valores es evidente que la variación en la remoción de DBO con una tendencia a disminuir la concentración.

Gráfica 1. Comportamiento de DBO Entrada y Salida del Sistema.



La eficiencia varía durante cada muestreo indicando una clara tendencia a decaer la concentración de DBO, el tiempo de retención hidráulica es de 2,37 días, lapso en el cual lo microorganismo degradan la materia orgánica cumpliendo su función, la diferencia de remoción entre muestras es alta teniendo un promedio de

remoción de 91,82%, esto indica que el sistema es estable para remoción de DBO, el lecho ayuda a las plantas a filtrar el agua y a formar la Biopelícula con los rizomas, realizando una remoción más profunda de materia orgánica por consiguiente decae la DBO concordando con el estudio realizado por E. Torres, en la base militar de Tolemaida “PTAR Jose Maria Cordoba”, en los que la remoción de DBO llegó a 97,91%, y concluyeron que el rango de remoción está entre 70% y 97%. [37].

En la tabla 13 se observa que el coeficiente de asimetría es negativo, de -1,5, en este caso indica que los datos no son simétricos ya que tienen una diferencia alta uno del otro y tienden a valores mayores de remoción ya que la degradación de materia orgánica ha sido significativa, esto se debe a que microorganismos presentes en la biopelícula adherida a los rizomas de las plantas y al lecho filtrante seguirán removiendo materia orgánica hasta llegar a un tope o saturación. Esto es viable para este proyecto, ya que indica que aumenta el porcentaje de remoción y demuestra la eficiencia del sistema con respecto a la DBO

A continuación la gráfica 2 muestra el comportamiento del porcentaje de remoción de DBO a la salida del sistema, siendo de 91,82%, se esperaba un valor alto ya que se diseñó el humedal en base a la DBO de entrada. La gráfica sigue una línea de tendencia clara a subir, lo que evidencia aún más la función de la biopelícula, las plantas y el lecho filtrante en la remoción de este parámetro.

Grafica 2 Comportamiento del porcentaje de remoción de DBO



R. Pérez menciona que el tratamiento con *Cyperus Papyrus*, es muy favorable para la remoción de DBO, teniendo resultados de 91%, comparándose con el valor obtenido en esta investigación que es de 91,82% en promedio, esto indica el sistema está cumpliendo con su función. [43]

La EPA, 2000 reportó que la remoción de DBO ocurre por efecto de sedimentación y filtración de las partículas en los espacios entre la grava y las raíces. La DBO soluble se elimina mediante la Biopelícula creada por los microorganismos presentes en la grava y los rizomas de las plantas. [38]

La eliminación de Materia orgánica fue viable, ya que se obtuvo excelentes resultados comprobando la robustez del sistema para la remoción de DBO.

4.3.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la tabla 14 se observa el comportamiento de la DQO a la entrada y salida del sistema, con un porcentaje de remoción promedio del 42,55%, es un promedio de remoción bajo, teniendo en cuenta que la muestra 1 excede el valor límite permisible dado por la resolución 0631/15, en la muestra 2 y 3 los valores se

ajustan a los límites máximos permisibles, lo cual puede indicar que el sistema se está estabilizando para la remoción de este parámetro, obteniendo resultados favorables, ya que tiende a incrementar el porcentaje, como se evidencia en el coeficiente de variación, siendo de 82,81%, lo que indica en este caso que los datos varían uno del otro con tendencia a degradar la DQO. La capacidad de remover la DQO se atribuye a la retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos y los microorganismos presentes en el sistema. [49]

Tabla 14. Datos estadísticos para DQO a la entrada y salida del Sistema.

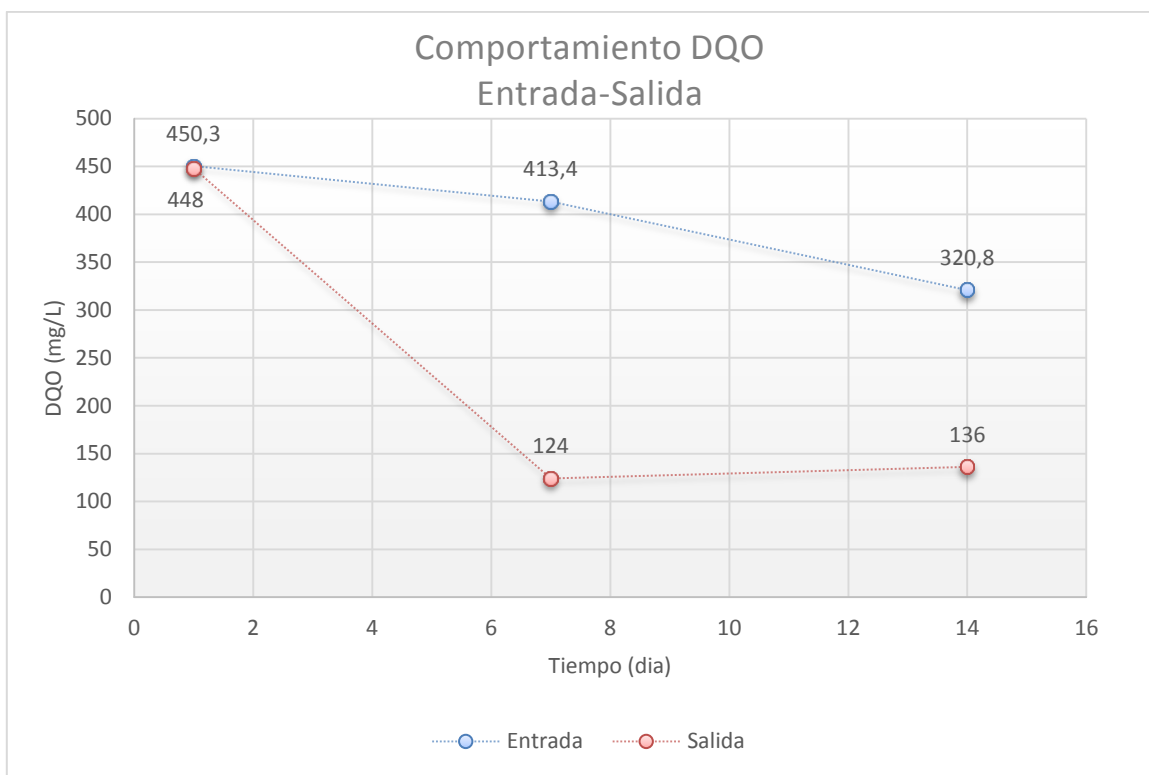
Muestra	DQO		
	Entrada	Salida	Remoción (%)
1	450,30 mg/l	448,00 mg/l	0,051
2	413,40 mg/l	124,00 mg/l	70
3	320,80 mg/l	136,00 mg/l	57,60
Promedio	394,83	249,00	42,55
Desviación Estándar	66,716	206,20	37,324
Coeficiente Asimetría	-1,1553	1,7254	-1,5194
Mediana	413,4	136,0	57,60
Coeficiente de Variación	16,89%	82,81%	87,71
Máximo de Entrada	450,30 mg/l		
Máximo de Salida		448,00 mg/l	
Diferencia de Promedios	2,30 mg/l		
Valor permisible Resolución 0631/15	200,00 mg/l		

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de las concentraciones de DQO son bajos a los reportados por A. Arango en el que se evaluó un humedal de flujo subsuperficial para agua residual domiciliar, que oscila entre 85% y 91%, comparándolo con el promedio de los porcentajes de remoción obtenidos en este proyecto fue de

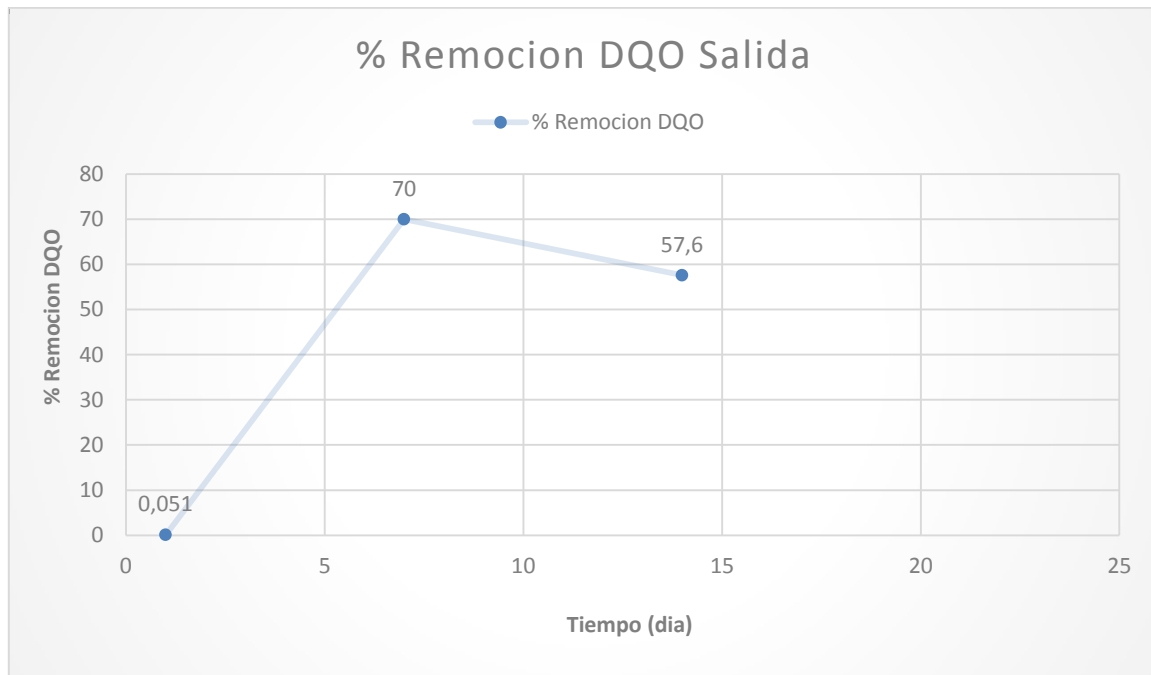
42,55%, es bajo, pero cumple con los límites máximos establecidos en la resolución 0631/15, el coeficiente de asimetría de los datos es del 1,7, lo que indica que los datos han variado pero uno de ellos está muy alto, como lo muestra la gráfica 3, donde se observa el comportamiento de entrada y salida de DQO. La línea de tendencia no es definida, teniendo como referencia la muestra 1, pero entre la muestra 2 y 3, se observa un cambio positivo, con una variación en línea recta lo que indica que el sistema se está estabilizando [39]

Gráfica 3 Comportamiento de DQO Entrada y Salida del Sistema.



La gráfica 4 muestra el comportamiento del porcentaje de remoción de DQO a la salida del sistema donde se puede observar que al paso de los días el porcentaje de la muestra 1 subió de 0,051%, a un 70% en la muestra 2 y en la muestra 3 decayó hasta 57,60%, este efecto se puede presentar por el aporte de oxígeno de raíces de las plantas a al medio filtrante. La absorción de materia orgánica por las plantas es insignificante comparada con la degradación biológica.

Grafica 4 Comportamiento del porcentaje de remoción de DQO



Estudios realizados indican la viabilidad del *Cyperus Papyrus* en cuanto a remoción de DQO como es el caso de J. García, donde especifican remoción de DQO viable, con un porcentaje de 80%, además el estudio realizado por A. Zarate, donde aseguran que los humedales sembrados con *Phragmites Australis* logra presentar mayores remociones en este parámetro. [40][41].

Hay que tener en cuenta que el pretratamiento con el tanque séptico favorece a la remoción de DQO, lo que demuestra que la combinación de estos tratamientos, ayuda al sistema con resultados más positivos. [43]

A pesar de que el porcentaje de remoción de DQO es bajo (42,55%), se espera que llegue al 80% cuando el sistema alcance su tiempo óptimo de trabajo de 4 meses según Wallace [22]. Los datos son positivos ya que se mantienen por debajo de los límites maximos permisibles estipulados por la resolución 0631/15.

4.3.2.3. Solidos Suspendido Totales (SST)

En la tabla 15 se observa el comportamiento de los SST a la entrada y salida del sistema, con un porcentaje de remoción promedio del 61,00%, lo que indica que el

lecho filtrante junto con la biopelícula y los rizoma de las plantas están reteniendo el material en suspensión haciendo que la concentración de SST baje, se observa que posee una variabilidad de 54,91% lo que indica en este caso que los datos varían significativamente, esto es positivo ya que demuestra que se están removiendo los SST y por consiguiente el porcentaje de remoción sigue bajando en el transcurso de los días.

Se observa que en la muestra 1 el valor es alto 138,00 mg/L, sobrepasando el valor permisible de la resolución 0631/15 (100,00 mg/L), en la muestra 2 y 3 se evidencia que bajan los valores llegando a 50,00mg/L y 67,00mg/L respectivamente, se observa que tiene un coeficiente de asimetría de 1,4, en este caso indica que hay variación pero que los datos no son simétricos, comparándolos se observa que en la muestra 2 y 3 hubo una fluctuación, lo cual puede indicar que el lecho filtrante está cumpliendo con su función, pero la biopelícula se está adaptando obteniendo resultados viables.

Tabla 15. Datos estadísticos para SST a la entrada y salida del Sistema.

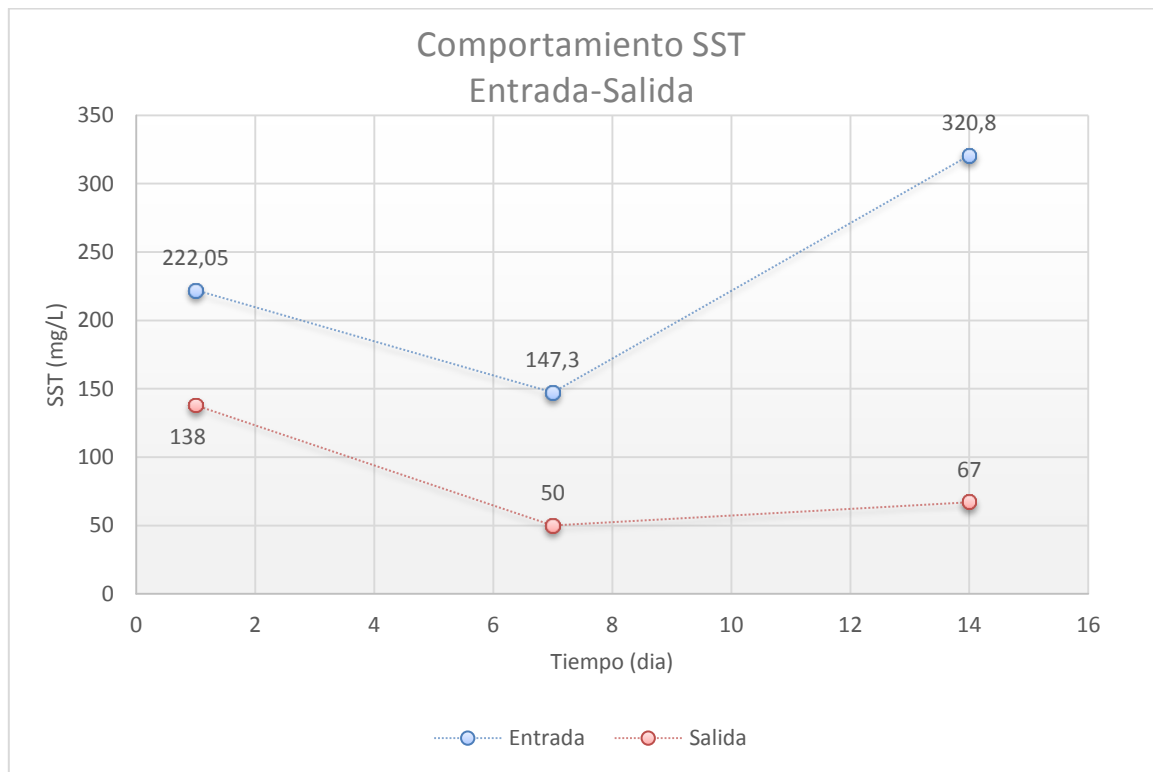
Muestra	SST		
	Entrada	Salida	Remoción (%)
1	222,05 mg/l	138,00mg/l	37,85
2	147,30 mg/l	50,00 mg/l	66,05
3	320,80 mg/l	67,00 mg/l	79,11
Promedio	230,05	85,00	61,00
Desviación Estándar	87,026	46,679	21,08
Coeficiente Asimetría	0,4101	1,4772	-1,0152
Mediana	222,05	67	66,05
Coeficiente de Variación	37,82%	54,91%	34,56
Máximo de Entrada	320,80 mg/l		
Máximo de Salida		138,00 mg/l	
Diferencia de Promedios	182,8		

Valor permisible 0631/15	Resolución 100,00 mg/l
---	----------------------------------

Fuente: Elaboración Propia

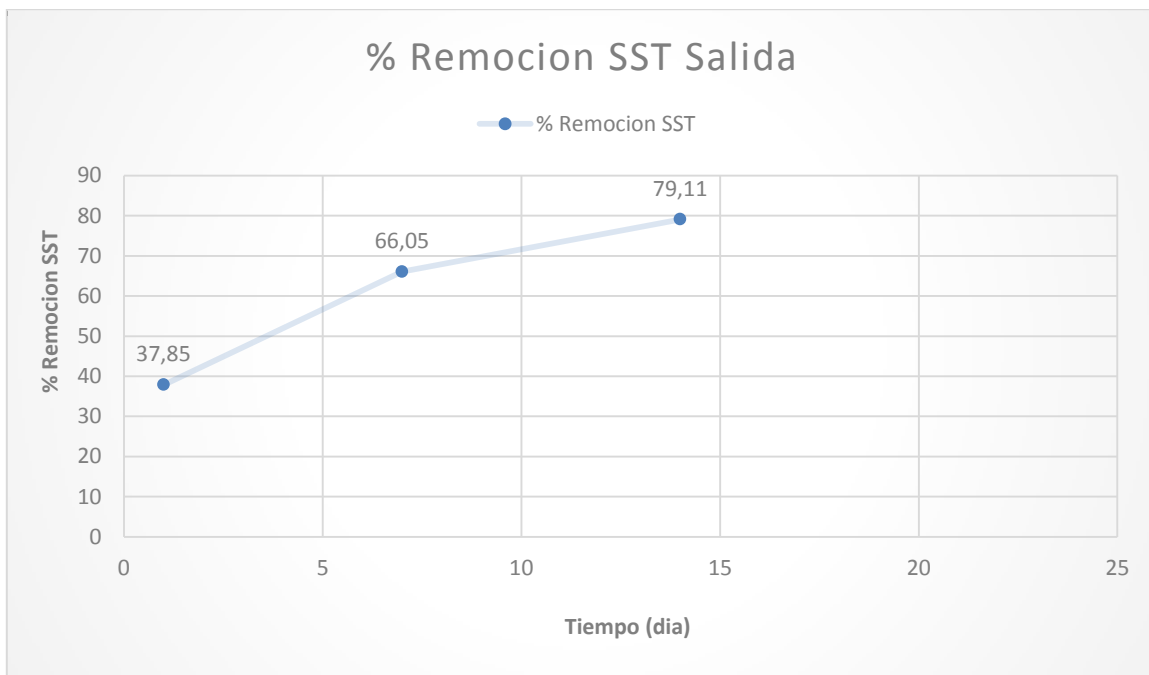
Como se observa en la gráfica 5 la línea de tendencia no es clara, hubo una fluctuación en las muestras 2 y 3 en el que tuvo un pico de remoción en la muestra 2 y en la muestra 3 baja, es posible que la biopelícula no esté formada totalmente, puede ser que en el transcurso de los días se estabiliza el sistema y se observe una línea de tendencia más constante. El efecto de remoción de SST en el sistema se debe a que la materia en suspensión queda retenida en el medio filtrante por efecto de la combinación de fenómenos que en conjunto se denominan “filtración del medio granular”. Uno de estos fenómenos es la sedimentación, que se da gracias a la baja velocidad del agua en el medio granular, el filtrado en el medio poroso de las rocas y las plantas que componen el lecho filtrante a esto se le agrega la degradación de la biopelícula. [42]

Gráfica 5 Comportamiento de SST Entrada y Salida del Sistema.



En la gráfica 6 se observan los valores de porcentaje de remoción que siguen una clara tendencia a subir con el transcurso de los días, desde la muestra 1, hasta la muestra 3, con un porcentaje de remoción promedio de 61%, donde el lecho filtrante está cumpliendo un buen trabajo, teniendo en cuenta que la diferencia de porcentajes entre la muestra 1 y la 3, es de 28,20% que es una diferencia alta, además el coeficiente de asimetría muestra un valor negativo, (-1,0), en este señala una tendencia a valores más altos de remoción ya que los datos no son simétricos y muestran variación alta, por lo que se espera que presente porcentajes más altos en el transcurso de los días.

Grafica 6 Comportamiento de remoción de SST



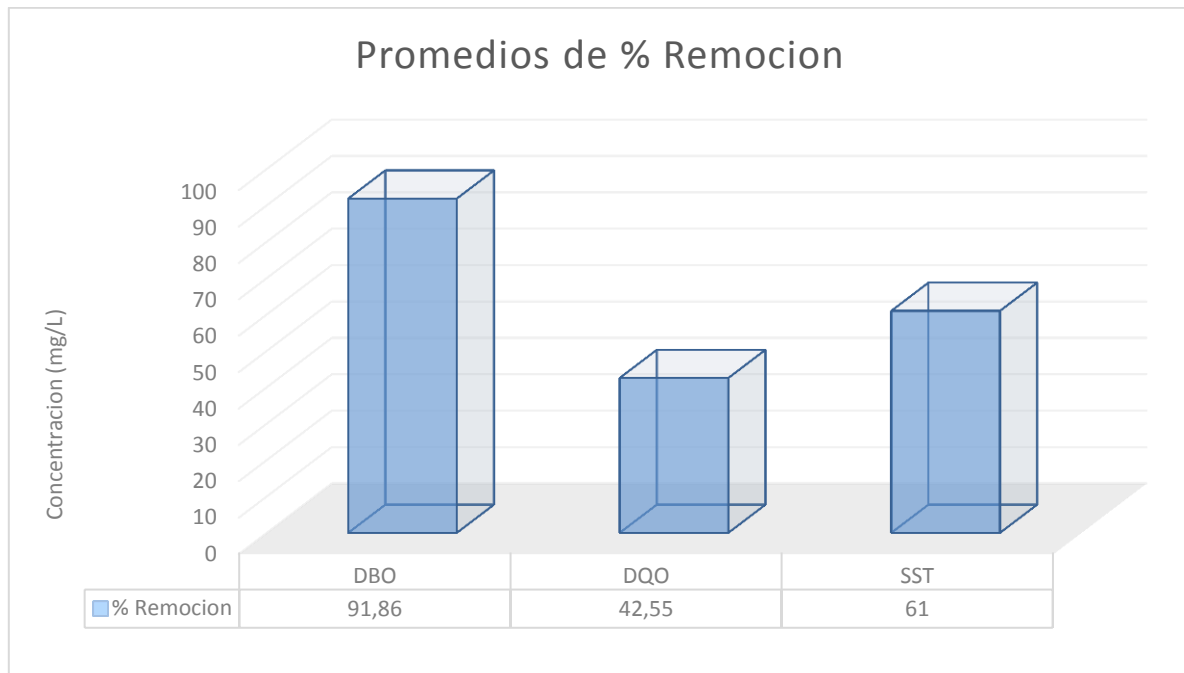
Los valores del porcentaje de remoción de SST que se obtuvo a la salida del sistema son positivos, como lo indica la gráfica 6, siguiendo la línea de tendencia se evidencian concentraciones más bajas de SST, esto indica que el sistema se está ajustando para la remoción de este parámetro, cuando este alcance su nivel óptimo de trabajo [22] se podrían observar mejores resultados. En términos de sustrato y vegetación, los valores serán más bajos y estables ya que el rizoma de

la plantas junto con la biopelícula contribuyen a la degradación de material en suspensión.

A continuación la gráfica 7 muestra el promedio de porcentajes de remoción de contaminantes para los parámetros evaluados DBO, DQO y SST, donde se evidencia que el parámetro en el que se obtuvo mejores resultados fue DBO con un porcentaje de remoción promedio de 98,86%, desde la muestra 1 a la 3 los valores se mantienen por debajo del nivel permisibles que estipula la resolución 0631/15. El siguiente en obtener mejores resultados fue el parámetro de SST llegando a un porcentaje promedio de 61% donde la muestra 1 consiguió un resultado bajo en porcentaje, llegando a estar por encima del nivel estipulado por la resolución 0631/15, la muestra 2 y 3 lograron porcentajes de remoción más alto y se mantuvo por debajo de los niveles permisibles estipulados por la resolución 0631/15. Por último la DQO fue el parámetro con el porcentaje promedio más bajo de remoción, con un valor de 42,55% donde la muestra 1 estuvo por encima del valor permisible que estipula la resolución 0631/15, pero la muestra 2 y 3 lograron porcentaje de remoción más altos y mantuvieron los valores por debajo del nivel permisible estipulados por la resolución.

Los resultados indican la robustez del sistema para la remoción de estos parámetros donde se logra obtener efectos viables para la investigación, manteniendo niveles de remoción por debajo de niveles estipulados por la resolución 0631/15.

Grafica 7. Promedios de porcentajes de remoción de las variables



4.4. COMPORTAMIENTO DE *CYPERUS PAPYRUS*

En esta investigación se demuestra la importancia del *Cyperus Papyrus* para el tratamiento de aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta que es una de las planta menos utilizadas para la construcción de humedales artificiales con respecto a otras, en este estudio se demostró la viabilidad de esta planta para adaptarse a los medios adversos como los presente en la finca Villa Lucia, se expande por el terreno con gran facilidad y se desarrolla rápido de manera natural ya que se sembraron tallos de 10 cm, llegando a medir 1,53m durante la extracción de la muestra 3. Ver anexo 9

Con respecto a los contaminantes es clara su función, arrojando resultados viables con porcentajes de remoción de 91,82% para DBO, 42,55% para DQO y 61% para SST. En un estudio realizado por R. Pérez, donde también se obtuvo buenos resultados en remoción de DBO, llegando al 91% y DQO de 72%, concluyendo que el *Cyperus Papyrus* es una especie apta como sistema de micrófitos enraizadas en el humedal, presenta un buen crecimiento, resistencia a plagas y una adecuada adaptabilidad a la condiciones climática adversas. [43]

4.5. PRESUPUESTO DE OBRA

En la tabla 16 se evidencia el presupuesto de la obra del sistema implementado en la finca Villa Lucia, donde el total de la inversión fue de 2'196.800, incluyendo los desplazamientos a la zona de estudio, el transporte de los materiales y las pruebas fisicoquímica de entrada y salida del sistema. Este valor es relativamente cómodo para personas de zona rural de escasos recursos, ya que según el DANE el 66,1% de la familias de Timbio viven por actividades agropecuarias, el 52,2% viven de la agricultura, con un salario mensual promedio de \$850.000 y el proyecto se demora en construcción aproximadamente 4 meses en obra y estabilización del sistema, teniendo en cuenta que la inversión no es inmediata, se va invirtiendo durante el transcurso de la obra. [44]

Tabla 16. Presupuesto total de Obra

PRESUPUESTO DE OBRA			
Material	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Arena (m)	2	62000	124000
Mixto (m)	1	62000	62000
Puntillas 2" ½ (Lb)	1	2000	2000
Varillas Hierro 3/8 mm	4	7000	28000
Hierro (kg) ¼ mm	6	2400	14400
Cemento (50 kg) San Marcos	10	23000	230000
Tubo 4" 6m	1	38000	38000
Ladrillos	850	280	238000
Transporte Material (viaje)	7	20000	140000
Prueba Fisicoquímica	6	72000	432000
Almuerzos	14	4000	56000
Transporte (días)	14	6600	92400
Sueldo Maestro	14	40000	560000
Codo 90° a 4"	2	6000	12000
Tee 4"	1	10000	10000

Buje de 3" a 4"	1	5000	5000
Soldadura para PVC	1	11000	11000
Unión 4"	1	4000	4000
Codo 45° 4"	1	6000	6000
Triturado (m)	1	84000	84000
Tablas	8	6000	48000
Total			2'196.800

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta el valor del presupuesto total del sistema implementado en la finca Villa Lucia, se comparó con el presupuesto de una obra del sistema implementado por P. Montiel, realizado para tratar el agua residual del edificio de la División de Ingeniería Civil y Geofísica de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), dicho edificio no dispone de una conexión a la red de alcantarillado donde se le dio solución con un sistema de Humedales Construidos. En la tabla 17 se muestra el presupuesto de obra del sistema construido para el edificio de la División de Ingeniería Civil y Geofísica de la UNAM.

Tabla 17. Presupuesto de obra Sistema Implementado en la UNAM

PRESUPUESTO DE OBRA					
N. de Concepto	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U. Peso mexicano	Importe
1	Nivelación de terreno.	m ²	46.07	\$9.90	\$456.09
2	Excavación Y mano de obra.	m ³	11.9	\$113.56	\$1,349.77
3	Plantilla concreto simple Incluye herramienta y equipo	m ³	1.09	\$82.25	\$89.24

4	Concreto simple	m ³	2.17	\$122.98	\$266.87
5	Pendiente con mortero cemento-arena 1:4 de 8 cm de espesor	m ³	2.17	\$73.31	\$159.08
6	Aplanado en muros con mortero de 3 cm de espesor.	m ²	13.02	\$39.39	\$512.86
7	Impermeabilizante acrílico de secado extra rápido.	m ²	34.72	\$127.30	\$4,418.86
8	Muro a base de piedra, asentada con mortero cemento arena.	m ³	18.84	\$791.63	\$14,918.11
9	Instala hidrosanitaria, con válvula de paso PVC de 2" de diámetro.	LOTE	1	\$5,500.00	\$5,500.00
10	Chaflán 5 x 5 cm de concreto	ml	21.52	\$45.74	\$984.32
11	Tapa louver de herrería para registro.	PZA	1	\$790.00	\$790.00
12	Corte con disco para remate de impermeabilizante.	ml	21.52	\$8.95	\$192.60
13	Registro de 45 x 45 cm incluye tapa tipo louver de herrería.	PZA	1	\$1,950.00	\$1,950.00
Total					31,588.81 Peso mexicano

Fuente: División de ingeniería Civil y Geofísica de México

En la tabla 17 se evidencia el valor real del presupuesto del sistema implementado en la UNAM, donde el total de la inversión fue de \$ 31,588.81 pesos mexicanos, en pesos Colombianos el valor es equivalente a \$ 5`155.778 según la embajada de México, para septiembre 2017, guardando la diferencia de tamaños, es un sistema similar al implementado en la finca Villa Lucia, donde el valor es más bajo teniendo en cuenta que está construido a menor escala. Si se comparan los sistemas, poseen un valor excesivamente bajo, los materiales utilizados en los dos sistemas son prácticamente los mismos. Con esta comparación se evidencia que este tipo de sistemas son viables económicamente ya que el implementado en la UNAM trata un Caudal de 1,68 m³/día y el sistema implementado en la finca Villa Lucia trata un caudal de 0,81 m³/día, guardando la diferencia de tamaños, el contraste entre los costos es similar, la diferencia es de \$ 2'958.978 pesos Colombianos, donde se evidencian los bajos precios para la implementación de estos sistemas que dan buenos resultados y se ajustan económicamente a personas de zonas rurales de escasos recursos. [47] [48]

5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los Humedales de flujo subsuperficial Horizontal muestran gran eficiencia en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas, además es viable implementar este sistema ya que es de fácil diseño, construcción y operación.
- El estudio realizado demostró que el tratamiento con *Cyperus Papyrus*, obtuvo resultados viables en cuanto a porcentajes de remoción que llegaron a 91,86% de DBO, 42,65% DQO y 61% SST, con tendencias a subir con el transcurso de los días.
- Este tratamiento con *Cyperus Papyrus* demostró ser eficaz en la remoción de DBO teniendo porcentajes de degradación de 91, 86%, teniendo en cuenta que la Legislación Colombiana exige parámetros de remoción de 80% en DBO.
- Este sistema demostró eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias teniendo en cuenta que en las muestras e mantuvo por debajo de los niveles mínimos permisibles estipulados por la resolución 0631 de 2015
- El *Cyperus Papyrus* es una planta apta para este sistema ya que es de fácil adaptabilidad, su remoción de DBO, DQO y SST es alta y es inmune a las plagas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante que el pretratamiento que procede al humedal se encuentre en buenas condiciones de diseño y construcción ya que ayuda a eliminar DBO y evita el paso de flujo turbulento.
- Se recomienda que los terrenos donde se va a construir el sistema tenga una pendiente como mínimo del 2%, Esto para garantizar el arrastre de sedimentos en la tubería, ya que debe funcionar a flujo libre.
- Se recomienda que un tiempo prudente para el desarrollo y adaptación de las plantas y la biopelícula sea de 3 a 4 meses para obtener resultados favorables.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Diario ABC, *Bruselas denuncia a España por el deficiente tratamiento de las aguas residuales en Galicia, Cataluña y Andalucía*, Ed. Madrid: 26 de noviembre 2014 hora 14:27
- [2] Diario El Tiempo, *CAR invertirá dinero en la ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales el salitre*, Ed. Bogotá: 9 de Febrero 2015 hora 9:41
- [3] Diario el liberal, *Las 111 plantas de tratamiento de aguas residuales que existen en el Cauca*, Ed. Popayán 9 de Enero 2015 hora 9:15
- [5] M. Peña, M. Ginneken, A. Madera, *Humedal de Flujo Sunsuperficial: Una Alternativa Para El Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas En Zonas Tropicales*. Ed. Universidad del Valle Cali- Colombia: 1 Octubre 2003.
- [6] J. Vymazal, *Constructed Wetland for Wastewater Treatment*, Ed. Czech University of Life Kostelec nad Cernymi Lesy-Czech Republic: 27 agosto 2010.
- [7] J. Zataray, S. Chong, R. Raadilla, R. Ramos, F. Wakida, E. Velez, E. Castillo, G. Rodriguez, *Diseño De Un Sistema De Humedales De Flujo Subsuperficial (Ssf) Para El Tratamiento Terciario Del Agua Del Rio Tecate, Una Alternativa De Reúso*, Ed. Universidad Autónoma de Baja California Tijuana-México.
- [8] J. Romero, *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y Principios*, Ed. Alfa Omega: Escuela Colombiana de Ingeniería, Enero del 2000
- [9] A. Suárez, N. Agudelo, J. Rincón, N. Millán, *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas*, Ed. Universidad Jorge Tadeo Lozano Bogotá – Colombia: 14 de Junio 2014
- [10] H. Medina, D. Vargas, C. Ocampo, *Revista empresas públicas de Medellín*, Ed. Medellín: Junio de 2013.
- [11] R. Saenz, *Modernización Y Avances En El Uso De Aguas Negras Para La Irrigación, Intercambio De Aguas De Uso Urbano Y Riego*, Ed División de Salud y Ambiente OPS-OMS

- [12] E. Tarbuck, F. Lutgens, *Una introducción a la Geología Física*, Ed. 8va Madrid: 2005
- [13] C. Dias, *Tratamiento de aguas residuales a través de humedales*, Ed Universidad Santo Tomas Tunja - Colombia: 4 Julio 2014.
- [14] J. Lara, *Depuración De Aguas Residuales Municipales Con Humedales Artificiales*, Ed Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona - España: Mayo de 1999.
- [15] S. Arias, M. Betancur, G. Gómez, J. Salazar, *Fitorremediación Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Aguas Residuales*, Ed Informador Técnico Sena Vol. 74, p 12-22 Colombia: Diciembre 2010
- [16] A. Martínez, *Evaluación Y Diseño De Un Humedal Construido Para La Depuración De Aguas Residuales Domésticas*, Ed Universidad de Murcia - España: 12 Enero 2015.
- [17] MINAMBIENTE, *Plan Nacional De Manejo De Aguas Residuales En Colombia*, Ed Bogotá – Colombia: Junio 2004
- [18] P. Urrea, C. Solarte, *Evaluar La Eficiencia De Un Sistema De Tratamiento Con Humedales Construidos De Flujo Subsuperficial Horizontal Para La Depuración De Aguas Residuales Del Beneficio Húmedo Del Café*, Ed Universidad del Cauca Popayán – Colombia: 2016
- [19] O. Arias, *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*, Ed Departamento de ingeniería hidráulica, Universidad politécnica de Cataluña Barcelona – España: Año 2004.
- [20] J. Mena, *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: ventajas de los sistemas híbridos*, Ed Alquimia soluciones ambientales - Año 2006.
- [21] MINVIVIENDA, *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS 2000 Titulo D*, Ed Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico Bogotá-Colombia: Año 2016
- [22] R. Kadlec, S. Wallace, *Treatment Wetlands. Boca Raton, Florida, Taylor and Francis Group Publishers*, Ed Año 2009

- [23] MINVIVIENDA, *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS Título B*, Ed Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Bogotá-Colombia: Año 2016
- [24] E. Muñoz, *Plan De Desarrollo Municipio De Timbio*, Ed Municipio de Timbio-Cauca: Año 2011
- [25] C. Arias, H. Brix, *Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Aguas Residuales*, Ed Universidad Militar Nueva Granada Bogotá-Colombia: 3 de julio del 2003
- [26] S. Reed, *Natural Systems for Wastewater Treatment, Manual Of Practice FD16*, Ed Water Pollution Control Federation Alexandria- Estados Unidos: Año1998.
- [27] MINDEARROLLO, *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS 2000 Título E*, Ed Ministerio de Desarrollo Económico Bogotá-Colombia: Año 2000
- [28] H. Medina, D. Vargas, C. Ocampo, *Revista Empresas Públicas De Medellín*, Ed. Medellín vol. 10: Junio de 1998.
- [29] MINAMBIENTE, *Resolución 0631 del 2015*, Ed. Bogotá DC: 17 Marzo 2015.
- [29] G. Correa, *Análisis de medidas repetidas*, Ed. Medellín: Año 2004
- [30] K. Seidel, *New methods for groundwater recharge in Krefeld- Part 2: hydrobotanical treatment method*, Ed. German: 1965[30]
- [31] J. Vymazal, H. Brix Coope, P. Green M. Haberl, *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Ed Holanda:1998
- [32] B. Mosquera, B. Lara, *Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte*, Ed Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Civil Bogotá: 2012
- [33] A. Yalcuk, A. Ugurlu, *Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment*: Ed Bioresource Technology: Febrero 2009

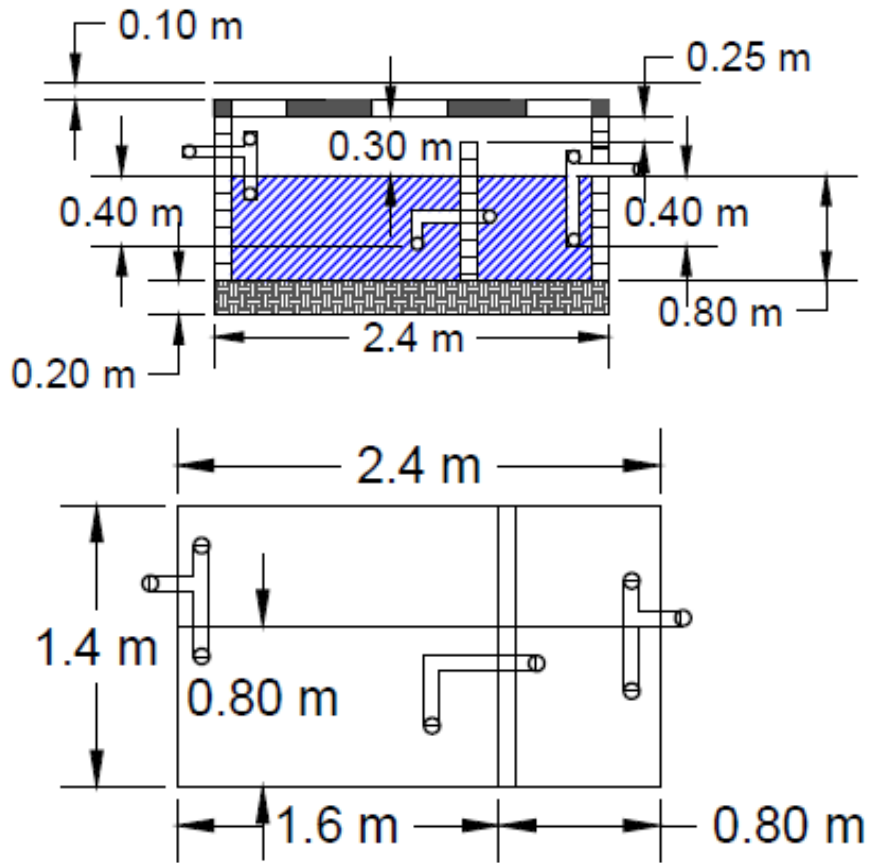
- [34] A. Caselles, J. García, *Effect of physico-chemical pretreatment on the removal efficiency of horizontal subsurface-flow constructed wetlands*, Ed Environmental Pollution: Año 2007.
- [35] O. Delgadillo, A. Camacho, L. Pérez, M. Andrade, *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*: Ed Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua Cochabamba Bolivia: Año 2010.
- [36] E. Salamanca, C. Madera, M. Sánchez, J. Medina, *Bioprospección De Plantas Nativas Para Su Uso En Procesos De Biorremediación: Caso Heliconia Psittacorum (Heliconiaceae)*, Ed Universidad del Valle Cali: Diciembre 2013
- [37] E. Torres, A. Marín, *Optimización del Humedal Artificial Subsuperficial Para El Tratamiento de Agua Residuales*, Ed. Universidad Libre, Grupo de investigación TECNOAMBIENTAL Tolemada, Melgar: 13 septiembre 2012
- [38] EPA (Environmental Protection Agency), *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales- Humedales de flujo subsuperficial*, Ed Estados Unidos: Septiembre 2000.
- [39] A. Arango, *Biosistema Integral De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas. Diseño, Construcción Y Evaluación*, Ed. Universidad de Manizales: Julio 2007.
- [40] J. García, *Efecto Del Uso De Plantas Y Configuración De Los Sistemas En La Remoción De Organismos Patógenos Mediante El Uso De Humedales Construidos Para El Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas En Condiciones Tropicales*, Ed. Universidad Tecnología de Pereira: Enero 2010
- [41] A. Zarate, C. Duran, *Remoción De Contaminantes En Un Sistema De Humedales Artificiales A Escala De Laboratorio. Ed. TecnolCiencia (IMIQ): Año 2008*
- [42] J. García, A. Corzo, *Depuración con humedales construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales con flujo sub superficial*. Ed España: Noviembre 12 del 2008.
- [43] R. Pérez, C. Alfaro, J. Sasa, J. Agüero, *Evaluación Del Funcionamiento De Un Sistema Alternativo De Humedales Artificiales Para El Tratamiento De*

Aguas Residuales, Ed Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica: 2 de Octubre 2012.

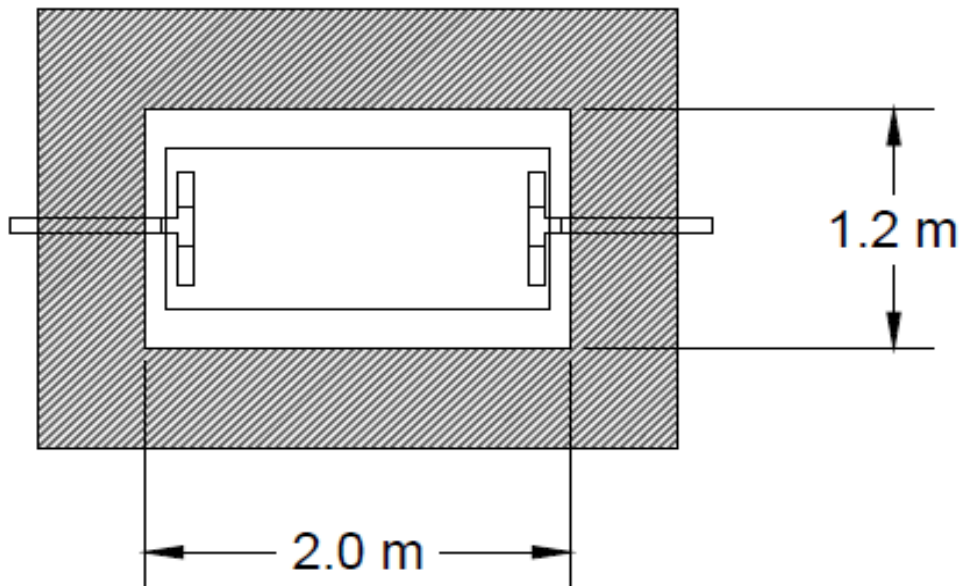
- [44] DANE, “*Boletín Censo General 2005 Perfil Timbio Cauca*”, Ed. Colombia Bogotá: 6 Marzo 2016
- [45] J. Bedoya, N. Ardila, J. Reyes, *Evaluación De Un Humedal Artificial De Flujo Subsuperficial En El Tratamiento De Las Aguas Residuales Generadas En La Institución Universitaria Colegio Mayor De Antioquia, Colombia*, Ed Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia: Junio 2014
- [46] M. Romero, A. Colin, E. Sanchez, L. Ortiz, *Tratamiento De Aguas Residuales Por Un Sistema Piloto De Humedales Artificiales: Evaluación De La Remoción De La Carga Orgánica*, Ed. Universidad Autonoma del Estado de Morelos, Cuernavaca Mexico: Enero 2009
- [47] P. Montiel, *Humedales Artificiales*, Ed Universidad Nacional Autonoma de Mexico: Mexico DF 2014
- N. Mburu M. Sylvie, P. Diederik, J. Vanbruggen, N. Lens, *Performance Evaluation Of Horizontal Subsurface Flow–Constructed Wetlands For The Treatment Of Domestic Wastewater In The Tropics*, Ed. Revista de Ingenieria Ambiental Kenia Juja: Marzo 2013.
- [48] Embajada de México, *Equivalencia de peso mexicano en Colombia*, Ed México DF: Septiembre 2017.
- [49] J. Rodriguez, C. Duran, *Remocion De Nitrógeno Sistema De Tratamiento De Aguas Residuals Uando Humedales Artificiales De Flujo Subsuperficial Vertical A Escala De Banco*, Ed UNAM Facultad de Quimica: 2006
- [50] M. Espigares, J. Perez, *Aguas Residuales Composición*, Ed Universidad de Granada España: 2006
- G. Austin, *Multifunctional Wastewater Treatment Landscapes*, Ed. University Of Winsconsin: 2013
- A. Valverde, *Estimación De Gases De Efecto Invernadero En Humedales Construidos De Flujo Subsuperficial Horizontal*, Ed. Universidad Santiago de Cali Valle del Cauca: 2012.

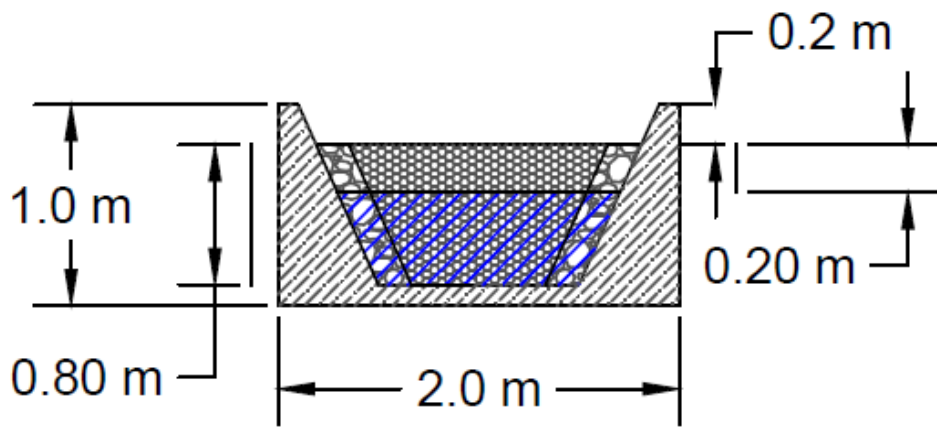
- L. Gamma, R. Howard, F. Rodriguez, *Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales*, Ed. Universidad Juarez Autonoma de Tabasco Mexico: Junio 2013
- Z. Xuan, N. Chang, A. Daranpob, M. Wanielista, *Modeling Subsurface Upflow Wetlands Systems for Wastewater Effluent Treatment*, Ed Department of Civil University of Central Florida, Orlando: 17 Abril 2010
- A. Otalora, *Evaluación Del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Mediante Humedales Artificiales De Alta Tasa En La Locación Petrolera De Caño Gandúl*, Ed Universidad Nacional de Colombia Bogotá: 2011
- W. Llagas, E. Gómez, *Diseño de Humedales Artificiales Para El Tratamiento de Aguas Residuales En La UNMSM*, Ed Ciudad Universitaria UNMSM Lima Peru: 2006.

ANEXO 2 Vista en planta y perfil del tanque séptico

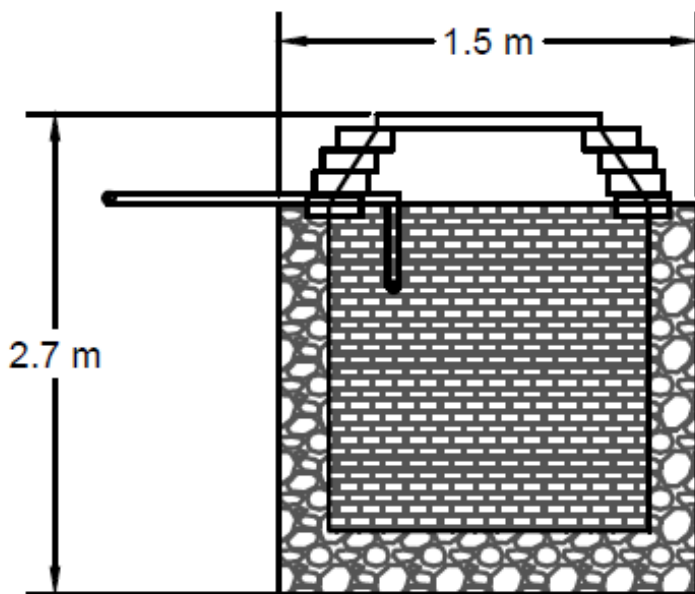
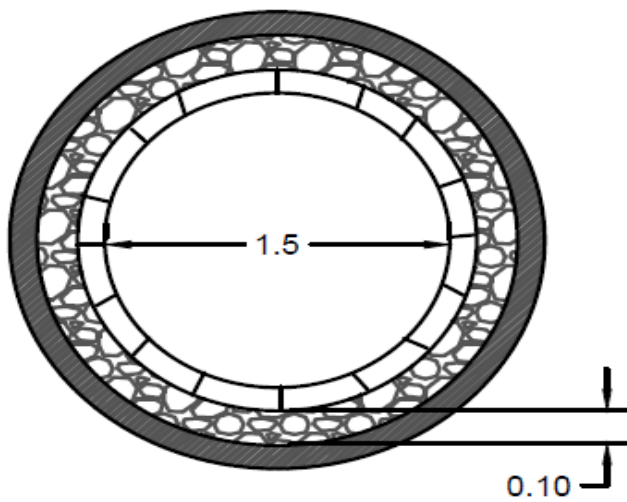


ANEXO 3 Vista en planta y perfil del humedal





ANEXO 4 Vista en planta y perfil del pozo de absorción



ANEXO 5 Prueba Fisicoquímica de Entrada

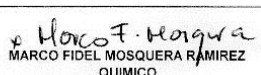
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P.
 NIT 891.500.117-1
 MUIR 1-19001000-1 SSPD


F.CEP.003 **ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PARTICULARES** V.5.0
 AGUA CRUDA

REGISTRO N°. 447

PROCEDENCIA **MUNICIPIO DE POPAYÁN**
 FUENTE **FINCA SANTA MARIA**
 ANÁLISIS SOLICITADO **FÍSICO - QUÍMICO**
 PUNTO DE CAPTACIÓN **POSO SEPTICO**
 ORDENADO POR **DIVISION AMBIENTAL**
 RECOLECTADO POR **LUIS CARLOS DAZA**
 FECHA DE TOMA **25 de January de 2017**
 FECHA DE ANÁLISIS **26 de January de 2017**

ANÁLISIS	CONCENTRACIÓN	DATOS EXPRESADOS EN	NORMAS M.S.P.
			Dicto. 1594 de 1984 H ₂ O Cruda
SDT	147.3	mg/L	
DQO	413.4	mg/L	
DBO	270.0	mg/L	



MARCO FIDEL MOSQUERA RAMIREZ
 QUÍMICO


NURY LUCIA SARRÍA
 Bacterióloga

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No 1815 del 15 de Mayo de 2015 "Planta de Tratamiento Tablazo" (28) 32 64 08 Conmutador: (28) 24 15 53 FAX: 24 20 14 - 24 04 66

ANEXO 6 Prueba Fisicoquímica de Salida

Reporte N° 163

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027 Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1
	REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-	

Fecha: Mayo 11 de 2017.

Cliente: Luis Carlos Daza Pacheco Dirección: Carrera 19 N° 8-17, Popayán	Teléfono: 3135456880	Solicitud N°: 114
Municipio de muestreo: Timbío	Fecha de Recepción: Mayo 3 de 2017. Fecha de Análisis: Mayo 3 a mayo 9.	

Muestreo:

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

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0340	Vertimiento finca Villa Lucía

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	< 0.9

Observaciones:

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

ANEXO 7 Construcción del pozo de absorción



ANEXO 8 Construcción del Tanque Séptico



ANEXO 9 Construcción del Humedal

