

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR LAS
AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ MEDIANTE EL USO DE UN
SISTEMA MODULAR DE TANQUE SÉPTICO Y HUMEDALES**



DANIELA DÍAZ RIVERA

YESICA GABRIELA VARGAS BURBANO

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN-CAUCA**

2023

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR LAS
AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ MEDIANTE EL USO DE UN
SISTEMA MODULAR DE TANQUE SÉPTICO Y HUMEDALES**



DANIELA DÍAZ RIVERA

YESICA GABRIELA VARGAS BURBANO

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

Director:

Esp. Arnol Arias Hoyos

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN-CAUCA**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

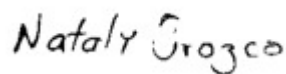
Este trabajo titulado “**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ MEDIANTE EL USO DE UN SISTEMA MODULAR DE TANQUE SÉPTICO Y HUMEDALES**” realizado por los estudiantes Daniela Díaz Rivera y Yesica Gabriela Vargas Burbano, es aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar por el título profesional de Ingenieros Ambientales Y sanitarios.



Arnol Arias Hoyos
Director
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



Edwin Sierra Gaviria
Jurado
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



Nataly Orozco Certuche
Jurado
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar a este momento tan especial en mi vida. Agradezco por fortalecer mi corazón y por iluminar mi mente durante todo este camino. Por darme la fuerza y sabiduría necesaria para culminar esta meta con éxito.

A mis padres, Elizabeth Rivera y Hermes Díaz Molina, por ser mi mejor motivación en la vida. Con su amor incondicional, trabajo, paciencia, esfuerzo y sacrificio a lo largo de todos estos años, han hecho posible que hoy pueda cumplir un sueño más, gracias por inculcarme el ejemplo de perseverancia y valentía, por enseñarme a enfrentar las adversidades sin temor, porque sé que Dios siempre está conmigo

DANIELA DIAZ RIVERA

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta tesis a Dios, quien me ha concedido la vida y me ha acompañado a lo largo de mi carrera, otorgándome sabiduría y fortaleza para alcanzar mis sueños. Agradezco profundamente a mi padre, Arismendys Vargas, a mi madre, Yolanda Burbano, y a mi abuela, Amalia Homel, por su inquebrantable entrega, dedicación, comprensión y amor. Nunca me negaron su apoyo, siempre estuvieron pendientes de mí y me brindaron sus valiosos consejos para convertirme en una persona mejor. También quiero expresar mi agradecimiento al resto de mi familia por su apoyo incondicional.

Además, quiero dedicar unas palabras a mi hijo, Andersson Mosquera Vargas, quien ha sido mi mayor motivación para luchar día tras día y alcanzar las metas que me he propuesto. Su presencia en mi vida ha sido un impulso invaluable para perseverar en este camino.

Cada uno de ustedes ha sido fundamental en mi trayectoria académica y personal, y por ello, les agradezco de corazón su constante apoyo y cariño. Sin su presencia y aliento, este logro no habría sido posible. A todos, ¡mil gracias!

GABRIELA VARGAS BURBANO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que me acompañaron en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras van dirigidas a ustedes. Agradezco de corazón a mis padres por su apoyo y guía fundamental en mi camino hacia el éxito y la realización personal. Su incondicional respaldo ha sido invaluable, y me siento bendecido por tenerlos como mis padres. No encuentro palabras suficientes para expresar mi gratitud por todas las veces que estuvieron a mi lado. Asimismo, agradezco infinitamente a mis dos Hermanos por llenarme de alegría día tras día.

En especial, debo mencionar a mi compañera Gabriela Vargas, quien ha estado junto a mí a lo largo de esta maravillosa carrera, apoyándome hasta la etapa final y concluyendo de la mejor manera posible.

De igual forma, agradezco a mi tutor Arnol Arias Hoyos, quien con su experiencia, conocimiento y motivación me guio en esta investigación. Gracias a sus consejos y correcciones, hoy puedo culminar este trabajo. Por último, quiero agradecer a la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y a todo el equipo de docentes que hicieron parte de mi formación.

Una vez más, gracias a todos aquellos que formaron parte de este camino y contribuyeron a su éxito. Sin ustedes, esto no habría sido posible. Estoy eternamente agradecido.

DANIELA DIAZ RIVERA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi profunda gratitud hacia mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo y guía en la búsqueda de mis objetivos personales y académicos. Su amor incondicional y aliento constante me ha impulsado a perseguir mis metas con determinación, enfrentando cualquier adversidad que se presente en el camino. Su apoyo emocional y económico ha sido fundamental para que pudiera dedicarme plenamente a mis estudios. A mis queridos hermanos, Jhonnier y Milady, les agradezco de corazón su apoyo inquebrantable y el acompañamiento desinteresado que han brindado en cada etapa de mi vida, así como sus oraciones y el amor incondicional que siempre me han brindado.

También quiero manifestar mi profundo agradecimiento a mi compañera y amiga, Daniela Díaz, cuya presencia ha sido constante desde el inicio de esta carrera y que finalmente se convirtió en mi compañera de tesis. Asimismo, extiendo mi gratitud a todos mis compañeros y amigos que han sido parte esencial de esta importante etapa en mi vida.

No puedo dejar de expresar un agradecimiento especial a mi tutor, Arnol Arias Hoyos, cuya dedicación y paciencia han sido clave en mi proceso académico. Sus precisas palabras y correcciones fueron fundamentales para alcanzar la meta que tanto anhelaba. Agradezco sinceramente su valiosa guía y todos los consejos que me ha brindado, los cuales llevaré siempre grabados en mi memoria, acompañándome en mi futuro profesional.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Autónoma del Cauca y a todos los docentes que han sido parte de mi formación universitaria. Agradezco profundamente por haberme transmitido los conocimientos necesarios que hoy me permiten estar aquí, completando esta etapa tan significativa en mi vida. Sin su dedicación y enseñanzas, este logro no hubiera sido posible.

GABRIELA VARGAS BURBANO

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	14
Abstract	16
Introducción	18
Capítulo I: Problema	20
1.1 Planteamiento del Problema	20
1.2 Justificación	22
1.3 Objetivos.....	24
1.3.1 Objetivo General.....	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
Capítulo II: Marco Teórico	25
2.1. Antecedentes	25
2.2 Marco Conceptual.....	28
2.2.1 Café.....	28
2.2.2 Lavado	29
2.2.3 Aguas Residuales Industriales.....	30
2.2.4 Humedales Artificiales	31
2.2.5 Phragmites Australis (Carrizo)	35
2.2.6 Eleocharis Elegans Kunth (Junco).....	35
2.3. Marco Normativo.....	36
Capítulo III: Metodología.....	38
3.1 Fase 1: Diseñar un Sistema Modular de Pozo Séptico y Humedales	38

3.1.1 Localización de la Zona De Estudio.....	38
3.1.2 Reconocimiento de las Zonas A Intervenir.....	38
3.1.3 Estudio Topográfico.....	39
3.1.4 Diseño de un Sistema Modular	40
3.1.5. Construcción del Humedal e Instalación del Tanque Colector	43
3.2. Fase 2: Establecer el Porcentaje de Remoción de Carga Contaminante	50
3.2.1 Arranque del Sistema	50
3.2.2 Recolección de Muestras	50
3.2.3 Análisis Estadístico.....	51
3.2.4 Variables Respuesta.....	52
3.2.5 Comparación	52
3.2.6 Evaluación.....	53
Capítulo IV: Resultados y Análisis	54
4.1 Diseño un Sistema Modular de Pozo Séptico y Humedales	54
4.1.1 Localización de la Zona de Estudio	54
4.1.2 Reconocimiento de las Zonas a Intervenir	56
4.1.3 Diseño y Cálculos del Humedal	57
4.1.4 Diseño y Cálculos del Tanque Colector	60
4.1.5 Construcción de los Humedales e Instalación del Tanque Colector Anaerobio	62
4.2 Establecer el Porcentaje de Remoción de Carga Contaminante.	63
4.2.1 Arranque del Sistema	63
4.2.2 Comparación del Comportamiento de los Parámetros de Estudio del Sistema Modular.....	63

4.2.3 Comportamiento	66
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	77
5.1. Conclusiones	77
5.2. Recomendaciones	78
Bibliografía	80
Anexos.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 . <i>Estudios a nivel nacional e internacional</i>	25
Tabla 2. <i>Pros (+) y contras (-) de los Humedales artificiales</i>	34
Tabla 3. Taxonomía <i>Phragmites australis</i> (Carrizo)	35
Tabla 4. Taxonomía <i>Eleocharis elegans</i> Kunth (Junco)	36
Tabla 5. Marco normativo	37
Tabla 6. Parámetros y valores límites máximos permisibles, según la resolución 0631 del 2015.....	53
Tabla 7. Resumen de resultados	60
Tabla 8. Resultados de muestreos	64
Tabla 9. Promedios de pH	67
Tabla 10. Eficiencia de remoción en el sistema modular	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Granos de café.....	29
Figura 2. Lavado del café	30
Figura 3. Agua residual del lavado de café.....	31
Figura 4 . Humedal de Flujo Horizontal Subsuperficial	32
Figura 5. Tipos de humedales artificiales.....	33
Figura 6. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	34
Figura 7. Levantamiento topográfico	39
Figura 8. Levantamiento del suelo.....	43
Figura 9. Instalación de capa impermeable	44
Figura 10. Instalación de lecho filtrante	45
Figura 11. Instalación de tubería	46
Figura 12. Phragmites australis (Carrizo)	47
Figura 13. Eleocharis elegans kunt (Junco).....	48
Figura 14. Instalación tanque colector	49
Figura 15. Muestreo inicial.....	51
Figura 16. Mapa de georreferenciación del proyecto	55
Figura 17. Estudio topográfico.....	56
Figura 18. Esquema de Diseño de Humedal	62
Figura 19. Comportamiento del pH con respecto al sistema modular	66
Figura 20. Comportamiento de la DQO con respecto al sistema	68
Figura 21. Comportamiento de la DBO ₅ con respecto al sistema.....	70
Figura 22. Comportamiento de los SST con respecto al sistema.....	72
Figura 23. Porcentaje de remoción de carga contaminante	75

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de caracterización	88
Anexo 2. Informe de Resultados del análisis de las aguas mieles del Café antes y después de pasar por el sistema modular	89
Anexo 3. Mapa del Proyecto	93
Anexo 4 Vista en planta y perfil de los humedales artificiales	94
Anexo 5. Evidencias de práctica de laboratorio piloto	95

Resumen

El departamento del Cauca ha liderado la producción de café de alta calidad, pero lamentablemente, tanto en la industria cafetera como entre los pequeños productores, no se ha implementado una gestión ambiental adecuada para tratar todos los subproductos resultantes del proceso húmedo del café, como es el caso de las aguas mieles. Para abordar esta problemática, se ha realizado una investigación titulada: Evaluación de la remoción de la carga contaminante generada por las aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante el uso de un sistema modular de tanque séptico y humedales.

En este estudio, se aborda el impacto ambiental generado por la industria del café ya que genera cantidades significativas de aguas mieles, las cuales, al ser liberadas en el entorno natural, pueden afectar negativamente tanto las aguas subterráneas como las superficiales debido a su carga orgánica [1]. Con el objetivo de encontrar una solución sostenible y de bajo costo para tratar estas aguas mieles en la finca La Rosita, ubicada en la vereda El Guayabal, municipio de Timbío Cauca, se ha desarrollado un sistema modular. Este sistema consta de un tanque colector y dos humedales que emplean dos especies de plantas: *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt.* El cual se enfocó en analizar el comportamiento de cada especie en cuanto a la eliminación de materia orgánica y en comparar sus respectivos rendimientos, evaluando también si cumplía con los lineamientos establecidos en la resolución 0631 del 2015.

El desarrollo de este estudio se llevó a cabo en dos fases: La fase I, se enfocó en el diseño y construcción del sistema modular de pozo séptico y humedales subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo. Para llevar a cabo su construcción, se realizaron estudios topográficos que permitieron determinar la altimetría y planimetría del terreno, identificando así la ubicación óptima para las excavaciones.

La fase II consistió en establecer el porcentaje de remoción de carga contaminante, que incluye parámetros como DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), SST (sólidos suspendidos totales) y pH generado por el sistema modular.

Los resultados del estudio revelaron que el sistema modular implementado en la finca la Rosita se encuentra en buenas condiciones. Sin embargo, no tiene la capacidad suficiente para depurar completamente las aguas mieles, Al comparar las muestras de demanda química de oxígeno (DQO) y de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) tanto a la entrada como a la salida del sistema con los valores establecidos en el artículo 9 de la resolución 0631 de 2015, se determinó que ninguno de estos dos parámetros evaluados cumplía con el límite máximo permisible establecido en la normativa. En cambio, el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) cumplió exitosamente con los datos permisibles establecidos en la resolución, esto significa que el sistema modular logró una remoción adecuada de sólidos suspendidos en el agua tratada.

Con base en estos resultados, se podrían considerar ajustes al sistema modular para mejorar su capacidad de depuración y lograr el cumplimiento de los límites establecidos en la normativa, garantizando así una gestión más adecuada y sostenible de las aguas mieles en la Finca La Rosita.

Palabras claves: Sistema modular, aguas mieles, remoción, materia orgánica.

Abstract

The department of Cauca has been a leader in the production of high quality coffee, but unfortunately, both in the coffee industry and among small producers, an adequate environmental management has not been implemented to treat all the by-products resulting from the wet processing of coffee, as is the case of the honey water. In order to address this problem, the following research has been carried out: Evaluation of the removal of the pollutant load generated by the honey water from the wet processing of coffee through the use of a modular system of septic tanks and wetlands.

This study addresses the environmental impact generated by the coffee industry as it generates significant amounts of honey water, which, when released into the natural environment, can negatively affect both groundwater and surface water due to its organic load [1]. In order to find a sustainable and low-cost solution to treat this honey water at the La Rosita farm, located in the El Guayabal district, municipality of Timbío Cauca, a modular system has been developed. This system consists of a collecting tank and two wetlands using two species of plants: *Phragmites australis* and *Eleocharis elegans* kunt. Which focused on analyzing the behavior of each species in terms of organic matter removal and comparing their respective yields, also evaluating whether it complied with the guidelines established in resolution 0631 of 2015.

The development of this study was carried out in two phases: Phase I, focused on the design and construction of the modular system of septic tank and parallel horizontal flow subsurface wetlands. In order to carry out its construction, topographic studies were carried out to determine the altimetry and planimetry of the terrain, thus identifying the optimal location for the excavations.

Phase II consisted of establishing the percentage of pollutant load removal, which includes parameters such as BOD5 (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), TSS (total suspended solids) and pH generated by the modular system.

The results of the study revealed that the modular system implemented at the Rosita farm is in good condition. However, it does not have sufficient capacity to completely purify the honey water, When comparing the samples of chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand (BOD5) both at the inlet and outlet of the system with the values established in Article 9 of Resolution 0631 of 2015, it was determined that neither of these two parameters evaluated complied with the maximum permissible limit established in the regulation. In contrast, the total suspended solids (TSS) parameter successfully met the permissible data established in the resolution, this means that the modular system achieved adequate removal of suspended solids in the treated water.

Based on these results, adjustments to the modular system could be considered to improve its purification capacity and achieve compliance with the limits established in the regulations, thus ensuring a more adequate and sustainable management of the honey water at Finca La Rosita.

Key words: Modular system, honey water, removal, organic matter.

Introducción

La producción agrícola a nivel mundial desempeña un papel vital en el desarrollo económico, entre ellos se encuentra la caficultura, que en muchos países del mundo se ha convertido en una de las principales actividades agroindustriales en sus respectivas regiones. Se debe destacar que la producción global de café durante el periodo 2017 - 2018 experimentó un incremento del 9,3% con respecto al año anterior, llegando a un total de 170,2 millones de sacos [2].

En Colombia, en la actualidad, aproximadamente 2,7 millones de individuos dependen directamente de la actividad de cultivo de café [3]. Lo que plantea más de un tercio de la población rural del país. Para el año 2017, se registraron cerca de 743,000 puestos de trabajo directos en este sector. Según datos del año 2014, en comparación con otras actividades agrícolas y ganaderas, la caficultura genera 3,5 veces más empleo que los cultivos de arroz, maíz y papa, y diez veces más que el cultivo de la palma africana [4]. No obstante, a pesar de su importancia económica, la comunidad cafetera enfrenta desafíos en cuanto a servicios básicos, solamente el 31% de los hogares cafeteros tiene acceso al servicio de agua potable y un escaso 5% dispone de alcantarillado [2].

El potencial para producir cafés de alta calidad en el departamento del Cauca es considerable. Esta región cuenta con un entorno ambiental excepcional, que se combina con el compromiso de más de 87,000 familias cafeteras dedicadas al cultivo de aproximadamente 74,000 hectáreas de café [5]. Este esfuerzo no solo contribuye al crecimiento económico local, sino también al avance de la industria cafetera a nivel nacional. El Cauca se posiciona como un referente en la producción de cafés de excelencia, ocupa el cuarto puesto en la producción de café a nivel nacional y lidera en cuanto al número de familias cafeteras, superando las 90,000 familias que se encargan de cultivar alrededor de 93,000 hectáreas de café arábica. Estas tierras albergan las variedades de café Castillo, Colombia, Caturra, Típica, Borbón y Tabí, en 34

municipios [5]. Es importante destacar que el café se cultiva en pequeñas parcelas dirigidas por comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes. Esta variedad de producción aporta un valor añadido a los granos de café. El proceso de beneficiado del café comienza con la recolección manual de cerezas maduras, un rasgo que contribuye a la alta calidad del café altamente valorado por los consumidores. Sin embargo, este método también puede conllevar problemas ambientales como la contaminación del agua y del entorno [2].

El tratamiento de aguas residuales representa un desafío significativo, ya que se estima que aproximadamente el 80% de estas aguas son devueltas al ambiente sin haber sido tratadas previamente. Esta situación plantea posibles consecuencias negativas, como la contaminación de cuerpos hídricos, la degradación de ecosistemas y el deterioro de la salud pública [6].

Es importante abordar esta problemática de manera efectiva para proteger los recursos naturales y garantizar a las generaciones futuras un medio ambiente más sano y sostenible [7]. Con el propósito de abordar la contaminación derivada de estos subproductos, se han desarrollado diversas técnicas, como la biorremediación por fermentación en estado sólido (SSF) y la fermentación sumergida [8]. Estas técnicas son efectivas para reducir la carga tóxica del agua, pero su implementación conlleva costos elevados, requiere infraestructura moderna y personal experimentado en su manejo [9]. Por consiguiente, resulta indispensable encontrar enfoques más eficientes y económicos que minimicen el impacto ambiental y reduzcan la cantidad de agua contaminada vertida en las fuentes hídricas [10].

En vista a la compleja composición de las aguas residuales del café, y la limitada disponibilidad de métodos de tratamientos convencionales, este estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema y compararla en base a las especies vegetales empleadas en los humedales diseñados para el tratamiento de las aguas mieles del café [11].

Capítulo I: Problema

1.1 Planteamiento del Problema

A nivel mundial se tiene como una gran problemática el tratamiento de las aguas residuales ya que se afirma que el 80% de estas aguas se regresan sin ningún tipo de tratamiento previo al ambiente [6]. Debido a esto se presentan posibles afectaciones como la contaminación de los cuerpos hídricos, destrucción de ecosistemas y deterioro en la salud [12].

Actualmente, Colombia es el tercer productor de café a nivel mundial, generando 888.000 toneladas de café al año, pero por cada tonelada de café se genera 22.200.000 m³ de aguas residuales o aguas mieles [13], las cuales se caracterizan por tener una alta carga contaminante reportando datos de DQO de 115 g por kilogramo de café, esto es especialmente relevante considerando que el sector cafetero sigue empleando métodos tradicionales que demandan una considerable cantidad de agua en los procesos de despulpado y lavado [14].

La principal preocupación ambiental en esta región cafetera del país se centra en el consumo excesivo de agua durante el proceso de lavado del café, el cual implica la eliminación del mucílago, este se mezcla con el agua, dando lugar a la formación de una miel durante el lavado las cuales fluyen sin control a través de canales o zanjas, infiltrándose en las aguas subterráneas utilizadas por animales y comunidades rurales. Esto tiene un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, afectando a peces y anfibios, así como a lugares turísticos en las riberas de los ríos. Durante la temporada de cosecha, los niveles de contaminación pueden ser especialmente críticos debido a la alta demanda del producto, según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [15]. Este problema surge debido a la falta de control en la mayoría de las fincas cafeteras, especialmente en pequeñas propiedades donde los productores, buscando reducir costos, no implementan las medidas adecuadas. Por otro lado, existen diversas formas y métodos para la recuperación del recurso hídrico afectado por esta problemática ambiental. Entre ellos se destacan sistemas modulares anaerobios y humedales artificiales, diseñados para tratar

las aguas residuales generadas en el proceso de lavado del café, incluyendo el agua miel y los lixiviados que se generan a partir de la mezcla de pulpa y mucílago [15].

El departamento del Cauca se destaca por ser el cuarto productor de café en la región. En particular, la finca La Rosita, ubicada en la vereda El Guayabal del municipio de Timbío (Cauca), se enfrenta a un desafío significativo relacionado con la gestión de las aguas residuales generadas durante el proceso de beneficio húmedo del café. Actualmente, estas aguas residuales se vierten sin previo tratamiento en los suelos y fuentes hídricas de la finca debido a la falta de un sistema tecnificado, lo que tiene un impacto negativo en la calidad del agua. Esto, a su vez, conduce a la pérdida de especies acuáticas y afecta la utilidad de estas aguas abajo, impidiendo que sean utilizadas por otras personas. Ante esta problemática, se propuso el diseño de un sistema de tratamiento para las aguas mieles generadas durante el proceso de beneficio húmedo del café [16].

1.2 Justificación

A pesar de la presencia de múltiples regulaciones ambientales diseñadas para supervisar y controlar los vertimientos no tratados en cuerpos de agua y suelos, la problemática ha experimentado un aumento alarmante [17]. En este contexto, la operación de un humedal artificial desempeña un papel crucial al reducir de manera significativa la contaminación ambiental que resulta de la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento en fuentes de agua naturales [18]. En respuesta a esta situación, la ingeniería se ha enfocado en buscar soluciones eficaces y económicamente viables para la depuración de aguas residuales. Actualmente, los métodos más comunes son aquellos que imitan los procesos naturales. Estos sistemas se han desarrollado con el objetivo de abordar de manera más sostenible el daño ambiental [19].

De acuerdo con lo mencionado anteriormente dichas variables afectan de manera directa a los productores de café, dado que otros subproductos, como las cerezas, pueden generar contaminación si no se gestionan adecuadamente, poniendo en riesgo la calidad de los suelos y la salud de otros cultivos debido a su alto contenido químico [20]. En vista del impacto ambiental que conlleva el manejo, la disposición y el tratamiento de estos subproductos del café en los recursos naturales, en particular en relación con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), es imperativo llevar a cabo una evaluación exhaustiva de estrategias y medidas encaminadas a reducir dicho impacto en el entorno medioambiental. Resulta de suma importancia encontrar soluciones que no solo fomenten la sostenibilidad en la industria cafetera, sino que también protejan de manera efectiva los recursos hídricos y los ecosistemas locales [15].

De acuerdo con lo expuesto, se ha optado por emplear humedales artificiales con macrófitas como una alternativa altamente efectiva para tratar las aguas residuales provenientes del proceso de beneficio húmedo del café [21]. La elección se orienta a evitar la descarga directa de estas aguas en los suelos y cuerpos de agua, con el fin de mitigar posibles impactos ambientales irreparables. Estos efectos repercuten en los habitantes locales que dependen de

estas fuentes de agua para sus necesidades de consumo y diversas actividades económicas [20]. Dado que los vertimientos sin tratamiento previo afectan directamente a los ecosistemas terrestres y a la vida acuática, la adopción de este sistema de tratamiento de aguas mieles a través de humedales artificiales busca brindar a los caficultores una tecnología de fácil manejo. Además, esta tecnología requiere inversiones mínimas en términos económicos y de personal, permitiendo así una gestión preliminar efectiva [22].

Este proceso podría resultar sumamente beneficioso para los caficultores locales. Si se implementa de manera eficaz, existe la posibilidad de expandir su aplicación a un mayor número de fincas en la zona, especialmente aquellas que cuentan con un sello de producción de café orgánico. Esto podría abrir la puerta para que estas fincas busquen obtener certificaciones ecológicas en reconocimiento a sus prácticas ambientalmente responsables en el ámbito comercial. Además, este enfoque contribuiría de manera significativa al avance de la agricultura sostenible en el Departamento. Asimismo, tendría el potencial de sensibilizar a la comunidad respecto a la importancia de cambiar sus hábitos en la gestión ambiental de los residuos generados en las actividades cotidianas, lo cual repercute de forma indirecta en la calidad de vida de las personas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la remoción de la carga contaminante generada por las aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante el uso de un sistema modular de pozo séptico y humedales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema modular de pozo séptico y humedales Subsuperficiales de flujo horizontal en paralelo, para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio del café.
- Establecer el porcentaje de remoción de carga contaminante generado por dos humedales y tanque séptico.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Para la realización de este trabajo se toman como base referencial: Trabajos, estudios entre otros, que tienen relación con la remoción de la carga contaminante generada por las aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante el uso de un sistema modular, de los cuales se destacan los que se evidencian en la Tabla 1.

Tabla 1

Estudios a nivel nacional e internacional

Tema o título	objetivos	Métodos	Resultados	Conclusiones y recomendaciones	Ref.
Implementación de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de lavado del café, en fincas prioritizadas en la asociación de productores orgánicos de la Sierra Cauca – ASPROSI 2019.	Implementar microorganismos altamente efectivos en el procesamiento de aguas mieles derivadas del método de beneficio húmedo del café, específicamente en fincas de alta prioridad pertenecientes a la Asociación de Productores Orgánicos de la Sierra Cauca, conocida como ASPROSI.	información teórica en relación con temas de producción del café; se procedió a evaluarlos mediante la matriz de Leopold	En este análisis se obtuvieron documentos que arrojaron información relevante sobre el cultivo de café la gestión de los recursos naturales y las prácticas ambientales.	Se puede concluir que, en el caso de las cuatro fincas prioritizadas, se logró una significativa reducción de la carga orgánica, alcanzando así los objetivos establecidos durante esta pasantía.	[23]

Tema o título	objetivos	Métodos	Resultados	Conclusiones y recomendaciones	Ref.
Tratamiento de aguas mieles post lavado del café (Coffea arábica) para mitigar la contaminación de suelos en el distrito San Ignacio 2020.	Determinar el efecto del tratamiento de las aguas mieles post lavado del café (Coffea arábica) en la disminución de la contaminación del suelo en el distrito de San Ignacio.	Es de tipo cuantitativa, de diseño experimental, de corte transversal	Las muestras de suelo evaluadas señalan que las aguas mieles generan contaminación, dado que incrementan las concentraciones de sales como los cloruros, sulfatos, disminuyendo los nutrientes del suelo y generando saturación.	Estas plantas deben exhibir una biomasa aérea considerable y, además, desarrollar una extensa superficie radicular, ya que estas características biológicas son beneficiosas para proporcionar un espacio adecuado para la retención y absorción de nutrientes.	[24]
Fitorremediación de aguas residuales industriales en humedales artificiales para uso agrícola, Huesca 2019.	Realizar una evaluación de un sistema de tratamiento que incluye un humedal artificial con la plantación de <i>P. australis</i> , con el fin de reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales industriales provenientes de la curtiduría.	Diseño experimental y analítico.	Cuando las aguas residuales se retuvieron en el humedal durante 3 días, las plantas acumularon 2091 y 1312 mg Kg ⁻¹ de N en la parte aérea y de la raíz, respectivamente.	Estas plantas deben tener una elevada biomasa aérea, e incluso una elevada superficie radicular debido a estas características biológicas favorecen un área para retener y absorber nutrientes.	[25]
Análisis del uso de humedales artificiales empleando plantas macrofitas para el tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural, Apurímac 2021.	Explorar de qué manera el análisis del uso de humedales artificiales con plantas macrófitas impacta en la eficacia del tratamiento de aguas residuales en entornos rurales.	Tipo aplicada, cuantitativa, experimental y explicativa.	En cuanto a la eficiencia obtenida en las muestras de ambos humedales, las plantas macrófitas (totora, carrizo), tienen una buena eficiencia de remoción en los parámetros analizados.	En regiones rurales con temperaturas 6°C y 12°C, se aconseja la utilización de humedales plantas como <i>Schoenoplectus californicus</i> (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo) para llevar a cabo la eliminación de la conductividad y controlar la temperatura del agua.	[26]

Tema o título	objetivos	Métodos	Resultados	Conclusiones y recomendaciones	Ref.
Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (chrysopogon zizanioides) en humedales artificiales en la comunidad de Santa rosa bajo, distrito chota, 2017.	Tratar las aguas residuales domésticas con la especie vetiver (chrysopogon zizanioides) en humedal artificial en la comunidad de santa rosa bajo –chota.	Tipo y diseño de la investigación.	Se determinó que el humedal artificial con la especie vetiver (chrysopogon zizanioides) tuvo eficiente remoción en los contaminantes de las aguas residuales domésticas.	El agua tratada en el humedal artificial con vetiver puede ser utilizada para el riego de árboles forestales, plantas ornamentales o descargarse en cuerpos receptores, lo que contribuirá a la disminución del uso de agua potable.	[27]
Diseño de Humedales Artificiales, Bogota 2021.	Determinar la aplicabilidad y los criterios establecidos para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y monitoreo de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales.	Revisión bibliográfica para recopilar información relacionada con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y el monitoreo de humedales artificiales.	De acuerdo con la información presentada, el oxígeno disuelto aumenta en el humedal como consecuencia de la translocación de oxígeno producido en la fotosíntesis hacia las raíces de las plantas	Los humedales artificiales exhiben una serie de atributos que validan su adopción como mecanismo natural de depuración de efluentes de distintos orígenes.	[28]

Nota. Estudios a nivel nacional e internacional realizados sobre la remoción de la carga contaminante generada por las aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante el uso de un sistema modular. Elaboración propia

2.2 Marco Conceptual

Las aguas residuales son aquellas que han experimentado cambios en sus propiedades naturales debido a la intervención humana, incluyendo actividades como el uso doméstico, comercial, industrial, agrícola, entre otras. Debido a las alteraciones en su calidad, estas aguas necesitan ser sometidas a procesos de tratamiento antes de su reutilización, disposición en cuerpos de agua naturales o liberación en sistemas de alcantarillado [14].

Existe disponibilidad de métodos biológicos para tratar las aguas residuales generadas durante el proceso de producción del café. Estas alternativas incluyen el sistema modular anaeróbico y los humedales artificiales como soluciones existentes. El enfoque modular se asemeja a los procesos biológicos naturales y se basa en la degradación de la materia orgánica a través de la actividad metabólica microbiana en ausencia de oxígeno [29].

A continuación, se desglosa este concepto en sus componentes clave:

2.2.1 Café

El cafeto, un árbol originario de la región etíope, pertenece a la familia de las rubiáceas y al género "*Coffea*". Con una estatura que varía entre 2 y 12 metros, este árbol puede sobrevivir durante 50 años y engloba alrededor de 70 especies de café [30].

El café, cuyo nombre se atribuye a la semilla del cafeto, se encuentra dentro del fruto del arbusto, el cual adquiere un matiz rojo cuando está en su estado de madurez, y es conocido como "cereza". Sus hojas, de color verdoso, se disponen en pares opuestos, y sus flores se presentan en tonalidad blanca como se observa en la Figura 1 [30].

La semilla del cafeto mide aproximadamente un centímetro, posee una forma plana en una de sus caras y convexa en la otra, con un surco longitudinal. Su tono se inclina hacia el amarillo verdoso. Por ampliación del término, se identifica como café a la infusión que se prepara mediante la elaboración de la semilla previamente tostada y molida [31].

Figura 1

Granos de café



Nota. Figura del grano de café antes y después del despulpado. Elaboración propia

2.2.2 Lavado

En la Figura 2 muestra el proceso de lavado que consiste en separar el grano y el mucílago con dos a tres enjuagues sucesivos, para realizar esta operación se separan los flotes y el café lavado. Este proceso se realiza manualmente donde se consume una mayor cantidad de agua limpia, generando la misma cantidad de aguas residuales en este caso aguas mieles [32].

Figura 2*Lavado del café*

Nota. Figura del café en el proceso de lavado. Elaboración propia

2.2.3 Aguas Residuales Industriales

Las aguas residuales industriales corresponden a los efluentes generados como resultado de los procedimientos manufactureros. De acuerdo con su origen, se hallan contaminadas por una diversidad considerable de agentes perjudiciales y requieren ser sometidas a tratamiento previo al descarte [33]. La estructura de estas aguas residuales no es susceptible de generalización, siendo tan singular como la propia producción industrial que las engendra. Son denominadas aguas mieles debido a su contenido variable de azúcares, además de presentar un nivel de acidez marcado (entre 4 y 4,5) y una elevada concentración de materia orgánica, lo cual les confiere su categoría como se mira en la Figura 3 [34].

Figura 3

Agua residual del lavado de café



Nota. Agua residual del lavado de café que ingresó al sistema. Elaboración propia

2.2.4 Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración utilizados para tratar aguas residuales. Por lo general, consisten en cultivos de plantas superiores (macrófitas), ya sea de una sola especie o varias, dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos que han sido construidos por el ser humano y revestidos para hacerlos impermeables como se observa en la Figura 4 [35]. Estos sistemas imitan todas las características de los humedales naturales y proporcionan una alternativa a los métodos convencionales de tratamiento. Además, presentan ventajas como su coste operativo relativamente bajo, su mantenimiento sencillo y su capacidad para ofrecer un tratamiento confiable y efectivo [36].

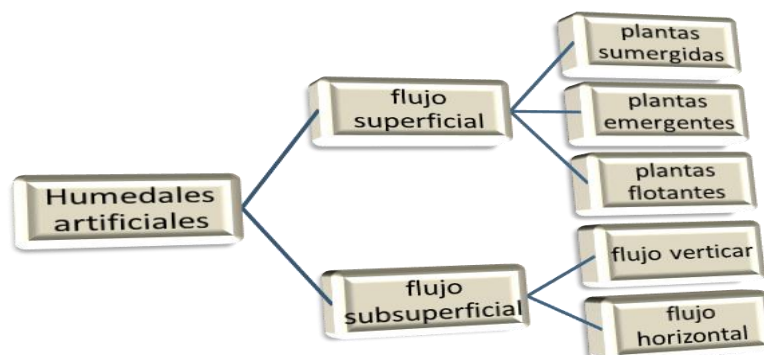
Figura 4*Humedal de Flujo Horizontal Subsuperficial*

Nota. Adaptado de Humedal de Flujo Horizontal Subsuperficial [37].

Estos humedales artificiales son tolerantes ante la variación en el flujo de agua y las concentraciones de contaminantes, lo que los hace una elección sólida para el tratamiento de aguas residuales [21]. En la Figura 5 encontramos los tipos de humedales artificiales.

Figura 5

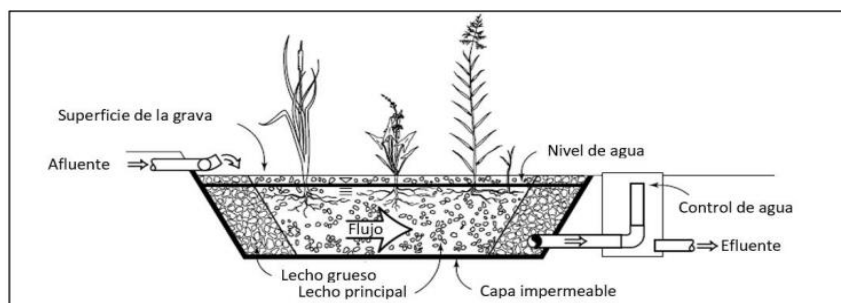
Tipos de humedales artificiales



Nota. Adaptado de Tipos de humedales artificiales [38].

Humedal Artificial de Flujo Horizontal Subsuperficial. Este tipo de sistema está especialmente diseñado para el tratamiento de aguas residuales, ya sea en su fase final o como parte integral del proceso. Por lo general, se configura como un lecho o canal que contiene un medio filtrante adecuado, como grava, arena u otros materiales del suelo. En este medio, se introduce vegetación emergente y se mantiene deliberadamente el nivel del agua por debajo de la superficie [39].

El medio filtrante desempeña la función de un filtro, eliminando partículas sólidas y proporcionando una superficie fija donde las bacterias pueden colonizar y la vegetación puede desarrollarse. A medida que las bacterias anaerobias y facultativas degradan distintos compuestos orgánicos, la vegetación libera pequeñas cantidades de oxígeno en la zona de las raíces, permitiendo que las bacterias aeróbicas se establezcan y descompongan la materia orgánica. Las raíces de las plantas desempeñan un papel esencial para mantener la permeabilidad del filtro como se evidencia en la Figura 6 [21].

Figura 6*Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal*

Nota. Adaptado de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal [38].

En general, se emplea grava de tamaño uniforme para rellenar el lecho. Además, se controla el nivel del agua en el humedal para que se mantenga entre 5,0 y 15,0 cm por debajo de la superficie, asegurando así un flujo subsuperficial adecuado. Cualquier especie de planta nativa con raíces profundas y expansivas, capaz de prosperar en un entorno húmedo y nutriente, resulta idónea para este tipo de humedal [21]. Los cuales se distinguen por exhibir pro (+) y contras (-) Como se evidencia en la Tabla 2.

Tabla 2*Pros (+) y contras (-) de los Humedales artificiales*

Pros (+)	contras (-)
Alta reducción de DBO ₅ , sólidos suspendidos y patógenos.	Requieren de una gran área superficial.
Con este humedal se evitan los problemas de mosquitos que existen en los humedales artificiales de flujo superficial.	Poca remoción de nutrientes.
Pueden ser construidos y reparados con materiales disponibles localmente.	Riesgo de obstrucciones, dependiendo del pretratamiento y el tratamiento primario.
Funcionan sin requerimientos de energía eléctrica.	Período inicial largo antes de poder trabajar a capacidad plena.
Bajos costos de operación.	Requieren experiencia en diseño y construcción.

Nota. Pros (+) y contras (-) de los Humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial. Elaboración propia.

2.2.5 *Phragmites Australis* (Carrizo)

El carrizo, conocido científicamente como *Phragmites australis*, es una planta perenne que presenta un rizoma rastrero que se extiende en la superficie en busca de agua. Es especialmente reconocido por ser la especie vegetal más empleada en la edificación y cuidado de humedales artificiales en todo el mundo por su fácil adaptación y su eficiencia en estos sistemas. Aunque esta planta exhibe un excepcional potencial de crecimiento en lagunas poco profundas, ha sido identificada como una especie invasora en zonas húmedas naturales. Puede alcanzar una altura aproximada de 4 metros durante su desarrollo [40]. Su taxonomía se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3

Taxonomía Phragmites australis (Carrizo)

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

Nota. Taxonomía *Phragmites australis* (Carrizo). Elaboración propia adaptada [41].

2.2.6 *Eleocharis Elegans Kunth* (Junco).

Son especies, generalmente plantas acuáticas, que han reducido las hojas alrededor de la base de sus rígidos tallos en los cuales realiza la fotosíntesis en lugar de las hojas. Algunas especies tienen los tallos siempre sumergidos. Se eligió esta planta por su capacidad de

adaptación y eficiencia en los humedales. Es una planta hermafrodita que crece en suelos húmedos, con tallos simples que pueden tener una sección triangular, a veces muy obtusa, adoptando ocasionalmente una forma plano-convexa o circular, según sus características [42]

Su taxonomía se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4

Taxonomía Eleocharis elegans Kunth (Junco)

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

Nota. Taxonomía *Eleocharis elegans Kunth* (Junco). Elaboración propia adaptada [43].

2.3. Marco Normativo

A continuación, en la Tabla 5. Se mencionará la Normatividad Legal Vigente Colombiana que se tendrá en cuenta para el desarrollo de este proyecto, dónde se estipula el uso y el manejo de aguas residuales.

Tabla 5*Marco normativo*

Norma	Descripción	Expedición	Referencias
ley 99 de 1993	Regular y orientar el proceso de diseño y planificación de uso del territorio y de los recursos naturales renovables.	Ministerio del medio ambiente.	[44]
decreto 1076 del 2015	Por medio del cual se expide el decreto único de reglamentación, del sector ambiente y desarrollo sostenible.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	[45]
decreto 3930 de 2010	Prohibirá la descarga de aguas residuales provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales o subterráneas.	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.	[46]
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.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	[47]

Nota. Normatividad, aguas residuales. Elaboración propia.

Capítulo III: Metodología

3.1 Fase 1: Diseñar un Sistema Modular de Pozo Séptico y Humedales

3.1.1 Localización de la Zona De Estudio

Durante la visita, se llevó a cabo un levantamiento utilizando el mismo GPS de mano utilizado en el estudio topográfico. Además, se realizó una revisión bibliográfica de la página oficial de la alcaldía municipal y se tomó como referencia el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Timbío [48]. Con los datos recolectados, se elaboró un mapa de ubicación del proyecto utilizando un Sistema de Información Geográfica (QGIS).

3.1.2 Reconocimiento de las Zonas A Intervenir

En esta fase, se obtuvieron datos a través de una lista de caracterización, establecidos a partir de la interacción con los propietarios de La Rosita (Ver anexo 1). Durante esta comunicación, se explicó en detalle el proceso planificado para la implementación en la parcela. Simultáneamente, se procedió a la inspección del terreno específico destinado para la instalación completa del sistema modular. Además, se llevó a cabo un análisis de la topografía del área y se determinó la distancia que separa el beneficiadero de café del lugar designado para los humedales.

Se llevó a cabo un estudio topográfico del terreno, que incluyó mediciones altimétricas y planimétricas. Además, se recolectó una muestra de las aguas mieles con el propósito de realizar análisis fisicoquímicos (DBO_5 , DQO y SST) en el Laboratorio de Análisis Ambientales del Centro de teleinformática y producción industrial del SENA regional Cauca, de la ciudad de Popayán (Ver anexo 2).

3.1.3 Estudio Topográfico

El estudio planimétrico y altimétrico fue realizado por la comisión de topografía de la empresa INGENIO TOPOGRÁFICO ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN S.A.S con NIT.901529005-7, conformada por el topógrafo y su cadenero. Los equipos utilizados fueron la Estación total DTM-322 marca (Nikon) y un GPS de mano. El procedimiento se desarrolló de la siguiente manera: primero, se montaron y nivelaron los equipos topográficos, incluida la estación total en el punto de control denominado DELTA 1, como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7

Levantamiento topográfico



Nota. Levantamiento topográfico. Elaboración propia

Seguido a esto se configuró la estación total en dicho punto de control, posteriormente, se proporcionaron coordenadas al DELTA 1 utilizando un GPS de mano. Después de un período de seguimiento del GPS de mano para asegurar precisión, se ingresaron las coordenadas resultantes del seguimiento en la estación total. Luego, se procedió a ubicar otro punto DELTA

en dirección norte, a una distancia específica desde el punto en el que se encontraba el equipo. Para garantizar una orientación correcta del equipo, se realizó un amarre de coordenadas utilizando el método de ángulos. Finalmente, se llevaron a cabo las mediciones de puntos en las características del terreno, colocando el prisma en cada cambio de pendiente, construcción, árbol, taludes, entre otros elementos identificables en el lote.

Todos los puntos tomados y almacenados en el equipo formaron una nube de puntos que se exportan del equipo en formato Excel y se pasan a AutoCAD por medio de un programa llamado topo 3, con lo que se procedió a dibujar los planos con perfiles y secciones del terreno y sus respectivas curvas de nivel.

3.1.4 Diseño de un Sistema Modular

Para el tratamiento de las aguas mieles del café de la finca La Rosita, se cimentó un tanque con rejillas las cuales evitan que materiales de gran dimensión entren y colapse el sistema. Para el diseño de los humedales de flujo subsuperficial horizontal se trabajó con la guía EPA [49] y en el caso del diseño del tanque séptico se realizaron algunas modificaciones debido al tipo de agua a tratar. La interconexión de este sistema se realizó con tubería sanitaria pesada de 3 pulgadas.

Cálculos para Humedales. Se determinó el caudal máximo pico que ingresó al humedal mediante el siguiente método, basándose en las investigaciones llevadas a cabo por CENICAFÉ como referencia. En este proceso, se empleó la cantidad de café cereza recolectado durante el día de producción máxima del año 2021.

Para calcular el caudal máximo se aplicó la siguiente Ecuación 1

$$QM = DMR * A \quad \text{Ecuación 1}$$

DMR: La producción de café máxima registrada en el día pico del año 2021, en kg de café cereza de la finca la Rosita.

A: El agua utilizada en el sistema por día es: Agua utilizada por 1kg de café.

QM: Caudal Máximo utilizado [49]

De acuerdo con la Guía N°6 de la EPA, se consideraron los siguientes requisitos para el diseño y la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial (SFCW (technology of constructed wetlands with subsurface flows)) [49]:

Se evaluó la carga de entrada al humedal y la temperatura del agua a partir del análisis de la muestra recopilada en la finca La Rosita

Utilizando los datos anteriores, se determinó la relación largo y la profundidad del humedal, siguiendo las pautas recomendadas por la EPA.

Profundidad = 0,60 m, esta medida se seleccionó en conformidad con las especificaciones sugeridas por la EPA.

n = 0.35, este valor establecido por la EPA, para (SFCW) que involucran plantas.

Basándonos en lo mencionado anteriormente, se calculó el área superficial requerida para el humedal artificial (SFCW), utilizando la Ecuación 2. Esto nos proporcionó la dimensión total del sistema.

$$As = (l)(w) = Q \left[\ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right) \right] + k_t dn \quad \text{Ecuación 2}$$

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

L= Longitud (pie²) (m²).

W= Ancho (pie²) (m²).

Q= Caudal (pies³ /día) (m³ /día).

Co =DBO₅ afluente (mg/L).

C_e = DBO₅ 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 [49].

Se utilizó la Ecuación 3 de Darcy para determinar la capacidad de diseño y así determinar el flujo a través del humedal.

$$Q = K_s A S \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Q: flujo capaz de pasar a través del SFCW (technology of constructed wetlands with subsurface flows) (pies³ /día) (m³ /día).

K_s: conductividad hidráulica

A: área transversal del SFCW

S: gradiente hidráulico (pie²) (m²) [49]

Cálculos para el Tanque Séptico (Colector). Durante el proceso de diseño del tanque séptico, surgió la necesidad de evaluar ciertos datos, como el tiempo de sedimentación de los sólidos. Para esto, se tomaron muestras del afluente y se llevaron al laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, en él se realizaron pruebas de sedimentación de sólidos utilizando el cono Imhoff [50] y ensayos de jarras [51].

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se tomó la decisión de diseñar un sistema colector anaerobio. Este sistema se encarga de descomponer los desechos orgánicos presentes en las aguas mieles, contribuyendo así a una solución más efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en el proyecto [52].

3.1.5. Construcción del Humedal e Instalación del Tanque Colector

Para la construcción se realizaron las siguientes etapas: excavación, instalación de tuberías, instalación de la capa impermeable, instalación del lecho filtrante, la siembra del material vegetal y por último la instalación del tanque colector.

Excavación. Esta actividad se realizó manualmente, donde se hizo un humedal con dos secciones, teniendo como división un metro del mismo terreno (Figura 8).

Figura 8

Levantamiento del suelo



Nota. Levantamiento del suelo. Elaboración propia

Instalación de capa impermeable. Se instaló un plástico negro con un grosor de calibre N° 8, abarcando unas dimensiones de 14 metros de largo por 8 metros de ancho, cubriendo tanto el fondo como las superficies laterales (Figura 9).

Figura 9

Instalación de capa impermeable



Nota. Instalación de capa impermeable. Elaboración propia

Lecho Filtrante. Para la instalación se inició con un lecho de 30 cm de ancho por 60 cm de profundidad en la parte superior e inferior del humedal con material de grava de 5 pulgadas, seguido se instaló el lecho principal el cual está compuesto de grava de 3 pulgadas con un espesor 35 cm como se observa en Figura 10, para separar esta capa de la siguiente se instaló malla de calibre 20, encima de esta se instaló una capa de tierra de 15 cm de espesor quedando 10 cm libres.

Figura 10*Instalación de lecho filtrante*

Nota. Instalación de lecho filtrante. Elaboración propia

Instalación de Tubería. Se realizaron las respectivas zanjas y se ubicó la tubería tanto de entrada y salida como se observa en la Figura 11, se utilizó tubería pesada de 3 pulgadas. Esta instalación se inició desde el tubo de fermentación pasando por el tanque colector del cual se reparte por partes iguales el caudal a cada humedal [53].

Figura 11

Instalación de tubería



Nota. Instalación de tubería. Elaboración propia

Siembra de Material Vegetal. Las macrófitas que se utilizaron para esta investigación fueron junco y carrizo la siembra de este material vegetal es un procedimiento crucial en la restauración de humedales, la conservación de la biodiversidad y la protección de ecosistemas acuáticos frágiles. Estas plantas, conocidas por su capacidad de adaptación a ambientes acuáticos, desempeñan un papel vital en la estabilización de los márgenes de ríos y lagos, así como la adsorción de la carga orgánica de aguas contaminadas.

Phragmites Australis (Carrizo). La selección de especies vegetales se llevó a cabo de manera minuciosa y con una cuidadosa consideración de las necesidades. Esto se debe a que la vegetación debe demostrar su capacidad de subsistir ante los posibles efectos tóxicos de las aguas residuales y adaptarse a su variabilidad [54]. Se optó por el carrizo, reconocido a nivel mundial por su papel en la purificación de aguas residuales domésticas e industriales en

humedales artificiales al generar condiciones propias capaces de absorber nutrientes y eliminar agentes contaminantes[23].

Las plantas fueron adquiridas en la misma localidad donde se lleva a cabo la investigación. Se recolectó una considerable cantidad de cañas de carrizo, de las cuales se obtuvieron un total de 80 estacas, estas fueron posteriormente plantadas en un semillero, luego de un lapso de 15 días desde su plantación, se inició un proceso de riego empleando proporciones de aguas mieles de café diluidas en una relación 1:8 la primera semana, 1:4 la segunda semana, 1:2 la tercera semana, 4:1 la cuarta y quinta semana, la sexta semana se alimentó con aguas mieles puras. Esta actividad se mantuvo durante un período de seis semanas. Finalmente, las plántulas resultantes de este proceso fueron trasladadas al humedal como se evidencia en la Figura 12, donde se les otorgó un período de aproximadamente dos meses para adaptarse al nuevo entorno.

Figura 12.

Phragmites australis (Carrizo)



Nota. *Phragmites australis* (Carrizo). Elaboración propia

Eleocharis Elegans Kunt (Junco). En este caso fue seleccionada por ser una planta acuática emergente capaz de desarrollarse en aguas poco profundas y su capacidad de tolerar pH ácidos [54].

Las plantas fueron adquiridas en la vereda Quintero, ubicada en el mismo municipio y a una distancia de aproximadamente 30 minutos del lugar de la investigación. Se recolectó una abundante cantidad de plántulas, de las cuales se obtuvieron un total de 80 unidades. Estas plántulas fueron introducidas en un semillero y, quince días después de su plantación, se inició un proceso de riego utilizando proporciones de aguas mieles de café diluidas en una relación 1:8 la primera semana, 1:4 la segunda semana, 1:2 la tercera semana, 4:1 la cuarta y quinta semana, la sexta semana se alimentó con aguas mieles puras. Este riego se mantuvo durante un periodo de seis semanas. Al término de esta etapa, las plántulas se trasplantaron al humedal como se observa en la Figura 13 y se les otorgó un período de adaptación de dos meses para aclimatarse a su nuevo entorno.

Figura 13

Eleocharis elegans kunt (Junco)



Nota. Eleocharis elegans kunt (Junco). Elaboración propia

Instalación Tanque Colector Anaerobio. La instalación de este tanque se realizó después del tanque de rejillas y antes de llegar a los humedales, manteniendo una separación de 6 metros desde el tanque de rejillas y una distancia de 15 metros antes de llegar a los humedales. Este tanque tiene una capacidad de 2000 litros, tal como se puede apreciar en la Figura 14. Los orificios destinados para la tubería de entrada y salida tienen un diámetro de 3 pulgadas, fueron sellados utilizando empaques de caucho.

Figura 14

Instalación tanque colector



Nota. Instalación tanque colector. Elaboración propia

3.2. Fase 2: Establecer el Porcentaje de Remoción de Carga Contaminante

3.2.1 Arranque del Sistema

Para el inicio del sistema se vertieron las aguas mieles a su 100% de concentración al tanque colector donde permaneció por un lapso de 24 horas, para hacer la remoción de natas y sedimentos. Después del tiempo determinado se le dio paso al flujo hacía los humedales donde ya se contaba con las plantas correspondientes adaptadas a un tipo de aguamiel con su concentración total, donde permaneció por 4 días que fue su tiempo de retención.

3.2.2 Recolección de Muestras

Después de un período de adaptación de 2 meses del sistema, se procedió a realizar el muestreo siguiendo el tiempo de retención hidráulico calculado para los humedales, siendo este cada 4 días, en caso del muestreo para el tanque colector su tiempo de retención fue de 24 horas. Se realizaron (5) monitoreos, de los cuales se recolectaron (15) muestras, siendo distribuidos de la siguiente manera, (5) en la salida del tanque colector, (5) en el humedal con junco y (5) en el humedal con carrizo. La recolección se realizó directamente de los tubos de salida poniendo el recipiente de un litro por muestreo hasta que se llenara, en cuanto a las muestras de los humedales primero se dejó que corriera por 5 minutos con el fin de que el agua que está estancada en los tubos de salidas no altere las muestras (Figura 15).

Figura 15

Muestreo inicial



Nota. Muestreo inicial. Elaboración propia

Al obtener las muestras fueron selladas, almacenadas y transportadas a una temperatura entre 2°C – 6°C hasta ser llevadas al Laboratorio De Análisis Ambientales Centro De Teleinformática Y Producción Industrial del SENA regional Cauca. Con el fin de evaluar los parámetros de pH, DBO₅, DQO, y SST.

3.2.3 Análisis Estadístico

La unidad experimental en este estudio consistió en un humedal de flujo subsuperficial horizontal dividido en dos secciones. En ambas secciones se implementaron macrófitas de las especies vegetales siguientes: *Phragmites Australis* Y *Eleocharis Elegans kunt*. A lo largo de la investigación se examinaron diversas variables-respuesta: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y pH.

Además, se determinaron los porcentajes de remoción para cada uno de los parámetros mediante la siguiente ecuación:

$$R = \left(\frac{C_o - C_f}{C_o} \right) \times 100\% \text{ Ecuación 4}$$

Donde:

Co: Carga Contaminante de entrada

Cf: Carga contaminante de Salida.

3.2.4 Variables Respuesta

La selección de las variables de respuesta se fundamentó en las características más significativas de las aguas residuales involucradas, abarcando los parámetros de pH, DBO₅, DQO y SST. Este enfoque se alinea con los requisitos establecidos en la Resolución 0631 del año 2015, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, define los parámetros y los límites máximos permitidos para los vertidos en cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público [47]. La presente investigación se centró en el ámbito de actividades productivas, específicamente en los sectores de agroindustria y ganadería, conforme a lo dispuesto en dicha resolución.

3.2.5 Comparación

Después de obtener los resultados de los análisis de laboratorio para cada humedal bajo estudio, se procedió a contrastar los datos mediante tablas y gráficos, tomando en cuenta igualmente los límites permisibles definidos por la resolución 0631 del 2015, tal como se detalla en la Tabla 6. Además, se llevó a cabo una evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros (DQO, DBO₅ y SST) en los humedales, comparando el comportamiento de los resultados de cada variable en la entrada y salida del sistema. Para ello, se utilizó un análisis

estadístico descriptivo que permitió concluir cuál de las dos especies demostró tener una capacidad superior para reducir la carga contaminante.

Tabla 6

Parámetros y valores límites máximos permisibles, según la resolución 0631 del 2015

Parámetro	Unidades	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC/ CENICAFÉ).
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	3.000,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/L O ₂	400,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	800,00

Nota. Parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de agua residual no doméstica, según la resolución 0631 del 2015. Adaptada Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

3.2.6 Evaluación

Al comparar los datos de ambos humedales con los límites establecidos en la resolución 0631 de 2015, que regula el tratamiento de aguas residuales agrícolas, se verificó el cumplimiento de los parámetros (DQO, DBO₅ y SST) en lo que respecta a las concentraciones de descarga de los humedales. Como también, se evaluó la eficiencia en la remoción de estos parámetros al analizar sus concentraciones tanto en la entrada como en la salida del sistema.

Capítulo IV: Resultados y Análisis

4.1 Diseño un Sistema Modular de Pozo Séptico y Humedales

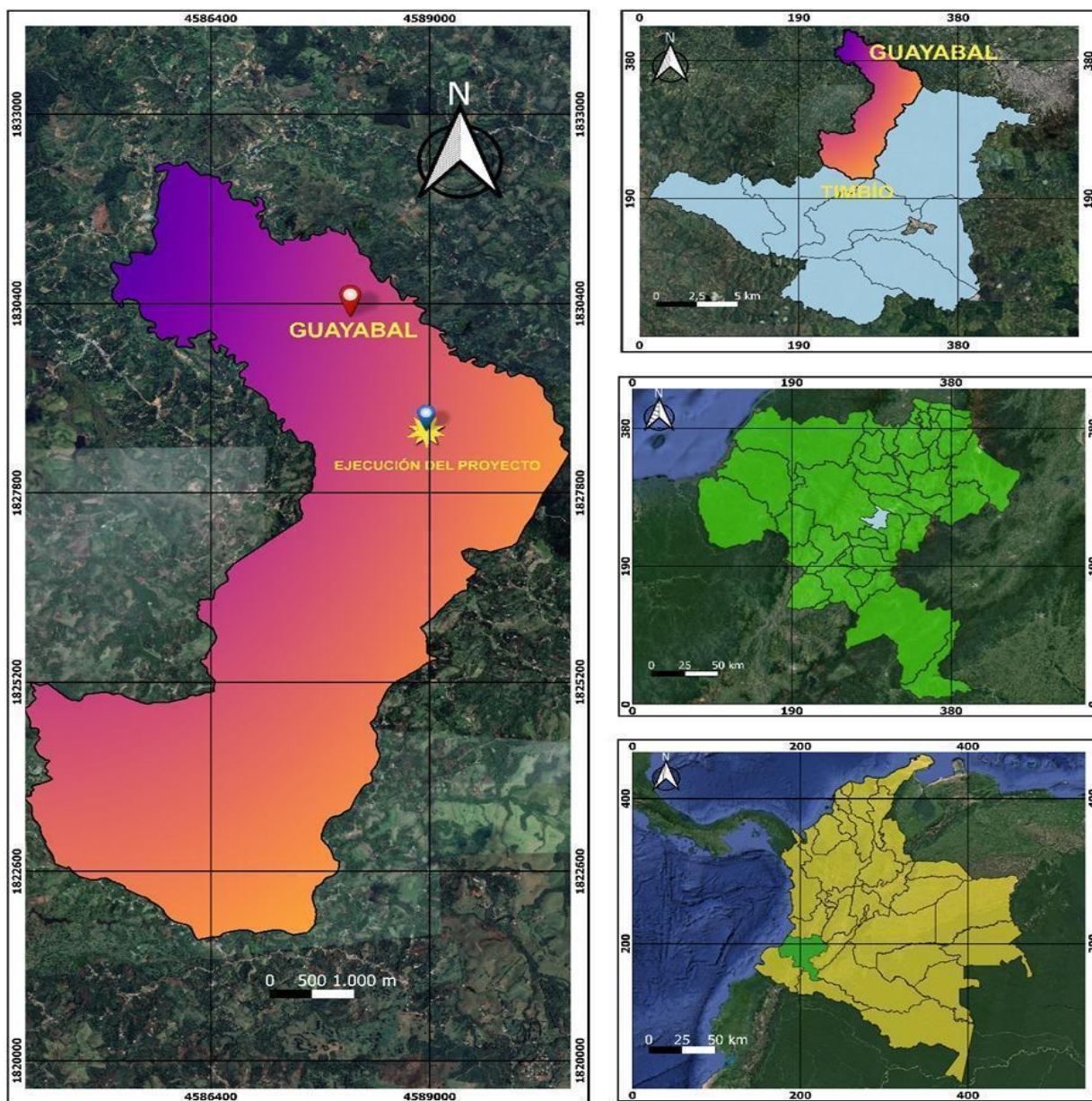
Se dio inicio al proceso de diseño siguiendo una secuencia que incluye la consulta del manual de la EPA y la recopilación de datos de campo necesarios para el desarrollo del diseño del humedal.

4.1.1 Localización de la Zona de Estudio

La realización del proyecto tuvo lugar en el Municipio de Timbío, cuya extensión abarca 20.502 hectáreas. Estas áreas se distribuyen en 9 distritos que a su vez incluyen 17 barrios y 55 veredas. La temperatura promedio es de 18°C y está situado en la región centro-oriental del Departamento del Cauca, específicamente, se ubica en la vertiente occidental de la cordillera central, pertenece al macizo andino sur colombiano y forma parte del cinturón cafetero, integrándose en el peniplano de Popayán. Además, su posición estratégica junto a la vía panamericana otorga una ventaja en términos de accesibilidad y comunicación con otras partes del país. Timbío colinda al este con Sotará, al oeste con El Tambo, al norte con Popayán y al sur con Rosas [48] (Figura 16).

Figura 16

Mapa de georreferenciación del proyecto



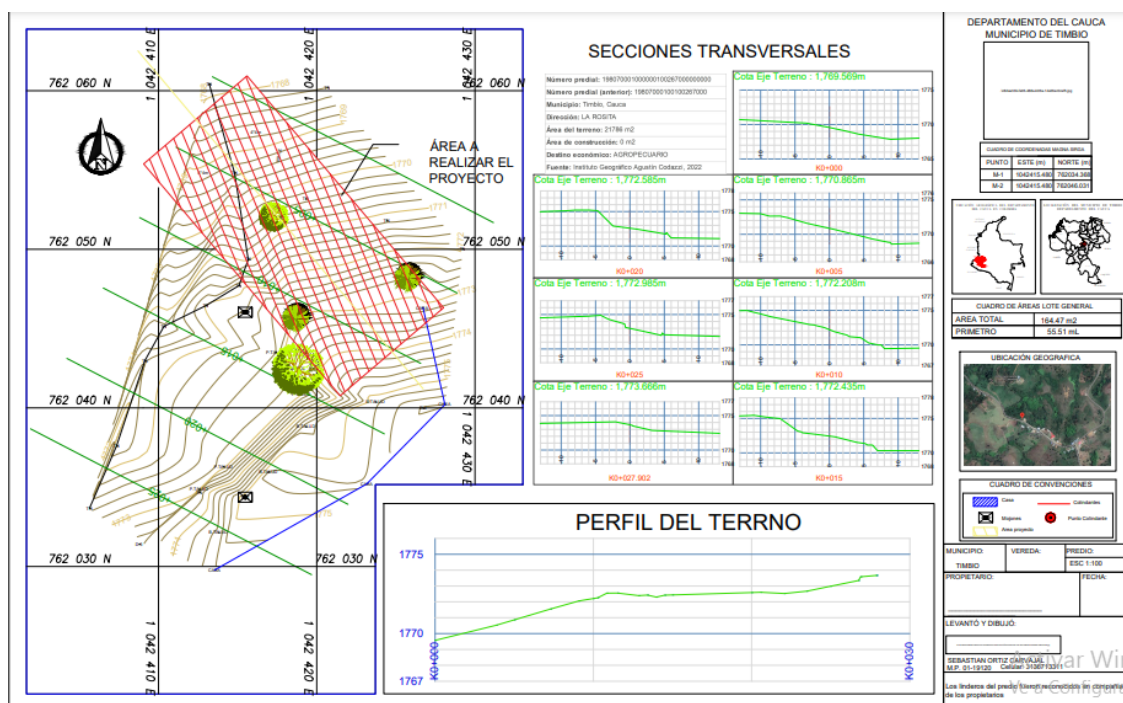
Nota. Mapa de georreferenciación del proyecto. Elaboración propia

4.1.2 Reconocimiento de las Zonas a Intervenir

La finca la Rosita, donde se ejecutó el proyecto, se ha dedicado desde años atrás a la producción cafetera, la cual tiene en la actualidad 15.000 árboles de café los cuales son manejados con un sistema de beneficio tradicional. Durante la visita a la finca en la vereda el Guayabal (Timbío – Cauca), se estableció el lugar exacto donde se llevó a cabo la construcción de los humedales (Ver anexo 3) y posteriormente a esto se realizó el estudio topográfico como se muestra en la Figura 17. Además, se obtuvo una muestra inicial del agua miel, la cual se sometió a análisis, arrojando los siguientes resultados: pH de 3.97, DQO de 21480 mg/L, DBO₅ de 7956 mg/L y SST de 1028 mg/L, estos datos permitieron evaluar la cantidad de materia orgánica presente en las aguas mieles, lo que confirmó la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento para estas aguas. Basándonos en esta información, se procedió al diseño del proyecto.

Figura 17

Estudio topográfico



Nota. Estudio topográfico. Elaboración propia

4.1.3 Diseño y Cálculos del Humedal

A continuación, se detallan los cálculos llevados a cabo para dimensionar los humedales artificiales, con el fin de determinar el área y el tamaño óptimo para tratar los volúmenes de aguas mieles generadas por el sistema de beneficio del café en la finca La Rosita como se observa en la Tabla 7. A partir de la información recopilada, se determinan los espacios disponibles para la implementación de las plantas, la cantidad de sustrato requerida para el lecho filtrante y la capacidad volumétrica estimada para el humedal (Ver anexo 4).

Se calculó el caudal máximo aplicando la ecuación:

$$QM = DMR * A$$

$$QM = 350 \text{ kg/día} * 5L/kg$$

$$QM = 1.750 \text{ l/día} = 1,75m^3/día$$

- Considerando que el dato utilizado para la producción máxima de café fue obtenido de los registros anuales que facilitó el productor, de donde se tomó el día pico del año 2021.

De acuerdo con las directrices de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que enumera varios parámetros a considerar en la construcción de humedales subsuperficiales:

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

El cálculo del área superficial se hizo con la siguiente ecuación:

$$As = (l)(w) = Q \left[\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \right] + k_t dn$$

$$As = 32 \text{ m}^2$$

Ecuación de Darcy con la que se determinó la capacidad de diseño.

$$Q = K_s AS$$

$$Q = 33.33 \text{ m}^3 / \frac{\text{m}^2}{\text{día}} * (2.4 \text{ m}^2 * 0.007)$$

$$Q = 0.60 \text{ m}^2 / \text{día}$$

Ecuación de largo – ancho.

$$W_{real} = \sqrt{\frac{(\text{área superficial} * \text{proporción } w)}{\text{proporción } l}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$W_{real} = \sqrt{\frac{(32 \text{ m}^2 * 1\text{m})}{2\text{m}}}$$

$$W_{real} = 4\text{m}$$

$$L_{real} = \frac{\text{proporción } l * w}{w} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L_{real} = \frac{2m * 4m}{1m}$$

$$L_{real} = 8m$$

Ecuación del área transversal

$$A = \text{profundidad lecho}(d) * W_{real} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$A = 0.6m * 4m$$

$$A = 2.40 m^2$$

Ecuación del gradiente hidráulico

$$s = \left(\frac{\text{profundidad lecho}(d)}{L_{real}} \right) * 0,1 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$s = \left(\frac{0.6m}{8m} \right) * 0,1$$

$$s = 0.0075$$

Ecuación para el cálculo de la capacidad hidráulica del humedal

$$Q_{Cond} = S * A * K_s \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Q_{Cond} = 0.0075 * 2.40 m^2 * 33.33 m^3 / \frac{m^2}{dia}$$

$$Q_{Cond} = 0.60 m^3 / dia$$

Ecuación para el tiempo de retención

$$TRH = \frac{W_{real} * L_{real} * d * n}{Q} \text{ Ecuación 10}$$

$$TRH = \frac{4m * 8m * 0.6m * 0.35}{1.750 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$TRH = 3.84 \text{ dia}$$

Tabla 7

Resumen de resultados

Parámetro	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = (l)(w) = Q \left[\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \right] + k_t d n$	$A_s = 32 \text{ m}^2$
Ecuación de Darcy	$Q = K_s A_s$	$Q = 0.60 \text{ m}^3/\text{dia}$
Largo – ancho	$W_{real} = \sqrt{\frac{(\text{areaa superficial} * \text{proporcion } w)}{\text{proporcion } l}}$ $L_{real} = \frac{\text{proporcion } l * w}{w}$	$W_{real} = 4m$ $L_{real} = 8m$
Gradiente hidráulico	$s = \left(\frac{\text{profundidad lecho}(d)}{L_{real}} \right) * 0,1$	$s = 0.0075$
Área transversal	$A = \text{profundidad lecho}(d) * W_{real}$	$A = 2.40 \text{ m}^2$
Tiempo de retención	$TRH = \frac{W_{real} * L_{real} * d * n}{Q}$	$TRH = 3.84 \text{ dia}$
Capacidad hidráulica	$Q_{Cond} = S * A * K_s$	$Q_{Cond} = 0.60 \text{ m}^3/\text{dia}$

Nota. Resumen de resultados. Elaboración propia

4.1.4 Diseño y Cálculos del Tanque Colector

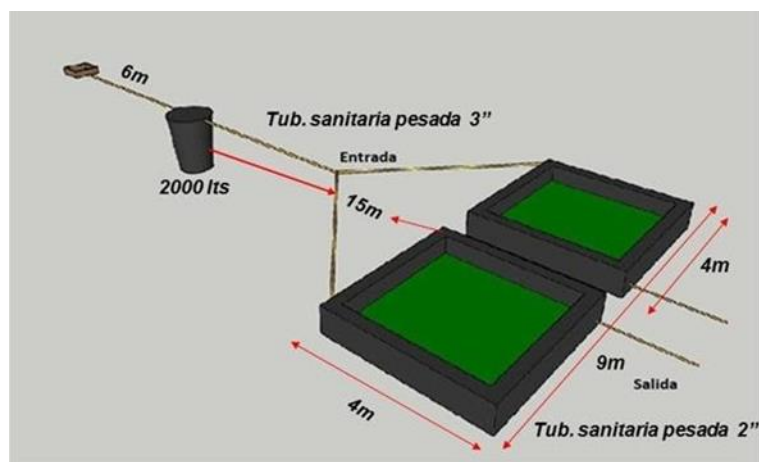
Se llevó a cabo la práctica de sedimentación de sólidos utilizando el cono Imhoff durante un período de 72 horas para obtener sedimentos. Sin embargo, se concluyó que el agua miel solo contenía sólidos suspendidos y no se logró una separación efectiva de sedimentos. Se intentó eliminar estos sólidos mediante un ensayo de jarras, utilizando diferentes concentraciones

de sulfato ferroso como coagulante la cual culminó con un último intento donde su dosificación fue de 390, 420, 450 y 480 mg/L de sulfato ferroso, pero tampoco se obtuvieron resultados satisfactorios. Además, se determinó que continuar con el proceso de coagulación y floculación requeriría un sistema que excede el presupuesto (Ver anexo 5).

En vista de esto, se optó por un nuevo enfoque, se realizaron ensayos colocando el agua miel en tarros de 3 litros completamente sellados, lo que permitió observar una separación efectiva de natas y sedimentos. Con esta información, se procedió a un ensayo a escala piloto con 30 litros de agua en un recipiente cerrado, donde, a partir de las 24 horas, se formaron natas dejando así un agua más limpia aparentemente. Con base en estos resultados, se decidió diseñar un sistema colector anaerobio que se encargó de descomponer los desechos orgánicos presentes en las aguas mieles, reemplazando así al tanque séptico. El objetivo principal era reducir la viscosidad del agua para prevenir obstrucciones en los humedales.

El tamaño del tanque adaptado para el sistema fue de 2000 litros, teniendo en cuenta que el proceso de descomposición se llevaría a cabo en 24 horas, y el caudal diario pico de agua era de 1750 L/día. Este nuevo enfoque permitió encontrar una solución más efectiva y económica para el tratamiento de las aguas mieles y contribuir a la conservación del medio ambiente en la región cafetera (Figura 14).

Conforme a los cálculos nuestro diseño del sistema modular quedó como se plantea en Figura 18.

Figura 18*Esquema de Diseño de Humedal*

Nota. Esquema de Diseño de Humedal. Elaboración propia

4.1.5 Construcción de los Humedales e Instalación del Tanque Colector Anaerobio

Una vez culminado el proceso de diseño, se llevó a cabo la edificación siguiendo las indicaciones obtenidas en la fase anterior. Este procedimiento abarcó la ejecución de las pertinentes excavaciones, la aplicación de medidas para la impermeabilización del terreno y el ensamblaje de las capas del lecho filtrante. Además, se procedió a instalar el tanque colector y se incorporó 5 plantas de material vegetal por metro cuadrado en cada uno de los humedales (ver ítem 3.1.5).

4.2 Establecer el Porcentaje de Remoción de Carga Contaminante.

4.2.1 Arranque del Sistema

Una vez finalizada la construcción de los humedales y la siembra del material vegetal adaptado, se esperó un lapso de aproximadamente 15 días antes de permitir el flujo de aguas residuales, cabe resaltar que en este periodo de tiempo las plantas fueron regadas manualmente con agua miel. Al cumplirse este periodo, se puso en marcha el sistema, dirigiendo la totalidad del caudal al tanque colector, donde se mantuvo durante 24 horas para retirar una gran parte de sólidos y natas. Después de este proceso, se distribuyó el flujo de manera equitativa entre los humedales. Este procedimiento se repitió dos veces por semana durante dos meses antes de recolectar la primera muestra a analizar.

4.2.2 Comparación del Comportamiento de los Parámetros de Estudio del Sistema

Modular

En el ámbito de la investigación y desarrollo de sistemas modulares, fue esencial realizar una comparación exhaustiva para evaluar el comportamiento de los parámetros de estudio. Esta evaluación nos permitió comprender mejor cómo funcionan estos sistemas en diferentes condiciones y escenarios.

Con el objetivo de analizar la efectividad de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, se registraron las concentraciones de los contaminantes a lo largo del proceso de tratamiento. Los datos obtenidos se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8

Resultados de muestreos

	Muestreo	RES. 0631	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Promedio	minimo	maximo	Desv. Estand	Varianza
	Parametro											
ENTRADA	pH	5 a 9	4,1	3,97	4,035	3,45	3,89	3,89	3,45	4,1	0,26	0,066
	SST (mg/L)	800	2200	2400	2300	2480	2345	2345	2200	2480	105,24	11075
	DQO (mg/L)	3000	10680	21480	16080	18400	16660	16660	10680	21480	3948,32	15589200
	DBO (mg/L)	400	6060	7956	7100	7540	7161	7163	6060	7956	705,61	497890
SALIDA T. COLECTOR	pH		3,3	3,34	3,45	3,44	4,45	3,60	3,3	4,45	0,48	0,232
	SST (mg/L)		1533	400	376	74	1044	685,40	74	1533	591,19	349502,8
	DQO (mg/L)		17400	15100	15840	14190	10840	14674	10840	17400	2444,68	5976480
	DBO (mg/L)		7635	6960	7590	7710	4950	6969	4950	7710	1167,77	1363680
SALIDA H. CARRIZO	pH		4,77	4,72	4,59	4,58	4,58	4,65	4,58	4,77	0,09	0,008
	SST (mg/L)		217	48	16	2	23	61,2	2	217	88,68	7863,7
	DQO (mg/L)		4650	4840	7930	8100	7220	6548	4650	8100	1680,02	2822470
	DBO (mg/L)		2472	2382	4220	4980	3326	3476	2382	4980	1122,82	1260726
SALIDA H. JUNCO	pH		5,23	4,59	4,64	4,84	4,9	4,84	4,59	5,23	0,25	0,065
	SST (mg/L)		106	132	28	10	27	60,6	10	132	54,57	2977,8
	DQO (mg/L)		2550	6010	9080	8800	7130	6714	2550	9080	2643,72	6989230
	DBO (mg/L)		1218	3333	3820	5100	3740	3442,2	1218	5100	1408,79	1984677,2

Nota. Resultados de muestreos. Elaboración propia.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el sistema modular. Los muestreos iniciales de entrada revelaron que los valores de pH, DBO₅, DQO y SST estaban por encima de los límites máximos permitidos establecidos por la resolución 0631 del 2015. Estas altas concentraciones de materia orgánica en las aguas mieles del café hacen que este residuo agroindustrial sea un factor significativo en la contaminación de fuentes hídricas en las áreas productoras de café [55]. Al analizar la desviación estándar de los resultados obtenidos en los 5 monitoreos, se llegó a la conclusión de que la dispersión de datos con relación a los parámetros de pH y SST en comparación con la media es muy baja. Sin embargo, los datos de los parámetros DQO y DBO₅ muestran una variación notable con respecto a la media, lo que indica una alta dispersión en estos datos.

Además, se presentan los resultados realizados en los efluentes del tanque colector y humedales artificiales. Se observa que las concentraciones de DBO₅, DQO y SST varían significativamente entre el tanque colector y los humedales, pero son similares entre ambos humedales. Ninguno de los tres sistemas logra una remoción superior al 70% en DBO₅ y DQO, lo que es un dato relevante para considerar.

Es importante destacar que estos resultados están asociados con una zona productiva específica y dependen de la variedad de café cultivada, el manejo agronómico y los tiempos de fermentación utilizados en los beneficios. Los tiempos de fermentación más largos aumentan la concentración de materia orgánica debido al menor uso de agua para eliminar el mucílago del grano, mientras que los tiempos más cortos disminuyen la concentración debido al mayor uso de agua para la remoción del mucílago [31].

Se observan diferencias entre los valores de entrada en comparación con los dos sistemas. Los sólidos suspendidos totales (SST) cumplen con los límites establecidos, pero la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_5) están por encima de los lineamientos permitidos. Esto indica que las plantas *Phragmites australis* (carrizo) y *Eleocharis Elegans Kunt* (Junco) tienen una eficiencia media en la remoción de materia orgánica, con valores inferiores al 70% en DQO y DBO_5 . Se deben considerar ajustes para mejorar la eficiencia de remoción de estos parámetros y cumplir con los estándares ambientales.

Al comparar los valores de entrada con los de salida, se observa que la reducción en DBO_5 y DQO es poco representativa, ya que no supera el 70%. Sin embargo, la remoción de SST es notable, alcanzando una eficiencia del 97.5%. Es evidente la necesidad de tomar medidas para mejorar la eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO para cumplir con los estándares ambientales. El éxito en la eliminación de SST es un punto positivo que puede servir de base para mejorar el sistema en general.

Es relevante mencionar que la deficiencia del sistema puede estar relacionada con el ciclo de vida de las plantas utilizadas, ya que la eficiencia de remoción parece disminuir a lo largo de los muestreos. También se debe tener en cuenta que los muestreos se realizaron en diferentes condiciones climáticas, lo que puede influir en los resultados. En general, es importante seguir investigando y ajustando el sistema para lograr una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y proteger mejor el medio ambiente.

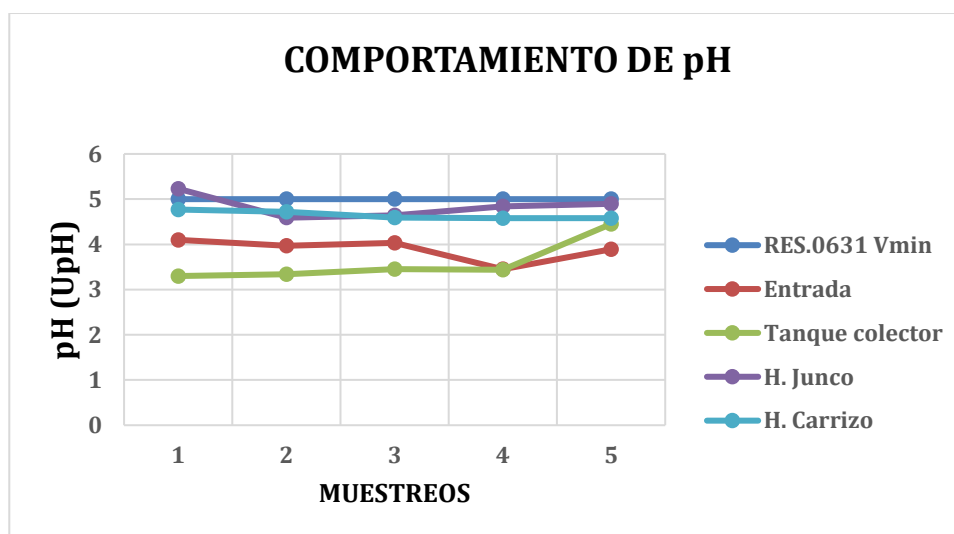
4.2.3 Comportamiento

En esta sección, se muestran de manera gráfica los resultados obtenidos de las muestras tomadas tanto en la entrada como en la salida de los dos humedales y el tanque colector. Estos gráficos permitieron analizar el comportamiento de los parámetros pH, DQO, DBO₅ y SST en los dos humedales artificiales de flujo subsuperficial utilizados en la investigación. Estos sistemas se implementaron empleando las especies *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans Kunth*.

Comportamiento del pH. El pH desempeña un papel fundamental en la calidad y la funcionalidad de numerosos procesos y sistemas. Explorando en profundidad el comportamiento del pH, su importancia en diferentes contextos y cómo su control y monitoreo son esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo.

Figura 19

Comportamiento del pH con respecto al sistema modular



Nota. Comportamiento del pH con respecto al sistema modular. Elaboración propia

El pH juega un papel fundamental en los procesos de transformación química y biológica, por lo tanto, su seguimiento resulta de gran importancia. La Figura 19 muestra su comportamiento a lo largo del sistema, donde se observa que el valor de pH en la entrada no es neutro, pero es menos ácido en comparación con el tanque colector, que actúa como sistema anaerobio. Esta disminución del pH puede deberse a la formación de ácidos grasos en una fase de "fermentación ácida", lo que reduce el pH en el sistema [56].

Los valores de pH en las salidas de ambos humedales se mantuvieron constantes, lo que indica que estos sistemas poseen un comportamiento regulador del pH. Además, se destaca que el humedal con *Eleocharis elegans kunth* (Junco) mantuvo valores más altos de pH en comparación con el humedal con *Phragmites australis* (Carrizo), lo que sugiere que este sistema tiene características amortiguadoras de pH más adecuadas para reducir la acidez del agua [57].

De los datos obtenidos en los muestreos, aparece pH ácido menores a (5,00 unidades), lo que puede estar relacionado con la presencia de ácidos orgánicos en el café, así como con el proceso de fermentación que pueden originar la producción de ácidos y causar la reducción del pH, es decir, que los valores de pH obtenidos en el sistema se encuentran por fuera del rango máximo permisible establecido por la normatividad ambiental (5,00 – 9,00), evidenciando fallas en el sistema de tratamiento al momento de realizar la descontaminación de las aguas miel [58].

En la Tabla 9 se presentan los valores promedios de pH para el agua residual utilizada, así como los valores correspondientes a los humedales y el tanque colector, incluyendo sus máximos y mínimos obtenidos durante la evaluación del sistema. Se observa que el pH del agua de entrada es más ácido que en los humedales, lo cual resalta como una característica significativa.

Tabla 9

Promedios de pH

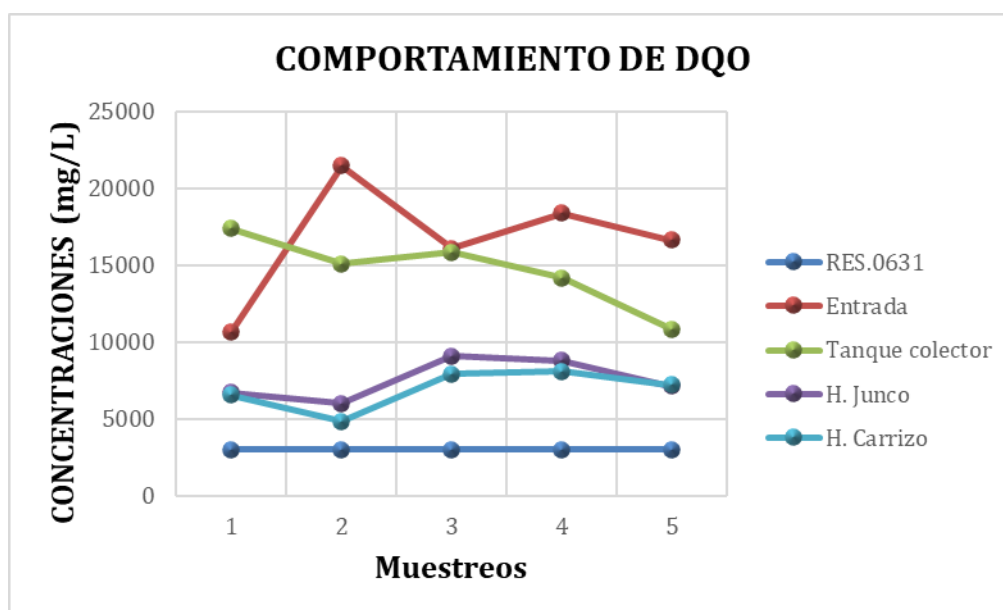
Parámetro	pH			
	Muestreo	Entrada	Tanque Colector	H. Junco
Promedio	3.89	3.596	4.84	4.648
mínimo	3.45	3.3	4.59	4.58
máximo	4.1	4.45	5.23	4.77
Desv. Estand	0.257	0.482	0.254	0.090
Varianza	0.0663	0.2320	0.0646	0.0082

Nota. Promedios de pH. Elaboración propia

Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La Demanda Química de Oxígeno (DQO) indica la concentración de materia orgánica e inorgánica en solución y/o materia suspendida que puede ser químicamente oxidada por agentes oxidantes [59].

Figura 20

Comportamiento de la DQO con respecto al sistema



Nota. Comportamiento de la DQO con respecto al sistema. Elaboración propia

En la Figura 20 se puede observar el comportamiento de la DQO en el sistema modular donde los dos humedales presentan una similitud considerable debido a que las plantas tuvieron efectos similares en cuanto a la remoción de este parámetro, cabe destacar la capacidad del tanque colector por su papel significativo en el proceso de remoción en el tratamiento con base a la alta concentración inicial de DQO, teniendo en cuenta que el tiempo de retención del tanque fue de 24 horas el cual podría extenderse para lograr una disminución mayor de la concentración en el sistema.

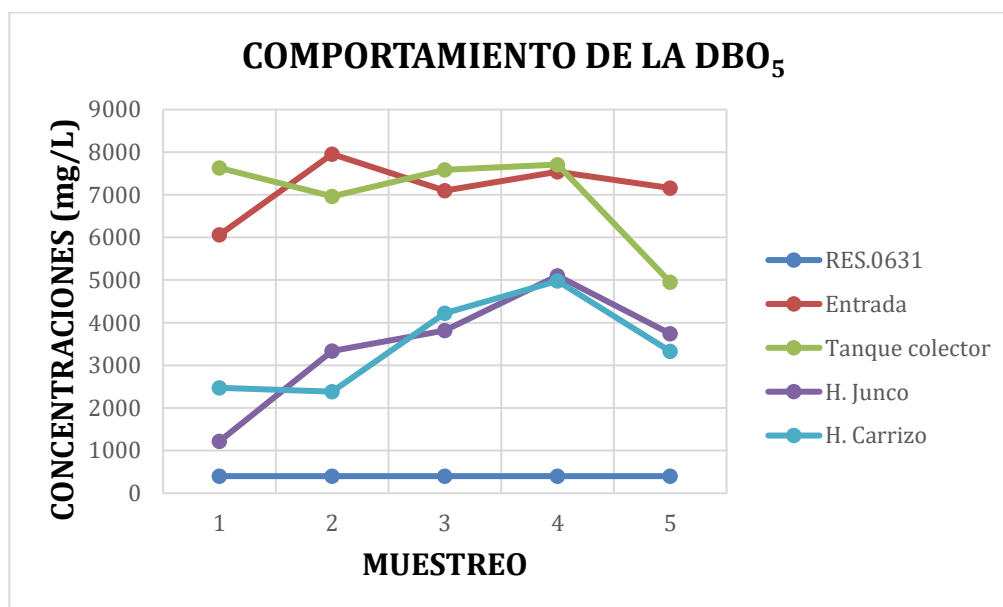
Es esencial mencionar que el sistema no logró tratar de manera adecuada las aguas mieles en cuanto a este parámetro, ya que los valores promedio superaron los límites establecidos en la resolución 0631 de 2015. No obstante, es relevante recalcar que, a pesar de no cumplir con los estándares establecidos, se observó una remoción notable del 60 %, superando los resultados obtenidos en comparación con el estudio titulado "Análisis del uso de humedales artificiales empleando plantas macrofitas para el tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural Apurímac 2021", donde el porcentaje de remoción de DQO con *Phragmites australis* fue del 35%. Esto sugiere que esta macrófita es mucho más eficiente para la eliminación de DQO en aguas residuales industriales que en aguas domésticas.

La falta de remoción en el sistema puede estar asociada a fallas en los tiempos de retención hidráulica o la densidad de plantas utilizada, ya que después del primer muestreo se tuvo que depurar la mitad de ellas en cada humedal debido a que absorben la totalidad del agua dispuesta, teniendo en cuenta estudios relacionados donde se dice que la distancia de siembra de las plantas es de 60 cm [35]. Por otro lado, es importante destacar que un alto valor de DQO puede generar fenómenos de eutrofización en los cuerpos de agua receptores. La depuración de la materia orgánica puede atribuirse principalmente a procesos físicos como filtración, sedimentación y adsorción, en los cuales el medio filtrante y el agua residual intervienen [60].

Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅). La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) es un aspecto de gran relevancia en la evaluación de la calidad del agua y el impacto ambiental, nos proporciona información crucial sobre la presencia y actividad de materia orgánica biodegradable en un cuerpo de agua. Cuanto mayor sea la DBO₅, mayor será la cantidad de materia orgánica en descomposición [61].

Figura 21

Comportamiento de la DBO₅ con respecto al sistema



Nota. Comportamiento de la DBO₅ con respecto al sistema. Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 21 los datos obtenidos en los muestreos 3 y 4 en los sistemas de tanque colector, H. carrizo y H. junco, se observó un aumento en la DBO₅, que puede atribuirse al clima frío y las bajas temperaturas menores a 15 °C que se presentan durante el invierno, lo

cual reduce la tasa metabólica de los microorganismos y por ende la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno [62]. Además, durante el período de muestreo, se registraron lluvias más frecuentes, también se realizó una comparación con el estudio “implementación de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de lavado del café, en fincas priorizadas en la asociación de productores orgánicos de la Sierra Cauca – ASPROSI” en el cual se evidencio que durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada, algunos de los parámetros que intervienen en el proceso de remoción es la temperatura la cual acelera la descomposición de la materia orgánica, con lo que se afirma que las bajas temperaturas interfieren en la eficiencia de remoción de DBO_5 [23].

Al final del tratamiento, se registró un promedio de remoción de carga contaminante de DBO_5 y la disminución en la concentración fue casi idéntica para ambas especies, lo cual se respalda por el porcentaje de remoción (ver Tabla 10). Según la literatura EPA [63], la eficiencia de los humedales con relación a la DBO_5 varía entre el 20% y el 93%, con un promedio del 70.9%. Por lo tanto, se puede concluir que con ambas especies se logró una remoción fuera del rango esperado [33].

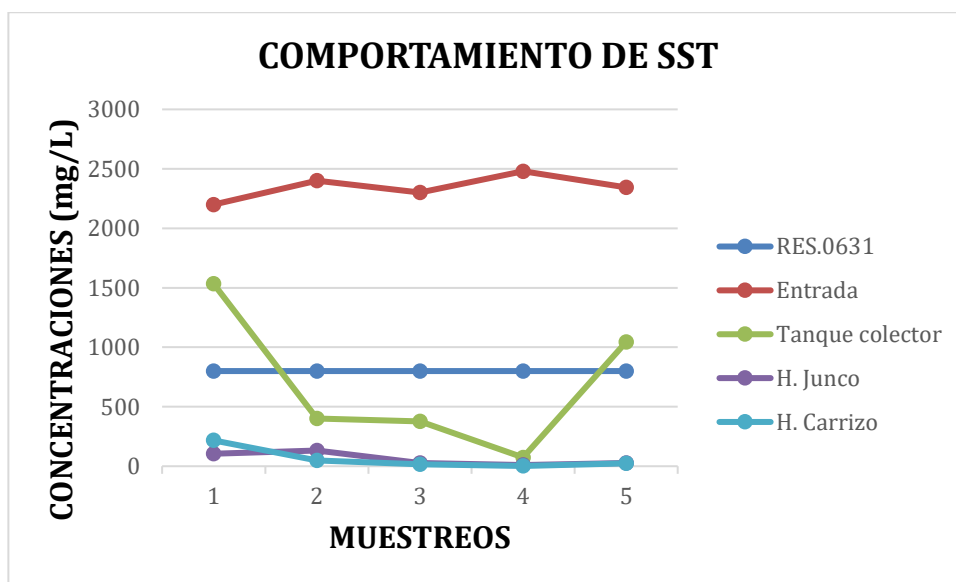
Aunque el sistema no cumple con los valores límites máximos permisibles exigidos por la resolución 0631 de 2015 en cuanto a la DBO_5 , lo cual indica la presencia de una cantidad alta de materia orgánica en las aguas mieles evaluadas. No obstante, es esencial resaltar el excelente desempeño de los humedales con las especies *Eleocharis elegans kunth* y *Phragmites australis*, ya que lograron una disminución considerable de la DBO_5 , al comparar los valores obtenidos en los muestreos de entrada y del tanque colector, tomando como referencia resultados obtenidos en el “ Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas” que arrojó porcentajes de remoción para *Eleocharis elegans kunt* de 74.13% a 81.67%, *Phragmites australis* 67% a 89.5% [64]. Es importante tener en cuenta que el período de tiempo de iniciación del sistema debe ser prolongado para alcanzar una estabilidad plena en el proceso de tratamiento. Desafortunadamente, en este caso, no se

dispuso de suficiente tiempo para una adaptación adecuada del sistema antes de realizar dichos muestreos.

Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los sólidos suspendidos totales SST, son esenciales para comprender la calidad y la dinámica de los cuerpos de agua, consisten en partículas sólidas que se encuentran en suspensión. En este contexto, exploramos cómo los SST se comportan en diferentes ambientes acuáticos y cómo su monitoreo y análisis son cruciales para la gestión adecuada de la conservación de los ecosistemas acuáticos [65].

Figura 22

Comportamiento de los SST con respecto al sistema



Nota. Comportamiento de los SST con respecto al sistema. Elaboración propia

En el desarrollo del proyecto, se obtuvieron resultados que muestran que el valor de SST cumple con el límite establecido por la resolución 0631 de 2015. Esto es evidente en la Figura 22, donde se observa una clara diferencia en las concentraciones del sistema en comparación

con los muestreos iniciales. Esto demuestra que un buen sistema, como el tanque colector anaerobio antes de los humedales, tiene la capacidad de eliminar en su gran totalidad los sólidos suspendidos totales, como se evidencia en el muestreo 4 del humedal con carrizo, que arrojó un resultado de 2,00 mg/L. También es importante destacar que el sistema modular logró una tasa de eliminación que varía entre el 71% y el 97%, lo que representa un resultado positivo en términos de este parámetro. Esto se encuentra respaldado por los hallazgos documentados en el estudio titulado "Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia", donde se observaron datos similares de remoción para este mismo parámetro utilizando diferentes tipos de macrófitas. Estos resultados demuestran la efectividad del sistema de humedales artificiales con plantas en la reducción de la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua [66].

Evaluación de la Eficiencia de Remoción del Sistema Modular. La eficiencia de remoción se evaluó utilizando la **ecuación 4**, tomando el promedio de cada parámetro de los valores obtenidos en el muestreo del afluente como concentración inicial, y los valores de muestreo en la salida de los tres sistemas como concentración final para su comparación. En las estaciones experimentales, se han registrado porcentajes de remoción superiores al 50%, como se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10

Eficiencia de remoción en el sistema modular

Parámetros	Promedio Entrada (mg/l)	Promedio salida H. Carrizo (mg/l)	% de Remoción H. Carrizo	Promedio salida H. Junco (mg/l)	% de Remoción H. Junco	Promedio salida Tanque Colector (mg/l)	% de Remoción Tanque Colector
DQO	16660	6548	60,7	6714	59,7	14674	11,9
DBO₅	7163	3476	51,5	3442,2	51,9	6969	2,714
SST	2345	61,2	97,4	60,6	97,4	685	70,8

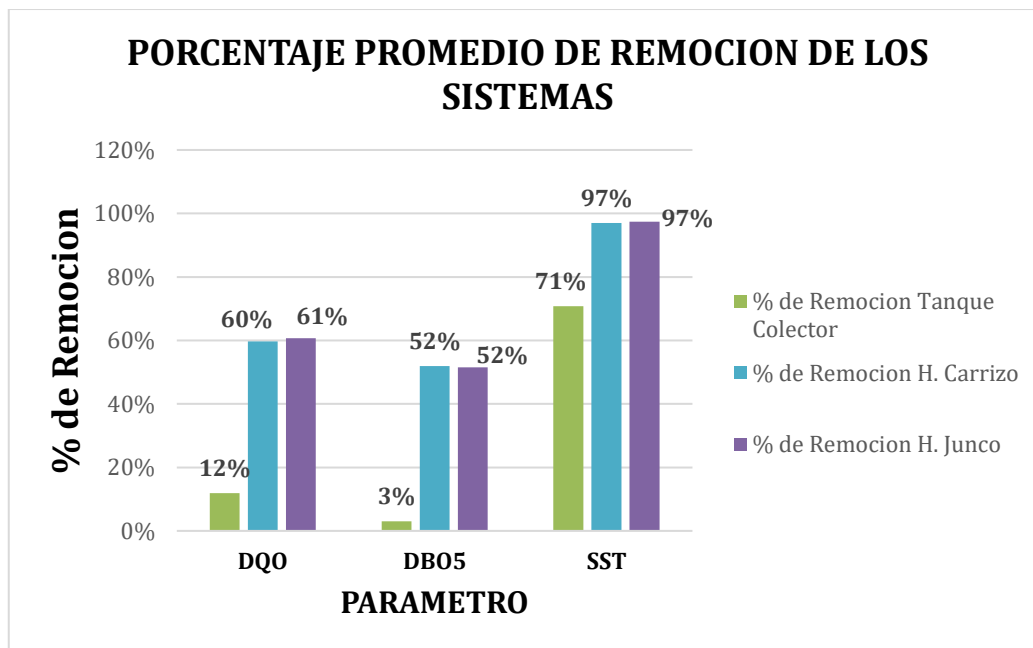
Nota. Eficiencia de remoción en el sistema modular. Elaboración propia

En la Figura 23 se encuentra la eficiencia de remoción para cada sección del sistema, se percibe con claridad que los humedales mostraron deficiencia en la remoción de DQO Y DBO₅, esto posiblemente se puede inferir que las plantas no intervinieron de manera efectiva en la eliminación de materia orgánica, en este caso de materia biodegradable [67] esta aseveración es basada en el “Manual de Fitodepuración Filtros de macrofitas” que indica que las macrófitas son eficientes para la remoción de materia orgánica [68]. Se puede concluir que los humedales de flujo subsuperficial con *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt* aunque no haya presentó un buen rendimiento, si tuvieron una eficiencia similar de remoción positiva

Sin embargo, la gran mayoría de muestras tomadas durante la evaluación, la concentración de DQO y DBO₅ en el efluente fue mucho menor que en el afluente [22].

Figura 23

Porcentaje de remoción de carga contaminante



Nota. Porcentaje de remoción de carga contaminante. Elaboración propia

En la misma gráfica, se puede observar el comportamiento de la eliminación de los sólidos suspendidos totales (SST), que exhibe una pauta similar con una remoción que supera el 90% en ambos humedales con las dos especies. Estos resultados sobrepasan los rangos previamente documentados en investigaciones anteriores, que establecen una eficacia de remoción de entre el 65% y el 85% [69]. Como también se le contribuye la efectividad de remoción para este parámetro en gran parte al sistema de tanque colector ya que presentó un valor de 685 mg/L cumpliendo con la normatividad vigente, presentando una eficiencia de remoción del 70%.

De acuerdo al análisis realizado al sistema se podría decir que para que este sea totalmente funcional, se deben ajustar los tiempos de retención teniendo en cuenta que en el estudio "Fitorremediación de aguas residuales industriales en humedales artificiales para uso agrícola" el cual menciona que el tiempo de retención hidráulico óptimo para la *Phragmites*

australis es de 3 días mostró su capacidad de absorber y almacenar nutrientes [25], explorar alternativas de tratamiento primario más adecuadas para las características del agua tratada. Dado que este estudio se basó en una época de producción media, es posible inferir que, en momentos de alta producción, la eficiencia del sistema podría reducirse.

Con lo anterior mencionado y utilizando la Figura 23 como referencia se concluye que los humedales de flujo subsuperficial con *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt* cuentan con la misma capacidad de remoción de carga contaminantes.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El sistema modular no cumple con los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de agua residual no doméstica debido a las altas cargas contaminantes presentes en las aguas mieles, sin embargo, el promedio de porcentaje de remoción de carga contaminante que genera el sistema es del 70%.

El sistema modular no logró alcanzar los niveles requeridos por la resolución 0631 del 2015 para una depuración completa de las aguas mieles, en cuanto a los parámetros de DQO y la DBO₅. Se obtuvo un cumplimiento satisfactorio del parámetro de sólidos suspendidos totales (SST), alcanzado una remoción del 97% en ambos humedales, esto indica que las dos especies de plantas acuáticas *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt*, mostraron un desarrollo muy similar en su capacidad de remover.

Es importante resaltar que el tanque colector demostró un cumplimiento destacado en términos de eficiencia de remoción, alcanzando un 70%. Los resultados muestran un valor promedio de concentración de SST de 685.40 mg/L en las muestras, lo que atribuye a la efectividad positiva del sistema modular en su conjunto. Esta eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos es un indicador alentador de la capacidad del sistema para tratar y mejorar la calidad del agua.

El diseño y construcción del sistema modular representa una alternativa prometedora en el tratamiento de las aguas mieles de café para pequeños y medianos productores en las zonas cafeteras. Esta opción destaca por sus bajos costos tanto en la instalación como en el mantenimiento, además de brindar a estos productores una tecnología eficiente para mitigar los impactos ambientales derivados de la actividad agroindustrial, lo que contribuye significativamente a una producción más sostenible y amigable con el medio ambiente. Abriendo

una nueva perspectiva para la conservación del entorno natural y la optimización de los recursos en la industria cafetera.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que el período de adaptación de los humedales sea extendido a más de dos meses. De esta manera, se logrará una maduración adecuada del sistema y se obtendrán resultados más efectivos en cuanto a las remociones. Al permitir un tiempo prolongado de adaptación, los humedales podrán desarrollar plenamente su capacidad de tratamiento y optimizar las remociones de manera más efectiva.

Al momento de realizar la siembra, es crucial considerar la cantidad de vegetación presente para lograr un control más minucioso del crecimiento de la población. Es fundamental llevar un seguimiento de los tiempos de retención en los sistemas para evaluar su impacto en la remoción de contaminantes. De esta manera, se podrá medir y comprender mejor la influencia de estos tiempos en el proceso de purificación del sistema. Un monitoreo adecuado asegurará un funcionamiento óptimo y eficiente de los sistemas de tratamiento.

Con relación a los análisis de laboratorio, es de suma importancia tener en cuenta el tiempo de vida útil de la muestra para cada parámetro que se va a evaluar. Esta información es esencial para tomar decisiones adecuadas sobre su preservación. Además, es necesario conocer el límite de detección o cuantificación de la prueba, ya que esto garantizará que los análisis se realicen de manera precisa y fiable. Estos factores son clave para obtener resultados confiables y significativos en los estudios de laboratorio.

Para futuras investigaciones, sería interesante explorar el uso conjunto de la vegetación *Phragmites australis* y *Eleocharis elegans kunt* para evaluar si esta combinación potencializa la remoción de contaminantes. Otra opción para considerar sería la construcción de humedales en línea, para investigar y comparar su eficacia en el tratamiento de aguas residuales. Ambas líneas

de investigación podrían arrojar resultados valiosos y contribuir al desarrollo de soluciones más efectivas y sostenibles para el tratamiento de aguas contaminadas.

Bibliografía

- [1] El País, “El mapa cafetero de Colombia cambia grano a grano.” Accessed: Oct. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.elpais.com.co/economia/el-mapa-cafetero-de-colombia-cambia-grano-a-grano.html>
- [2] Federación Nacional de Cafeteros, “Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana 2018,” 2019. Accessed: Oct. 08, 2023. [Online]. Available: https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe_de_la_Industria_Cafetera_2018_2.pdf
- [3] R. L. Amaya Sánchez and L. J. Ruiz Camacho, “La contratación laboral en los recolectores de café, Caso: Café Majavita, Socorro, Santander,” *IUS PRAXIS*, vol. 2, May 2018, Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/lux_praxis/article/view/6966/6141
- [4] Organización internacional del trabajo, “La experiencia de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en seguridad y salud en el trabajo,” 2020. Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms_764247.pdf
- [5] E. R. Pacheco Burbano, “Caficultura en el departamento del Cauca.” Apr. 15, 2022.
- [6] S. Saravia Matus *et al.*, “Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe,” *Naciones Unidas*, 2022. Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3413ec71-7292-4ce7-95a8-a6b4aa53faae/content>
- [7] L. Fernández and M. Gutiérrez, “Bienestar social, económico y ambiental para las presentes y futuras generaciones,” *Informacion Tecnologica*, vol. 24, no. 2, pp. 121–130, Jan. 2013, doi: 10.4067/S0718-07642013000200013.
- [8] I pastrana, “Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria,” *Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos Reynosa, México*, vol. 1, no. 3, pp. 4–12, Dec. 1996, Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/724/72410301.pdf>
- [9] ScienceDirect, “Composición química y aplicaciones de valor agregado de los subproductos de la industria del café: una revisión,” *El Sevier*, vol. 128, pp. 110–117, Jan. 2018, Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917303154?via%3Dihub>

- [10] L. S. Torres-Valenzuela, A. Sanín-Villarrea, A. Arango-Ramírez, and J. A. Serna-Jiménez, "Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café," *Revista ION*, vol. 32, no. 2, pp. 59–66, Dec. 2019, doi: 10.18273/revion.v32n2-2019006.
- [11] Federación Nacional de Cafeteros, "Comité Departamental de Cafeteros del Cauca," 2009. Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: <https://federaciondecafeteros.org/static/files/Cauca09.pdf>
- [12] L. F. Campos Morales and D. A. Durán Medina, "Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales agrícolas generadas en el beneficio húmedo del café en la finca Buena Vista; Planadas, Tolima, 2019," Trabajo de grado pregrado, Universidad El Bosque, Bogotá, 2019. Accessed: Oct. 08, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2567>
- [13] Federación nacional de cafeteros de colombia, "Producción de café de Colombia en 2020 fue de 13,9 millones de sacos." Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-en-2020-fue-de-139-millones-de-sacos/#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%20enero%207%20de%202021,14%2C7%20millones%20de%20sacos>
- [14] N. Rodríguez valencia, J. rodrigo Sanz Uribe, C. E. Oliveros Tascón, and C. agosto Ramírez Gómez, "Beneficio del café en Colombia," 2015. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/publications/Beneficio-del-cafe-en-Colombia.pdf>
- [15] C. Burbano, "Análisis de la contaminación ambiental ocasionada por las aguas mieles, producto del benecio húmedo del café, para la implementación de la NTC ISO 14001:2015," Apr. 2019. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/26747/dapancheb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [16] A. Fernández Estela, "Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura," *Autoridad nacional del agua*, Nov. 2011, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4516/ANA0003016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] Unidad Conjunta CEPAL, "Impacto ambiental de la contaminación hídrica producida por la Refinería Estatal Esmeraldas: análisis técnico-económico," *Naciones unidas*, Dec. 1990, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e72b2990-951c-4bfa-b47a-4dd434c0fad1/content>

- [18] A. Rivas and D. Paredes, "Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua," 2014. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- [19] M. Y. Rojas Diaz, "Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa bajo, distrito Chota, 2017," Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo Perú, 2018. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25780/Rojas_DMY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [20] Y. Cortés Fernández, K. D. Sotto Rodríguez, and L. A. Vargas Marín, "Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados," *Produccion y Limpia*, vol. 15, no. 1, pp. 93–110, Aug. 2020, doi: 10.22507/PML.V15N1A7.
- [21] A. González Diaz, N. Rodríguez Valencia, J. A. García Núñez, E. Ruiz Álvarez, J. H. Acero Hernández, and W. A. Reyes Ávila, *Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento terciario de efluentes de planta de beneficio de palma de aceite*. Bogotá: Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA, 2022. doi: 10.56866/9789588360942.
- [22] F. Ronaldo, "desempenho de sistemas alagados construídos no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro," Universidade Federal de Viçosa, VIÇOSA MINAS GERAIS – BRASIL, 2008. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/471/209501f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [23] J. Javier Rojas Ramírez, "Implementación de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de lavado del café, en fincas priorizadas en la asociación de productores orgánicos de la Sierra Cauca – ASPROSI.," 2019. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/273/T%20IAP%20139%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [24] J. Cajo Lopez and G. E. Tantarico Huancas, "Tratamiento de aguas mieles post lavado del café (*Coffea arábica*) para mitigar la contaminación de suelos en el distrito San Ignacio," 2020. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49383/Cajo_LJ-Tantarico_HGE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [25] A. García-Valero *et al.*, "Fitorremediación de aguas residuales industriales en humedales artificiales para uso agrícola," 2019, doi: 10.26754/c_agroing.2019.com.3439.

- [26] R. V. Cespedes Pillaca, "Análisis del uso de humedales artificiales empleando plantas macrofitas para el tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural, Apurímac 2021," 2021. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64319?show=full&locale-attribute=es>
- [27] M. Y. ROJAS DÍAZ, "Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la comunidad de Santa rosa bajo, distrito chota, 2017," Universidad Cesar Vallejo, PERU, 2018. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25780/Rojas_DMY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [28] C. I. Gómez Chavarro, "Diseño de Humedales Artificiales," 2021. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1378/G%c3%b3mez%20Chavarro%2c%20Camilo%20lv%c3%a1n-2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y..>
- [29] L. Constanza Corrales, D. M. Antolinez Romero, J. A. Bohórquez Macías, and A. M. Corredor Vargas, "Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta," *Nova*, vol. 13, no. 24, pp. 55–81, Jun. 2015, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>
- [30] D. Echeverri, L. Buitrago, F. Montes, I. Mejía, and M. del P. González, "Café para cardiólogos," *Revista Colombiana de Cardiología*, vol. 11, no. 8, pp. 357–365, 2005, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56332005000200001&lng=en&nrm=iso&tling=es
- [31] J. Pérez Porto and M. Merino, "CAFÉ."
- [32] Federación nacional de cafeteros and Centro nacional de investigaciones de café, "Cartilla 20 Beneficio del café I: Despulpado remoción de mucilago y lavado.," *Cenicafe*, Jun. 2012, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/07/Cartilla_20-Beneficio-del-caf%C3%A9-I.-Despulpado-remoci%C3%B3n-de-mucilago-y-lavado..pdf
- [33] Recytrans, "Aguas Industriales," Recytrans Soluciones Globales Para el Reciclaje. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.recytrans.com/blog/aguas-industriales/>
- [34] H2O, "Aguas residuales industriales - tan individuales como la propia producción industrial," H2O. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.h2o-de.com/es/blog/aguas-residuales-industriales>

- [35] O. Delgadillo, A. Camacho, L. Pérez, and M. Andrade, "Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales," Cochabamba – Bolivia, 2010. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- [36] P. andree Arce Cardona, "Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción," Fundación universidad de américa, Bogotá, 2018. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- [37] E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, P. Reymond, R. Schertenleib, and C. Zurbrügg, "Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial," Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/humedal-artificial-de-flujo-horizontal-subsuperficial>
- [38] R. Kadlec and S. Wallace, *Treatment wetlands*. CRC Press, 2009. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf
- [39] N. Rodríguez Valencia, L. Quintero Yepes, and Castañeda. S, *Construya y opere un humedal artificial para el postratamiento de las aguas residuales de su finca cafetera*. 2022. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/libros/publicaciones_construya_y_opere_un_humedal
- [40] I. Y. Estrada Gallego, "Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales." Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2010. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.utp.edu.co/handle/11059/1833>
- [41] iNaturalist Ecuador, "Carrizo Phragmites australis." Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/64237-Phragmites-australis>
- [42] Naturalista CO, "Junco Espiga género Eleocharis." Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/57022-Eleocharis>
- [43] iNaturalistEc, "Junco Espiga género Eleocharis." Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/57022-Eleocharis>
- [44] LEY 99 DE 1993. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>

- [45] *Decreto 1076 de 2015*. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=78153
- [46] *Decreto 3930 de 2010*. 2010.
- [47] *Resolución 0631 de 2015*. 2015.
- [48] Timbio Cauca, "Plan básico de ordenamiento territorial," 2006. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10576/5195-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [49] "GUIA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO CON FLUJOS SUBSUPERFICIALES," EPA. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/40001CXS.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991+Thru+1994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>>
- [50] INDUSTER, "Cono de sedimentación imhoff: ¿Qué es, para qué sirve y como se utiliza?" Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://industerperu.com/suministros-de-laboratorio/cono-de-sedimentacion-imhoff-que-es-para-que-sirve-y-como-se-utiliza/>
- [51] Guillermo Angel, "Prueba De Jarras," 2020. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <http://chemicoaching.com/wp-content/uploads/2020/09/G-WWT-001-2020-Guia-Prueba-de-Jarras.pdf>
- [52] D. A. Moreno Molina, "Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales compuesto por un reactor anaeróbico y biofiltros para el beneficio humedo de café: finca la esperanza, en el municipio de dipilto, nueva segovia," Universidad Nacional de Ingeniería facultad de tecnología de la construcción, Managua, 2017. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://ribuni.uni.edu.ni/2489/1/92498.pdf>
- [53] Hawe Hydraulik, "Divisores de caudal tipo TQ," Apr. 2000. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.hynesur.com/wp-content/uploads/2021/11/Catalogo-HAWE-D7381-DIVISORES-DE-CAUDAL.pdf#:~:text=Los%20divisores%20de%20caudal%20tipo%20TQ%2C%20pr%C3%A1cticamente%20sin,en%20un%20caudal%20resultante%20QC%20corriente%20total%20QC.>
- [54] I. Martin Martínez, "Depuración de aguas con plantas emergentes," Madrid. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_16.pdf

- [55] D. Zambrano Franco, N. Rodriguez Valencia, U. Lopez Posada, P. Orozco, and A. Zambrano Giraldo, "Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café," Chichina Caldas, Jul. 2006. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot029.pdf>
- [56] V. Buitrago Moreno, "Reutilización del efluente del reactor UASB que trata las aguas azucaradas generadas en gaseosas Colombianas S.A. Sur, a partir de la evaluación del desempeño del sistema de tratamiento," UNIVERSIDAD DE LA SALLE, Bogotá, 2004. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2524&context=ing_ambiental_sanitaria
- [57] T. Capote L, S. Matute, and J. R. Rojas V, "Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato.," *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, vol. 46, no. 1–2, Dec. 2015, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <http://ve.scielo.org/pdf/inhrr/v46n1-2/art03.pdf>
- [58] J. G. López Ibarra, "Evaluación del sistema modular anaerobio como alternativa de tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado del café corporación universitaria autónoma del cauca facultad de ciencias ambientales y desarrollo sostenible programa de ingeniería ambiental y sanitaria Popayán 2023," Corporación Universitaria Autonoma Del Cauca, Popayan, 2023. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/786/T%20IA-P%20208%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [59] J. A. Romero Rojas, *Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño.*, 3a. ed., 2a. reimp. BOGOTA : ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, 2005.
- [60] M. Folch Sánchez, "Tratamiento terciario de aguas residuales por infiltración-percolación: parámetros de control," Universidad de Barcelona, Barcelona, 1997. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: [file:///C:/Users/user/Downloads/01.MFS_1de2%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/01.MFS_1de2%20(1).pdf)
- [61] D. Dominguez, "Química Ambiental de las sustancias y de los Residuos Peligrosos," *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, vol. 2, no. 3, pp. 23–50, 2011, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5209/revlatambcien-vol2num3-p23-50.pdf>
- [62] M. E. Arcos Serrano and G. Fernández Villagómez, "Procesos biológicos de tratamiento para la estabilización de residuos líquidos tóxicos," Nov. 1993. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/153-PROCESOSBIOLGICOSDETRATAMIENTOPARALAESTABILIZACINDERESIDUOSLQUIDOS TXICOS.PDF>

- [63] “GUIA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO CON FLUJOS SUBSUPERFICIALES,” EPA. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/40001CXS.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991+Thru+1994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>>
- [64] K. M. Muñoz Tello and M. Vasquez Perez, “Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas,” 2020. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_1af56776179313e5b3a9c5bf53b82ca7
- [65] “Sólidos en suspensión y sedimentos,” ACQUAPHI. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/>
- [66] J. C. B., . A. N., and . J., “EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA, COLOMBIA,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 30, pp. 275–283, 2014, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37031522004>
- [67] D. GONZALEZ RESTREPO, “Remoción de contaminantes en humedales construidos de flujo vertical sembrados con heliconia psittacorum y alimentados con diferentes frecuencias”, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398667.pdf>
- [68] M. De, J. Fernández González, E. De, M. Beascochea, J. De, and M. Muñoz, “Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación.” Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf
- [69] Á. S. Gómez López, “Evaluación de la eficiencia de remoción de un sistema de tratamiento con humedal construido de flujo subsuperficial horizontal para la depuración de aguas residuales del beneficio húmedo del café,” Universidad del Cauca, 2019. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/5467>

Anexos

Anexo 1

Lista de caracterización

LISTA DE CARACTERIZACIÓN			
Nombre Beneficiario:		Fecha:	
Nombra Finca:			
PLANIFICACIÓN			
ASPECTO	SI	NO	OBSERVACIONES
¿Área total en producción?			
¿Números de árboles en producción?			
¿Producción anual 2021?			
¿Producción anual 2022?			
¿Tiene conocimiento de los graves impactos ambientales por los vertimientos de aguas miel?			
¿Sabe de la importancia de la conservación de las cuencas?			
¿Observaciones del terreno?			
¿Se le da manejo a la pulpa residual del café?			
¿Reconoce los tipos de residuos que genera en su finca?			

Anexo 2

Informe de Resultados del análisis de las aguas mieles del Café antes y después de pasar por el sistema modular



**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES
CENTRO DE TELEINFORMÁTICA Y PRODUCCIÓN INDUSTRIAL**

Cra 9 número 71N-60
Teléfono: (2)8244750 IP 22214
Popayán – Cauca

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS
COT-251022-013
23/11/2022**

1. Identificación del cliente

Nombre o razón social	Daniela Díaz Rivera
CC o NIT	1112494735
Dirección	Vereda El Guayabal, municipio de Timbío Cauca. Finca La Rosita
Teléfono	3106042331
E-mail	daniela.diaz.r@uniautonoma.edu.co

2. Identificación e información de muestras

Muestreo	
Código o número plan de muestreo	No suministrado
Fecha de muestreo	15/11/2022
Lugar de muestreo	Vereda Guayabal- Timbío
Descripción de la muestra	Agua residual de café
Condiciones ambientales	No suministrado
Muestras	
Fecha de recepción	15/11/2022
RF221115001	Muestra #1
RF221115002	Muestra #2
Observaciones	

3. Resultados

Variable	Método	Unidad	Fecha de análisis	Resultados	
				RF221115001	RF221115002
pH	SM 4500H+B	Und pH	16/11/2022	4,01	3,97
Conductividad (25°C)	SM2510B	µS/cm	16/11/2022	< 1412	<1412
Sólidos suspendidos totales	SM2450D	mg/L	16/11/2022	2200	2400
DQO	8000 HACH	mg/L	16/11/2022	10680	21480
DBO5	10360 HACH	mg/L	21/11/2022	6060	7956



**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES
CENTRO DE TELEINFORMÁTICA Y PRODUCCIÓN INDUSTRIAL**

Cra 9 número 71N-60
Teléfono: (2)8244750 IP 22214
Popayán – Cauca

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Informe No. COT130623-07
14/07/2023

1. Identificación del cliente

Nombre o razón social	Daniela Díaz Rivera
CC o NIT	1112494735
Dirección	Vereda Guayabal-Timbío (Cauca)
Teléfono	3106042331
E-mail	Daniela.diaz.r@uniautonomia.edu.co

2. Identificación e información de muestras

Muestreo	
Código o número plan de muestreo	No aplica
Fecha de muestreo	17/06/2023 a 06/07/2023
Lugar de muestreo	Finca La Rosita
Descripción de la muestra	Agua residual
Condiciones ambientales	No suministrado
Muestras	
Fecha de recepción	22/06/2023
RF230622003	Monitoreo 1 (Tanque séptico) 17/06/2023
RF230622001	Monitoreo 1 (Junco) 17/06/2023
RF230622002	Monitoreo 1 (Carrizo) 17/06/2023
RF230622004	Monitoreo 2 (Tanque séptico) 21/06/2023
RF230622005	Monitoreo 2 (Junco) 21/06/2023
RF230622006	Monitoreo 2 (Carrizo) 21/06/2023
Fecha de recepción	29/06/2023
RF230629001	Monitoreo 3 (Tanque séptico) 25/06/2023
RF230629002	Monitoreo 3 (Junco) 25/06/2023
RF230629003	Monitoreo 3 (Carrizo) 25/06/2023
RF230629004	Monitoreo 4 (Tanque séptico) 29/06/2023
RF230629005	Monitoreo 4 (Junco) 29/06/2023
RF230629006	Monitoreo 4 (Carrizo) 29/06/2023
Fecha de recepción	06/07/2023
RF230706001	Monitoreo 5 (Tanque séptico) 06/07/2023
RF230706002	Monitoreo 5 (Junco) 06/07/2023
RF230706003	Monitoreo 5 (Carrizo) 06/07/2023



3. Resultados

Variable	Método	Unidad	Fecha de análisis	Resultados					
				RF 23062 2003	RF 23062 2001	RF 23062 2002	RF 23062 2004	RF 23062 2005	RF 23062 2006
pH	SM 4500 H ⁺ B	Unidades de pH 4,00 - 10,0	22/06/2023	3,33	5,23	4,77	3,34	4,59	4,72
Demanda química de oxígeno (DQO)	8000 Hach	mg/L O ₂	22/06/2023	17400	2550	4650	15100	6010	4840
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	10360 Hach	mg/L O ₂	22/06/2023	7635	1218	2472	6960	3333	2382
Sólidos suspendidos totales (SST)	SM 2540D	mg/L	22/06/2023	1533	106	217	400	132	48

Variable	Método	Unidad	Fecha de análisis	Resultados					
				RF 23062 9001	RF 23062 9002	RF 23062 9003	RF 23062 9004	RF 23062 9005	RF 23062 9006
pH	SM 4500 H ⁺ B	Unidades de pH 4,00 - 10,0	29/06/2023	3,45	4,64	4,59	3,44	4,84	4,58
Demanda química de oxígeno (DQO)	8000 Hach	mg/L O ₂	29/06/2023	15840	9080	7930	14190	8800	8100



Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	10360 Hach	mg/L O ₂	29/06/2023	7590	3820	4220	7710	5100	4980
Sólidos suspendidos totales (SST)	SM 2540D	mg/L	29/06/2023	376	28	16	74	10	2

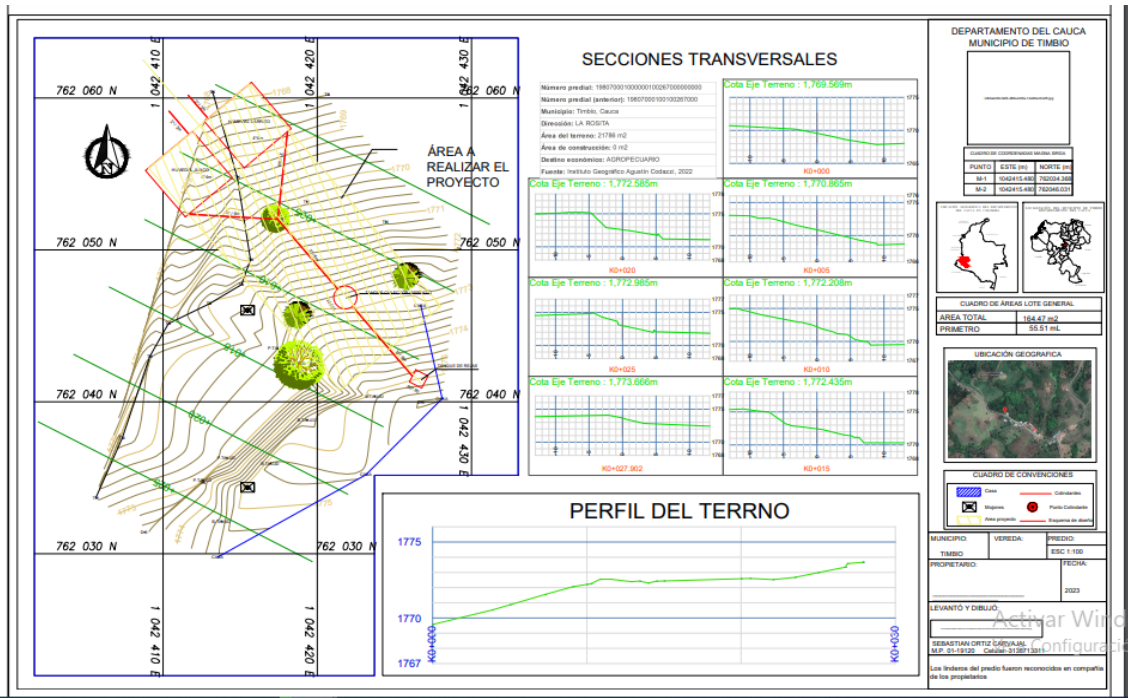
Variable	Método	Unidad	Fecha de análisis	Resultados		
				RF 230706001	RF 230706002	RF 230706003
pH	SM 4500 H ⁺ B	Unidades de pH 4,00 - 10,0	06/07/2023	4,45	4,90	4,58
Demanda química de oxígeno (DQO)	8000 Hach	mg/L O ₂	06/07/2023	10840	7130	7220
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	10360 Hach	mg/L O ₂	06/07/2023	4950	3740	3326
Sólidos suspendidos totales (SST)	SM 2540D	mg/L	06/07/2023	1044	27	23

4. Observaciones

- Se reporta por parte del cliente que el muestreo fue simple.
- Se realiza preservación de la muestra antes de la recepción de esta.
- Los resultados presentados en este informe pertenecen solamente los análisis de la(s) muestra(s) correspondiente(s) y según lo acordado por el cliente y el laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por inconsistencias en el muestreo y transporte de muestras hasta el laboratorio, que afecten la validez de los resultados. El laboratorio es responsable de las muestras solo a partir del momento de recepción de estas.
- El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.
- Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Ambientales del Centro de teleinformática y producción industrial del SENA regional Cauca.
- El laboratorio NO EMITE OPINIONES, NI INTERPRETACIONES, NI DECLARACIONES de los resultados.

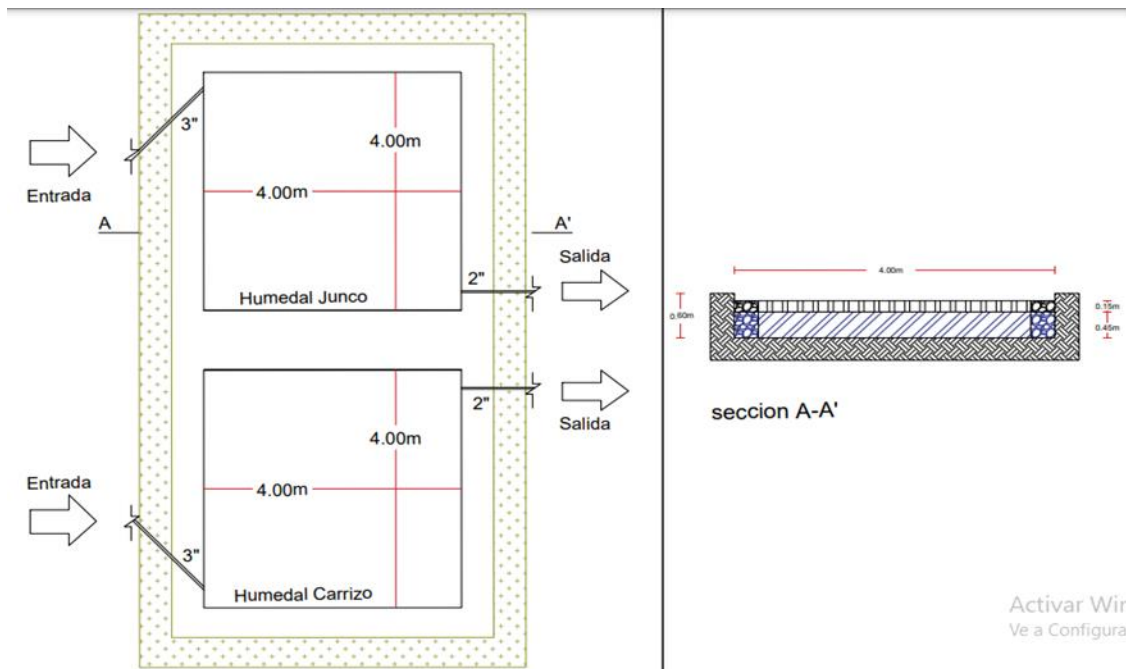
Anexo 3

Mapa del Proyecto



Anexo 4

Vista en planta y perfil de los humedales artificiales



Anexo 5*Evidencias de práctica de laboratorio piloto*