

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LAS ESPECIES *Phragmites Australis* Y *Eleocharis Elegans Kunth* MEDIANTE DOS HUMEDALES HORIZONTALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL, EN FUNCIÓN DE LA DQO, DBO Y SST EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, EN LA FINCA DON RENZO, DEL MUNICIPIO DE PIENDAMO CAUCA.



**EDWAR ALEXIS BERMUDEZ CUCUÑAME
CRISTIAN DANOWIS CRUZ IMBACHI**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTA DE CIENCIAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
GRUPO DE INVESTIGACION DE TECNOLOGIA Y AMBIENTE
POPAYAN CAUCA 2018**

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LAS ESPECIES *Phragmites australis* Y *Eleocharis elegans kunth* MEDIANTE DOS HUMEDALES HORIZONTALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL, EN FUNCIÓN DE LA DQO, DBO Y SST EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, EN LA FINCA DON RENZO, DEL MUNICIPIO DE PIENDAMO CAUCA.



EDWAR ALEXIS BERMUDEZ CUCUÑAME
CRISTIAN DANOWIS CRUZ IMBACHI

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

Biólogo: ARNOL ARIAS HOYOS

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTA DE CIENCIAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
GRUPO DE INVESTIGACION DE TECNOLOGIA Y AMBIENTE
POPAYAN CAUCA 2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados del trabajo de grado:
**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LAS
ESPECIES *Phragmites Australis* Y
Eleocharis Elegans Kunth MEDIANTE DOS
HUMEDALES HORIZONTALES DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL, EN FUNCIÓN DE LA
DQO, DBO Y SST EN LAS AGUAS MIELES
DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, EN LA FINCA
DON RENZO, DEL MUNICIPIO DE
PIENDAMO CAUCA.**

Elaborado por: Edwar Alexis Cucuñame y
Cristian Danowis Cruz Imbachi, una vez
realizado el informe final y aprobada la
sustentación del mismo, autorizan la
realización de los trámites requeridos para
optar al título: profesional en Ingeniería
Ambiental y Sanitaria.

Firma del Director

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios y a Pacha Mama, por concederme salud, fortaleza y capacidad para mantenerme en la lucha, por estar en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Maria Yony Imbachi y Henry Cruz por brindarme su amor incondicional, sus consejos en los momentos difíciles de mi vida, por su apoyo y comprensión. Gracias por inculcarme los valores morales y éticos para lograr ser la persona que hoy en día soy.

CRISTIAN DANOWIS CRUZ IMBACHI

DEDICATORIA

A mi madre Yolanda Cucuñame por su incondicional apoyo, su incansable sacrificio y educación con valores, respeto y amor por la madre tierra, que han sido e puntal para terminar con éxito esta etapa de mi formación profesional.

A mi hijo Luis Alejandro Bermúdez por ser la motivación de luchar día tras día en busca de conquistar grandes logros como este, a mi compañera Claudia Patricia Cucuñame por su apoyo incondicional y desinteresado.

EDWAR BERMUDEZ CUCUÑAME

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, por ser mis amigos, mis compañeros que me han ayudado a crecer como persona, Gracias por estar ahí incondicionalmente en todo momento, por su paciencia, por el amor que me han brindado, por los consejos y regaños que me merecía y otros que no entendía, solo les doy las gracias María Yony Imbachi y Henri Cruz por ser mis padres y estar siempre en este proceso a mi lado para darme la oportunidad de terminar de termianr esta etapa de mi vida.

A mi abuela, gracias por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos y regaños, gracias por el amor que me brindas y por tu apoyo incondicional en mi vida, gracias por llevarme en tus oraciones que se que siempre lo haces.

A mis compañeros por estar en el proceso de formación profesional y también brindarme su amistad. A mi compañero de tesis Edwar Bermudez por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme en los momentos de desesperación en la construccion de este trabajo.

A nuestro director Arnol Arias por ofrecer sus conocimientos y experiencias en este trabajo, por su apoyo, comprensión, por impulsarnosha no desfallecer en el transcurso de este camino

CRISTIAN DANOWIS CRUZ IMBACHI

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a los espíritus de la madre tierra por concedernos salud, fortaleza y capacidad para mantenernos en la lucha cada día de nuestras vidas. A mi compañero de trabajo Cristian Danowis Cruz por su empeño y dedicación a este proyecto. A nuestro director de tesis de grado el biólogo Arnol Arias por su apoyo y dedicación a guiarnos en este trabajo. A mis familiares quienes por su colaboración y trabajo ayudaron a ser posible esta meta.

También hago extensivo este agradecimiento a mis amigos por su apoyo incondicional y desinteresado

EDWAR BERMUDEZ CUCUÑAME

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	19
1. CAPITULO 1: PROBLEMA	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 JUSTIFICACIÓN	23
1.3 OBJETIVOS	25
1.3.1 Objetivo General	25
1.3.2 Objetivos Específicos	25
2 CAPITULO 2: MARCO TEORICO	26
2.1 ANTECEDENTES	26
2.2 BASES TEÓRICAS	27
2.2.1 Café	27
2.2.2 Generalidades del proceso del beneficiado del café.	28
2.2.3 Definición y tipos de aguas residuales	31
2.2.4 Características del agua residual	32
2.2.5 Principales contaminantes presentes en aguas residuales.	34
2.2.6 Características de las aguas mieles del café.	35
2.2.7 Clasificación de los tratamientos naturales	36
2.2.8 Clasificación de las especies vegetales acuáticas.	43
2.2.9 Características de las especies vegetales utilizadas en los humedales HFS	45
2.2.10 Lecho filtrante del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.	49
2.2.11 Microorganismos	50
2.2.12 Consideraciones en el Diseño de un Humedal	50
2.3 BASES LEGALES	52
3 CAPITULO III. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	54
3.1.1 Características ecológicas	55
3.1.2 Economía	55
3.1.3 Características de la Finca Don Renzo	55
4 CAPITULO IV.METODOLOGIA	58
4.1 FASE 1: Diseño y construcción de dos humedales Subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo, para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio del café.	58

4.1.1	Reconocimiento de zonas a intervenir	58
4.1.2	Diseño y construcción del humedal.	59
4.2	FASE 2: Evaluar y comparar las eficiencias de remoción de carga contaminante producidas en el proceso de beneficio del café	69
4.2.1	Adaptación de las plantas.	69
4.2.2	Recolección de Muestras.	69
4.2.3	Análisis estadístico	71
4.2.4	Comparación.	72
4.2.5	Evaluación.	72
5	CAPITULO V. RESULTADOS Y ANALISIS	73
5.1	Diseño y construcción de dos humedales Subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo, para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio del café.....	73
5.1.1	Condiciones del afluente	73
5.1.2	Condiciones de efluente	74
5.1.3	Cálculos del diseño del humedal.....	75
5.1.4	Construcción de los humedales	76
5.2	Evaluar y comparar las eficiencias de remoción de carga contaminante producidas en el proceso de beneficio del café.	76
5.2.1	Arranque del Sistema	76
5.2.2	Características físico-químicas del afluente.	76
5.2.3	Comportamiento de los parámetros de estudio en la salida con respecto a la entrada del humedal artificial con Carrizo.	78
5.2.4	Comportamiento de los parámetros de estudio en la salida con respecto a la entrada del humedal artificial con Junco.	78
5.2.5	Comportamiento de los parámetros de estudio con respecto a la salida de los dos humedales.....	79
5.2.6	Análisis	80
6	CONCLUSIONES.....	88
7	RECOMENDACIONES.....	90
8	BIBLIOGRAFÍA	91
9	ANEXOS	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Proyección de consumos de agua por producción de café para el año 2015 [6].	22
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los humedales superficiales.	40
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los humedales subsuperficiales	43
Tabla 4. Funciones de las especies vegetales acuáticas.	45
Tabla 5. Taxonomía <i>Phragmites australis</i> (Carrizo).	46
Tabla 6. Taxonomía <i>Eleocharis elegans Kunth</i>	48
Tabla 7. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales construidos.	51
Tabla 8. Marco normativo colombiano.	52
Tabla 9. Parámetros Máximos Permisibles Según La Resolución 0631 del 2015.	72
Tabla 10. Concentración de entrada.	73
Tabla 11. Cálculos del Diseño del Humedal.	75
Tabla 12. Resultados Muestreos del Afluente	77
Tabla 13. Resultados del muestreo en el humedal artificial con Carrizo.	78
Tabla 14. Resultados del muestreo del humedal artificial con Junco.	78
Tabla 15. Resultados obtenidos en los efluentes de los humedales artificiales.	79
Tabla 16. Eficiencia de remoción en los sistemas.	84

LISTA DE FIGURAS

Imagen 1. Granos de Café.....	28
Imagen 2. Recolección del café.....	29
Imagen 3. Tanque de Fermentación.....	30
Imagen 4. Lavado de Mucilago.....	30
Imagen 5. Esquema de la clasificación de los tratamientos naturales.....	36
Imagen 6. Ejemplo De Humedales Artificiales.....	38
Imagen 7. Humedal Superficial.....	39
Imagen 8. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial.....	42
Imagen 9. Especies vegetales acuáticas.....	44
Imagen 10. Producto Procesado en la finca Don Renzo.....	56
Imagen 11. Finca Don Renzo.....	57
Imagen 12. Levantamiento planimetrico y altimétrico.....	59
Imagen 13. Esquema de Diseño de Humedal.....	63
Imagen 14. Levantamiento del suelo.....	64
Imagen 15. Nivel del terreno.....	64
Imagen 16. Instalación de capa impermeable.....	65
Imagen 17. Instalación de capa separadora (polisombra).....	65
Imagen 18. Tubería de entrada y salida del humedal.....	66
Imagen 19. Phragmytes Australis (Carrizo) establecido.....	67
Imagen 20. Eleocharis Elegans Kunt establecida.....	68
Imagen 21. Muestreos.....	70
Imagen 22. Desarrollo del Phragmites australis.....	86
Imagen 25. Desarrollo de la Eleocharis elegans kunt.....	87

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Comportamiento de la DQO en la entrada y salida de los humedales.	80
Grafica 2. Comportamiento con respecto a la DBO ₅ de la entrada y salida de los humedales.....	82
Grafica 3. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales con respecto a al entra y salida de los humedales.....	83
Grafica 4. Porcentaje de Remoción de Aguas Mieles del Café En Ca Sistema	85

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa del Proyecto.....	95
Anexo 2. Vista en Planta de los Humedales Artificiales.....	96
Anexo 3. Vista de Perfil del Humedal Artificial.....	97
Anexo 4. Resultados prueba t studen para el análisis de varianza.....	97
Anexo 5. Construcción del Humedal	97
Anexo 6. Informe de Resultados: Característica inicial de las aguas mieles del Café. 99	
Anexo 7. Informe de resultados de las Muestras de entrada y salida de los humedales	100

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localizacion de la vereda donde se ejecutó el proyecto (Tunía- Finca Don Renzo).... 54

RESUMEN

En el presente trabajo se manifiesta la aplicación de la fitorremediación en cuanto a remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales producidas por el beneficio del café, mediante la utilización de dos especies de plantas acuáticas emergentes *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt*, analizando su comportamiento en cuanto a remoción de materia orgánica, para cada una de las especies y comparando sus valores entre ellas. Todo esto como una alternativa de tratamiento de las aguas mieles de café, con bajos costos de operación y mantenimiento para los propietarios de la finca cafetera don Renzo, ubicada en el corregimiento de Tunía, municipio de Piendamó Cauca.

Este proceso se realizó en dos fases la primera de ellas tuvo que ver con el diseño y construcción de los humedales, basándose en los modelos establecidos por la EPA y adaptándolos a las necesidades del estudio a implementar, la construcción se realizó utilizando estudios topográficos para la determinación de la altimetría y planimetría del lugar, estableciendo de esta forma el sitio determinado para la realización de las excavaciones, logrando que la entrada y salida del agua contara con un gradiente hidráulico apropiado, con el objetivo de aprovechar la gravedad para el movimiento del agua.

Los humedales se construyeron utilizando un material impermeabilizante sobre el cual se construyó el lecho de soporte, manejando material granular de diferentes tamaños, con separación entre cada uno de ellos, la instalación de las plantas se realizó de acuerdo a los manuales de la EPA, esta población vegetal se alimentó con aguas mieles de café diluidas en cantidades variables, con el fin de adaptarlas al medio donde se llevaría a cabo su desarrollo. Una vez terminado el proceso de adaptación se procedió a alimentar los humedales con aguas mieles directamente desde el beneficiadero, iniciando también con el proceso de muestreo el cual se realizó con un intervalo de tiempo de 4 días como lo establece el tiempo de retención hidráulica, definido en el diseño.

Las muestras obtenidas se enviaron a los laboratorios de la corporación autónoma del cauca para sus respectivos análisis, los resultados obtenidos presentan valores que analizados mediante la estadística, presentan las variaciones significativas que tienen las dos especies sobre el efecto en la calidad del agua vertida por los humedales, dándole un mejor comportamiento a la especie *phragmites australis* en cuanto a la remoción de materia orgánica, corroborando la información recolectada en la revisión bibliográfica.

PALABRAS CLAVE: humedal artificial, aguas mieles, remoción, fitorremediación, beneficio del café.

ABSTRACT.

The present work demonstrates the application of the phytoremediation as to removal of organic matter which is found in wastewater produced by coffee benefit, by means of the use of two water plant species *Phragmyties australis* y *Eleocharis elegans kunt*, analyzing their behavior as for removal of organic matter, for each one of the species then, comparing values between them. All that as an alternative of treatment of waters honeys of coffee, with low costs of operation and maintenance for owners of the coffee farm Don Renzo, located in Tunia district, Municipality of Piendamó Cauca.

This process was realized in two phases. First, it consisted in the design and construction of wetlands taking into account the different models established by EPA and adapting them to the needs of the study to be implemented. The construction was carried out using topographical studies to determine mapping and altimetry of the place, in this way the form is established to carry out diggings, it allows that inlet and outlet water possess an appropriate hydraulic gradient, and thus, take advantage the gravity for water transportation.

Wetlands were built using a waterproofing material on which was constructed the bed for supporting, handling granular material in different sizes, organized in several layers. The installations of the plants was made according to the manuals of EPA, this population of plants was feed with waters honeys of coffee in varying quantities, the aim was to adapt them at the environment of their development. After adaption process, we proceeded to feed the wetlands with water honeys of coffee directly from the processors. After that, the process of sampling took place, this process was divided by intervals of four days as the time of hydraulic retention establishes, which was defined in the design.

The obtained samples were sent to the laboratories of Autonomía Corporación of the Cauca for being analyzed, the obtained results presented the significant variations that have both species on the effect in the quality of the water spilt by the wetlands. It gave a better behavior to *Phragmytes australis* specie in terms of removal of organic matter, verifying gathered information in literature review.

KEYWORDS: constructed wetland, honey water, removal, phytoremediation, coffee benefit.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola es uno de los principales renglones económicos a nivel mundial y haciendo parte de este, encontramos la caficultura, que en varios países del mundo y especialmente en Latinoamérica, se ha convertido en una de las actividades agroindustriales más importantes desarrolladas en sus territorios [1].

En Colombia y otros países latinoamericanos, el café arábico se recolecta manualmente, se procesa o beneficia por vía húmeda; por tanto, en los países donde esto ocurre se produce la calidad de café denominado, café suave. En Colombia el proceso de beneficio comienza con la recolección manual de cerezas maduras, característica que genera una calidad de café muy estimada por los consumidores, pero puede llegar a generar una alta contaminación del agua y del ambiente [2]. Dicho beneficio requiere el empleo de volúmenes importantes de agua; con los métodos de beneficio tradicional se estima el uso de entre 40 y 60 litros de agua para la obtención de 1 kg de café pergamino seco en las actividades de transporte, despulpado, fermentación, clasificación y lavado, en el caso del beneficio húmedo ecológico la relación disminuye a un litro de agua por kilogramo procesado de café pergamino seco.

Esta problemática es muy visible en cuanto al vertimiento de aguas residuales, resultantes del beneficio del grano, en cuerpos superficiales de agua o en los campos abiertos contaminando también el suelo y el agua subterránea.

El estudio de los humedales artificiales ha venido ganando espacio desde hace unos veinte años atrás, llegando a convertirse en una opción reconocida y recomendada para el tratamiento de aguas residuales, en los que se ha logrado determinar su alta eficiencia en remoción de materia orgánica y sustancias tóxicas presentes en las aguas residuales, que en muchas ocasiones por no haber ningún tipo de tratamiento son vertidas directamente en el ambiente, también su bajo costo de instalación y operación los convierte en una excelente opción para realizar acciones de depuración en aguas residuales.

Los humedales sub superficiales de flujo horizontal, son sistemas muy utilizados, el diseño de estos, por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas. Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo [3].

Teniendo en cuenta la compleja composición de las aguas residuales del café, la baja existencia de tratamientos convencionales, y el conocimiento limitado en el comportamiento de los humedales construidos para el tratamiento de estas aguas residuales y menos utilizando especies vegetales propias de nuestro territorio. Con el presente trabajo se pretende determinar la eficiencia de un sistema y además la comparación de la eficiencia según la especie vegetal utilizada en el humedal construido para tratar aguas mieles del café.

1. CAPITULO 1: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial, es el vertimiento de aguas residuales al suelo y las fuentes hídricas, sin tratamientos previos. En la actualidad esta situación es responsable del 80% de la mortalidad de organismos acuáticos, de países en vía de desarrollo, problemática que se genera a raíz de las bajas coberturas en los sistemas de alcantarillado, y el inadecuado tratamiento y disposición final de las aguas residuales. Para Colombia, la infraestructura disponible en tratamiento de aguas residuales cubre solamente el 8% de la población [4].

La disposición inadecuada de aguas residuales provenientes de diferentes actividades asociadas a numerosos sectores económicos, ha sido una de las principales causas en la degradación de la calidad de agua en todo el mundo. Para el caso de Latinoamérica la agricultura es la principal actividad económica, en algunos países, el café es su principal producto. Esta industria aporta una importante carga contaminante, debido al proceso de beneficio del fruto. En Colombia este proceso se realiza de manera tradicional, que consiste en utilizar gran cantidad de agua, en los subprocesos de despulpado y lavado. De acuerdo al manual del cafetero colombiano, en el proceso del beneficio del café se consumen aproximadamente 20 L de agua limpia por kilogramo de café pergamino seco [5].

De acuerdo a los datos de la Tabla 1, en Colombia se utilizan aproximadamente 17'040.000 m³ de agua, en el proceso del beneficio del café, de estos, solo un pequeño porcentaje se les efectúa algún tipo de tratamiento preliminar y en su gran mayoría llegan a las fuentes hídricas o suelos, sin ningún tipo de tratamiento, contaminando ríos, quebradas y acuíferos subterráneos.

Tabla 1. Proyección de consumos de agua por producción de café para el año 2015 [6].

1 saco de café (Kg)	Cantidad de agua utilizada por Kg de café	Producción anual de café en Colombia	Consumo total de agua m³ por la producción anual en Colombia
70	20 L	14.2 millones de sacos	17'040.000 m ³

Fuente: elaboración propia

Las aguas residuales del café (aguas mieles) que se producen en el proceso del beneficio húmedo del fruto son biodegradables, sin embargo poseen características fisicoquímicas particularmente agresivas tales como: pH bajo, gran cantidad de sólidos suspendidos, Nitritos, Nitratos, fosfatos y altas concentraciones de materia orgánica (DBO y DQO), cuyas concentraciones son 60 veces más altas en comparación a las aguas residuales domésticas [7].

En el proceso de producción de café el primer contaminante producido, es el agua de despulpado, la cual se ha estimado que consume 16.000 mg/L de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por kilogramo de café y 10.000 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por kilogramo de café. El segundo contaminante es el agua de lavado de las mieles que rodean la semilla del café, operación previa al secado, cuyas aguas aportan 17.000 mg/L de DQO por kilogramo de café y 12.000 mg/L de DBO por kilogramo de café. El tercer contaminante es el vertido de la pulpa o de fracciones de ellas a las fuentes de agua [8] [9].

En el departamento del Cauca se produce cerca de 7'800.000 Kg/año de café seco [1], lo que representa un consumo estimado de 156,000 m³ de agua en el proceso del beneficio del café de los cuales un gran porcentaje son vertidas directamente a los cuerpos de agua causando procesos de eutrofización, malos olores y pérdida de fauna acuática.

La finca Don Renzo no es ajena a la problemática nacional, sobre vertimiento de aguas contaminadas a suelos y fuentes hídricas, ya que aquí se producen cerca de 87.500 L de aguas mieles al año, producto del proceso de despulpado y lavado de la nuez del café. Los factores fundamentales para la escogencia de la finca fueron, por una parte, que el municipio de Piendamó se encuentra en el segundo lugar en producción de café en el departamento del Cauca [1] por otro lado la finca Don Renzo cuenta con 12.000 árboles de café (cifra cercana al promedio de área sembrada con cultivos de café en Colombia) [10] haciendo de esta un lugar propicio para la experimentación y puesta en marcha de proyectos pilotos para la depuración de aguas mieles.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El vertimiento de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo, en cuerpos de agua naturales, ha ido incrementando de manera alarmante, aun después de existir gran cantidad de normas ambientales que buscan regular los vertimientos líquidos hacia cuerpos de agua o suelo. En busca de una solución a esta problemática la ingeniería se ha dado a la tarea de establecer alternativas eficientes y viables económicamente que depuren aguas residuales. Entre las opciones de tratamiento existentes, las más utilizadas en la actualidad son aquellas que imitan los procesos habituales de la naturaleza, estos sistemas se denominan tratamientos naturales de aguas residuales.

La utilización de estos sistemas ha ido en aumento debido a sus bajos costos de inversión, operación, mantenimiento y eficiencia en remoción de contaminantes [11]. Lo que permite disminuir los impactos ambientales negativos, derivados de procesos domésticos, industriales y agropecuarios.

En este último se presentan una serie de inconvenientes a nivel mundial, uno de ellos está representado en el beneficio del café esto debido a que las aguas residuales del café presentan altas concentraciones de materia orgánica (DBO y DQO), nutrientes (fosforo y nitrógeno) y valores bajos de pH, estas cargas

pueden variar dependiendo el tipo de las frutas procesadas, los tipos de suelo y los fertilizantes aplicados, por lo que afecta de manera sustancial un recurso de vital importancia como lo es el agua [12].

Teniendo en cuenta la capacidad de producción cafetera del departamento del Cauca y su constante crecimiento no se puede apartar la problemática generada por las aguas residuales del beneficio del café (aguas mieles), esto debido al limitado acceso a sistemas convencionales de tratamiento, por tal motivo se hace necesario el estudio de sistemas no convencionales y sostenibles con el ambiente.

Uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales, son los humedales artificiales o wetlands los cuales se comportan como tratamientos secundarios e inclusive terciarios de aguas residuales, siendo capaces de producir efluentes aptos para ser vertidos o ser reutilizados [13].

Los humedales artificiales tienen eficiencias de remoción superiores al 90% para DQO, DBO y SST [14] . Estos sistemas son económicamente viables, ya que se pueden utilizar especies vegetales de cada región y su construcción requiere muy pocos materiales (Grava, Polisombra, Plástico o geomembrana, tubería sanitaria y accesorios PVC), además requiere de un mantenimiento mínimo, el cual consiste en la poda de las especies vegetales, cada cierto tiempo y la remoción de materiales en suspensión (grasas y aceites), del tanque hidrodinámico.

Con la implementación del sistema de tratamiento de aguas mieles con humedales artificiales se pretende dar al caficultor una tecnología fácil de manejar, que requiere mínimos recursos económicos y humanos, permitiendo un manejo previo de las aguas mieles, evitando ser vertidas directamente sobre los suelos y fuentes hídricas, de esta manera disminuir impactos ambientales irreversibles que afectan no solo a los caficultores si no a los demás pobladores

de la región quienes se abastecen de estas fuentes hídricas para su consumo y sus diversas labores económicas.

Este proceso será de gran beneficio para los caficultores de la localidad, ya que si su funcionamiento es adecuado se puede implementar a un mayor número de fincas de la zona. De esta forma los caficultores puedan aspirar a certificarse como productores ecológicos, haciendo que su producción aumente de precio, mejorando su economía y la de la región, además que se aporta un avance importante al desarrollo de la agricultura sostenible del Departamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia en las especies *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunth* mediante dos humedales horizontales de flujo subsuperficial, en función de la DQO, DBO Y SST en las aguas mieles del beneficio del café.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar y construir dos humedales Subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo, para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio del café.

- ✓ Evaluar y comparar las eficiencias de remoción de carga contaminante producidas en el proceso de beneficio del café entre las especies *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunth*.

2 CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

El café se ha convertido en uno de los productos de mayor importancia económica en el país y para sostener el nivel de comercio internacional se debe pensar en mantener su calidad, involucrando aspectos sociales, económicos y ambientales [2], refiriéndose a esto último a no impactar negativamente el ambiente durante el proceso de su desarrollo productivo.

Como estrategia para contribuir con la protección y el cuidado del ambiente se han empezado a estudiar tecnologías que ayuden a mitigar el impacto negativo, que las actividades humanas traen sobre él, una de estas son los tratamientos que imitan los procesos naturales de degradación [16].

Por lo tanto, los primeros experimentos dedicados a evaluar la capacidad de depuración de sistemas de humedales, se realizaron por Seidel en 1952 en el instituto Max Plank de Alemania. Desde entonces y durante las décadas de 1950 y 1960 Sidel trabajo con Kickunth, quienes desarrollaron el sistema conocido como “Root Zone Method”, que corresponde a un humedal de flujo subsuperficial relleno de arcilla, con el objetivo de tratar aguas residuales domésticas, convirtiéndose en el referente, para investigaciones venideras [17].

El primer humedal de flujo subsuperficial, construido a escala real se realizó en Wolverton, Mississippi en 1974. En Europa se realizó en Othefresen (Alemania) en el mismo año, estos humedales fueron realizados siguiendo el modelo del instituto Max Plank, este sistema sigue operativo hasta el día de hoy tratando aguas residuales domésticas [17] .

En países tropicales como Colombia, se ha desarrollado un prototipo de humedal artificial de configuración simple y eficiente denominado HUMEDAR - I® cuya configuración involucra un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de

flujo a pistón (RACFP), seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por micrófitos nativos y comunes soportadas sobre sustrato de material plástico reciclado con un diseño especial de aprox. 300 m²/m³ de superficie específica. Realizándose en la locación petrolera Caño Gandul en el departamento de Casanare, permitiendo estimar la eficiencia de remoción en el sistema, hacer una aproximación al modelo cinético de degradación de la materia orgánica y evaluar el sistema con respecto a sistemas convencionales como son las lagunas de oxidación. [19].

Otra investigación en Colombia, específicamente en el Municipio de Popayán en la cual el objetivo fue evaluar diferente especies de gramíneas, buscando una alternativa de manejo de las aguas residuales domésticas con plantas útiles en la alimentación animal. Para tal fin se establecieron humedales artificiales de flujo subsuperficial. Donde se tomaron las muestras de agua residual cada quince días durante seis meses. El análisis estadístico, se realizó por medio de una ANOVA comparando los tratamientos expuestos y una prueba posthoc de Tuckey. Evidenciando que los mejores tratamientos para la remoción de DBO, DQO y SST fueron con las especies *B. mutica* y *P. maximun* [19].

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Café

La etimología del vocablo café deja al descubierto un extenso recorrido que comienza con el árabe clásico *qahwah*, continúa con el turco *kahve* y llega hasta el italiano *caffè*, antes de adquirir la forma como lo conocemos hoy en el idioma español [20].

Imagen 1. Granos de Café



Fuentes. Elaboración propia

Se define como café, a la semilla del cafeto, un árbol que crece naturalmente en territorio etíope y que pertenece al grupo de las Rubiáceas. Este arbusto puede llegar a medir hasta seis metros de altura, presenta hojas opuestas de tonalidad verdosa, sus flores son blancas y sus frutos se presentan como granos rojos en la mayoría de los casos [20].

La semilla de este árbol, es decir, el café, suele medir cerca de un centímetro de longitud, siendo plana por una parte y convexa por la otra, con un surco longitudinal y su color cuando ya está seco es amarillo verdoso. Por extensión del término, se conoce como café a la bebida que se elabora mediante la infusión de esta semilla tostada y molida [21].

2.2.2 Generalidades del proceso del beneficiado del café.

El beneficiadero es un proceso en el cual se logra la transformación de café en cereza a café pergamino seco, mediante la separación de las partes del fruto y secado de los granos, con el fin de conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria; teniendo en cuenta que el fruto maduro del café (café cereza) es un material altamente perecedero por lo cual debe ser rápidamente transformado a café pergamino seco con humedad en un rango del 10 al 12%, este proceso de

transformación es conocido como beneficio, siendo este húmedo ya que se utiliza agua para el lavado de la semilla [2].

El proceso de beneficio del café puede realizarse de dos formas: Una mediante el proceso de beneficio húmedo y la otra de beneficio húmedo ecológico. En la primera se utiliza gran cantidad de agua, en comparación con la segunda la cual utiliza menos recurso hídrico, debido al que el despulpado y transporte de café en baba se realizan en seco [22]. Las etapas de este proceso son las siguientes:

2.2.2.1 Recolección de café cereza

Se realiza de manera manual, cosechando únicamente los granos que han alcanzado su madurez completa, normalmente de color Rojo o Amarillo ya que los verdes dañan el sabor de la taza de un café.

Imagen 2. Recolección del café.



Fuente. Elaboración propia.

2.2.2.2 Despulpado

Se realiza el mismo día de la recolección, para evitar que la almendra se manche con el color de la cascara, esta etapa consiste en retirar el exocarpio del endospermo [23]. Esta actividad se realiza utilizando una máquina de despulpadora que puede ser manual o motorizada.

2.2.2.3 Remoción del Mucilago

Los granos ya despulpados se dejan en reposo para que el mucilago (mesocarpio) se fermente por un periodo de 18 a 21 horas, esto con el fin de poderlo remover con agua.

Imagen 3. Tanque de Fermentación.



Fuente. Elaboración propia

2.2.2.4 Lavado

Con agua limpia se retiran el Mucilago (mesocarpio) ya fermentado, del grano y se eliminan los azúcares, esto se realiza en tanques de lavado, generalmente de forma manual [24]. En esta operación es donde se consume una mayor cantidad de agua limpia y generando la misma cantidad de aguas residuales (aguas mieles).

Imagen 4. Lavado de Mucilago.



Fuente. Elaboración propia.

2.2.3 Definición y tipos de aguas residuales

A continuación se expone de manera breve la definición, y los tipos de aguas residuales que pueden existir

2.2.3.1 Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas (domesticas, actividades comerciales, industriales, agrícolas, etc.) y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado [24].

- ✓ **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** son aguas residuales producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, laboratorios, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida varían poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de la población [25].
- ✓ **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 [8].
- ✓ **Aguas residuales industriales:** son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria [27].
- ✓ **Aguas residuales agrícolas:** Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales y de explotaciones ganaderas, también de la escorrentía

producida en los terrenos las cuales contienen grandes cantidades de productos químicos presentes en el suelo debido a la aplicación de agro tóxicos (fertilizantes y pesticidas) y materia fecal [27].

2.2.4 Características del agua residual

Las aguas residuales domésticas difieren de las agrícolas o industriales en cuanto a sus características, por lo que no es posible utilizar los mismos sistemas de tratamiento a estos tipos de agua, esperando obtener la misma eficiencia [24]. La importancia de conocer las características es evitar o minimizar los efectos nocivos que ocasionaría el verter estas aguas residuales sin un tratamiento previo a los cuerpos de agua receptores.

2.2.4.1 Características físicas

Son varias las características físicas que vamos a mencionar a continuación:

- ✓ **Temperatura:** El aumento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, incrementa el consumo de oxígeno pero a la vez disminuye la solubilidad del mismo [26]. La descarga de aguas relativamente calientes a un cuerpo receptor puede crear un desequilibrio en el ecosistema de la vida acuática.
- ✓ **Sólidos:** a estos nos referimos mediante la cantidad total de materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta. [27].
- ✓ **Turbidez:** Esta propiedad indica indirectamente la concentración de materia suspendida en el agua ya que es una medida de transmisión de la luz a través de esta [27].

- ✓ **Olor:** Se origina normalmente por la presencia de gases producidos o liberados por biotransformación de la materia orgánica. El agua residual fresca tiene un olor ligeramente desagradable, pero en caso de agua residual de varios días el olor puede ser insoportable. El olor más característico de las aguas residuales se debe a la presencia de sulfuro de hidrógeno [28].
- ✓ **Color:** El color es un indicador de la edad de las aguas residuales; un color gris indica que se trata de aguas residuales frescas, mientras que un color más oscuro muestra mayor tiempo del agua residual [27].
- ✓ **Conductividad:** Se define como la capacidad que tiene el agua para transportar una corriente eléctrica [26].

2.2.4.2 Características fisicoquímicas

En esta categoría se encuentran contaminantes como productos químicos orgánicos e inorgánicos, los cuales se pueden medir mediante parámetros químicos (DQO, DBO, Nutrientes, etc.), y físico (como SST, SS, Grasas). Con frecuencia estas sustancias no son eliminadas por un tratamiento convencional, debido a su naturaleza química o por presentarse en concentraciones elevadas. En éste grupo se incluyen también los iones de metales pesados presentes en las aguas residuales industriales, dichos contaminantes aún en concentraciones muy pequeñas pueden causar graves problemas. [28].

2.2.4.3 Características biológicas

Siendo el agua un medio óptimo para el desarrollo y vida de todos los organismos vivos, especialmente de microorganismos como: bacterias, virus, protozoarios, hongos, rotíferos y otros, los cuales son responsables de la transmisión de enfermedades. Quienes aumentan su proliferación dependiendo las sustancias que alteren el estado natural del agua por medio del agua de abastecimiento [29].

2.2.5 Principales contaminantes presentes en aguas residuales.

Día a día se generan subproductos contaminantes en las actividades realizadas por el ser humano, ya sean estas para cumplir con sus necesidades básicas, desarrollo industrial, atención hospitalaria, etc. Generalmente, los contaminantes son la causa más importante de la disminución de la calidad del agua en todo el mundo [30]. Se puede establecer los tipos de contaminantes de acuerdo a su origen. Por este motivo se detalla algunos de los contaminantes presentes en las aguas residuales de origen agrícola.

2.2.5.1 Contaminación por aguas residuales agrícolas

En Colombia la contaminación por el uso de agro-tóxicos es una realidad cotidiana. El afán de obtener productos de mayor competitividad ha dado paso a una sobreexplotación del uso de fertilizantes, plaguicidas [31]. Uno de los problemas en las aguas residuales agrícolas son los residuos de fertilizantes y otros agro-tóxicos utilizados en los cultivos. Estas aguas llegarán a un cuerpo receptor con elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo, los mismos que contribuyen al crecimiento masivo de algas y pudiera ocasionarse un proceso de eutrofización [25].

A fin de tener bases teóricas, se explicara la utilización de los parámetros físico químico (DBO, DQO y SST) en esta investigación.

2.2.5.2 Demanda biológica de oxígeno (BDO)

La DBO es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado

por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales [3].

2.2.5.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno ó DQO, es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. Difiere de la DBO en que en esta última prueba solo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable. En la determinación de DQO todo el material orgánico biodegradable y no biodegradable es químicamente oxidado por el dicromato de potasio en medio ácido en la presencia de un catalizador [3].

2.2.5.4 Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibras de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente. Medida de los sólidos suspendidos en aguas residuales, efluentes o cuerpos de agua, determinada mediante pruebas para sólidos suspendidos no filtrables. Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenidas en papel filtro n 42 [32].

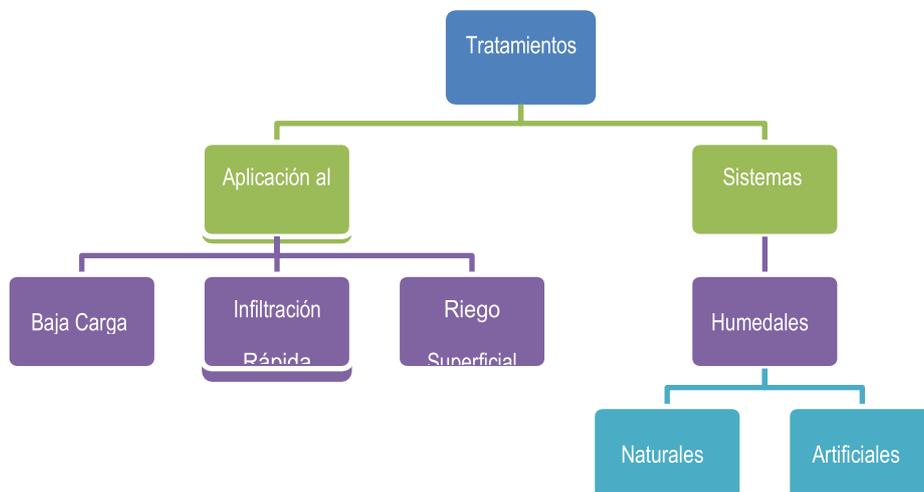
2.2.6 Características de las aguas mieles del café.

En las aguas del beneficio del café, se pueden observar características como color café rojizo. Turbidez elevada (1000 UNT), mal olor y un pH ácido entre 3 y 4. Además, tienen altas concentraciones de DQO (10.000- 30.000mg/L), DBO5 (7.000 mg/L), NT (>30mg/L) y PT (>60mg/L) [11]. Por ende, el vertimiento de este tipo de aguas a las fuentes hídricas causa afectaciones severas en ellos, suelos y ecosistemas. Estas aguas arrastran altas concentraciones de sólidos en suspensión en sedimentos e impurezas químicas, las cuales serán depositadas aguas abajo, provocando la eutrofización, disminución del oxígeno

disuelto, disminución del pH y afectaciones a nichos ecológicos acuáticos (especies animales y vegetales), deteriorando la calidad del suelo y una creciente erosión del mismo, imposibilitando el uso de estas aguas para el consumo humano y modificando el paisaje [5]. No obstante, con la finalidad de minimizar estas afectaciones al ambiente, en especial a los cuerpos de agua, se implementan sistemas de tratamientos naturales o biológicos.

2.2.7 Clasificación de los tratamientos naturales

Imagen 5. Esquema de la clasificación de los tratamientos naturales.



Fuente: evaluación de un sistema de tratamiento con humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal.

Los sistemas de tratamiento natural se clasifican en sistemas de aplicación al terreno y en sistemas acuáticos. En los sistemas de aplicación al terreno encontramos el de baja carga, infiltración rápida y riego superficial. En estos sistemas el agua a tratar es aplicada al suelo, en algunos casos con presencia de vegetación y en otros casos no. En los sistemas acuáticos están los humedales que pueden ser naturales o artificiales; en donde se utilizan especies vegetales acuáticas como parte del tratamiento [3] Tratamientos biológicos para aguas residuales del café.

Estos son sistemas de tratamiento que utilizan o funcionan de manera similar a los procesos biológicos efectuados en la naturaleza, entre los más utilizados se encuentran.

2.2.7.1 Sistema modular de tratamiento anaerobio (SMTA)

Estudios realizados en el laboratorio de Cenicafe y en una planta piloto, se buscó desarrollar un sistema de tratamiento anaerobio con separación de fases, que opere por gravedad, sin necesidad de utilizar fuentes de calentamiento diferentes a la energía solar y con la imperiosa necesidad de que funcionaran sin el uso de álcalizantes para neutralizar las aguas mieles, dado los altos costos asociados a la compra del NaOH para este fin y a la mano de obra requerida para su dosificación [34].

La separación de fases y la inclusión de una recámara dosificadora entre el reactor hidrolítico y el reactor metano génico, permitió la utilización de reactores UAF para la etapa metanogénica, siendo éstos elementos los componentes de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA) propuestos para el tratamiento de las aguas mieles a escala de campo.

En la actualidad los SMTA funcionan contiguos a los beneficiaderos, en los cuales se han adoptado el despulpado y transporte de pulpa en seco y el lavado del café en los tanques de fermentación tradicional adaptados a tanques tina, utilizando para ello cuatro enjuagues de la masa (lo que permite tener un consumo de agua menor a 5,0 l/kg cps) y alcanzar concentraciones de DQO en los residuos cercanos a 27400 ppm [34].

2.2.7.2 Humedales artificiales

Se pueden definir como sistemas biológicos agrupados por medio de un impermeabilizante, estos surgen a partir de la simulación del funcionamiento en los humedales naturales quienes combinan procesos físicos, químicos y

biológicos que ocurren por la interacción del agua, suelo, plantas, microorganismos y la atmósfera, generando procesos de sedimentación, filtración y adsorción, entre otros procesos de degradación biológica y química. Para su funcionamiento no requieren aporte extra de energía ni reactivos químicos [34].

Imagen 6. Ejemplo De Humedales Artificiales



Fuente: Diario Conciencia

Según EPA, la clasificación de los humedales artificiales está en función de si hay o no presencia de una superficie libre de agua que esté en contacto con la atmósfera. De acuerdo a lo expuesto se puede mencionar dos tipos de humedales artificiales:

- **Humedales de flujo Horizontal superficial.**

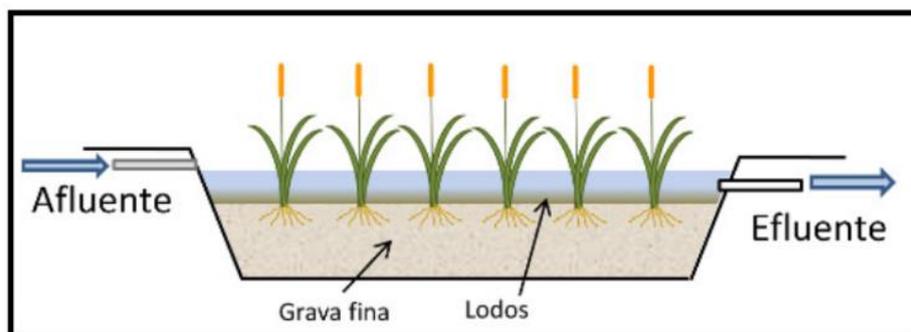
Los humedales artificiales FS presentan una capa de agua poco profunda que por lo general oscila entre 0.2 y 0.4 m., el agua fluye a través del sistema con un tiempo de retención hidráulica de 10 días como mínimo [35].

La profundidad baja del agua, la velocidad lenta del flujo y la presencia de las especies vegetales acuáticas regulan el flujo del agua a tratar, teniendo un régimen esencialmente laminar que proporciona una remoción muy efectiva de material particulado al inicio del sistema [15].

Es importante mencionar que el agua antes de llegar al sistema debe tener un tratamiento preliminar, ejemplo con un proceso previo de sedimentación. Los mecanismos de remoción que se detallarán más adelante se ejecutarán al pasar el agua lentamente a través de los tallos en caso de vegetación emergente y las raíces si se trata de vegetación flotante. Las especies vegetales acuáticas con sus tallos, hojas sumergidas y raíces forman un medio de soporte para el crecimiento de las bacterias y en algunos casos permite la oxigenación [26].

El oxígeno que se encuentra disponible en la superficie del agua, en microzonas de la superficie de las especies vegetales acuáticas, así como en superficie de raíces y rizomas, lo cual permite que se produzca actividad aeróbica en este humedal. Sin embargo, se puede asumir que la mayor parte del líquido en el humedal FS es anaeróbico, lo cual limita la remoción de amoníaco pero estos humedales sí son efectivos para la remoción de DBO, SST, metales y algunos contaminantes orgánicos [15].

Imagen 7. Humedal Superficial



Fuente: Block de ingeniería sostenible

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los humedales superficiales

Ventajas	Desventajas
Proporcionan la incorporación de hábitat de vida silvestre y oportunidades para la recreación pública.	El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y se acumulan con el tiempo.
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.	En climas fríos en el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación.
	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.

Fuente. Elaboración propia

- **Humedales de flujo subsuperficial.**

Este tipo de humedales se divide de dos formas de flujo verticales y de flujo horizontal.

Humedales de flujo vertical subsuperficial: Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno [36]. Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De

esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios [37].

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua. Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La vegetación emergente se planta también en este medio granular. La profundidad del medio granular está entre 0,5 y 0,8 m y operan con cargas de alrededor de 20 a 40 g DBO/m² d, produciendo efluentes de mayor oxigenación y están libres de malos olores [38].

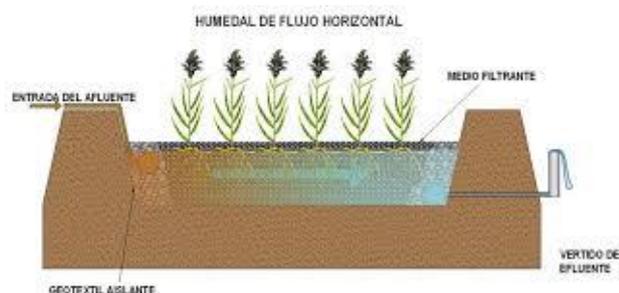
Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales, requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación. Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo.

Humedales de flujo Horizontal subsuperficial: Los sistemas de flujo subsuperficial están contruidos típicamente en forma de un lecho o canal, que deben presentar una capa impermeabilizante que impida la percolación del fluido hacia el subsuelo, además contiene un medio filtrante apropiado (grava, arena u otro material) que además soporta el crecimiento de las plantas; la vegetación emergente es la misma que en el sistema de flujo libre. La profundidad del medio, en estos humedales de flujo subsuperficial tiene un rango de 0,3 a 0,9 metros, siendo el valor más común el de 0,6 metros [15]. El nivel del agua está por debajo

de la superficie del soporte y fluye únicamente a través del medio que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre al agua residual, en donde las raíces penetran hasta el fondo del lecho, para lo cual el material que conforma el lecho filtrante deber ser suficientemente grande para permitir un flujo subterráneo a largo plazo sin obstrucciones.

Las raíces y tubérculos (rizomas) de las plantas crecen en los espacios entre la grava. Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra muy cercana a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema. Este hecho hace que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial pero con un mayor costo debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica [39].

Imagen 8. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial.



Fuente: block sodoqua

Tiene especial importancia en este tipo de sistemas que se lleve a cabo un tratamiento previo de las aguas residuales para remover sólidos gruesos, con la

finalidad de evitar problemas de obstrucción al medio de soporte granular y la consecuente afectación que esto pueda tener sobre el funcionamiento del sistema.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los humedales subsuperficiales

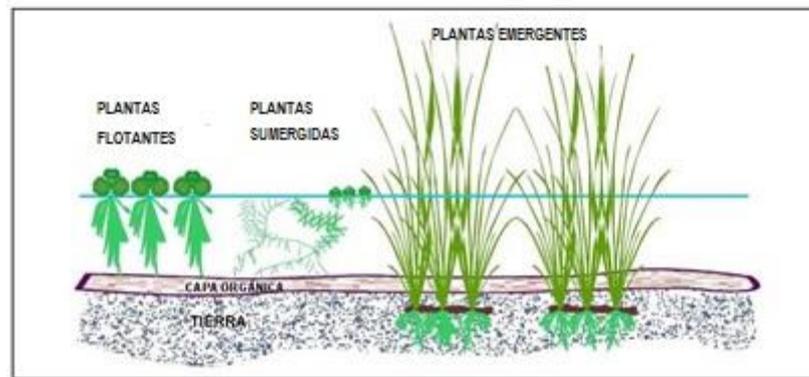
Ventajas	Desventajas
La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención.	El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.	La mayoría del agua contenida en los humedales de flujo subsuperficial es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco.
El agua no se expone en la superficie.	
Disminución en la presencia de vectores.	
Disminución de malos olores	

[Fuente: editado]

2.2.8 Clasificación de las especies vegetales acuáticas.

Las especies vegetales acuáticas que se pueden emplear en un humedal artificial son: flotantes, emergentes y sumergidas, tal como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 9. Especies vegetales acuáticas.



Fuente. Metcalf y Eddy, 1995b. Editado

Flotantes: se caracterizan por su habilidad para derivar el dióxido de carbono y satisfacer las necesidades de oxígeno directamente de la atmósfera, estas toman los nutrientes minerales del agua [40].

Sumergidas: se caracterizan por la habilidad de absorber oxígeno, dióxido de carbono y minerales de la columna de agua [40].

Emergentes: Aportan con la difusión de oxígeno desde la parte aérea hacia la zona radicular permitiendo así la aireación del sistema. [34]

2.2.8.1 Funciones de las especies vegetales acuáticas como parte de un humedal artificial.

La vegetación juega un papel importante ya que la difusión de oxígeno de las raíces crea condiciones necesarias para el desarrollo de microorganismos, que participan en la descomposición aeróbica de la materia orgánica, tanto raíces, hojas y tallos cumplen una función que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4. Funciones de las especies vegetales acuáticas.

Raíces y/o tallos en la columna de agua.	<ul style="list-style-type: none">✓ Será la superficie donde las bacterias crezcan.✓ Constituye una media filtración y adsorción de sólidos.
Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua.	<ul style="list-style-type: none">✓ Previenen el crecimiento de algas.✓ Reducen la transferencia de gases entre la atmósfera y el agua.

Fuente: depuración de aguas residuales domésticas (2016). Editado

Las características que deben poseer las especies vegetales acuáticas empleadas en un humedal artificial son las siguientes:

- ✓ Alta productividad.
- ✓ Alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes.
- ✓ Buenas condiciones de supervivencia ante condiciones adversas.
- ✓ Facilidad para ser cosechada

2.2.9 Características de las especies vegetales utilizadas en los humedales HFS

Siendo las especies vegetales un elemento primordial en los humedales artificiales es importante revisar literatura respecto a las mismas, por lo tanto se presenta la clasificación, las funciones y características de *Phragmites australis* Y *Eleocharis elegans kunth*.

2.2.9.1 *Phragmites australis* (Carrizo)

Phragmites Australis o comúnmente conocido como carrizo, es una planta perenne, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie buscando agua. Esta caña común forma grandes camas en aguas poco profundas; posee tallos huecos, flexibles y leñosos que normalmente crecen hasta 2 m de altura, pero puede llegar a 4m, de crecimiento rápido, vía rizomas; se extienden lateralmente y forman una capa muy densa en un año [41].

Las hojas anchas asperosas y planas se estrechan en un punto, y se unen al tallo por vainas lisas, las hojas apuntan en una dirección en el viento. Las flores nacen en altamente ramificadas inflorescencias de color púrpura, que miden de 20 a 60 cm de longitud. Habita en suelos húmedos y orillas de cursos de agua y lagunas. En ríos se encuentran fundamentalmente en los tramos más bajos, en los que la velocidad del curso de agua les permite enraizar. Puede soportar bastante bien niveles moderados de salinidad en el agua y en el suelo, necesitando suelos encharcados hasta profundidades de 5 cm, por lo que es posible encontrarlo en las proximidades de pantanos y zonas más salobres [41].

Tabla 5. Taxonomía *Phragmites australis* (Carrizo).

Nombre Científico:	<i>Phragmites australis</i> (Cav.)
Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Arundinoideae
Género:	Phragmites
Nombre Común:	Carrizo

Fuente: Block Tropicos

- **Reproducción del *Phragmites australis***

En la mayoría de regiones donde ha sido introducida, no produce semillas viables, la esterilidad implica que en la naturaleza, se deba propagar asexualmente, de esta forma, reduciendo drásticamente la variabilidad genética. Se ha descrito que la esterilidad de la caña es resultado del fracaso de la célula madre megaspora al dividirse, incluso hay evidencia de la presencia de embriones y semillas viables, pero no germinables [42].

La detección de una baja variabilidad genética confirma una propagación predominantemente vegetativa y al mismo tiempo explica el éxito ecológico, atribuido a su rápida propagación clonal por extensión y el flujo de dispersión del rizoma y los fragmentos de tallo [42].

- **Desarrollo de *Phragmites australis***

Vive en marismas, lagunas y bordes de ríos, en aguas más o menos profundas, propias de márgenes de lagos o cursos de aguas lentas. Formando densas poblaciones o cañaverales, desde el nivel del mar a los 2000 m de altitud, Crece a plena luz aunque soporta sombra, con temperatura media, soporta suelos débilmente ácidos; pH 4.5 - 7.5. Y prolifera principalmente en sustratos ricos en nitrógeno.

2.2.9.2 *Eleocharis elegans kunth.*

La especie (*Eleocharis elegans kunth*) es una hierba acuática y subacuática, el tamaño de sus vainas es de hasta 1.5 m de largo, siendo rectas, cilíndricas, además de huecas por dentro, presentan membranas frágiles, las hojas se ven reducidas únicamente a vainas que abrazan el tallo, son rojizas o purpúreas y presentan el ápice truncado, a menudo con un pequeño dientecillo. Su Inflorescencia se ve en numerosas flores densamente agrupadas en una espiguilla solitaria, cilíndrica o cónica, de hasta 2,2 cm de largo, ubicada en la

punta del tallo, de igual manera cada flor tiene una bráctea angosta, de hasta 3.6 mm de largo con el ápice algo redondeado, membranáceas de color café (a veces muy pálidas cuando son inmaduras), con la vena principal evidente y el margen algo translúcido sin pelos, de ahí que las flores no presenten ni cáliz ni corola, únicamente 3 estambres y el ovario con un estilo dividido en 2 o 3 ramas, tanto los estambres como el estilo sobrepasan ampliamente la bráctea, del mismo modo su fruto es seco y no se abre (indehiscente), contiene una sola semilla, se le conoce como aquenio, éste es biconvexo o ligeramente angulado, angostado hacia la base, de color amarillo a café, con la superficie cubierta de diminutas protuberancias y en el ápice presenta un tubérculo delgado y de 6 a 8 cerdas dentadas, de color café-rojizo a púrpura [43].

Tabla 6. Taxonomía *Eleocharis elegans Kunth*

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales
Familia:	Cyperaceae
Género:	Eleocharis
Especie:	<i>Eleocharis elegans kunth</i>
Nombre Común:	Junco.

Fuente. Jardín Botánico de Bogotá

- **Reproducción *Eleocharis elegans kunth***

Presenta una propagación predominantemente vegetativa siendo las partes más viables para este fin sus rizomas.

- **Desarrollo de *Eleocharis elegans kunth***

Hierbas acuáticas, rizomatosas y perennes, de altura entre los 10-150 cm o más, el diámetro del tallo esta entre 3-10 mm, septados o tabicados, se encuentra en América Central y Suramérica tropical. Frecuente, desde el nivel del mar hasta 2500 m de altura o más, en pantanos y a menudo en sitios arenosos a lo largo de los ríos [44].

2.2.10 Lecho filtrante del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

En los humedales, el fondo o lecho está formado por: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al desarrollo microbiológico.

La principal característica del medio es que debe tener la conductividad hidráulica suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular. Principalmente grava con un diámetro aproximado de 5 mm. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales [47], son importantes por varias razones:

- ✓ Brindan soporte a los organismos presentes en el humedal.
- ✓ La permeabilidad del sustrato es de gran importancia para el movimiento del agua a través del humedal.
- ✓ En el sustrato es donde se llevan a cabo la mayoría de transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas).
- ✓ Funciona como sitio de almacenamiento para diferentes sustancias tóxicas.

- ✓ La acumulación y descomposición de restos vegetales, aumentan la cantidad de materia orgánica en el humedal. Siendo esta la que desencadena un proceso de fijación de microorganismos, liberando carbono, el cual se convierte en fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal [47].

2.2.11 Microorganismos

Son estos los encargados de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno, que logra llegar directamente de la atmósfera, de esta forma se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. Los principales procesos que se llevan a cabo son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y de elementos traza, además de la desinfección [13].

Los principales microorganismos, presentes en la biopelícula formada en el sustrato de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y otros nutrientes. La función más importante de la actividad microbiana, es transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, además de convertir muchas de las sustancias contaminantes, en gases, los cuales son liberados a la atmósfera [45].

2.2.12 Consideraciones en el Diseño de un Humedal

Las principales características que se debe tener en cuenta para la localización y diseño de un proyecto, en el cual se manejen sistemas de humedales construidos son: calidad del agua a tratar, topografía, ubicación geográfica, suelo, uso actual de los terrenos y la selección de la especie [3].

2.2.12.1 Topografía.

Se debe procurar que la topografía para la instalación de un sistema de humedales construidos sea uniforme horizontal o en ligera pendiente. Ello se debe a que los sistemas de flujo subsuperficial, se suelen diseñar y construir con pendientes del 1% e inferiores al 5% [3].

2.2.12.2 Porosidad y conductividad hidráulica.

La obstrucción en los humedales puede ocasionar una disminución en el rendimiento del tratamiento o el mal funcionamiento hidráulico del mismo, presentándose un empozamiento del agua residual en la superficie del sistema, las cuales no son tratadas. La Obstrucción avanzada puede llegar a interrumpir los medios de comunicación para que se lleven a cabo los procesos adecuados en la depuración de las aguas residuales, lo que limita la vida útil del activo del sistema [18]. Por este motivo los materiales utilizados como sustrato deben cumplir con las especificaciones establecidas por la EPA, en cuanto a sus diámetros, tamaño efectivo y porosidad.

Tabla 7. Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales construidos.

Tipo de medio	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad Hidráulica, $K_r(Pie^3 / Pie/d)$
Arena gruesa	2	28 a 32	300 a 3000
Arena con grava	8	30 a 35	1600 a 16000
Arena fina	16	35 a 38	3000 a 32000
Grava media	32	36 a 40	32000 a 160000
Poca Triturada	128	38 a 40	16×10^4 a 82×10^4

Fuente: EPA, 2010

2.3 BASES LEGALES

La legislación ambiental en Colombia es extensa, ya que tiene un amplio cubrimiento en muchos temas; uno de estos se relaciona con el manejo y gestión de aguas, tanto potables como residuales. En este último hace referencia a todo tipo de aguas residuales, resultantes de procesos domiciliarios, como industriales y agrícolas, para el manejo de esta temática la normatividad destacada en Colombia se detalla a continuación:

Tabla 8. Marco normativo colombiano.

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Ley 99 de 1993	Conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables
Decreto 1076 del 2015	Por medio del cual se expide el Decreto único de Reglamentación, del Sector Ambiente y desarrollo Sostenible.
Decreto 3930 De 2010	Prohíbe todo vertimiento de residuos líquidos a las calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillado para aguas lluvia
Resolución 0631 de 2015	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.
RAS 2000, Título E	Fija los criterios básicos y requisitos que deben cumplir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño,

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
	construcción, la supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas tratamientos de aguas residuales.

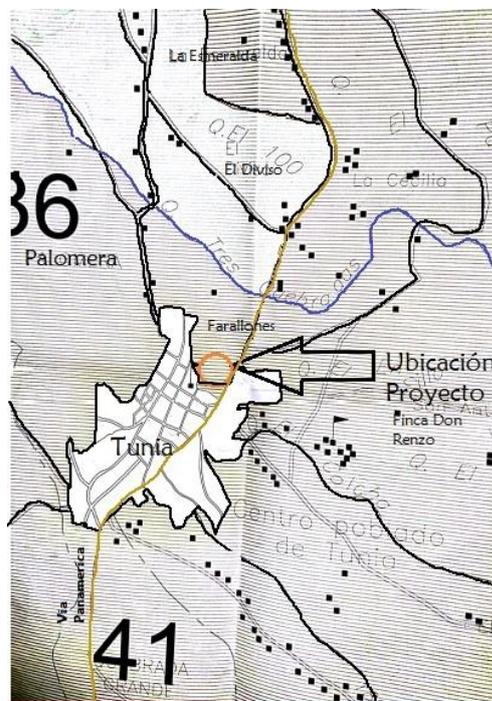
Fuente: Elaboración Propia.

3 CAPITULO III. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ejecutó en el Municipio de Piendamó, el cual cuenta con una extensión de 18.865.64 hectáreas, repartidas en 6 distritos y 55 veredas, su temperatura media es de 18°C y se ubica en la subregión centro-norte del departamento del Cauca, su localización estratégica sobre la vía panamericana hacen de este un municipio privilegiado por su facilidad de acceso y comunicación con el resto del país. Además, al estar ubicado sobre la meseta de Popayán sus suelos poseen una vocación agrícola de gran importancia lo que ha hecho que se convierta en el segundo municipio productor de café a nivel departamental, después del municipio del Tambo [46].

Este Municipio Limita al oriente con el Municipio de Silvia, al occidente con el municipio de Morales, al norte con el Municipio de Caldono y al sur con el Municipio de Cajibío [47].

Mapa 1. Localización de la vereda donde se ejecutó el proyecto (Tunía- Finca Don Renzo)



Fuente. Casa Color Tunía Cauca (2016).

3.1.1 Características ecológicas

El territorio municipal de Piendamó forma parte de la cuenca hidrográfica Alta del río Cauca; se caracteriza porque sus ríos, quebradas, zanjones y cañadas, corren por depresiones en sentido casi paralelo con la dirección de la Cordillera Central, en cuyas cimas y estribaciones tiene origen la red hídrica del municipio, en orden jerárquico está conformada por las subcuencas de los ríos Piendamó y Ovejas y microcuenca río Pescador [48]. Dentro de este territorio se clasifican dos pisos térmicos (templado y frío) y un piso bioclimático (bosque subandino), donde encontramos una gran diversidad en especies vegetales como animales, en los que podemos identificar árbol de roble (*Quercus humboldtii*) y tipo de animales como el Armadillo (*Dasypodidae*).

Lo que hace prosperar esta diversidad, es su relieve el cual está clasificado en los siguientes tipos de paisajes: montañoso-colinado y pie de monte disectado. [50]

3.1.2 Economía

En este Municipio la economía se mueve alrededor de la agrícola, aunque también tiene incidencia el comercio; dentro de las actividades agropecuarias la de mayor influencia es la caficultura, teniendo en cuenta que también hay otro tipo de actividades como la ganadería, piscicultura y floricultura. [48]. Y aportando desde la agricultura y específicamente desde la caficultura hacia la economía del municipio se encuentra la finca Don Renzo

3.1.3 Características de la Finca Don Renzo

El proyecto se llevó a cabo en la finca Don Renzo, ubicada en la vereda Farallones, corregimiento de Tunia, municipio de Piendamó Cauca con las siguientes coordenadas: (este 1060820.181, norte 787922.022), región ubicada en la parte media del área montañosa de la subcuenca del río Piendamó [47].

Esta finca se encuentra ubicada en el Km 27, de la vía Popayán - Cali. Dentro del predio se cuenta con un plantío cafetero de aproximadamente 12.000 árboles, de los cuales es tan diversificados con las siguientes variedades Catimor y Castilla, de los cual se extrae una producción anual estimada de 300 arrobas de café seco. También podemos anexar que dentro de estos predios se manejan sombríos con árboles maderables como Nogal Cafetero (*Cordia alliodora*) y cascarillo (*ladenbergia magnifolia*), también árboles frutales como: Aguacate (*Persea americana*) y cítricos como: Naranjas, limones y mandarinas, además de *Musaceas* como el Plátano, Banano y Guineo, lo que genera una buena fuente de alimentación para animales silvestres como: aves y pequeños mamíferos como el Guatín (*Myoprocta pratti wagler*).

Toda la actividad productiva se mueve alrededor al cultivo del café, pero existen otras actividades que ayudan al sostenimiento de la finca ejemplo: el servicio de hospedaje y restaurante, además de ofrecer el producto principal de la finca ya procesado (café molido).

Imagen 10. Producto Procesado en la finca Don Renzo



Fuente: Elaboración Propia

Para los propietarios de la finca don Renzo la conservación ambiental es muy importante y en busca de esto se ha establecido la implementación de técnicas y tecnologías que minimicen los impactos ambientales causados por las actividades dentro de los procesos agrícolas. Algunas de estas actividades son: la utilización de métodos de cultivo ecológicos y preservadas especies forestales y animales propias de la región.

Imagen 11. Finca Don Renzo.



Fuente. Elaboración propia.

4 CAPITULO IV.METODOLOGIA

En este capítulo se hace relación a los métodos utilizados con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados, teniendo en cuenta que para la realización del presente trabajo se generaron dos fases, las que resultan después haber realizado todo un proceso de recolección de información bibliográfica, vistas de campo y conversatorios con los propietarios de la finca, actividades que arrojaron datos importantes para el desarrollo de este proyecto. Las fases de desarrollo se generaron de la siguiente manera.

4.1 FASE 1: Diseño y construcción de dos humedales Subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo, para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio del café.

La finca don Renzo, donde se realizo el proyecto, esta dedicada desde hace muchos años a la producción cafetera, contando actualmente con aproximadamente 12.000 arboles de café y un sistema tradicional de beneficio para el grano.

4.1.1 Reconocimiento de zonas a intervenir

Durante el proceso de recolección de información mencionado anteriormente se realizó el tema del acercamiento con los propietarios de la finca buscando conseguir los permisos pertinentes, para el desarrollo del proyecto dentro de dicho predio, además de hacer el reconociendo del lote donde se desarrollaría toda la instalación de los humedales y también identificar temas importantes como: la topografía del terreno y la distancia del beneficiadero de café hasta el sitio de los humedales.

Una vez adelantada las actividades de reconocimiento, y de haber adquirido los permisos para la realización del trabajo investigativo, se procedió a un estudio topográfico del terreno (altimetría y planimetría) mirar ítem 4.1.3.1, en continuidad se acopió una muestra de las aguas mieles para realizar análisis

físico químico (DBO, DQO y SST) en el laboratorio de la CRC de la ciudad de Popayán.

4.1.2 Diseño y construcción del humedal.

4.1.2.1 Estudio Topográfico.

El estudio planimétrico y altimétrico con número de registro (1196026) del Sena, realizado en conjunto con estudiantes del centro de Teleinformática y producción industrial del Sena regional Cauca del curso de Topografía, utilizando equipo de precisión como es la estación total Marca (Geomax Z20r) y el Gps(Trimble Juno 3B), con los cuales se realizó un levantamiento planímetro, realizando inicialmente el recorrido a la zona de trabajo, para elaborar un matacho (dibujo a mano alzada del lugar) seguidamente, se localizó la estación en el lugar donde se tuviera visibilidad de toda el área de estudio, luego utilizando el GPS se ubicó las coordenadas del sitio donde estaba ubicada la estación, además de las coordenadas del punto de amarre y finalmente con el método de radiación se localizaron las infraestructuras y todo tipo de cuerpos presentes en el lugar.

Con la misma estación ya instalada, se toma una serie de puntos consecutivos para la determinación de la pendiente del terreno y poder establecer el sistema de tuberías de conducción, teniendo como referencia su cota batea.

Imagen 12. Levantamiento planimetrico y altimétrico.



Fuente. Elaboración propia

4.1.2.2 Diseño del humedal.

Para el tratamiento de las aguas mieles del café en la finca Don Renzo, se cuenta con un pre-tratamiento, que consta de una serie de tamices de diferentes dimensiones, los cuales evitan que materiales de gran diámetro (cascarillas, hojas, ramas, etc.), entren al humedal subsuperficial de flujo horizontal propuesto en esta investigación e impidiendo que este sistema colapse.

Para el dimensionamiento del humedal de flujo subsuperficial horizontal se trabajó con la guía para el diseño y construcción de un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial [15].

4.1.2.3 Cálculos Para El Diseño Del Humedal Construido.

El cálculo del caudal máximo pico entrante al humedal, se calculó mediante el siguiente procedimiento, utilizando como referencia las investigaciones realizadas por CENICAFE, para estimar dicho caudal. Para esto es necesario conocer la producción anual de la finca (kilogramos de café pergamino seco) o el valor del café cereza recolectado en el día de máxima producción, y el porcentaje de café pergamino seco obtenido en el día pico, en el caso del departamento del Cauca se tiene un valor promedio establecido de 0.035(3.5%) [51].

- **DMR:** En la finca de estudio, la producción de café máxima registrada en el día pico del año 2017, fue 3600 kg de café pergamino seco.
- **A:** El agua utilizada en el sistema por día es: Agua utilizada por 1kg de café pergamino seco = 5litros [7].
- **QM:** Caudal Máximo utilizado.

$$QM = DMR * A * 0,035$$

Ecuacion 1

Entonces:

$$3600Kg * 5 \frac{Lt}{kg} * 0,035 = 630 \frac{L}{dia} = 0,63 \frac{m^3}{dia}$$

De acuerdo con la guía N°6 de la EPA los requisitos que se tuvieron en cuenta para el diseño y construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial (SFCW) [14], son los siguientes:

La carga de entrada al humedal es de acuerdo al resultado del análisis de DBO y temperatura del agua de la muestra que se tomó, en la Finca Don Renzo:

- **DBO** = 7950 mg/L
- **T°** = 26°C

Con los anteriores datos se pudo establecer la relación de largo y ancho que sería (2m a 1m respectivamente) y la profundidad de humedal, siguiendo los lineamientos recomendados por la EPA.

- **Profundidad** = 0,60 m, esta profundidad se tomó de acuerdo a las especificaciones recomendadas por la EPA.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es seleccionar el valor de los espacios vacíos, presentados entre las rocas.

- **n** = 0.35, este valor establecido por la EPA, para (SFCW) en los que se utilicen plantas.

Con lo anteriormente se calcula el área superficial necesaria el humedal artificial (SFCW).

$$A_s = (L)(w) = Q \left[\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \right] + K_t dn \quad \text{Ecuacion 2}$$

$$K_t = K_{20}(\theta) = K^{T-20^\circ C}$$

$$K_{20} = 1.104$$

$$\Theta = 1.06$$

En donde:

A_s = Área de superficie del SFCW (pie²) (m²).

L = Longitud (pie²) (m²).

W = Ancho (pie²) (m²).

Q = Caudal (pies³/día) (m³/día).

C_o = DBO afluente (mg/L).

C_e = DBO efluente (mg/L).

K_t = proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales T°C

K_{20} = proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales

T = 20°C.

d = profundidad promedio del agua en el filtro (pie) (m).

n = porosidad de la estructura del filtro.

Se utilizó la ecuación de Darcy para determinar la capacidad de diseño, y así determinar el flujo a través del SFCW [37]

$$Q = K_s A S$$

Ecuacion 3

En donde:

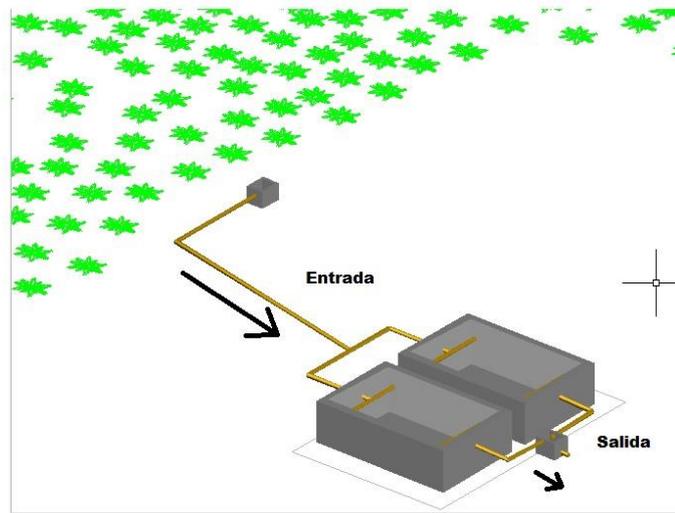
Q = flujo capaz de pasar a través del SFCW (pies³/día) (m³/día).

K_s = conductividad hidráulica

A = área transversal del SFCW

S = gradiente hidráulico (pie²) (m²).

Imagen 13. Esquema de Diseño de Humedal.



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.4 Construcción del humedal

En la construcción se realizaron actividades como la excavación, nivelación de terreno, instalación de tuberías, instalación de la capa impermeable, instalación del lecho filtrante y por último siembra del material vegetal.

- **Excavación.**

Esta labor se realizó manualmente (pico y pala). Debido a que el humedal se dividió en dos secciones, dicha división se realizó utilizando el mismo terreno, construyendo las dos secciones en paralelo y dejando un talud entre las dos secciones. Manejando una inclinación de las paredes de 60°.

Imagen 14. Levantamiento del suelo



Fuente. Elaboración propia

- **Nivelación del terreno**

Esta actividad se realizó con el fin de nivelar el fondo del terreno y el método utilizado fue la manguera de nivel

Imagen 15. Nivel del terreno



Fuente. Elaboración propia

- **Instalación de capa impermeable**

La capa impermeable fue instalada con un plástico de calibre N° 8 de 7 metros de largo por 6 de ancho, cubriendo el fondo y las paredes sin dejar pliegues y los bordes se incrustaron en una zanja que luego fue cubierta con tierra.

Imagen 16. Instalación de capa impermeable.



Fuente. Elaboración propia

- **Lecho filtrante**

Para la instalación del lecho filtrante se inició con una capa de grava gruesa con un diámetro de entre 15 y 20 cm aproximadamente, con un espesor de 20 cm, para separar esta capa de la siguiente se instaló poli sombra. Seguidamente se instaló una capa de triturado el cual tiene un diámetro de 3 cm con un espesor de 10 cm y nuevamente se instaló una capa de poli sombra como material separador. Luego se instaló dos capas de arena una gruesa y la siguiente más fina para un espesor total de 10 cm, finalmente se niveló el terreno con tierra del mismo lugar.

Imagen 17. Instalación de capa separadora (polisombra)



- **Fuente.** Elaboración propia **Instalación tuberías.**

Inicialmente se hicieron las excavaciones pertinentes y la instalación de las tuberías tanto de entrada como de salida. Utilizando tubería sanitaria de 3 pulgadas.

Consiguiente a esto, se realizó la prueba de caudal con el fin de constatar que el fluido llegara equitativamente a las dos secciones partiendo de la tubería de entrada.

Imagen 18. Tubería de entrada y salida del humedal.



Fuente. Elaboración propia

4.1.2.5 Siembra de material vegetal.

Las especies empleadas para el desarrollo de esta investigación fueron las siguientes:

- ***Phragmites australis* (Carrizo).**

Esta especie se seleccionó teniendo en cuenta sus características de desarrollo y adaptación a los ambientes inundados, además su resistencia a pH bajos la convierte en una especie idónea, debido a que la acidez, es una de las

principales características de las aguas residuales del café, lo que hace que el ambiente donde se desarrolle, presente un pH ácido. [13]

Estas plantas fueron recolectadas a las afueras de la cabecera municipal de Morales Cauca, acopiando un total de 45 estacas, las cuales fueron transportadas en el menor tiempo posible hasta la finca Don Renzo, donde se les realizó un proceso previo de desinfección (ver ítem 4.1.3.5.1) y luego se plantaron en un lugar respectivamente adecuado, 10 días después de plantadas se les inició un riego con dosis variadas de aguas mieles de café, por un periodo de tres semanas, finalmente estas plántulas fueron establecidas en el humedal, utilizando un total de 35 plantas y las 10 restantes se dejaron para el tema de resiembra, en este sitio se prosiguió con el periodo de adaptación durante un lapso de dos meses [52].

La densidad de plantas establecidas por m² fue de 5, para un total de 35 plantas en la sección del humedal 1 (Carrizo).

Imagen 19. Phragmites Australis (Carrizo) establecido.



Fuente. Elaboración propia.

- ***Eleocharis elegans kunt***

La escogencia de esta especie se llevó a cabo, debido a que esta se desarrolla en ambientes pantanosos, lo que tiene gran singularidad con el ambiente artificial donde se establecieron.

Los ejemplares de esta especie fueron recolectados en la zona rural del municipio de Morales cauca, específicamente en la vereda Chorrera Blanca. Obteniendo un total 50 plántulas. Una vez retiradas de su entorno natural se llevaron a la finca don Renzo, para ser instaladas en el humedal directamente, pasándolas antes por un proceso de desinfección (ver ítem 4.1.3.5.1), esto con el fin de no causar demasiado estrés en las plántulas, una vez instaladas en el sitio definitivo se empezó con el periodo de adaptación de 3 meses agregándole cantidades variables de aguas mieles de café [52].

La densidad total de material vegetal utilizado en la sección 2 del humedal es de 5 plantas por m². Para un total de 35 especies de *Eleocharis elegans kunt.*

Imagen 20. Eleocharis Elegans Kunt establecida



Fuente. Elaboración propia

Generalizando, las plantas se sembraron a lo ancho, utilizando cuatro individuos para la primera hilera, mientras que para la segunda hilera se emplearon tres plantas [14], de tal manera, se prosiguió con esta secuencia hasta terminar. Con la finalidad de cubrir espacios vacíos a lo largo del humedal.

4.1.2.5.1 Desinfección del material vegetal

Este proceso se realizó siguiendo la siguiente secuencia:

- Se cortó y macero dos pencas de cabuya (fique).

- Se disolvieron en 20 litros de agua, esta mezcla se dejó fermentar durante dos.
- Las estacas de Carrizo y las plántulas de Junco fueron sumergidas en esta mezcla durante 30 minutos.
- Una vez sacadas de las de la mezcla se dejan al sol durante un periodo de tiempo de 15 minutos.
- Por último se llevan al sitio de siembra.

4.2 FASE 2: Evaluar y comparar las eficiencias de remoción de carga contaminante producidas en el proceso de beneficio del café

4.2.1 Adaptación de las plantas.

Se inició el arranque de los sistemas, alimentando los humedales con aguas mieles diluidas en una relación 1:8 la primera y segunda semana, 1:4 la tercera y cuarta semana, 1:2 la quinta y sexta semana, 4:1 la séptima y octava semana, después de la novena semana [52], se alimentó con aguas mieles puras. Esto con el fin de adaptar a las plántulas en las concentraciones y características de este tipo de agua residual. Anotamos que estas relaciones están dadas en litros.

4.2.2 Recolección de Muestras.

El muestreo se realizó de acuerdo al tiempo de retención hidráulico es decir cada 4 días, tanto para el afluente como para efluente. Durante el tiempo de duración del proyecto se realizaron quince (15) muestreos, cinco (5) de ellos fueron efectuados antes del ingreso al sistema de tratamiento (entrada) y diez (10) a la salida, estos últimos fueron distribuidos en dos grupos de cinco (5) muestreos, uno para cada humedal. Para el afluente se realizaron muestras compuestas, recolectando cuatro muestras de 250 ml en cada uno de los enjuagues de café para completar un litro como muestra final y esto para todas las muestras de entrada. Para el muestro en la salida del humedal se realizó un

muestreo de tipo simple, donde se colocó el recipiente de un litro, a recepcionar el agua del efluente hasta que este se llenara.

Imagen 21. Muestras



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los volúmenes necesarios, se sellaron los recipientes y fueron colocados en una cadena de custodia hasta ser llevados al laboratorio de la Corporación autónoma regional del Cauca. Con el fin de evaluar los siguientes parámetros DBO, DQO y SST.

Para el diseño del sistema se tuvo en cuenta los parámetros: temperatura y pH los cuales son necesarios para conocer el ambiente donde se van a desarrollar las biopelículas, además de ayudar para la escogencia de las especies vegetales a utilizar. Siendo también necesarios para cumplir con los lineamientos de diseño establecidos por la EPA, estos fueron tomados en el muestreo inicial de la siguiente manera:

- **Temperatura:** medida con un termómetro digital de marca BRIXCO, actividad realizada directamente en el sitio.

- **Potencial de Hidrogeno (pH):** Este parámetro fue medido en el laboratorio de la corporación regional autónoma del Cauca (CRC) bajo el método de SM 4500-H B.

4.2.3 Análisis estadístico

Cabe resaltar que la unidad experimental de esta investigación es un humedal de flujo subsuperficial horizontal dividido en dos secciones en las cuales se utilizaron las siguientes especies vegetales *Phragmites Australis* Y *Eleocharis Elegans kunt*, en las que se analizaron las siguientes variables-respuesta (DBO, DQO y SST).

Mediante la prueba “t student” se comprobaba si los efluentes de los humedales presentan la misma calidad de agua o de lo contrario son diferentes. Además de encontrar los porcentajes de remoción por cada uno de los parámetros.

Mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad \text{Ecuacion 4}$$

Donde:

S₀ : Carga Contaminante de entrada

S: Carga contaminante de Salida.

4.2.3.1 Variables respuesta.

La selección de las variables respuesta se realizó de acuerdo a las características más relevantes de las aguas residuales en mención como son los parámetros DBO, DQO y SST, además de cumplir con una parte de los requerimientos establecidos por la resolución 0631 del 2015 del ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, “por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillados públicos y se dictan otras disposiciones” para el caso de esta investigación se regió por el sector de actividades productivas de agroindustria y ganadería establecido en esta resolución.

4.2.4 Comparación.

Una vez obtenidos los resultados de cada uno de los análisis de laboratorio para cada humedal en cuestión, se compararon mediante tablas y graficas de los datos analizados, además de los límites permisibles por la resolución 0631 del 2015, con esto se determinó la eficiencia en remoción de los parámetros (DQO, DBO y SST) en cada uno de los humedales, utilizando la estadística descriptiva para el analizar el comportamiento de cada una de las variables y con esto poder concluir cuál de las dos especies presenta mejor remoción de carga contaminante.

Tabla 9. Parámetros Máximos Permisibles Según La Resolución 0631 del 2015

Parámetro	Unidades	Beneficio de café (clasificación de la federación nacional de cafeteros – fnc/cenicafé).
		Proceso Ecológico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	3.000,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/L	400,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	800,00

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

4.2.5 Evaluación.

Con los datos comparativos de los dos humedales, con respecto a los lineamientos de la resolución 0631 de 2015 en cuanto al tratamiento de aguas residuales de tipo agrícola, se logró definir cuál de los dos sistemas presenta mayor eficiencia en la remoción, teniendo en cuenta el desarrollo de las plantas y realizando una comparación de los datos arrojados por los análisis de las muestras recogidas en cada uno de los humedales.

5 CAPITULO V. RESULTADOS Y ANALISIS

En el presente trabajo de investigación se generaron conceptos cualitativos y cuantitativos a partir de la observación y el análisis, esto en busca del cumplimiento de los objetivos planteados, de esta manera llevándonos a obtener los siguientes resultados

5.1 Diseño y construcción de dos humedales Subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo, para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio del café.

La fase de diseño se inició teniendo en cuenta el manual de la EPA y la respectiva recolección de datos de campo, los cuales se requieren como información para el desarrollo del diseño del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal, siguiendo esta secuencia:

5.1.1 Condiciones del afluente

Uno de los factores importantes para el desarrollo de este diseño fue:

5.1.1.1 Caudal

Para la estimación del caudal, se tomó como referencia la mayor producción de café obtenida en la finca, siendo esta de 3600 Kg/día, y utilizando información establecida por el comité de cafeteros en cuanto a la constante de rendimiento y consumo de agua por kg de café procesado. Se logró establecer un caudal estimado de 0,630 m³/dia .

5.1.1.2 Carga orgánica de las aguas mieles del café

La carga de entrada de DBO, DQO y SST, al humedal está de acuerdo a los resultados del análisis del muestreo inicial de entrada al sistema, los cuales se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Concentración de entrada.

DQO	DBO	SST
19817 mg/L	7950 mg/L	5750 mg/L

La información contenida en la tabla 10. Permite evidenciar que los parámetros obtenidos en los análisis de las muestras de entrada se encuentran por fuera de los límites máximos permisibles establecidos por la resolución 0631 del 2015. Siendo esta información la referencia para el diseño del humedal, teniendo en cuenta que este muestreo se realizó en la temporada de travesía (segunda cosecha del año), periodo que muestra comportamientos productivos similares a la época de mayor producción dados entre los meses de marzo y mayo.

5.1.2 Condiciones de efluente

Según la resolución 0631 del 2015 los parámetros de salida respecto a la DBO deben ser menores a 400mg/L en aguas residuales de la agroindustria del café, con esta información se diseñó buscando que el agua del efluente se encuentre dentro de este rango.

5.1.2.1 Estándares de diseño según la EPA

Siguiendo los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en los cuales señala varios parámetros a tener en cuenta para la construcción de humedales subsuperficiales:

- Profundidad del lecho (0,60m)
- Porosidad del lecho - 0.35% (con plantas)
- Proporción largo ancho 2:1

5.1.3 Cálculos del diseño del humedal

Tabla 11. Cálculos del Diseño del Humedal.

Parámetros	Formula	Resultado
Área Superficial	$A_s = (L)(w) = Q \left[\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \right] + K_t dn$	$A_s = 11.02m^2$
Ancho: Largo	Relación 2: 1	Ancho = 2.35m Largo = 4.69m
Gradiente hidráulico	$S = \frac{P}{L}$	$S = \frac{0.6m}{4.69m} = 0.128 * (0.1)$ $S = 0.0128$
Área transversal del humedal	$A = P * w$	$A = 0,6m * 2.35m$ $A = 1.41m^2$
Capacidad hidráulica del humedal	$Q_{cond} = Ks * S * A$	$Q = 33.335 m^3 / m^2 / día$ $* 0.0128$ $* 1.41m^2$ $Q = 0.602m^2 / día$
Tiempo de retención	$\frac{w * L * P * n}{Q}$	$T = \frac{2.35m * 4.69m * 0.35 * 0.60m}{0.630m^3/día}$ $T = 3,67 días$

En la tabla N 11. Se muestra los cálculos realizados para el dimensionamiento de los humedales artificiales, logrando con estos encontrar el área y el tamaño adecuado para el tratamiento de los volúmenes de aguas mieles emitidos por el sistema de beneficio del café en la finca Don Renzo. Con toda la información encontrada se establece, el espacio con el que se cuenta para el establecimiento de las plantas, la dirección y la velocidad con la que se movería el agua, la cantidad de sustrato necesario para el lecho filtrante y la capacidad volumétrica que tendría el humedal (ver anexo 2 y anexo 3)

5.1.4 Construcción de los humedales

Una vez concluido el diseño se procedió a la construcción, siguiendo las especificaciones obtenidas en la etapa anterior, realizando las respectivas excavaciones, impermeabilización del terreno y montaje de las capas del lecho filtrante; además de la instalación del material vegetal (ver ítem 4.1.3.4).(ver anexo 4).

5.2 Evaluar y comparar las eficiencias de remoción de carga contaminante producidas en el proceso de beneficio del café.

5.2.1 Arranque del Sistema

Una vez instalado el material vegetal en los humedales artificiales de flujo horizontal, se dio paso a la etapa de adaptación la cual se llevó a cabo, suministrándole agua miel diluida en cantidades variables, esto durante un período de tiempo de 2 meses y una semana. Los volúmenes utilizados durante el período de adaptación fueron en la etapa inicial 9 litros de agua miel diluida por cada humedal, volumen que fue aumentando a medida que transcurrió el tiempo, hasta el punto del donde los humedales recibieron todo el caudal de entrada. Anotando que los primeros volúmenes se vertieron de forma manual asperjándolos con regadera [52].

Con el propósito de determinar la remoción, que efectuaron los humedales artificiales de flujo subsuperficial, se obtuvieron las concentraciones de los contaminantes a lo largo del tratamiento. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

5.2.2 Características físico-químicas del afluente.

Los valores del muestreo 1 corresponde a la información que se tomó de referencia para el diseño del sistema, el número 2 corresponde a tres meses después de instalado el sistema y los demás se tomaron con un intervalo de tiempo de 4 días, como lo establece el TRH estipulado en el diseño.

Tabla 12. Resultados Muestreos del Afluyente

Muestreo de Entrada			
Parámetro/ Muestreo	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)
Muestreo 1	19817	7950	5750
Muestreo 2	33230	23730	5067
Muestreo 3	6437	3780	1500
Muestreo 4	29610	25845	8200
Muestreo 5	46910	26310	6800
Promedio	27200,8	17523	5463,4

En la **tabla 12** se muestran los valores obtenidos en cuanto a los parámetros fisicoquímicos evaluados a lo largo de todo el estudio, en cuanto al afluyente.

Se puede evidenciar en la anterior tabla los resultados obtenidos en los muestreos de entrada, en el transcurrir del periodo de cosecha (entre Marzo y Mayo), los parámetros estudiados DBO, DQO y SST se encuentran en niveles altos, los cuales sobrepasan los límites máximos permisibles dados por la resolución 0631 del 2015. Ya que las aguas residuales o aguas mieles del café poseen altas concentraciones de materia orgánica que inclusive pueden ser mayores a las aguas residuales domésticas [7]. Demostrando así que este residuo agroindustrial es un factor importante en la contaminación de fuentes hídricas dentro de los territorios productores de café, anotando también que estos resultados se relacionan con la producción de un área productiva específica, ya que esto depende de la variedad de café que se esté cultivando y el manejo agronómico que se le brinde, además de los tiempos de fermentación que se estén manejando en los beneficiaderos, ya que con el tiempo de fermentación mayor a 18 horas la concentración de materia orgánica aumenta a causa de utilizar poca agua para remover el mucilago del grano, contrariamente empleando un tiempo de fermentación menor a 18 horas la concentración disminuye, debido a que se utiliza mayor cantidad de agua para para la remoción del mucilago.

5.2.3 Comportamiento de los parámetros de estudio en la salida con respecto a la entrada del humedal artificial con Carrizo.

En la **tabla 13** se muestran los resultados obtenidos en cuanto a uno de los efluentes y teniendo en cuenta que estos se realizaron con el intervalo del tiempo establecido por el TRH del Diseño. Comparando esta información con la obtenida en los análisis realizados a la entrada del humedal.

Tabla 13. Resultados del muestreo en el humedal artificial con Carrizo.

Parametro / Muestreo	Muestreo de Entrada			Muestreo de Salida Carrizo		
	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)
Muestreo 1	19817	7950	5750	771	490	34
Muestreo 2	33230	23730	5067	1444	1089	120
Muestreo 3	6437	3780	1500	1037	915	36,2
Muestreo 4	29610	25845	8200	3877	2493	115
Muestreo 5	46910	26310	6800	2211	1704	190
Promedio	27200,8	17523	5463,4	1868	1338,2	99,04
Minimo	6437	3780	1500	771	490	34
Maximo	46910	26310	8200	3877	2493	190
desviacion estandar	15134,92612	10787,7973	2511,13974	1247,74557	779,104422	65,4729562
Varianza	183252791	93101256	5044658,24	1245495,2	485602,96	3429,3664

En la **tabla 13**, se presentan los resultados de los parámetros físico químicos concernientes a la entrada y salida del humedal establecido con carrizo en los cuales se puede observar diferencias significativas en cuanto a los valores del afluente y los valores del efluente, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles establecidos por la resolución 0631 de 2015 normatividad que muestra el cumpliendo en los parámetros DBO₅ y SST, mientras que la DQO está por fuera de los lineamientos. Lo que indica que la especie (carrizo) *Phragmites australis* es una planta con buenas condiciones para la remoción de materia orgánica [52], ya que se encuentran valores mayores al 90% con respecto DQO, DBO y SST.(ver ítem 5.2.6.4).

5.2.4 Comportamiento de los parámetros de estudio en la salida con respecto a la entrada del humedal artificial con Junco.

En la **tabla 14** se muestran los resultados obtenidos en cuanto al otro efluente y teniendo en cuenta que estos se realizaron con el mismo intervalo del tiempo.

Tabla 14. Resultados del muestreo del humedal artificial con Junco.

Parametro	Muestreo de Entrada			Muestreo de Salida Junco		
	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)
Muestreo 1	19817	7950	5750	1886	678	88
Muestreo 2	33230	23730	5067	3477	1962	107
Muestreo 3	6437	3780	1500	5213	2832	200
Muestreo 4	29610	25845	8200	5644	4500	220
Muestreo 5	46910	26310	6800	4651	3480	65,7
Promedio	27200,8	17523	5463,4	4174,2	2690,4	136,14
Minimo	6437	3780	1500	1886	678	65,7
Maximo	46910	26310	8200	5644	4500	220
desviacion estandar	15134,92612	10787,7973	2511,13974	1515,64366	1457,60859	69,3523468
Varianza	183252791	93101256	5044658,24	1837740,56	1699698,24	3847,7984

En la anterior tabla, se encuentran los valores obtenidos tanto a la entrada como a la salida del humedal artificial plantado con *Eleocharis Elegans Kunt* (Junco), los cuales no alcanzan a cumplir con los lineamientos establecidos en la normatividad vigente, siendo estos la DBO₅ y DQO, caso contrario sucede con los sólidos suspendidos totales (SST), ya que la remoción de este parámetro si alcanza a estar dentro de lo establecido en la normatividad.

Teniendo en cuenta los valores de entrada, la remoción con respecto a la salida presenta una variación significativa, por encima del 80% en cuanto a la DBO y DQO y con respecto a los SST por encima del 90% (ver ítem ver ítem 5.2.6.4), lo que quiere decir que esta especie si tiene características de fitorremediación.

5.2.5 Comportamiento de los parámetros de estudio con respecto a la salida de los dos humedales.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en cuanto a los efluentes de los humedales artificiales

Tabla 15. Resultados obtenidos en los efluentes de los humedales artificiales.

Parametro /Muestreo	Muestreo de Salida Carrizo			Muestreo de Salida Junco		
	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)	DQO(mg/L)	DBO(mg/L)	SST(mg/L)
Muestreo 1	771	490	34	1886	678	88
Muestreo 2	1444	1089	120	3477	1962	107
Muestreo 3	1037	915	36,2	5213	2832	200
Muestreo 4	3877	2493	115	5644	4500	220
Muestreo 5	2211	1704	190	4651	3480	65,7
Promedio	1868	1338,2	99,04	4174,2	2690,4	136,14
Minimo	771	490	34	1886	678	65,7
Maximo	3877	2493	190	5644	4500	220
desviacion estandar	1247,745567	779,104422	65,4729562	1515,64366	1457,60859	69,3523468
Varianza	1245495,2	485602,96	3429,3664	1837740,56	1699698,24	3847,7984

En la tabla 15, se pueden evidenciar los valores obtenidos a la DBO₅, DQO y SST, en la salida de humedales artificiales. Teniendo en cuenta la remoción realizada por cada uno de los sistemas, logrando establecer mejores características en la especie *Phragmites australis* en la depuración de aguas residuales producto del beneficio del café (aguas mieles del café), ratificando lo dicho por (Ascuntar y Toro, 2007) quienes concluyeron que la eficiencia de esta remoción de esta especie este en un rango del (60-80%) para esta especie.

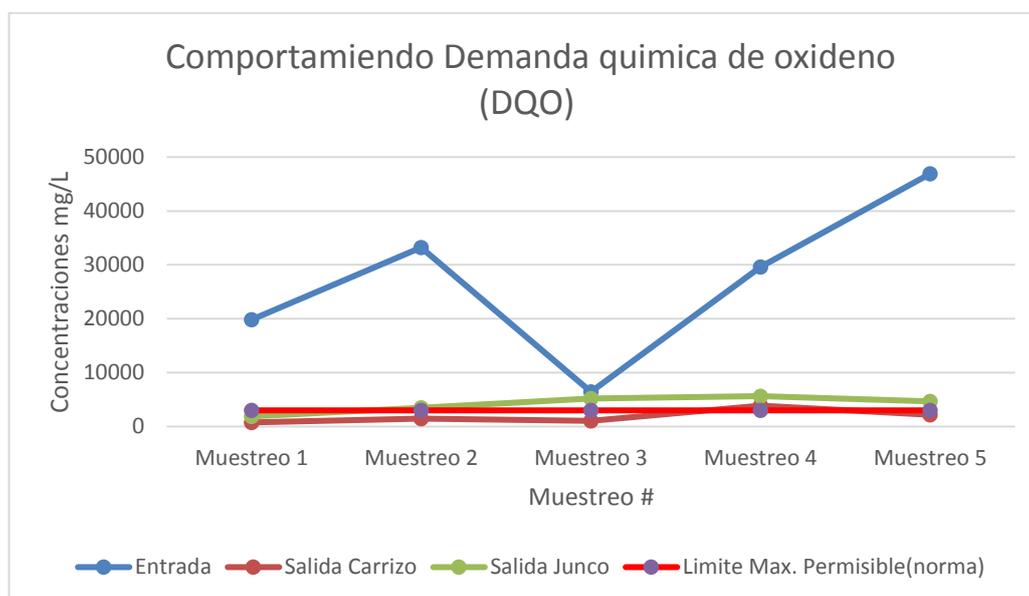
Por otro lado la remociones presentadas por la especie *Eleocharis elegans kunt* (junco), si bien están por debajo de las presentadas por el carrizo, ofrecen una alternativa viable para su utilización en estos sistemas de tratamientos de aguas residuales.

5.2.6 Análisis

En este ítem se encuentran graficados los resultados de los muestreos tomados tanto en la entrada como en las dos salidas de los humedales, describiendo de esta forma, el comportamiento que presentaron los parámetros DQO, DBO y SST en los dos humedales artificiales de flujo subsuperficial implementados en esta investigación con las en las especies *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunth*.

5.2.6.1 Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Grafica 1. Comportamiento de la DQO en la entrada y salida de los humedales.



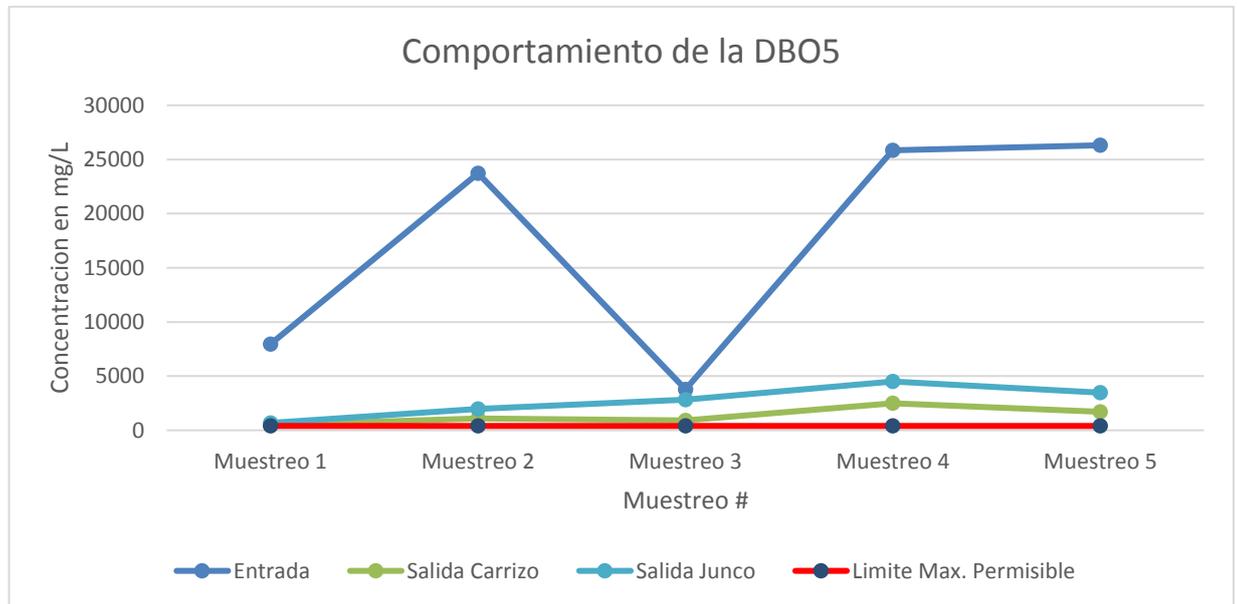
En la grafica1 se aprecia el comportamiento de los valores de entrada y salida del sistema para la variable DQO, donde se evidencia una fluctuación en los valores de entrada, lo que se puede atribuir a los tiempos de fermentación, a que es sometido el grano después de despulparse y su influencia en el número de lavados que se realicen a la almendra. En relación al comportamiento de salida el cual muestra una tendencia a disminuir, probablemente a la acción metabólica presentada por los macro y microorganismo, quienes utilizan los compuestos orgánicos presentes en el agua, para la producción de biomasa, teniendo en cuenta que también se producen reacciones químicas de óxido-reducción [40].

Para esta variable fueron diferentes los resultados estadísticos del efluentes vertidos por los humedales artificiales, según la prueba de t student, con respecto a las especies *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans Kunt* de esta manera deduciendo, que las plantas acuáticas generan un efecto diferente sobre la calidad de agua.

Con estos resultados, se logra estimar valores con la especie *Phragmites australis*, ubicados dentro de los límites máximos permisibles estipulados por la normatividad colombiana vigente, para el caso de la especie *Eleocharis elegans kunt* el comportamiento de la DQO no cumple con la resolución 0631 del 2015, pero muestra un comportamiento estable hasta la fecha de realización del ultimo muestreo.

5.2.6.2 Comportamiento de la Demanda biología de oxígeno (DBO₅)

Grafica 2. Comportamiento con respecto a la DBO₅ de la entrada y salida de los humedales.



En la gráfica 2, muestra el comportamiento de las concentraciones de la DBO₅ las cuales varían durante cada muestreo, sin embargo en los últimos muestreos que estas concentraciones tienden a disminuir, lo que podría indicar que el sistema se podría estar estabilizando [12]. Por otra parte esta fluctuación en los comportamientos de salida, para ambas especies puede estar ligada a la descomposición y acumulación de material vegetal muerto (detritus) y el posible desprendimiento de la biopelícula formada alrededor de la parte radicular de la plantas, se degraden en el medio y se acumulen en la superficie, provocando un incremento de compuestos orgánicos e inorgánicos los cuales incrementan la concentración de materia orgánica [3].

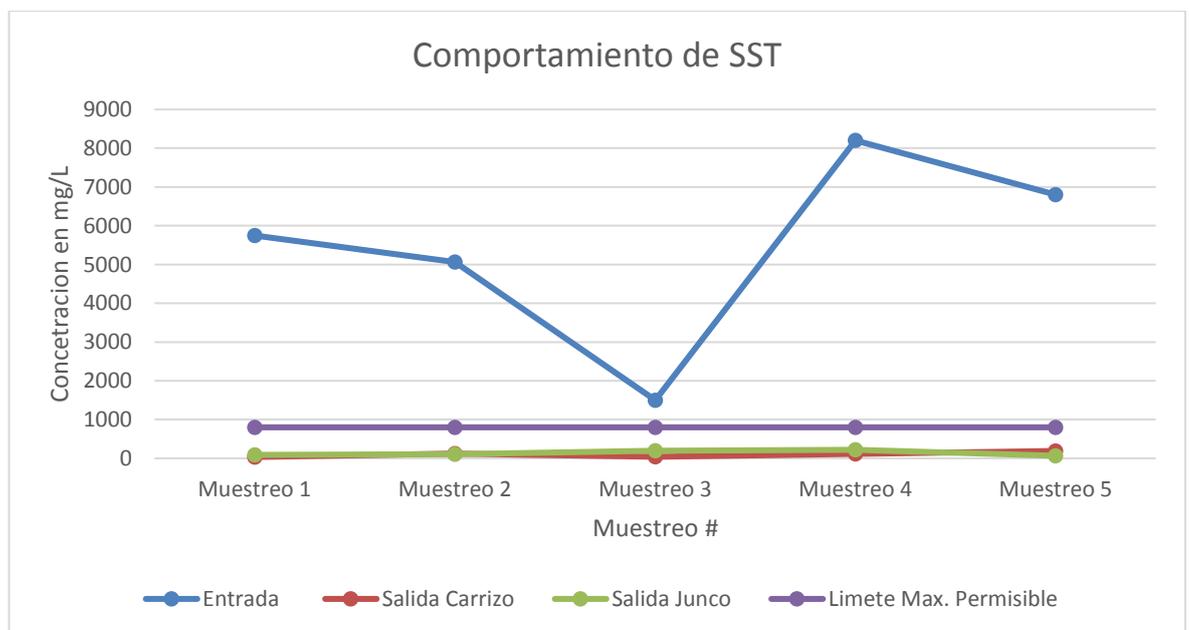
El nivel de DBO₅ que se obtiene al final se encuentra fuera del rango que permite clasificarla como agua de buena calidad ya que está por encima de lo establecido por la resolución. Cabe resaltar que las concentraciones presentadas en el humedal con Carrizo, están más cercanas a cumplir con lo establecido con la normatividad, en diferencia a las concentraciones presentadas por el Junco, las

cuales se alejan inclusive por encima de las de Carrizo, esto debido a que la formación radicular del *Phragmites australis* son más fuertes y penetran mucho más en el medio logrando reducir las velocidades en el sistema, favoreciendo procesos como: filtración y sedimentación de la materia orgánica que se encuentra de manera suspendida. Como resultado de lo mencionado anteriormente la DBO que entra al sistema se remueve a medida que el agua avanza en el humedal [18]. Situación contraria ocurre con el junco, el cual presenta un sistema radicular más superficial, condición que no favorece los procesos mencionados anteriormente en el Carrizo.

El comportamiento de esta variable presenta diferencias estadísticas entre los dos efluentes según la prueba de t student (ver anexo 4) en relación a las dos especies evaluadas especies *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans Kunt*, afluyendo directamente en la calidad de agua a la salida de cada humedal.

5.2.6.3 Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST)

Grafica 3. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales con respecto a al entra y salida de los humedales



En la gráfica 3, se presentan los valores obtenidos para la variable SST, tanto en el afluente como los efluentes de la línea experimental, los cuales siguen una tendencia similar, que también lo demuestra el t studen (ver anexo 4), el cual visibiliza que hay suficiente evidencia estadística para indicar que los efluentes son similares, en cuanto a la calidad de agua vertida por los humedales. En general las concentraciones removidas por los humedales lograron cumplir con los lineamientos establecidos por la resolución 0631 del 2015, para el tema de la actividad agroindustrial del procesamiento del café.

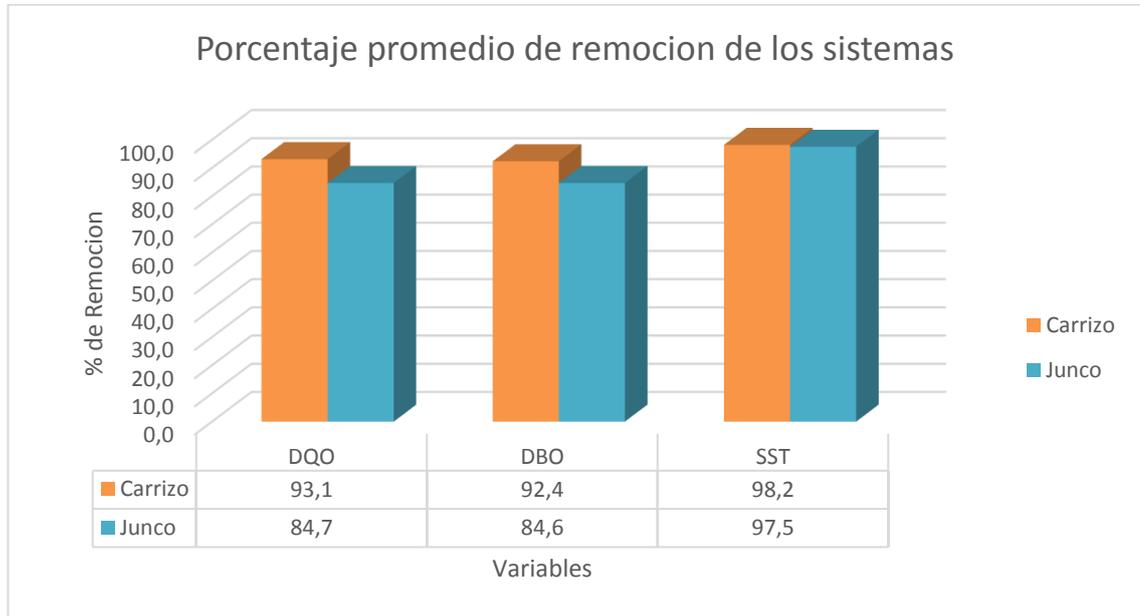
5.2.6.4 Determinación de la eficiencia de remoción de los humedales Artificiales.

La eficiencia de remoción se calculó mediante la utilización de los promedios de cada uno de los parámetros evaluados, utilizando la ecuación N° 4, siendo esta un cálculo matemático que relaciona las cargas de cada una de las variables evaluadas, presentes en el afluente y efluente de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.

Tabla 16. Eficiencia de remoción en los sistemas.

Parámetro	Promedio Entrada(mg/L)	Promedio Salida Carrizo(mg/L)	Promedio Salida Junco (mg/L)	% De Remoción Carrizo	%Remoción Junco
DQO	27200,8	1868	4174,2	93	85
DBO	17523	1338,2	2690,4	92	85
SST	5463,4	99,04	136,14	98	98

Grafica 4. Porcentaje de Remoción de Aguas Mieles del Café En Cada Sistema



De acuerdo a los resultados de la gráfica 4, se observa las variaciones del porcentaje de remoción de cada una de las variables evaluadas en los humedales de flujo subseperficial con *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt* de acuerdo a los promedios de los muestreos de salida, los cuales varían en la DQO y DBO entre 84,6% y 93,1%, siendo este último la de mayor remoción que pertenece a la especie de Carrizo, presentando valores mayores a los reportados en estudios anteriores los cuales se encontraban entre 50% y 70%, utilizando *Phragmites australis* en función de las dos variables mencionadas anteriormente [5]. Con respecto al junco su remoción es alta inclusive al estar por debajo del carrizo teniendo en cuenta que no hay estudios realizados con este tema para su comparación.

Dentro de la misma grafica se observa el comportamiento de la remoción de SST presentando un comportamiento similar con una remoción por encima del 90% para las dos especies, presentando resultados mayores al rango del 65% al 85% encontrados en estudios realizados anteriormente [53].

De acuerdo a los análisis de varianza (t Student) en el que se utilizó un nivel de confianza del 95% y un alfa del 0,05(ver anexo 4), obtenido como resultado el

rechazo a la hipótesis nula, en tanto a los parámetros de la DBO y DQO, debido a que la probabilidad obtenida es menor al alfa esto indica que los valores en los tratamientos, presentan una diferencia estadísticamente significativa, lo que permite demostrar la influencia de la planta *Phragmites australis*, en la remoción en la DBO y DQO. Cabe resaltar que para que con el mismo análisis se aceptó la hipótesis nula para el caso de la variable SST, ya que la probabilidad obtenida fue mayor al alfa.

5.2.6.5 Comportamiento de las plantas.

Durante el periodo de investigación se observó el comportamiento de las plantas según su crecimiento, desarrollo foliar y coloración.

- ***Phragmites australis*.**

Esta planta al momento del establecimiento en el humedal presentaba una altura promedio de 10 cm, presentando un crecimiento favorable ya que hasta la fecha del ultimo muestreo obtuvo una altura promedio de 120 cm, sus laminas foliares presentaron un amarillamiento después del primer mes de su establecimiento en el humedal, situación que duro alrededor de dos semanas, tiempo después su coloración se normalizó, de la totalidad de las plantas sembradas murieron el 5% el cual fue remplazado con nuevo material vegetal.

Imagen 22. Desarrollo del *Phragmites australis*



- ***Eleocharis elegans kunt.***

Al momento de establecer esta especie presentaba una altura promedio de 50 cm, pasados 15 días sus tallos empezaron a secarse, hasta el punto de desaparecer por completo, situación que duro 8 días, tiempo en el cual se presencié un rebrote, presentando un crecimiento favorable, hasta alcanzar un promedio de 90 cm de altura. Pasado un periodo después de haber terminado los muestreos, nuevamente se presentó la situación de desaparición del material vegetal, presentado un nuevo rebrote solo el 42% del total de las plantas.

Imagen 23. Desarrollo de la *Eleocharis elegans kunt*



6 CONCLUSIONES

- Al término de la presente investigación se considera que la especie *Phragmites australis* presenta un mejor desempeño en cuanto a la remoción de materia orgánica, con respecto a la especie *Eleocharis elegans Kunt* la cual mostró valores por debajo de los presentados por el *Phragmites australis*. Teniendo en cuenta que los sistemas fueron construidos, con las mismas características, en cuanto a: Diseño, Materiales y lecho filtrante.
- El diseño y construcción de humedales artificiales, ofrecen una alternativa viable para el tratamiento de las aguas mieles de café, para pequeños y medianos productores de los territorios cafeteros, por sus bajos costos de instalación y de mantenimiento, además de ofrecer a estos productores una tecnología de mitigación a los impactos ambientales generados por esta actividad agroindustrial, permitiéndoles generar productos agrícolas de tipo ecológico.
- En el presente estudio se evidencia que la especie *Phragmites australis*, presenta valores altos en remoción en cuanto a materia orgánica (DQO 93%, DBO 92% y SST 98%, valores promedio) los cuales pueden mejorar ya que las plantas se encuentran en un proceso de crecimiento.
- De acuerdo con lo encontrado en la diferente información documental revisada, con el fin de referenciar el presente documento se ayuda a corroborar que el *Phragmites australis*, es una especie con una gran potencialidad en el tema de tratamiento de aguas residuales, especialmente las de tipo agrícola y específicamente las resultantes del beneficio del café.
- El desarrollo de la especie *Eleocharis elegans Kunt* presentó una interrupción, que pudo estar asociado al corto tiempo de adaptabilidad que tuvo esta especie al tipo de agua, la cual sería su medio de vida y también a las altas cargas de materia orgánica, a las que estuvo expuesto. Esto pudo provocar su baja remoción en relación a los valores presentados por el

carrizo, sin embargo los valores presentados en relación a la remoción de carga orgánica, lo ubican como una alternativa viable para este tipo de tratamiento. Siendo esta una especie propia de la región lo que favorece ya su adaptabilidad en cuanto a las características climáticas de la zona.

7 Recomendaciones.

- Se sugiere que los tiempos de adaptación de los humedales sea superior a los tres meses, para con esto lograr una maduración del sistema y conseguir mejores resultados, en cuanto a las remociones.
- Se recomienda manejar un tiempo de fermentación estandarizado, para con esto no fluctuar en las concentraciones de entrada al sistema.
- Realizar investigaciones complementarias, que ayuden a establecer las características fitorremediadoras de la especie *Eleocharis elegans kunt.*
- Replicar este tipo de tecnología en lo demás productores de café de la región, mostrando sus resultados y su fácil asequibilidad.
- Seguir realizando monitoreo al efluente, tomando muestras relativamente periódicas, con el ánimo de conocer el funcionamiento del sistema a través del tiempo.
- Se recomienda a los propietarios de la Finca Don Renzo continuar fortaleciendo estos procesos de mitigación a los impactos ambientales negativos causados por al industria cafetera

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Federacion Nacional De Cafeteros Colombia, «Comportamiento de la industria Cafetera Colombiana,» 2012.
- [2] Federacion Nacional De Cafeteros, «El Cafe de Colombia,» La Zona Cafetera De Colombia, 2008.
- [3] Metcalf y E. , Ingenieria De Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilizacion, Tercera ed., vol. I, 1995.
- [4] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESAROLLO TERRITORIAL, *Politica nacional para la gestion del recurso hidrico*, Bogota D.C.: Ministerio De Medio Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial, 2010, p. 124.
- [5] J. ZULUAGA V. y D. A. ZAMBRANO F., *Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación*, Chinchiná : Avances Técnicos Cenicafé N. 187, 1993, p. 8.
- [6] Federación Nacional De Cafeteros, «comportamiento de la industria cafetera en Colombia,» 2015.
- [7] D. A. Zambrano Franco, N. Rodriguez Valencia, U. Lopez Posada, P. A. Orozco R y A. J. Zambrano Giraldo, *Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café*, Cenicafé. Boletín Técnico N° 29., 2006.
- [8] P. A. Martinez, *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*, España, 2014.
- [9] J. A. Garay Tinoco, L. Panizzo, L. Lesmes, J. E. Sanchez, H. Lozano y A. Franco, *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos*, 3 ed., Santa Marta, 2003, p. 148.
- [10] Cenicafe- Federación Nacional de Cafeteros, «Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana,» Caldas, Chinchiná, 2001.
- [11] A. Molina y R. Villatoro, «Propuesta de tratamientos de aguas residuales en beneficios húmedos de café,» Buenos Aires, Argentina, 2006.
- [12] F. R, «Desempenho de sistemas alagados construidos no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro,» 2008.

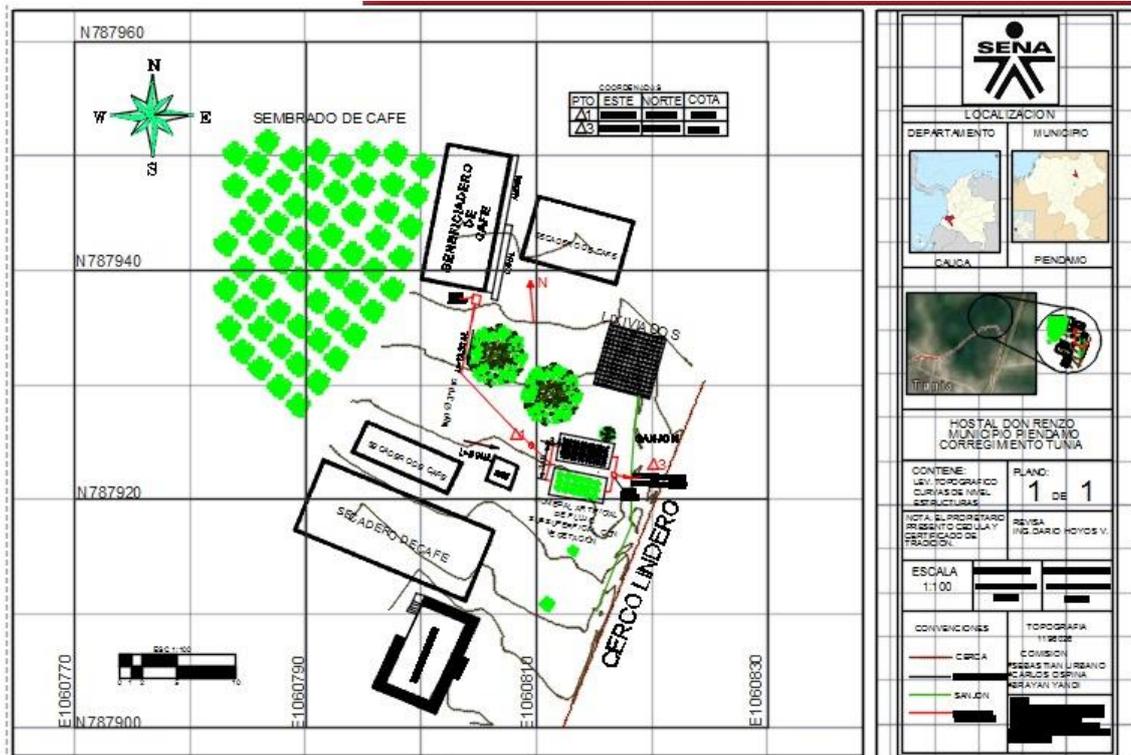
- [13] C. A. Arias y H. Brix, «Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Aguas Residuales,» Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Colombia, 2003.
- [14] Environmental Protection Agency, *Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales*, 1993.
- [15] Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Por la cual se otorga un Permiso de Vertimiento*, Bogota DC, 2005.
- [16] C. S., *The emergence of treatment wetlands*, Environmental Science and Technology, 1998, p. 32.
- [17] Environmental Protection Agency, «Constructed Wetlands and Aquatic Plants Systems for Municipal Wastewater Treatment,» EPA 624/1-88/022, 1988.
- [18] A. P. Ojalora Rodriguez , «Evaluacion De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas Mediante Humedales Artificiales de Alta Tasa En La Localizacion Petrolera De CAño Gandul,» Bogota D.C., 2011.
- [19] G. H. Palta Prado y S. Morales Velasco, *Phytodepuration Águas Residuais Domésticas Com Poaceas: Brachiaria Mutica, Panicum Maximum E Pennisetum Purpureumem Popayán, Cauca*, vol. 11, Popayan: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 2013.
- [20] Definicion.de, «Definicion.de,» [En línea]. Available: <https://definicion.de/cafe/>. [Último acceso: junio 2018].
- [21] Cenicafe, «Guia Ambiental Para El Sector Cafetero,» 2008.
- [22] Q. Puerta y V. Rodriguez, «Buenas Prácticas de Manufactura, Programa de Saneamiento y Plan HACCP para el proceso del café en la finca,» Cenicafe, Manizales , 2001.
- [23] C. Soto, «Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación,» Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Guatemala, 2010.
- [24] N. Rodriguez Valencia, Beneficio Del Cafe En Colombia: Practicas y Estrategias Para El Ahorro y Uso Eficiente Del Agua y el Control De La Contaminacion Hídrica En EL Proceso Humedo Del Cafe, Cenicafe, 2015, p. 37.
- [25] H. R. Gomez Apac, *Fiscalizacion Ambiental en aguas Residuales*, Peru, 2014.

- [26] H. S. Díaz Pérez y J. R. Caballero Shavier, «Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico - económico - ambiental en la ciudad de Iquitos mediante el uso de Super pro Designer V6 – 2015,» Iquitos, 2015.
- [27] N. Rodríguez Álvarez, «Evaluación Del Funcionamiento Hidráulico Y Ambiental De La Planta de Tratamiento De Aguas Residuales En El Municipio de Chia, Cundinamarca,» 2016.
- [28] A. Romero, *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseños*, 3 ed., Nuevas Ediciones Ltda, 1999, pp. 18-68, 266-278.
- [29] R. Ramos Olmos, R. Sepulveda Marques y F. Villalobos Moreno, *Agua En El Ambiente: Muestreo y analisis*, Mexicali, California, 2002, p. 212.
- [30] M. Dorado Valiño, A. Fernandez, P. Leton Garcia , R. Rosal Garcia, S. Villar Fernandez y J. Sanz Garcia , «Tratamiento Avanzados De Aguas Residuales Industriales,» Madrid, 2006.
- [31] C. Arango Cruz, «Optimización del Proceso de Lodos Activados Para Reducir La Generación De Fangos Residuales,» 2009.
- [32] UNESCO, «Aguas residuales industriales. Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos,» Paris, 2009.
- [33] E. Isch, *Contaminación De Las Aguas y Políticas Para Enfrentarlas*, Quito, 2001, pp. 7- 28.
- [34] «Aguamarket,» 1894. [En línea]. Available: <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=3300>.
- [35] M. R. Peña Varon, M. Van Ginneken y C. Madera P, *Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales*, vol. 5, Ingeniería Y Competitividad, 2003, pp. 27-35.
- [36] A. F. M. Jos T.A. Verhoeven a, «Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations,» Elsevier, 1999.
- [37] Environmental Protection Agency), *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales-humedales con flujos subsuperficiales*, EPA 832-F-00-023 ed., Washington, D.C., 2000, p. 13.
- [38] M. Sandoval Estrada y J. Celis Hidalgo, *RECENT APPLICATIONS OF WASTE WATER BY MEANS*, vol. 14, Teoría, 2005, p. 9.
- [39] Q. U, «Evaluación Del Comportamiento De Dos Pantanos Artificiales Instalados En Serie Con Phragmites Australis Para El Tratamiento De Aguas Domésticas,» 2001.

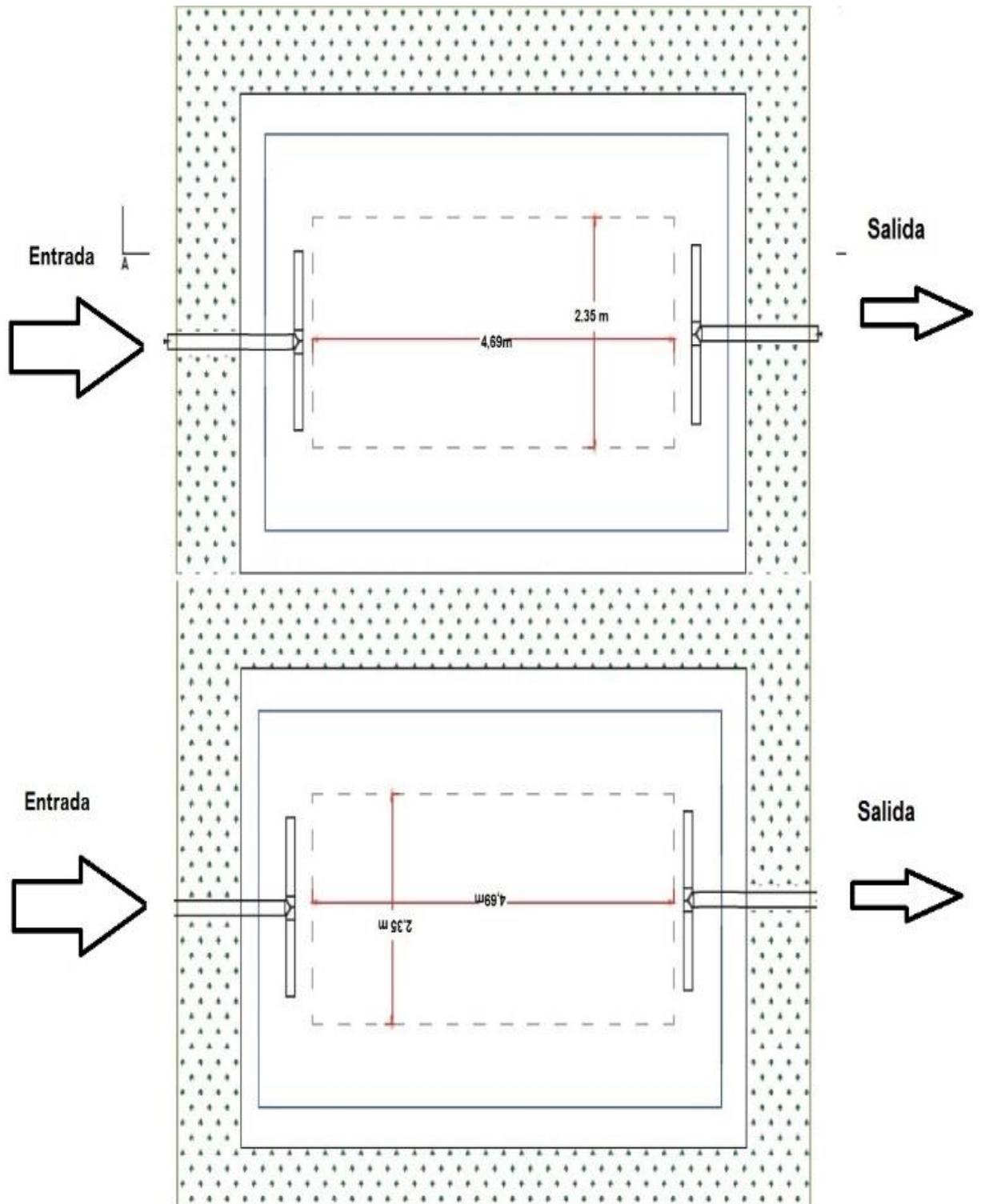
- [40] . I. S. Segura Estrada , «Cinética de decaimiento de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical,» Mexico, 2017.
- [41] I. Y. Estrada Gallego, «Monografía Sobre Humedales Artificiales De Flujo Subsuperficial (Hafss) Para Remoción De Metales Pesados En Aguas Residuales,» Pereira, 2010.
- [42] L. Paredes Gilón, «Remoción De Contaminantes En La Estabilización De Humedales Construidos De Flujo Vertical, Sembrados Con Heliconia (Sp), Para El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas,» Pereira, 2014.
- [43] D. Cicero Fernandez, M. PeñaFernández, J. A. Expósito Camargo y B. Antizar Ladislao, «Role of Phragmites australis (common reed) for heavy metals phyto remediation of estuarine sediments,» International Journal of Phytoremediation, 2015.
- [44] asturnatura.com, *Phragmites australis (Cav.)*, Revista asturnatura.com, 2006, p. 5.
- [45] Jardin Botanico De Bogota, *Eleocharis elegans (Kunth) Roem. & Schult.*, 2014.
- [46] Biblioteca Digital Del Real Jardin Btanico De Madrid, *Eleocharis elegans Kunth*, 2015.
- [47] J. A. Lara Borrero, «Depueracion De Aguas Residuales Municipales Con Humedales Artificiales,» Barcelona, 1999.
- [48] Alcaldia De Piendamó, «Pln Basico De Ordenamiento Territorial (introducción),» Piendamó, 2001-2009.
- [49] Alcaldia De Piendamó-Tunia, «Geografia Del Municipio de Piendamó,» Piendamó, 2014.
- [50] Alcaldia De Piendamó, *informacion General- Geografia- PBOT*, 2014.
- [51] CENICAFÉ- Federación Nacional de Cafeteros, «Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana,» Cenicafe, Chinchiná, 2011.
- [52] R. E. Cerón, «Ensayo De Tratabilidad Mediante Humedales Artificiales De Flujo Subsoperficial A Escala Piloto Para El Tratamiento De Lixiviados Del Relleno Sanitario El Ojito – Popayán (Cauca),» Popayan, 2014.
- [53] P. A. Urrea Ordoñez y C. V. Solarte Villamarin, «Evaluar la Eficiencia de un sistema de tratamiento con humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal para la depuracion de aguas residuales del beneficio humedo del cafe,» Popayan, 2016.
- [54] J. Vymazal y L. Kropfelova, *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands With Horizontal Sub- Surface Flow*, 1 ed., Netherlands: Springer, 2008, p. 566.

9 ANEXOS

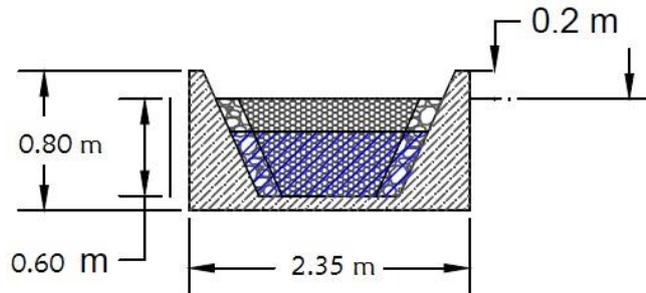
Anexo 1. Mapa del Proyecto



Anexo 2. Vista en Planta de los Humedales Artificiales



Anexo 3. Vista de Perfil del Humedal Artificial



Anexo 4. Resultados prueba t studen para el análisis de varianza

Parametro	Promedio Diferencia	Raiz(varianza de diferencias)	N	t0	Grados de libertad	Grado de Confianza	ta/2	t0 > ta/2
DBO	2306,2	1029	5	5,0	4	95%	2,77 6	>
DQO	1352,2	709	5	4,26 5	4	95%	2,77 66	>
SST	37,1	99,5	5	0,83	4	95%	2,77 6	<

Anexo 5. Construcción del Humedal





Anexo 6. Informe de Resultados: Característica inicial de las aguas mieles del Cafe

Reporte N° 575		Código: FT-POPA-LA027
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL		Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1
REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-		

Fecha: Noviembre 30 de 2017.

Cliente: Edward Bermúdez	Teléfono: 3168591795	Solicitud N°: 428
Dirección: Morales		
Municipio de muestreo: Piendamó	Fecha de Recepción: Noviembre 22 de 2017.	
	Fecha de Análisis: Noviembre 22 a noviembre 29.	

Muestreo:

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

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1498	Finca Don Renso

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados
pH	SM 4500-H B	Unidad	4.15
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	7950
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	19817
SST	SM2540D	mg/L	5750

Observaciones:

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


DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.895 - 4
 Carrera 7 # 16 - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 833 32 32 Fax: 892 - 8263251
 Línea verde: 018000032855
 Popayán - Cauca - Colombia



Anexo 7. Informe de resultados de las Muestras de entrada y salida de los humedales

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

Fecha: mayo 10 de 2018.

Cliente: Cristian Cruz	Solicitud N°: 108
Dirección: Carrera 48 N° 2C-04	Teléfono: 3188797545
Municipio de muestreo: Piendamó	Fecha de Recepción: Abril 25 de 2108.
	Fecha de Análisis: Abril 25 a mayo 9.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Finca Don Renzo, Tunía
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0393	Entrada aguas mieles
0394	Salida humedal carrizo
0395	Salida humedal junco

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados		
			0393	0394	0395
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	23730	490	678
DQO	SM5220D	mg/L	33230	771	1886
SST	SM2540D	mg/L	5067	34.0	88.0

Observaciones:

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



DIEGO ZULUAGA VERA
Responsable Laboratorio Ambiental

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

Fecha: Mayo 21 de 2018.

Cliente: Cristian Danowis Cruz	Solicitud N°: 121
Dirección: Carrera 48 N° 2C-04, Popayán	Teléfono: 3188797595
Municipio de muestreo: Piendamó	Fecha de Recepción: Mayo 3 de 2108.
	Fecha de Análisis: Mayo 3 a mayo 17.

Muestreo:

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

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0431	Finca Don Renzo, Tunía
0432	Muestra salida Carrizo
0433	Muestra Salida Junco

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados		
			0431	0432	0433
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	3780	1089	1962
DQO	SM5220D	mg/L	6463	1444	3477
SST	SM2540D	mg/L	1500	120	107

Observaciones:

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

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Reporte N° 170

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

Fecha: Mayo 24 de 2018.

Cliente: Cristian Danowis Cruz	Solicitud N°: 144
Dirección: Carrera 48 N° 2C-04, Popayán	Teléfono: 3188797595
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Mayo 10 de 2108.
	Fecha de Análisis: Mayo 10 a mayo 21.

Muestreo:

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

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0499	Entrada Finca Don Renzo, Tunía
0500	Muestra salida Carrizo
0501	Muestra Salida Junco

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados		
			0499	0500	0501
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	25845	915	2832
DQO	SM5220D	mg/L	29610	1037	5213
SST	SM2540D	mg/L	8200	36.2	200

Observaciones:

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



DIEGO ZULUAGA VERA
Responsable Laboratorio Ambiental

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1

Fecha: Mayo 28 de 2018.

Cliente: Cristian Danowis Cruz	Solicitud N°: 150
Dirección: Carrera 48 N° 2C-04, Popayán	Teléfono: 3188797595
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Mayo 12 de 2108.
	Fecha de Análisis: Mayo 15 a mayo 25.

Muestreo:

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

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0522	Entrada Finca Don Renzo, Tunía
0523	Muestra salida Carrizo
0524	Muestra Salida Junco

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados		
			0522	0523	0524
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	26310	2493	4500
DQO	SM5220D	mg/L	46910	3877	5644
SST	SM2540D	mg/L	6800	115	220

Observaciones:

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


DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Reporte N° 182



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 28 de 2018.

Cliente: Cristian Danowis Cruz	Solicitud N°: 154
Dirección: Carrera 48 N° 2C-04, Popayán	Teléfono: 3188797595
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Mayo 12 de 2108.
	Fecha de Análisis: Mayo 15 a mayo 24.

Muestreo:

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

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
0532	Muestra salida Carrizo
0533	Muestra Salida Junco

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados	
			0532	0533
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	1704	3480
DQO	SM5220D	mg/L	2211	4651
SST	SM2540D	mg/L	190	65.7

Observaciones:

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

DIEGO ZULUAGA VERA
Responsable Laboratorio Ambiental