



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Pitalito, 5 de junio de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Neiva

El (Los) suscrito(s):

Cristopher Lasso Nuñez _____, con C.C. No. 1.080.937.704

Daniela Delgado Ramirez _____, con C.C. No. 1.105.790.675

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado: Potencial para irrigación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito.

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Ingeniero(a) Agrícola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Cristopher Lasso Nuñez

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Daniela Delgado Ramirez

Firma: 

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   			
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS								
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO									
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 5		

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Potencial para irrigación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Lasso Nuñez	Cristopher
Delgado Ramirez	Daniela

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mujica Rodríguez	Edinson

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Pitalito

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 39

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 5

Diagramas___ Fotografías_X_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: **NO**

MATERIAL ANEXO: SI

PREMIO O DISTINCIÓN *(En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):*

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. PTAR	WTP	6. Evapotranspiración	Evapotranspiration
2. Aguas Residuales Tratadas	Treated wastewater	7. Balance hídrico	Hydric balance
3. Irrigación	Irrigation	8. Potencial de reúso	Reuse potential
4. Reutilización	Reuse		
5. Caña de azúcar	Sugarcane		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Partiendo de que Colombia presenta inconvenientes en relación a la disponibilidad del agua asociado con la cantidad y calidad de la misma, se hace importante buscar estrategias para evolucionar la disponibilidad del recurso, haciendo parte de este nuevo enfoque las aguas residuales tratadas (ART) destinadas a la irrigación de pequeñas o extensas áreas para producción agrícola. Para evaluar el potencial de irrigación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, se hizo una revisión bibliográfica, se realizó un reconocimiento del área de estudio y el estado actual de la PTAR por medio de visitas a campo y registro fotográfico, se calculó la eficiencia real de la PTAR y el potencial de reúso del efluente con fines en irrigación.

Conforme los resultados obtenidos, se pudo determinar que el efluente se posiciona en la clase C2S1 como agua para riego, siendo esta un agua residual (AR) apta para irrigación, con peligro de salinización bajo y peligrosidad sódica media. Por medio de las directrices establecidas por la OMS, se determinó que el efluente se clasifica en la categoría B,



debido a su riesgo microbiológico, lo cual es un indicador de que se posee riesgos menores para poder reutilizar el AR en irrigación. Teniendo en cuenta los análisis de agua residual, análisis de suelos e información climatológica se pudo establecer que el cultivo que más se ajusta a las condiciones edafoclimáticas de la zona es la caña de azúcar. El efluente de la zona de estudio es un importante recurso que puede ser aprovechado en irrigación ya que aporta en promedio 53.843 m³/año de agua, macronutrientes como N (738 kg/año), P (40 kg/año), K (398 kg/año) y lodos (2.208 Kg/año de materia seca); con el efluente en verano, se pueden regar en promedio 4,62 has. Es importante tener en cuenta los efectos de salinización y sodificación del agua ya que puede afectar el desarrollo del cultivo.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Since Colombia presents problems in relation to water availability associated with the



quantity and quality of water, it is important to look for strategies to improve the availability of the resource, making part of this new approach the treated wastewater for irrigation of small or large areas for agricultural production. To evaluate the irrigation potential of the effluent from the Wastewater Treatment Plant (WTP) of the Surcolombiana university, Pitalito, a literature review was made, a reconnaissance of the study area and the current state of the WTP was made through field visits and photographic record, the actual efficiency of the WTP and the potential for reuse of the effluent for irrigation purposes were calculated.

According to the results obtained, it was possible to decree that the effluent is positioned in class C2S1 as water for irrigation, being a wastewater suitable for irrigation, with low salinity hazard and medium sodium hazard. According to WHO guidelines, it was determined that the effluent is classified in category B, due to its microbiological risk, which is an indicator that there are minor risks for reuse of the wastewater for irrigation. Taking into account the wastewater analysis, soil analysis and climatological information, it was established that the crop that best suits the soil and climatic conditions of the area is sugarcane. The effluent from the study area is an important resource that can be used for irrigation because it provides an average of 53,843 m³/year of water, macronutrients such as N (738 kg/year), P (40 kg/year), K (398 kg/year) and sludge (2208 kg/year of dry matter); with the effluent in summer, an average of 4.62 ha. It is important to take into account the effects of salinization and alkalization of the water as it can affect development of the crop.



APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Luisa Marcela Cerquera Barrera

Firma: *Luisa Marcela Cerquera Barrera*

Nombre Jurado: Mauricio Duarte Toro

Firma:

Mauricio Duarte Toro

POTENCIAL PARA IRRIGACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA SEDE PITALITO

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autore(s)

Daniela Delgado Ramírez: 20162150653

Cristopher Lasso Núñez: 20171157142

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Sede Pitalito, Huila, Colombia. 2023

Firma

Director: M.I. Edinson Mujica Rodríguez

Nota de aceptación

Firma

Jurado: Ing. Luisa Marcela Cerquera

Firma

Jurado: MSc. Mauricio Duarte Toro

POTENCIAL PARA IRRIGACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA SEDE PITALITO

RESUMEN

Partiendo de que Colombia presenta inconvenientes en relación a la disponibilidad del agua asociado con la cantidad y calidad de la misma, se hace importante buscar estrategias para evolucionar la disponibilidad del recurso, haciendo parte de este nuevo enfoque las aguas residuales tratadas (ART) destinadas a la irrigación de pequeñas o extensas áreas para producción agrícola. Para evaluar el potencial de irrigación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, se hizo una revisión bibliográfica, se realizó un reconocimiento del área de estudio y el estado actual de la PTAR por medio de visitas a campo y registro fotográfico, se calculó la eficiencia real de la PTAR y el potencial de reúso del efluente con fines en irrigación.

Conforme los resultados obtenidos, se pudo determinar que el efluente se posiciona en la clase C2S1 como agua para riego, siendo esta un agua residual (AR) apta para irrigación, con peligro de salinización bajo y peligrosidad sódica media. Por medio de las directrices establecidas por la OMS, se determinó que el efluente se clasifica en la categoría B, debido a su riesgo microbiológico, lo cual es un indicador de que se posee riesgos menores para poder reutilizar el AR en irrigación. Teniendo en cuenta los análisis de agua residual, análisis de suelos e información climatológica se pudo establecer que el cultivo que más se ajusta a las condiciones edafoclimáticas de la zona es la caña de azúcar. El efluente de la zona de estudio es un importante recurso que puede ser aprovechado en irrigación ya que aporta en promedio 53.843 m³/año de agua, macronutrientes como N (738 kg/año), P (40 kg/año), K (398 kg/año) y lodos (2.208 Kg/año de materia seca); con el efluente en verano, se pueden regar en promedio 4,62 has. Es importante tener en cuenta los efectos de salinización y sodificación del agua ya que puede afectar el desarrollo del cultivo.

Palabras clave: Reutilización, aguas residuales tratadas, irrigación, caña de azúcar.

IRRIGATION POTENTIAL OF THE EFFLUENT FROM THE WASTEWATER TREATMENT PLANT OF THE SURCOLOMBIANA UNIVERSITY, PITALITO CAMPUS

ABSTRACT

Since Colombia presents problems in relation to water availability associated with the quantity and quality of water, it is important to look for strategies to improve the availability of the resource, making part of this new approach the treated wastewater for irrigation of small or large areas for agricultural production. To evaluate the irrigation potential of the effluent from the Wastewater Treatment Plant (WTP) of the Surcolombiana university, Pitalito, a literature review was made, a reconnaissance of the study area and the current state of the WTP was made through field visits and photographic record, the actual efficiency of the WTP and the potential for reuse of the effluent for irrigation purposes were calculated.

According to the results obtained, it was possible to decree that the effluent is positioned in class C2S1 as water for irrigation, being a wastewater suitable for irrigation, with low salinity hazard and medium sodium hazard. According to WHO guidelines, it was determined that the effluent is classified in category B, due to its microbiological risk, which is an indicator that there are minor risks for reuse of the wastewater for irrigation. Taking into account the wastewater analysis, soil analysis and climatological information, it was established that the crop that best suits the soil and climatic conditions of the area is sugarcane. The effluent from the study area is an important resource that can be used for irrigation because it provides an average of 53,843 m³/year of water, macronutrients such as N (738 kg/year), P (40 kg/year), K (398 kg/year) and sludge (2208 kg/year of dry matter); with the effluent in summer, an average of 4.62 ha. It is important to take into account the effects of salinization and alkalinization of the water as it can affect development of the crop.

Keywords: Reuse, treated wastewater, irrigation, sugarcane.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son una de las principales fuentes de contaminación de los afluentes, en los que se vierten AR de uso doméstico, industrial y agrícola. Por tanto “Es importante implementar estrategias que permitan mantener una oferta hídrica suficiente para suplir las necesidades poblacionales y agrícolas principalmente” (Ramírez & Lasso, 2011). Dicho esto, el sector agrícola se ve en la obligación de proponer y desarrollar estrategias técnicas para mitigar el impacto ambiental que generan las AR y buscar un equilibrio con la sostenibilidad. Silva *et al.*, (2008) señala que “La utilización de aguas residuales en áreas agrícolas proviene de los tiempos antiguos en Atenas; sin embargo, la mayor proliferación de sistemas de aplicación de aguas residuales en el suelo ocurrió durante la segunda mitad del siglo XIX”. También señala que Colombia actualmente tiene una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230.193 ha, con 27% de agua residual tratada y 73% sin tratar, por lo general diluida con aguas superficiales; al igual que sucede en toda América Latina, no se cuenta con información completa y confiable sobre el tema del reúso. A nivel mundial se puede estimar que cerca de 20 millones de hectáreas son regadas con aguas residuales (tratadas, crudas o mezcladas), el panorama futuro es que en 2050, al menos un 50% del agua que requerirá la agricultura debería ser ART y que se ajusten a las normas del AR establecidas en casa país, esto según (Ministerio de Ambiente y Agua Bolivia, 2018).

Por otro lado, Valencia (2003) expone que las ART son una herramienta valiosa que poseen los países en vía de desarrollo para limitar la contaminación y aumentar la producción agrícola. De acuerdo con Medeiros *et al.*, (2005) el reúso del AR tiene ciertas ventajas como lo es: La conservación del agua disponible, suministro y reciclaje de nutrientes que reducen la necesidad de fertilizantes químicos y compiten por la conservación del medio ambiente ya que al evitar el vertimiento de manera directa de estas aguas residuales, se está preservando el ambiente y la calidad del agua. Valencia *et al.*, (2012) postula que los primeros y principales cambios de usar ART en la irrigación de cultivos se encuentran en los parámetros de salinidad y sodicidad del suelo, también se da la modificación de las dosis de fertilizantes, reestructuración en los sistemas de riego, precauciones para cuidar la salud de los trabajadores agrícolas y la del consumidor.

Un ejemplo de reúso de ART lo da Túnez, país que limita con el desierto del Sahara, según Abdelkarim & Hichem (2019), los países del sur y del norte mediterráneo poseen una alta

demanda que está por encima de los recursos hídricos disponibles, el consumo de agua se da en actividades industriales y agrícolas lo que cada vez limita más la disponibilidad de agua, debido a la situación crítica se han visto obligados a crear iniciativas que mejoren la sostenibilidad del agua, lo que conduce a las (Aguas Residuales Tratadas) ART gracias a sus ventajas económicas y ecológicas, las ART mejoran las condiciones socioeconómicas de la población más vulnerable, buscando el beneficio de los pequeños agricultores. Aunque hay registros y evidencias del gran avance que tiene el uso de las AR, según Pérez *et al.*, (2022) el tratamiento de las aguas residuales domésticas es un problema sin resolver, pero con el avance tecnológico que se tiene hoy en día se pueden proponer y diseñar técnicas mediante las cuales se pueda proteger los cuerpos de agua dulce. Desde el punto de vista de Almuktar *et al.*, (2018) y Carvalho *et al.*, (2017) comentan que mediante técnicas de tratamiento de aguas residuales como los humedales artificiales, se puede mejorar la calidad del efluente de una planta de tratamiento y con ello buscar el aprovechamiento para la irrigación de cultivos.

El agua residual generada en la USCO (Universidad Surcolombiana sede Pitalito) se trata por medio de un Tanque séptico el cual desde su establecimiento en el año 2021. El agua que se vierte (efluente) a la quebrada el Pital se puede usar con otras finalidades como la irrigación de cultivos o huertas para aprovechar los minerales como el nitrógeno, fósforo, potasio entre otros, que se encuentran en la descarga. Por consiguiente, este estudio muestra el potencial de reúso del efluente de la PTAR de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, aprovechando el ART y sus nutrientes.

MATERIALES Y METODOS

La metodología se basa en el trabajo de grado realizado por los ingenieros agrícolas Jonathan Romero Cuéllar y Renso Alfredo Aragón Calderón del año 2010, el cual se enfocó en determinar el potencial de reutilización de las aguas residuales en el Municipio de Nátaga-Huila.

1. Reconocimiento del área de estudio y caracterización de la PTAR

Por medio de visitas a campo se logró identificar y analizar el área de estudio, tomar registro fotográfico a la planta de tratamiento, mediciones y verificación de su funcionamiento, también evidenciar el estado físico de la misma, verificación de las unidades operativas de la planta de tratamiento, información sobre la población estudiantil actual. Se hizo necesario pedir información al área de planeación de la universidad para la obtención de los planos arquitectónicos e información general de la PTAR.

2. Análisis de suelos

Para el muestreo y análisis de suelos, se tomaron muestras en el lote “granja experimental”, esto con el fin de someter la muestra al análisis fisicoquímico (pH, capacidad de intercambio de cationes, materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio, sodio, bases totales, textura, densidad aparente, densidad real, humedad, fracción mineral, entre otros), los resultados fueron emitidos por el laboratorio Natural control ubicado en la Ceja-Antioquia. Adicional a esto se realizaron pruebas de infiltración para definir las características físicas del suelo.

3. Evaluación de la PTAR

Una vez obtenidos los análisis (físicoquímicos y microbiológicos) del agua residual los cuales fueron realizados con ayuda del laboratorio, se procedió a realizar la evaluación de la PTAR y se calculó la eficiencia que está teniendo este sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por medio de los resultados del análisis de agua residual se determinó la eficiencia real que tiene la PTAR, mediante la fórmula que evalúa el porcentaje de remoción de cada parámetro en el afluente (AF) y efluente (EF).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentración AF} - \text{Concentración EF}}{\text{Concentración AF}} * 100 \quad (1)$$

Donde: %remoción= porcentaje de remoción; AF= afluente; EF= efluente; concentración (mg/l).

Los aportes de nutrientes que suministra el efluente: Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para el cultivo, se calculó mediante las expresiones 2 y 3.

$$\text{Cantidad Nut} = \text{Población} * \text{Ca pc} \quad (2)$$

Donde: Ca pc= Carga Per Cápita;

$$\text{Ca pc} = \text{Dotación} * \text{C} \quad (3)$$

Donde: Dotación (suministro de agua por habitante según RAS); C= concentración de nutriente

4. Información climatológica

Para el análisis climatológico se recopiló información climatológica de la estación Sevilla ubicada en el municipio de Pitalito ya que cuenta con información como: Temperatura, datos de

precipitación, velocidad del viento, humedad relativa entre otros datos importantes; la información se adquirió por medio de descargas en la página web del IDEAM y organizada en Excel.

5. Sistema complementario

Con la obtención de la eficiencia de la PTAR se planteó un sistema complementario que permita mejorar la eficiencia en remoción de agentes contaminantes de la PTAR, para el sistema complementario que se desea plantear, se tendrá como guía lo expuesto por Valencia *et al.*, (2010) los cuales proponen la integración del tratamiento, con el reúso y la producción; mediante sistemas de tratamiento de bajo costo, de fácil operación y mantenimiento.

6. Potencial de reutilización

A nivel nacional se tuvo en cuenta las variables establecidas en el artículo 8 de la resolución 631 del año 2015 que trata sobre el vertimiento puntual de aguas residuales (MADS, 2015), la resolución 1256 de 2021 que da las directrices para el reúso de las aguas residuales (MADS, 2021). Se realizó la caracterización del agua residual tratada por el TSAM en el efluente, para la toma de muestras, se usó el instructivo para toma de muestras de aguas residuales propuesta por el IDEAM en el año 2020.

Para determinar el potencial de reutilización del efluente, fue importante tener en cuenta la eficiencia en la remoción de agentes contaminantes que está teniendo la PTAR, ya que con esto se calculó el aporte hídrico y nutricional que aportar el agua residual al cultivo. De acuerdo con entes internacionales como lo son: La FAO (1999) y la OMS (1989), los cuales establecen directrices para la clasificación del agua para riego, se definió el tipo de cultivo que mas se ajusta a las condiciones que ofrece el efluente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Reconocimiento del área de estudio y caracterización de la PTAR

Pitalito está ubicado al sur del Departamento del Huila sobre el valle del Magdalena y en el vértice que forman las cordilleras central y oriental a 1.318 metros sobre el nivel del mar y a 188 Km de la Capital del Huila, temperatura de promedio de 20°C y una extensión de 666 km². (Alcaldía municipal de Pitalito, 2015). La Universidad Surcolombiana sede Pitalito, se ubica en kilómetro 1 vía a la vereda el Macal. La localización de la PTAR de la universidad Surcolombiana sede Pitalito se llevó a cabo mediante GPS, se tomaron las coordenadas de la zona donde estaba ubicada la planta y luego los datos se trasladaron al programa Google Earth el cual es un sistema de ubicación geográfica, las coordenadas arrojadas por el GPS fueron las siguientes: 1° 49' 52.1" N y 76° 02' 36.8" W.

2. Caracterización de la PTAR

El diagnóstico y descripción del funcionamiento de la PTAR se realizó a partir de recorridos del área de estudio, donde por medio de visitas periódicas de campo a la planta de tratamiento de aguas residuales se observaba a detalle el funcionamiento, estado de las partes estructurales; el sistema de alcantarillado y la PTAR se componen de los siguientes elementos:

- **Recolección de aguas:** Las aguas residuales de la universidad Surcolombiana sede Pitalito, se conectan por un mismo sistema de alcantarillado el cual conlleva: Aguas lluvias, aguas grises y aguas negras.
- **Cajillas de inspección de sistema de alcantarillado:** Las cajillas de inspección se encuentra a una profundidad cercana a los 3m, la función principal es permitir la inspección y limpieza de la tubería. La de inspección cajilla es muy reducida para el tamaño de una persona promedio, lo que dificulta realizar aforos de caudal y mantenimiento.
- **Tratamiento primario de TSAM:** El agua residual ingresa a la PTAR por una tubería de 12" de diámetro, ingresa al primer compartimiento donde se realiza el proceso de sedimentación, en este proceso las partículas de mayor tamaño se sedimentan en el fondo del primer compartimiento y estos lodos son extraídos de una tubería de 5".

- Tratamiento secundario de TSAM: Esta fase se compone dos procesos, la digestión y el filtro anaerobio de flujo ascendente, en donde se encontró que el espacio diseñado para el filtro no se encuentra en uso, funcionando este como un espacio para aumentar el tiempo de retención hidráulico y mayor digestión de lodos.

3. Análisis de suelos

Para el análisis de suelos, se realizó un muestreo compuesto en la granja experimental de la universidad, las muestras fueron tomadas con ayuda de un barreno para garantizar la homogeneidad y profundidad de las submuestras, con la ayuda de un balde se fueron recolectando.

3.1. PROPIEDADES QUÍMICAS: A través del análisis de suelos y los cálculos elaborados se estableció que la zona de zona de estudio cuenta 448 kg de nitrógeno por hectárea, en cuanto a nitrógeno se cuenta con buena disponibilidad del elemento para el establecimiento de un cultivo en la zona. El nitrógeno posee funciones de tipo estructural y osmótico. La estructural es específica y se relaciona con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides. El nitrógeno como agente osmótico, permite retener al agua en las vacuolas, ha sido considerada tanto o más importante que su función nutrimental (Cardenas *et al.*, 2004).

Según el análisis el fósforo arrojó un resultado de 0,15 kg/ha, se cuenta con deficiencia del elemento, es por ello que se debe hacer suministro, para suplir esta necesidad se puede proporcionar el elemento presente en el agua residual. El fósforo (P) es uno de los principales actores en la fotosíntesis, transportador de nutrientes y transmisor de energía; también afecta a la estructura de la planta a nivel celular ya que las plantas pueden presentar un crecimiento raquítico, falta de flores y frutos, entre otros aspectos (Azcon & Talón, 2008).

En base a los resultados del análisis se determinó la cantidad de potasio disponible en el suelo 1,31 kg/ha, se cuenta con deficiencia del elemento, es por ello que se debe hacer suministro del mismo y el agua residual puede suplir la necesidad. De acuerdo Tamayo-Ramirez *et al.*, (2022) & Novoa

et al., (2018) el potasio (K) es un macro nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, este elemento tiene funciones de vital importancia para las plantas, como la elongación de las células y la velocidad de crecimiento.

3.2. PROPIEDADES FÍSICAS: La textura del suelo, según Jaramillo (2002) es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, las partículas se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar). El análisis físico de laboratorio indica que el suelo tiene una textura arcillosa con un 50%, frente a un 28% de arena y 22% limo, determinada con el método de Bouyucos-hidrómetro.

La densidad aparente en fertilidad es indicador para estimar la masa de capa arable y en riego para hallar la lámina de agua, cuando la densidad aparente (DA) aumenta hay un incremento en la compactación y afecta la condición de retención de humedad, impidiendo el crecimiento de las raíces (Salamanca & Sadeghian, 2009). Según el análisis de suelos la densidad aparente (DA) es de $1,1 \text{ g/cm}^3$ lo que indica que es un suelo medianamente compactado.

3.3. INFILTRACIÓN DEL SUELO: La infiltración es un parámetro importante en cuanto al riego, ya que se establece cuanto tiempo debe estar el agua sobre la superficie del suelo para hacer un adecuado humedecimiento, Jaramillo (2002). La prueba de infiltración se realizó en la “granja experimental” de la USCO sede Pitalito, en un área de 5800 m^2 , una parte de esta zona fue intervenida por un sistema de drenajes en guadua implementado por estudiantes de la sede como trabajo de grado en el año 2021 en un área de 147 m^2 , en esta área se realizó la primera prueba de infiltración, la segunda prueba de infiltración se llevó a cabo fuera del sistema de drenaje. Estas pruebas de infiltración se realizaron por medio del método del doble anillo, consistió en enterrar en el suelo a 5 cm de profundidad dos anillos de lámina de hierro de forma concéntrica de 30 cm y 50 cm de diámetro, se media la cantidad de agua que penetraba el suelo por unidad de tiempo, hasta que el dato de entrada se volvió constante, con el procesamiento de los datos recolectados en campo se tabuló la información a partir del modelo de Kostiakov-1932,

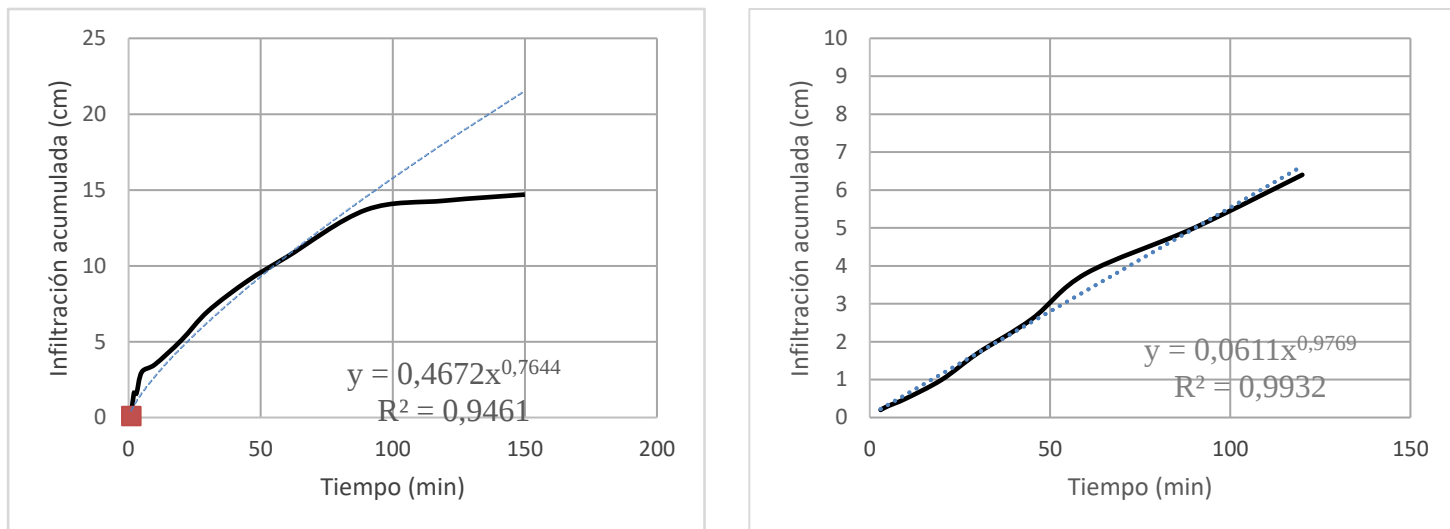


Figura 1. Infiltración acumulada en el suelo, prueba 1 y 2.

En la figura 1, se aprecia el comportamiento de la lámina de infiltración acumulada en relación al tiempo (prueba 1 y 2), los valores de infiltración se vuelven similares en el transcurso del tiempo. La función lineal resultante de infiltración acumulada permite determinar la infiltración básica. Según los cálculos realizados la I_b de la prueba 1, es de 66,73 mm/h, según Cruz (2015) investigador de Cenicaña los valores de infiltración que son mayores a 37.5 mm/h pertenecen a la familia de infiltración alta, la I_b de la prueba 2, es de 33,70 mm/h pertenece a la familia de infiltración media, según Carantón & Molina (2021) la infiltración básica antes del establecimientos de los drenes fue de 15 mm/h, indicando esto una infiltración baja.

4. Evaluación de la PTAR

En compañía de personal de laboratorio Ambilab laboratorio ambiental, fueron tomadas las muestras de agua residual, tanto en el afluente como en el efluente (ver figura 1) para determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, de esta manera se pudo calcular el porcentaje de remoción que está teniendo la PTAR.



Figura 2. Toma de muestras de AR, en afluente y efluente.

4.1. CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA: Para determinar la calidad fisicoquímica del efluente de la PTAR de la USCO sede Pitalito se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: RAS y CE (El parámetro RAS fue tomado de Romero & Aragón (2010) en el cual citan a Valencia (1998) donde se expone que este valor corresponde a valores típicos de las aguas residuales en Colombia.), cuyos valores corresponden a RAS (1.5) y CE 353,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acuerdo con los parámetros de CE y RAS, se logró determinar la calidad fisicoquímica del efluente de la PTAR de la USCO Pitalito. Gracias a los parámetros anteriormente mencionados y el Diagrama de clasificación de aguas para riego U.S. Salinity Laboratory Staff (1954), se determinó que el efluente es C2S1, agua de buena calidad para riego, con peligro de salinización bajo y peligrosidad sódica media. Según Quinteros Carabalí *et al.*, (2019) indica que la CE y el RAS son directamente proporcionales y mayor serán los iones de sodio, magnesio, calcio y potasio.

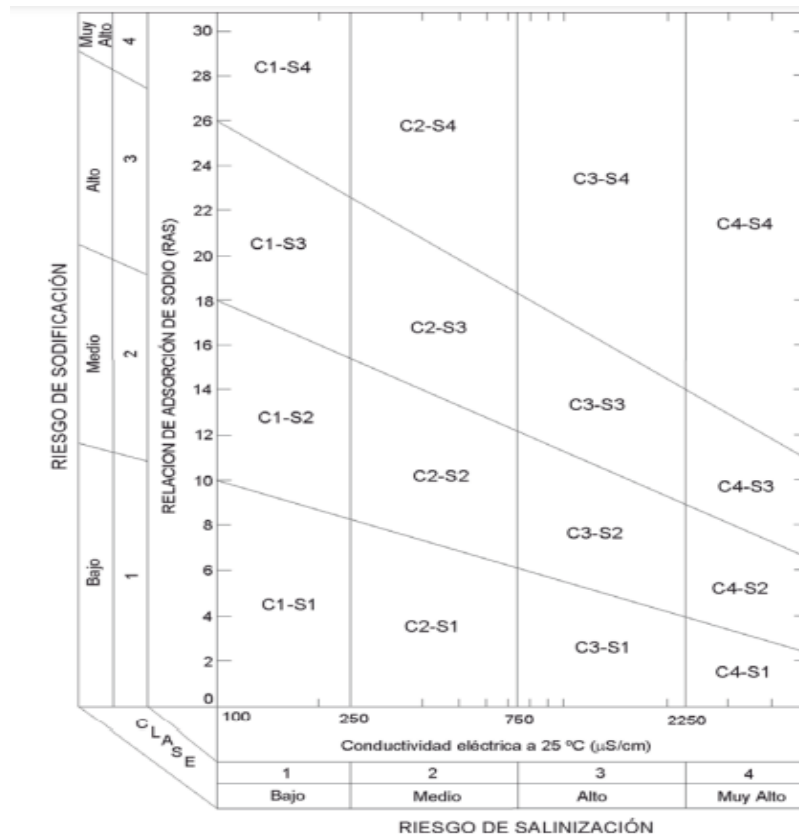


Figura 3. Clasificación de USLS para las aguas de riego.

Fuente: Olías *et al.*, (2005)

4.2. CALIDAD MICROBIOLÓGICA: Con base a los coliformes fecales y las directrices de la OMS fue posible determinar la calidad microbiológica del efluente como agua para riego, el resultado $CF = 0,3 \cdot 10^3$ NMP/100ml se clasifican en la categoría B según lo estipulado por la OMS. Las restricciones están encaminadas al uso en cultivos como cereales o cultivos de tipo industrial.

Los resultados de la caracterización del efluente y afluente y la eficiencia de la PTAR se presentan en la tabla 1, se dan a conocer las eficiencias reales del tanque séptico de acción múltiple (TSAM), se evidencia que algunos porcentajes de remoción son negativos, esto se relaciona con el mantenimiento que no se le realiza a la PTAR, lo que ocasiona un incremento en la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) parámetros que se encargan de la descomposición de la materia orgánica; si la DBO y DQO son valores altos indican que el nivel de contaminación en el agua residual es alto.

Tabla 1. Caracterización del afluente y efluente- Eficiencias reales de la PTAR

RESULTADOS DEL AÑO 2022				
Parámetros	Unidades	Afluente	Efluente	% Remoción
DBO5	Mg/L	114	240	-110,526
DQO	Mg/L	175	345	-97,142
Grasas y Aceites	Mg/L	7,87	1,93	75,476
Fósforo	Mg/L	1,4	1,5	-7,142
Potasio	Mg/L	-	-	-
Nitrógeno	Mg N/L	34,3	27,2	20,699
CE	µs/cm	667,8	353,3	47,094
SST	Mg/L	41,0	<20,0	53,658
CF	NMP/100ml	<1	300	-300
Hidrocarburos	Mg/L	< 0,50	<0,50	0
Nitratos	Mg/L N-NO3	0,4	0,4	0
Detergentes	Mg/L SAAM	0,1	0,1	0
Ortofosfatos	Mg/L P-BO4	1,07	1,37	-28,04

4.3 CAUDAL DEL EFLUENTE DE LA PTAR

Se tomo como valor de caudal, el dato correspondiente al promedio de los aforos realizados el día 23 de noviembre de 2022.

$$QAR = 0,315 \text{ L/s}$$

La población actual corresponde a 2701 estudiantes en el año 2022, información obtenida por medio de la base de datos de la universidad. La tasa de crecimiento se calculó por medio de recopilación de información de la población estudiantil desde el año 2014 al año 2022, arrojando una tasa de crecimiento del 12,25%.

4.4. NUTRIENTES APORTADOS POR EL EFLUENTE

✓ Cargas Per Cápita en el Efluente

Para el cálculo del aporte de nutrientes de la PTAR, se tomaron los resultados de los análisis de agua del efluente realizados por el laboratorio Ambilab. Se multiplico la dotación de agua potable, que según el RAS (2000) título B (sistemas de acueducto) el consumo para uso escolar, educación media y superior corresponde a 25 L/hab-día, por el coeficiente de retorno que corresponde a 0,8 este dato se obtuvo del RAS (2000) título D en contribuciones de AR, y finalmente por la cantidad de nutriente que aporta el efluente.

$$Ca_{pc} = Dotación * CR * Nut_{ef} \quad (4)$$

Donde: CR= Coeficiente de retorno; Nutef= Nutriente aportado por el efluente

Nitrógeno. Muestra para el año 2022:

$$Ca_{pcN} = 25 \frac{L}{hab - día} * 0,8 * \frac{27,2 \cancel{mg}}{L} * \frac{1gr}{1000\cancel{mg}} = 0,274 \frac{gr}{hab - día} \quad (5)$$

✓ Cantidad de nutrientes

Se cálculo la cantidad de nutrientes disponibles por año aportados el por efluente. Con la siguiente ecuación:

$$Cantidad\ Nut = Población * Ca_{pc} \quad (6)$$

Donde: Cantidad de Nut= Cantidad de nutriente de habitante por año; Ca pc= Carga Per Cápita;

Nitrógeno. Muestra para el año 2022:

$$Cantidad\ Nut\ N = 2701\ hab * 0,274 \frac{Ca_{pc}\cancel{gr}}{\cancel{hab - día}} * \frac{365\cancel{día}}{1\ año} * \frac{1\ kg}{1000\cancel{gr}} = 270,127\ kg/año \quad (7)$$

Tabla 2. Cargas Per Cápita de Nutrientes en el efluente y cantidad de nutrientes aportados

Parámetro	CC_{pc} (g/hab-d)	Cantidad de nutrientes aportados por el EF (kg/año)
N	0,274	270,12
P	0,015	14,78
K	0,148	145,90

Debido a la falta de resultado de Potasio en el AR, se recurrió a tomar este dato de la investigación de (Muñoz & Cruz, 2019).

5. Elección de cultivo a establecer en la “granja experimental”

Con base a obtención de resultados de los análisis requeridos para esta investigación, los cuales son: Análisis de suelo, análisis de AR y análisis de información climatológica. Se poseen las herramientas para definir el tipo de cultivo que se debe establecer. Teniendo en cuenta las directrices establecidas por la OMS, ente que regula el uso de las AR en la agricultura, La OMS, clasifica las AR mediante su calidad microbiológica, el efluente cuenta con 300 NMP/ 100ml y se clasifica en la categoría B al estar en el rango de $\leq 10^3$ de CF, por lo tanto, la OMS establece la irrigación de cereales, cultivos industriales, forrajes y pastos. El cultivo de caña de azúcar ha tenido impacto positivo en la zona sur del departamento del huila por sus beneficios socioeconómicos y culturales. Los subproductos de la caña de azúcar (azúcar y panela) poseen una alta demanda a nivel comercial en Colombia.

Citando a Lizano (1991) la caña de azúcar, hace parte de la familia de las gramíneas, perteneciente al género de (*Saccharum officinarum*). Diferentes estudios investigativos se han desarrollado en Colombia sobre la irrigación de esta especie con agua residual debido al alto consumo hídrico, teniendo una fuerte influencia el Valle del Cauca al tener gran potencial en el sector cañero, teniendo en su producción principal de productos la caña de azúcar con un el 95,81% a diferencia de los departamentos del resto del país, esto según datos de (Agronet, 2021). Para esta investigación se propone la caña de azúcar con fines industriales (producción de panela, azúcar o etanol), siendo la producción de etanol una opción viable teniendo en cuenta la calidad fisicoquímica y

microbiológica del efluente. Debido a la disminución de reservas de petróleo se elige la alternativa de producción de etanol según Lasso & Ramírez (2011) la proyección de producción de biocombustibles en Colombia se estimó en 1.050.00 L/día en el año 2008 a partir de caña de azúcar.

Por otro lado Madera *et al.*, (2012) desarrollaron su investigación con tres tratamientos de riego para la caña de azúcar, uno de estos era con agua residual, la cual arrojo resultados de que la caña de azúcar no presentaba diferencias significativas entre los tratamientos, indicando que el riego con agua residual no afecta la productividad y se genera la misma producción que al ser fertilizada químicamente.

La caña de azúcar tiene un desarrollo óptimo en las diferentes etapas de su crecimiento con temperaturas de germinación entre 27°C y 32°C, la precipitación anual para este cultivo es de 1.500 mm, esta gramínea requiere mayor disponibilidad de agua en la etapa de crecimiento y desarrollo. El requerimiento de riego para la caña varía entre 1.600 a 2.500 mm/año, es necesario aplicar más agua que la necesaria ya que el agua que se aplica no es aprovechada en su totalidad por la planta, por ello la eficiencia del agua por gravedad es del 40% y la de riego por aspersión es del 70%. Se recomienda alturas mayores a los 1.000 msnm, para suelos arcillosos es necesario implementar buen drenaje, con una profundidad radicular de 80 a 100 cm, en cuestiones pH se recomienda 6.1 – 6.5 a 7.4 -8.3. Materia orgánica de 3 a 5% (Lizano, 1991). Los requerimientos nutricionales de la caña de azúcar se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Extracción de nutrientes del suelo de la caña de azúcar

Caña de azúcar	Nutrientes requeridos		
	Kg/ha		
	N	P	K
<i>Saccharum officinarum</i>	100	200	200

Fuente: (Lizano, 1991)

6. Disponibilidad de agua en el suelo

Para el diseño de un sistema de riego es necesario tener en cuenta la ración de agua que se encuentra disponible en el suelo para las plantas, con esta información se podrá diseñar un sistema de riego que satisfaga las necesidades hídricas del cultivo. Según (Almario *et al.*, 2017) el suelo es un “reservorio” que tiene una cantidad de agua limitada y una parte está disponible para las plantas.

Jaramillo (2002) menciona que el suelo posee parámetros hídricos entre los cuales encontramos, el punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC). El primero tiene que ver con el contenido de humedad en el suelo al cual la planta se marchita irreversiblemente, en este punto el agua está retenida a 15 atm. El segundo se relaciona con el contenido de humedad con el que queda el suelo, después de haber drenado sus macroporos, se llega a esta humedad después de dejar drenar el suelo saturado, entre 48 y 72 horas, es agua en esta condición se encuentra retenida entre -0.1 y 0.3 atm

$$Ln = \frac{(CC - PPM)}{100} * Da * NA * Pre \quad (6)$$

Donde: Ln= Lámina neta; PMP= Punto de marchitez permanente (%); Da= Densidad aparente (gr/cm^3); NA= Nivel de agotamiento o coeficiente de riego (hasta donde se quiere estresar el cultivo, se recomienda que no sea superior al 50%); Pre= Profundidad radicular efectiva (cm).

Para determinar el PMP se recurrió a la ecuación propuesta por (Ojeda *et al.*, 2018) en donde se utiliza la capacidad de campo (CC) para determinar el punto de marchitez permanente (PMP) y también se proponen valores de la capacidad de campo en base a la textura del suelo y su densidad aparente (g/cm^3). Se determinó la CC para un suelo arcilloso mediante una interpolación entre los valores de la D.A y la CC correspondiente a cada valor, el dato de CC para una D.A de $1,1 \text{ gr}/\text{cm}^3$ en un suelo arcilloso es de 23%.

$$PMP = CC * 0,74 - 5 \quad (7)$$

Tabla 4. Resultados de Ln, CC y PMP

Ln	6,71mm
CC	23%
PMP	12,02%

7. Evapotranspiración

En base a la metodología propuesta por la FAO se utilizó la ecuación de Penman Monteith para determinar la evapotranspiración mensual multianual (Eto), tomando datos de la estación meteorológica Sevilla. En la tabla 5, se puede observar el índice de mayor evapotranspiración se ven reflejados en los meses de agosto, septiembre, octubre, meses en donde la temperatura es mayor respecto a otros meses.

Tabla 5. Evapotranspiración mensual multianual 2010-2022

Meses	Eto (mm/día)	T (°C)
Enero	3,769	21,43
Febrero	3,722	21,64
Marzo	3,461	21,43
Abril	3,399	21,35
Mayo	3,227	21,26
Junio	3,376	20,67
Julio	3,666	20,18
Agosto	4,096	20,08
Septiembre	4,282	20,40
Octubre	4,098	21,55
Noviembre	3,642	21,50
Diciembre	3,459	21,26

En la figura 4, se presenta la gráfica de precipitación efectiva, evaporación del cultivo y demanda neta de riego. Respecto a la precipitación afectiva se puede apreciar que la mayor se da en el mes junio con 4,05 mm/día y la menor en el mes de septiembre con 1,95 mm/día. En la ETc, evapotranspiración del cultivo, la mayor se da en el mes de septiembre con 5,14 mm/día y la menor en enero con 1,58 mm/día, finalizando encontramos la demanda neta de riego, la mayor demanda se presenta en el mes de septiembre 3,18 mm/día y la menor en el mes de enero con -0,86 mm/día.

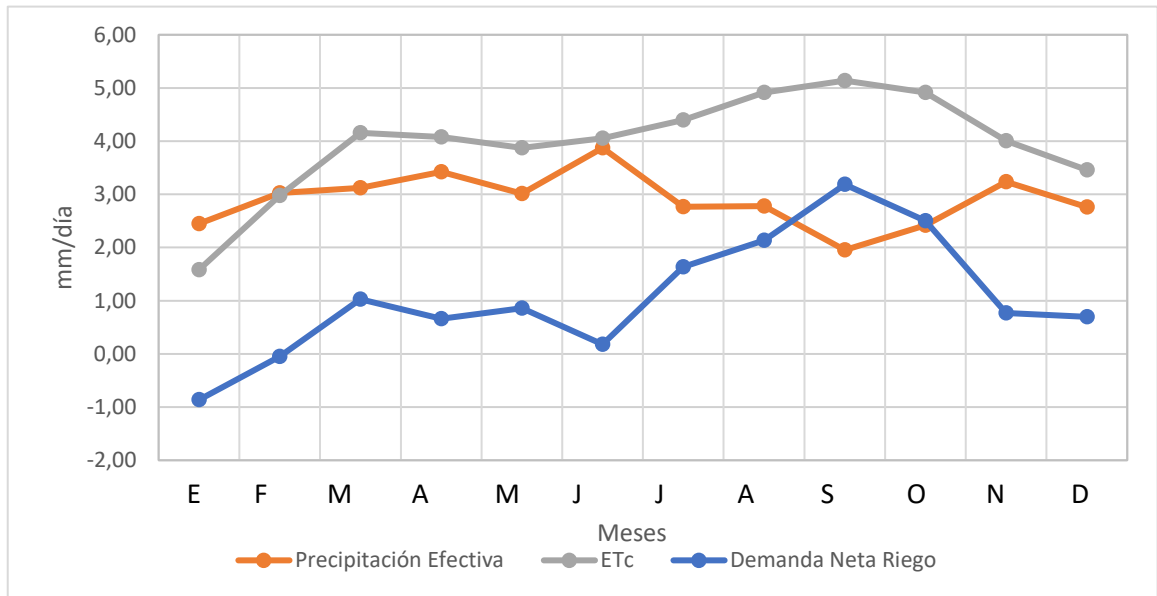


Figura 4. Evapotranspiración mensual multianual 2010-2022

8. Balance hídrico para cultivo de caña de azúcar

De acuerdo con la tabla 6. Se observa que los meses con mayor demanda hídrica son enero y febrero, este evento se presenta cuando la evapotranspiración del cultivo (ETC) es mayor respecto a la precipitación efectiva, con estos datos se puede establecer que la caña de azúcar si requiere de riego y el efluente de la PTAR puede hacer su reúso en irrigación, aportando nutrientes y disminuyendo el gasto económico en fertilizantes químicos. Ramón *et al.*, (2009) menciona que las AR tienen un alto contenido de materia orgánica, lo que incide en un aumento tanto en la DBO5 como en la DQO, de modo que, el uso frecuente de AR incrementa los valores de materia orgánica, por lo tanto el uso de las AR es un método favorable para aumentar los niveles de fertilidad de los suelos; la matriz del suelo retiene elementos que contienen las AR lo cual ayuda a mejorar propiedades fisicoquímica, estructurales, retención de nutrientes, aumento en actividad biológica lo cual ayuda a la mineralización de nitrógeno y fósforo.

Por otro lado, cuando las AR provienen de usos industriales, se corre el riesgo en su aplicación que se produzca acumulación de metales pesados, lo cual ocasiona que por su movilidad puedan ser consumidos por la plantas (Ramón *et al.*, 2009).

Tabla 6. Balance hídrico para cultivo de caña de azúcar

Meses	Etapas fenológicas	Kc	Eto. mm/día	Precipitación efectiva mm/día	Etc. mm/día	Demanda de riego neta mm/mes
Enero	Germinación	0,42	3,77	2,45	1,58	-26,78
Febrero	Macollamiento y cierre	0,8	3,72	3,03	2,98	-1,41
Marzo		1,2	3,46	3,12	4,15	31,90
Abril	Periodo de gran crecimiento	1,2	3,40	3,42	4,08	19,74
Mayo		1,2	3,23	3,01	3,87	26,68
Junio		1,2	3,38	3,87	4,05	5,35
Julio		1,2	3,67	2,76	4,40	50,68
Agosto		1,2	4,10	2,78	4,91	66,20
Septiembre		1,2	4,28	1,95	5,14	95,55
Octubre		1,2	4,10	2,42	4,92	77,47
Noviembre	Maduración	1,1	3,64	3,24	4,01	23,06
Diciembre		1	3,46	2,76	3,46	21,65

9. Sistema complementario

El Tanque Séptico de acción Múltiple (TSAM), debe cumplir con la función de remoción de agentes contaminantes en el efluente, los resultados de los análisis realizados al AR demuestran que el TSAM, no está funcionando de manera óptima ya que teniendo en cuenta la eficiencia teórica de este sistema es del 85% de DBO, 90% de SS y 99% de CF (Valencia *et al.*, 2010), y las remociones actuales del TSAM de la USCO son de -110,526 DBO, 53,658 SS y -300% CF, lo cual confirma la deficiencia en remoción de agentes contaminantes del sistema.

Una estrategia práctica como sistema complementario es la activación del sistema secundario del TSAM el cual es el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), ya que actualmente solo funcionan dos componentes: Cámara de sedimentación la cual funciona para la remoción de sólidos suspendidos y grasas y la cámara de digestión donde sucede la biodegradación de sólidos mediante un proceso anaerobio (Valencia *et al.*, 2010). CONAGUA (2016) menciona que los mejores resultados para el filtro se dan con tamaños del lecho filtrante entre 2.5 y 7.5 cm, con

tamaños uniformes desde la parte superior hasta el fondo. Un material muy fino puede provocar obstrucciones y uno muy grueso puede arrojar un efluente de peor calidad. Como lecho filtrante se propone rosetones de polipropileno ya que según Cárdenas *et al.*, (2017) estos presentan mayor eficiencia en remoción de DBO₅ y DQO respecto a los materiales granulares.

Según CONAGUA (2016) el FAFA es un sistema de tratamiento de AR con biopelícula fija que sirve para la remoción de materia orgánica en condiciones anaerobias. En la filtración de las AR la materia orgánica sufre muchos cambios hasta convertirse en sustancias más estables que llegan a una oxidación casi completa, en este proceso juega un papel muy importante el medio filtrante, teniendo en cuenta el tamaño, acomodo de las partículas y el tiempo de residencia hidráulica dentro del filtro. El triunfo de la filtración se relaciona con la vida microbiológica que se desarrolla sobre la superficie del material filtrante, por ello las bacterias que más convienen en un filtro son las nitrificantes que se alojan en espacios de las partículas del lecho y se alimentan del AR, el filtro es sensible ya que la reducción de bacterias hace que su actividad disminuya, las bacterias forman una biopelícula y se adhiere al lecho filtrante tanto en filtro aerobios como anaerobios, degradando la materia orgánica. También se hace necesaria la operación adecuada de los pretratamientos para impedir que el exceso de sólidos llene el filtro, por tanto, se debe establecer un equilibrio entre el grado de tratamiento preliminar, la pérdida de carga permisible, la duración del funcionamiento del filtro y sus necesidades de limpieza.

La eficiencia de remoción de DBO en los tanques sépticos se relaciona con la temperatura, las remociones pueden llegar al 70% de DBO y SS y 90% de CF Valencia *et al.*, (2010).

Moncayo & Grijalba (2017) mencionan en su investigación la cual tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica en filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), que la remoción realizada por los FAFA está directamente relacionada con el tiempo de retención hidráulico (TRH) por tanto, a mayor TRH hay mayor remoción en parámetros como DBO y DQO, también estiman un TRH de 4 horas, buscando beneficios económicos y se requiere menor volumen en los filtros.

Por otra parte, Cárdenas & Ramos (2009) se centran en la evaluación de la eficiencia de reactores FAFA utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales paneleros, alcanzando una remoción de materia orgánica mayor al 80% con un TRH de 26 horas.

10. Potencial de reutilización

Según lo expuesto en la resolución 631 del año 2015, en la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Los análisis químicos, físicos y microbiológicos del vertimiento del AR se ajustó a los establecido en artículo 8 con carga menor o igual a 625 Kg/día DBO5 (MADS, 2015). En la tabla 7, se presentan los resultados del vertimiento de AR del TSAM y valores máximos permisibles de la resolución 631 de 2015, se evidencia que los parámetros de DBO5 y DQO sobrepasan el límite permisible, afectando el cuerpo de agua receptor del efluente, una manera de mejorar la remoción de estos parámetros, es por medio de un sistema complementario, en este caso se propone el FAFA para mejorar el funcionamiento del TSAM.

Tabla 7. Comparativo entre resultados de vertimiento y la resolución 631 de 2015

Parámetro	Resultado vertimiento	Resolución 631 de 2015 carga < 625 Kg/día DBO5	Cumplimiento
DBO5	240 Mg/L	90 Mg O2/L	No
DQO	345 Mg/L	180 Mg O2/L	No
Grasas y Aceites	1,93 Mg/L	20,0 Mg/L	Si
pH	6,80 unidades de pH	6,0 a 9,0	Si
SST	<20,0 Mg/L	90,0 Mg/L	Si
Sólidos sedimentables in Situ	<0,1 Mg/L	5,0 Mg/L	Si
Temperatura in Situ	21,40-23,10 °C	40,0°C	Si

En Colombia los criterios de Calidad para el reúso de AR, estaban regidos por la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014, esta resolución tuvo como objetivo decretar las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada, en el año 2021 fue actualizada con la resolución 1256 del 23 de noviembre, está actualización se hizo con el fin de promover el uso de las aguas residuales y

tiene como objetivo establecer las disposiciones relacionadas con el uso de las Aguas Residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios de dichas aguas, los parámetros evaluativos de esta nueva resolución son adicionales a la resolución del 2014 (MADS, 2021). En la tabla 8, se presentan los resultados del vertimiento de AR del TSAM y valores máximos permisibles para hacer reúso del AR en la agricultura.

Tabla 8. Comparativo entre resultados de efluente y resolución 1256 de 2021

Parámetro	Resultado efluente	Resolución 1256 de 2021	Cumplimiento
FÍSICOS			
pH	6,8 Unidades pH	6,0 – 9,0	Si
CE	353,3 μ S/cm	1.500,0 μ S/cm	Si
MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes Fecales	300 NMP/100 ML	1,0 E*(+5)	Si
QUÍMICOS			
Hidrocarburos	<0,50 Mg/L	1,0 Mg/L	Si
Nitratos	0,4 Mg/L N-NO ₃	11,0 Mg/L N-NO ₃	Si

Por su riesgo microbiológico según la OMS (Organización Mundial de la Salud) publica un código de buenas prácticas, que ayuda a garantizar que cuando las aguas residuales se reutilicen en la agricultura estas no generen un problema sanitario debido a esto, es posible clasificar el efluente en la categoría B, por lo tanto el efluente puede ser reutilizado para irrigación de cultivos, como cereales, forrajes y pastos (OMS, 1989). La tabla 9, muestra la clasificación parasitológica y microbiológica del AR tratada por el TSAM, según las directrices de la OMS.

Tabla 9. Directrices de la OMS (1989) sobre calidad parasitológica y microbiológica de aguas residuales para uso en agricultura

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo expuesto	Nematodos intestinales	Coliformes fecales
			(promedio aritmético de huevos/L) ^c	(promedio geométrico/ 100 mL)
B	Irrigación de cereales. Cultivos industriales, forrajes, pasto	Agricultores, pero no niños < 15 años, y comunidades cercanas	≤1 Riego por aspersión	≤ 10 ⁵
		Agricultores, pero no niños < 15 años, y comunidades cercanas	≤1 Riego por surco	≤ 10 ³
		Agricultores, incluyendo niños < 15 años, y comunidades cercanas	≤1 Cualquier tipo de riego	≤ 10 ³

Fuente: Adaptado de Silva, Torres, & Madero (2008).

Según lo estipulado por la FAO (1999) modificada y citada por Silva *et al.*, (2008), establece ciertos parámetros fisicoquímicos los cuales indican la cantidad máxima que se puede consumir las AR sin que afecte la salud de las personas. La tabla 10, presenta los resultados se presentan los resultados del vertimiento de AR del TSAM y los valores permisibles para el uso de AR en la agricultura estipulado por la FAO.

Tabla 10. Comparativo entre resultados de vertimiento y la FAO

Parámetro	Resultado vertimiento	Calidad del Agua Residual, FAO.	Cumplimiento
pH	6,80 unidades de pH	6,5-8,4 unidades de pH	Si
DBO	240 Mg/L	< 30 Mg/L	No
SS	<20,0 Mg/L	< 30 Mg/L	Si
Coliformes Fecales	300 NMP/100 ml	<200 NMP/100 ml	No

En promedio el TSAM trata 53843 m³/año de agua residual, con el AR del efluente se pueden regar en promedio 4,62 Has en la época de verano, por la baja precipitación y 83 Has en invierno, esto se debe a las altas precipitaciones en esta estación; el AR también aporta macronutrientes: N (738 kg/año), P (40 kg/año), K (398 kg/año) y lodos (2208 Kg/año) estos se componen especialmente de materia orgánica y nutrientes que cumplen determinadas funciones en las plantas, mejorando y recuperando los suelos. Esta alternativa de reúso de AR esta enfocado a una mejora ambiental, puesto que el cultivo funciona como un tratamiento terciario de las AR, minimizando el impacto de contaminación a la quebrada el Pital.

Tabla 11. Potencial de reutilización del efluente de la PTAR de la USCO sede Pitalito

Año	Población	QAR (L/día)	Dotación (L/Hab- día)	Vol. Agua (m3/año)	Has a regar verano	Has a regar invierno	N (Kg/año)	P (Kg/año)	K (Kg/año)	Lodos (kg/año)
2022	2701	0,63	25	19710	2	30	270	15	146	808
2023	3032	0,70	25	22132	2	34	303	17	164	907
2024	3403	0,79	25	24843	2	38	340	19	184	1019
2025	3820	0,88	25	21886	2	43	382	21	206	1143
2026	4288	0,99	25	31302	3	48	429	23	232	1283
2027	4813	1,11	25	35136	3	54	481	26	260	1441
2028	5403	1,25	25	39439	3	60	540	30	292	1617
2029	6064	1,40	25	44270	4	68	606	33	328	1815
2030	6807	1,58	25	49692	4	76	681	37	368	2037
2031	7641	1,77	25	55779	5	86	764	42	413	2287

Año	Población	QAR (L/día)	Dotación (L/Hab- día)	Vol. Agua (m3/año)	Has a regar verano	Has a regar invierno	N (Kg/año)	P (Kg/año)	K (Kg/año)	Lodos (kg/año)
2032	8577	1,99	25	62611	5	96	858	47	463	2567
2033	9627	2,23	25	70279	6	108	963	53	520	2881
2034	10807	2,50	25	78887	7	121	1081	59	584	3234
2035	12130	2,81	25	88550	8	136	1213	66	655	3631
2036	13616	3,15	25	99396	9	152	1362	75	736	4075
2037	15284	3,54	25	111570	10	171	1529	84	826	4576

Conclusiones y recomendaciones

El agua residual de la PTAR de la USCO sede Pitalito, como agua para riego pertenece a la clasificación C2S1 siendo apta para riego con un peligro salinización baja y peligrosidad sódica media, indicando esto que, los suelos pueden presentar riesgo de salinización a largo plazo por lo cual es recomendable un monitoreo preventivo al suelo y un manejo adecuado del agua suministrada al cultivo.

Por el riesgo microbiológico que presenta el efluente, este pertenece a la categoría B de acuerdo con lo establecido por las directrices de la OMS (2006) donde se recomienda que el uso del agua residual se emplee en el riego de cultivos de tipo industrial, cereales, forrajes, pradera o árboles, buscando disminuir los riesgos sanitarios. Lo anterior indica que es recomendable el uso de AR para el riego de caña de azúcar con una finalidad industrial (producción de panela, azúcar, etanol, etc.).

Con el efluente de la PTAR de la USCO sede Pitalito, en la temporada de verano se pueden regar un promedio de 4,62 Has, indicando esto la viabilidad en la reutilización del efluente de la PTAR como una alternativa de disminución de la contaminación a la quebrada el Pital, promoviendo una mejor calidad de vida de los lugareños y las especies cercanas a dicha fuente hídrica. Por otra, parte se debe tener en cuenta los efectos de salinización y sodificación del agua, esto se puede

controlar con la implementación de un sistema de drenaje, también contar con un monitoreo constante para conocer los problemas de salinización que se presentan en el suelo y en el agua, se debe prevenir la aplicación de exceso de agua, ya que el exceso de minerales conduce a efectos contraproducentes que puede afectar el desarrollo del cultivo. Referente a la infiltración del suelo se puede establecer que se hace necesario que en los meses de verano los cuales son: Agosto, septiembre y octubre, se requiere mayor frecuencia de riego, por lo tanto, cada 3 días se debe regar el cultivo de caña, esta información se obtuvo teniendo en cuenta la infiltración del suelo y el balance hídrico del cultivo. Para la irrigación del cultivo se recomienda según la OMS, el riego por surcos ya que con esto se disminuye el riesgo de taponamiento de accesorios para riego como lo son: Aspersores, microaspersores y goteros, también con este sistema de riego que protege la zona foliar de la planta.

Con los análisis de agua residual del afluente y efluente se pudo determinar la eficiencia real de DBO, DQO, coliformes fecales y fósforo los cuales presentan eficiencias negativas indicando un problema en la PTAR; Grasas y aceites, nitrógeno y CE presentan remociones bajas en comparación con la eficiencia teórica, esto indica que el funcionamiento de la PTAR de la USCO sede Pitalito no se encuentra funcionando de manera óptima y se recomienda realizar su debido a la falta de mantenimiento. Los valores de DBO5 y DQO (parámetros importantes en la caracterización de agua residual) no cumplen con los valores límites máximos permisibles por la resolución 631 de 2015 la cual reglamenta los vertimientos de agua residual, los coliformes fecales aun teniendo una remoción de -300% en la PTAR, son aceptables dentro de la resolución 1256 de 2021, siendo apta el agua para riego. Por otra parte, los parámetros de CE, Hidrocarburos y nitratos cumplen con la resolución 1256 de 2021 la cual reglamenta el uso de aguas residuales, se recomienda realizar la evaluación completa de todos los parámetros establecidos por la resolución 1256 de 2021 ya que los análisis fueron ajustados a los rangos establecidos resolución de vertimientos 631 de 2015.

Se recomienda la implementación de los sistemas preliminares como lo son: Aliviaderos para evitar los excesos de caudal y evitar que la PTAR supere su capacidad volumétrica máxima; desarenador, trampa grasa, esto con la finalidad de conseguir un mejor desempeño en el funcionamiento de la PTAR. Los mantenimientos periódicos son un factor determinante en la

operación de la PTAR, ya que hasta la fecha no se han realizado mantenimientos a la planta y se encuentra en un estado de abandono.

Se recomienda la puesta en marcha del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) que se encuentra en el tanque séptico de acción múltiple para mejorar la remoción de agentes contaminantes especialmente en DBO y DQO. De acuerdo con Torres (2011) la alternativa más viable, eficiente y sostenible en la remoción de compuestos orgánicos, se ve representada en los tratamientos anaerobios, ya que en el efluente de la PTAR permanecen presentes algunos compuestos mineralizados que pueden ser removidos con un proceso complementario.

Para la mejora en remoción y funcionamiento de la PTAR, es la separación aguas pluviales y residuales, con esto se optimiza el rendimiento de la PTAR ya que al separarlas se evita que la mezcla de las aguas nombradas, superen el volumen de diseño de la PTAR, esto influye en que se tendrá un menor TRH, debido a esto habrá menor remoción tanto en DBO como en DQO. También se tendrán retribuciones económicas disminuyendo el consumo de agua, debido a que las aguas pluviales se pueden reutilizar para tareas domésticas que se realizan en la universidad.

REFERENCIAS

- Abdelkarim, H., & Hichem, R. (2019). Futuro de la gestión integrada “aguas residuales tratadas/agricultura periurbana” en Túnez. Caso del perímetro de riego público (PRP) de Zaouia (Susa). *Agua y Territorio*, 27–34. <https://doi.org/DOI 10.17561/at.13.4115>
- Agronet. (2021). *Información de producción agrícola por departamento para el año 2021*. <https://www.agronet.gov.co/Paginas/ProduccionNacionalDpto.aspx>
- Alcaldia municipal de Pitalito. (2015). *Geografía*. <https://www.alcaldiapitalito.gov.co/index.php/informacion-general/item/1112-geografia>
- Almario, A. M., Ortega, Y. S., & Mujica Rodriguez, E. (2017). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales de Timaná-Huila para riego de pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*). *Ingeniería y Región*, 18, 34–46. <https://doi.org/10.25054/22161325.1824>
- Almuktar, S. A. A. A. N., Abed, S. N., & Scholz, M. (2018). Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. *Environmental Science and Pollution*

- Research*, 25(24), 23595–23623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>
- Azcon, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. In *Suparyanto dan Rosad (2015* (2nd ed., Vol. 5, Issue 3). McGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. L. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Carantón, L., & Molina, J. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH COMO TUBERÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE AGRÍCOLA EN LA USCO PITALITO*. Universidad Surcolombiana.
- Cárdenas, A., Mancilla, J., & Domínguez, V. (2017). *Diferencia entre la eficiencia de eliminación de materia orgánica de filtros biológicos a escala de laboratorio utilizando lechos convencionales versus empaques sintéticos*. 3. <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1703>
- Cárdenas Calvachi, G. L., & Ramos Ramos, R. M. (2009). Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 19(1), 25–38. <https://doi.org/10.18359/rcin.308>
- Cardenas, R., Sanchez, J. ., Farías, R., & Peña, J. (2004). Los Aportes De Nitrógeno En La Agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, X(2), 173–178. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.07.039>
- Carvalho, P., Arias, C., & Brix, H. (2017). Constructed Wetlands for Water Treatment: New Developments. *Water*, 9(6), 397. <https://doi.org/10.3390/w9060397>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente. In *Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*.
- Cruz Valderrama, J. R. (2015). Manejo Eficiente Del Riego En El Cultivo De La Caña De Azúcar En El Valle Geografico Del Río Cauca. In *Centro de investigacio de la caña de azucar de Colombia - CENICAÑA*.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lasso, J., & Ramírez, J. L. (2011). Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales

- para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia. *El Hombre y La Máquina*, 36, 95–105.
- Lizano, R. (1991). *Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658.pdf>
- Madera, C. A., Pérez, C. F., Echeverri, A. F., & Urrutia, N. (2012). Reúso de aguas residuales domésticas: impacto en la productividad de la caña de azúcar variedad CC 85-92. *Ingeniería y Región*, 9, 47–52. <https://doi.org/10.25054/22161325.774>
- Medeiros, S. de S., Soares, A. A., Ferreira, P. A., Neves, J. C. L., Matos, A. T. de, & Souza, J. A. A. de. (2005). Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 603–612. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662005000400026>
- Ministerio de Ambiente y Agua Bolivia. (2018). *GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA* (segunda ed, Vol. 5, Issue 3). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429934/guia_reuso_aguas_residuales.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 De 2015. In *Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Resolución 1256 de 2021*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>
- Moncayo Loaiza, M., & Grijalba Zarama, D. (2017). Eficiencia De Filtros Anaerobios De Flujo Ascendente En Aguas Residuales De La Granja Experimental Botana. *Club de Lectura Como Estrategia de Escritura*.
- Muñoz, L., & Cruz, A. (2019). *DIAGNÓSTICO Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA SEDE PITALITO Y EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LA QUEBRADA EL PITAL*. Universidad Surcolombiana.
- Novoa, M. A., Miranda, D., & Melgarejo, L. M. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293–307. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092>
- Ojeda, A., Leod, C. M., Águila, K., & Pino, M. T. (2018). Bases para la determinación de las

- necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ , para su adaptación al manejo agronómico . Parámetros hídricos para la determinación de la humedad Introducción. *Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA Kampenaike, Marzo*, 1–6.
- Olías, M., Cerón, J. ., & Fernández, I. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 37, 111–113.
- OMS. (1989). *Directrices sanitarias sobre el uso del aguas residuales en la agricultura y acuicultura*.https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39333/WHO_TRS_778_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez, Y. A., García Cortés, D. A., & Jauregui Haza, U. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 31(1), 2279. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- Quinteros Carabalí, J. A., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 6(2), 046–057. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Ramírez, J. luis, & Lasso, J. (2011). Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia. *El Hombre y La Máquina*, 36, 95–105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47821598009>
- Ramón, F., Rodríguez Guevara, N. J., Rodríguez Torres, D. G., & Colina Yendis, H. J. (2009). Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Soil Science*, 35(2), 211–218. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a8.pdf>
- RAS. (2000). *Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua.* Título B.12. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- RAS. (2000). *Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias* Título D. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf
- Romero, J., & Aragón, R. A. (2010). *POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PTAR DEL MUNICIPIO NÁTAGA CON FINES DE IRRIGACIÓN. ESQUEMA METODOLÓGICO.* Universidad Surcolombiana.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2009). LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON

OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.
Journal Of Agricultural Education and Human Resource Development, 41(1), 191–210.
<https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>

Silva, J., Torres, P., & Madero, C. (2008). *Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura . Una revisión*. 26(2), 347–359.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000200020

Tamayo-Ramirez, J. F., Carmona Rojas, L. M., & Urrea Trujillo, A. I. (2022). Efecto de la concentración del potasio (K⁺) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de *Theobroma cacao* L. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 121(Especial 2), 094. <https://doi.org/10.24215/16699513e094>

Torres, P. (2011). Tendencias en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 3(1), 35–42. <https://doi.org/10.25100/iyc.v3i1.2334>

Valencia, E. (2003). Uso en riego de aguas residuales domésticas tratadas en lagunas de estabilización. *Ingeniería y Región*, 2, 22–29. <https://doi.org/10.25054/22161325.869>

Valencia, E., Aragón, R. A., & Romero, J. (2012). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de nátaga en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.804>

Valencia, E., Silva, I. J., & Narvaez, C. P. (2010). Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas. *Revista Ingenieria y Región*. <https://doi.org/https://doi.org/10.25054/22161325.801>

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelos de “Granja experimental” USCO Pitalito



FORMATO DE INFORMES						
PÁGINA	CÓDIGO	VERSIÓN	FECHA DE ACTUALIZACIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
PÁGINA 3 DE 4	FO-211	06	01/09/2022	LABORATORIO DE SUELOS	A. CALIDAD	GERENCIA

NATURAL CONTROL Biológicos y servicios para una agricultura orgánica				Nombre				CRISTOPHER LASO NUÑEZ				FO - 212			
				Municipio				PITALITO				Código		29259	
				Departamento				HUILA				Análisis		NC 02	
Fecha (dd/mm/aaaa)				Finca				UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA							
Muestreo		14/10/2022		Lote				GRANJA EXPERIMENTAL (USOCO)							
Ingreso		24/10/2022		Cultivo				-							
Entrega		10/11/2022		Variedad											
CATIONES EN FASE INTERCAMBIABLE								OTROS PARAMETROS				SOLUCIÓN DEL SUELO			
Indicador		Unidad	Valor	Clave	Indicador		Unidad	Valor	Clave	Indicador		Unidad	Valor	Clave	
Ca ²⁺		cmol _c /kg	4,73	M	pH (1:2)		-	4,9	B	Ca ²⁺ soluble		cmol _c /kg	0,031	B	
Mg ²⁺		cmol _c /kg	2,11	M	M.O.		%	5,1	A	Mg ²⁺ soluble		cmol _c /kg	0,013	B	
K ⁺		cmol _c /kg	0,38	A	CICE		cmol _c /kg	8,61	A	K ⁺ soluble		cmol _c /kg	0,130	A	
Na ⁺		cmol _c /kg	N.A.	-	C.E. (1:5)		dS/m	0,050	B	Na ⁺ soluble		cmol _c /kg	N.A.	-	
Al ³⁺		cmol _c /kg	1,4	A	N-NO ₃		mg/kg	6,37	B	P soluble		mg/L	0,088	B	
Saturación Ca ²⁺		%	54,9	M	N-NH ₄		mg/kg	N.A.	-	Si soluble		mg/L	N.A.	-	
Saturación Mg ²⁺		%	24,5	M	P		mg/kg	17,31	M	PARAMETROS FÍSICOS					
Saturación K ⁺		%	4,4	B	S		mg/kg	13,92	A	Arena		%	28	M	
Saturación Na ⁺		%	N.A.	-	Fe		mg/kg	256,0	A	Limo		%	22	B	
Saturación Al ³⁺		%	16,3	B	Mn		mg/kg	2,3	B	Arcilla		%	50	A	
Ca ²⁺ : Mg ²⁺		-	2,2	B	Cu		mg/kg	9,2	A	Textura		Arcilla			
Mg ²⁺ : K ⁺		-	5,6	A	Zn		mg/kg	3,2	M	Sat. humedad		%	89,81	A	
Ca ²⁺ : K ⁺		-	12,5	B	B		mg/kg	0,10	B	D. aparente		g/cm ³	1,1	M	
*B=bajo; M=medio; A=alto; ND=no detectable; NA=no analizado; MI=muestra insuficiente. Unidades: cmol _c /kg=meq/ 100 g; mg/kg, mg/L=ppm; dS/m = mmhos/cm															
Métodos: P por Bray II; Ca, Mg y K solubles extraídos con agua en proporción 1:10; Bases intercambiable en acetato amonio 1M; Al intercambiable extraído con KCl 1M; S extraído con fosfato de calcio 0,008M; Nitrato extraído con sulfato de aluminio 0,025M; Fe, Mn, Cu y Zn OLSEN modificado; B agua caliente; Si y P soluble extraídos con CaCl ₂ 0,01M; M.O. por ignición; pH en agua (1:2); C.E. medida en el extracto 1:5; Textura por Bouyucos-hidrómetro; Sat. humedad por capilaridad; Densidad aparente estimada.															
Coordinadora				Daniela Franco											

Anexo 2. Análisis de AR, afluente

Información del Cliente							
Cliente/Empresa					NIT/D.I		
Cristopher Lasso Nuñez					1080937704		
Contacto		Celular		Email			
Cristopher Lasso Nuñez		3188964388		phrlasso55@gmail.com			
Dirección				Ciudad/Departamento			
pitalito				PITALITO, HUILA			
Referencia de la Muestra							
Procedimiento No.	Plan de muestreo	Muestra No.	Tipo de Agua	Tipo de muestreo	Fecha Toma	Fecha Entrada	Hora Muestreo
AS-TMM-003	2080-1	M2896	Residual	COMPUESTO	2022-11-23	2022-11-23	08:00
Muestra tomada por		Lat.	Long.	Alt.	Lugar		
Aldemar Calvache		00694271	01115095	1289 m.s.n.m.	USCO		
Punto de muestreo				Fuente			
Entrada PTAR				Red Sanitaria Universidad Surcolombiana			

ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE VERTIMIENTO AJUSTADO A ARD <625 kg/día DBO5 (C)							Resolución 0631 de 2015, Artículo 8	
Fecha de Análisis	Variable	Unidad	Resultado	Límite de Cuantificación	Técnica	Método	Valores Permisibles	Artículo
2022-11-23	Caudal*+	L/s	0,315	N.A	Volumétrico	Volumétrico	N.R.	8
2022-11-29	Demanda Química de Oxígeno (DQO)***	mg/L	175	2,0	Reflujo cerrado y Colorimétrico	SM 5220 D	180 mg O2 /L	8
2022-11-24	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)***	mg/L	114	2,0	Incubación 5 días y Luminiscencia	SM 5210 B	90 mg O2 /L	8
2022-11-24	Detergentes (SAAM)***	mg/L SAAM	<0,10	0,1	Extracción Líquido Líquido, Colorimetría	SM 5540 C	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Fósforo Total***	mg/L P	1,4	1,0	Digestión Colorimetría con Ácido Ascórbico	SM 4500 - P C	Análisis y Reporte	8
2022-11-24	Grasas y Aceites***+	mg /L	7,87	0,6	Espectrofotometría Infrarojo	SM 5520 C	20,00 mg /L	8
2022-11-25	Hidrocarburos****+	mg/L	<0,50	0,5	Espectrofotometría Infrarojo	SM 5520 C,F	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Nitratos ***	mg/L N-NO3	0,4	0,1	Electrometría	SM 4500 NO3 D	Análisis y Reporte	8
2022-11-24	Nitritos***	mg/L N-NO2	<0,010	0,01	Colorimetría	SM 4500 NO2 B	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Nitrógeno Amoniacal***	mg/L	24,8	1,0	Colorimetría	SM 4500-NH3 B,C	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Nitrógeno Total Kjeldahl***	mg/L N	34,3	5,0	Digestión - Kjeldhal	SM 4500 C NH3 B,C Mod.	Análisis y Reporte	8
2022-11-24	Ortofosfatos (mg PO4/L) (equivalente a fósforo soluble, fosfato soluble, ortofosfato soluble, fósforo reactivo soluble)****+	mg/L P-PO4	1,07	1,0	Colorimetría	SM 4500-P C	Análisis y Reporte	8
2022-11-23	pH in Situ*+	Unidades pH	6,60 a 21,20°C - 7,26 a 22,70°C	N.A.	Electrométrica	SM 4500 H+, B	6,00 a 9,00 unidades pH	8
2022-11-23	Sólidos Sedimentables in situ*	mL/L	0,2	0,1	Volumétrica	SM 2540 F	5,00 mL/L	8
2022-11-24	Sólidos Suspendedos Totales***	mg/L	41,0	20	Gravimetría secado a 103° C -105°C	SM 2540 D	90,00 mg/L	8

Anexo 3. Análisis de AR, efluente

Información del Cliente							
Cliente/Empresa					NIT/D.I		
Cristopher Lasso Nuñez					1080937704		
Contacto		Celular		Email			
Cristopher Lasso Nuñez		3188964388		phrlasso55@gmail.com			
Dirección				Ciudad/Departamento			
pitalito				PITALITO, HUILA			
Referencia de la Muestra							
Procedimiento No.	Plan de muestreo	Muestra No.	Tipo de Agua	Tipo de muestreo	Fecha Toma	Fecha Entrada	Hora Muestreo
AS-TMM-003	2080	M2897	Residual	COMPUESTO	2022-11-23	2022-11-23	08:10
Muestra tomada por		Lat.	Long.	Alt.	Lugar		
Aldemar Calvache		00894272	01115050	1292 m.s.n.m.	USCO		
Punto de muestreo					Fuente		
Salida PTAR				Red Sanitaria Universidad Surcolombiana			

ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE VERTIMIENTO AJUSTADO A ARD <625 kg/día DBO5 (C)							Resolución 0631 de 2015, Artículo 8	
Fecha de Análisis	Variable	Unidad	Resultado	Límite de Cuantificación	Técnica	Método	Valores Permisibles	Artículo
2022-11-23	Caudal*+	L/s	0,326	N.A	Volumétrico	Volumétrico	N.R.	8
2022-11-29	Demanda Química de Oxígeno (DQO)***	mg/L	345	2,0	Reflujo cerrado y Colorimétrico	SM 5220 D	180 mg O2 /L	8
2022-11-24	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)***	mg/L	240	2,0	Incubación 5 días y Luminiscencia	SM 5210 B	90 mg O2 /L	8
2022-11-24	Detergentes (SAAM)***	mg/L SAAM	<0,10	0,1	Extracción Líquido Líquido, Colorimetría	SM 5540 C	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Fósforo Total***	mg/L P	1,5	1,0	Digestión Colorimetría con Ácido Ascórbico	SM 4500 - P C	Análisis y Reporte	8
2022-11-24	Grasas y Aceites****	mg /L	1,93	0,5	Espectrofotometría Infrarojo	SM 5520 C	20,00 mg /L	8
2022-11-25	Hidrocarburos****+	mg/L	<0,50	0,5	Espectrofotometría Infrarojo	SM 5520 C,F	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Nitratos ***	mg/L N-NO3	0,4	0,1	Electrometría	SM 4500 NO3 D	Análisis y Reporte	8
2022-11-24	Nitritos***	mg/L N-NO2	<0,010	0,01	Colorimetría	SM 4500 NO2 B	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Nitrógeno Amoniacal***	mg/L	21,5	1,0	Colorimetría	SM 4500-NH3 B,C	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Nitrógeno Total Kjeldahl***	mg/L N	27,2	5,0	Digestión - Kjeldhal	SM 4500 C NH3 B,C Mod.	Análisis y Reporte	8
2022-11-26	Ortofosfatos (mg PO4/L) (equivalente a fósforo soluble, fosfato soluble, ortofosfato soluble, fósforo reactivo soluble)****+	mg/L P-PO4	1,37	1,0	Colorimetría	SM 4500-P C	Análisis y Reporte	8
2022-11-23	pH in Situ*+	Unidades pH	6,80 a 22,30°C - 6,86 a 22,50°C	N.A.	Electrométrica	SM 4500 H+, B	6,00 a 9,00 unidades pH	8
2022-11-23	Sólidos Sedimentables in situ*	mL/L	<0,1	0,1	Volumétrica	SM 2540 F	5,00 mL/L	8
2022-11-24	Sólidos Suspendedos Totales****	mg/L	<20,0	20	Gravimetría secado a 103° C -105°C	SM 2540 D	90,00 mg/L	8

Anexo 4. Análisis de AR, afluente y efluente



Fecha	Resultados Laboratorio No.
2023-02-27	R3019

Formato Informe de Resultado de ensayo AS-TRE-F01 - V 03
Fecha ultima revisión y aprobación:2018-01-31

Información del Cliente							
Cliente/Empresa				NIT/D.I			
Cristopher Lasso Nuñez				1080937704			
Contacto		Celular		Email			
Cristopher Lasso Nuñez		3186964388		phrlasso55@gmail.com			
Dirección				Ciudad/Departamento			
pitalito				PITALITO, HUILA			
Referencia de la Muestra							
Procedimiento No.	Plan de muestreo	Muestra No.	Tipo de Agua	Tipo de muestreo	Fecha Toma	Fecha Entrada	Hora Muestreo
AS-TMM-002	2303-1	M3019	Residual	SIMPLE	2023-02-09	2023-02-09	15:30
Muestra tomada por		Lat.	Long.	Alt.	Lugar		
Aldemar Calvache		00694271	01115095	1289 m.s.n.m.	Universidad Surcolombiana		
Punto de muestreo				Fuente			
Entrada PTAR				Red Sanitaria USCO			

ANALISIS FISICO, QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA RESIDUAL							Resolución 0631 de 2015, Artículo 8	
Fecha de Análisis	Variable	Unidad	Resultado	Límite de Cuantificación	Técnica	Método	Valores Permisibles	Artículo
2023-02-10	Coliformes Fecales***	NMP/100 mL	<1	1	Sustrato enzimático – Multicelda	SM 9223 B	N.R.	8
2023-02-09	Conductividad Eléctrica in situ*	µS/cm	667,8 a 22,80°C	N.A.	Electrométrica	SM 2510 B	N.R.	8

Referencia de la Muestra							
Procedimiento No.	Plan de muestreo	Muestra No.	Tipo de Agua	Tipo de muestreo	Fecha Toma	Fecha Entrada	Hora Muestreo
AS-TMM-002	2303	M3020	Residual	SIMPLE	2023-02-09	2023-02-09	15:50
Muestra tomada por		Lat.	Long.	Alt.	Lugar		
Aldemar Calvache	00694271	01115095	1289 m.s.n.m.	Universidad Surcolombiana			
Punto de muestreo				Fuente			
Salida PTAR				PTAR USCO			

ANALISIS FISICO, QUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA RESIDUAL							Resolución 0631 de 2015, Artículo 8	
Fecha de Análisis	Variable	Unidad	Resultado	Límite de Cuantificación	Técnica	Método	Valores Permisibles	Artículo
2023-02-10	Coliformes Fecales***	NMP/100 mL	300	1	Sustrato enzimático – Multicelda	SM 9223 B	N.R.	8
2023-02-09	Conductividad Eléctrica in situ*	µS/cm	353,4 a 22,25°C	N.A.	Electrométrica	SM 2510 B	N.R.	8