PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECIRCULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCÓN, CUNDINAMARCA.

ELABORADO POR

CAMILO BENAVIDES JIMENEZ

JUAN MANUEL CARO TEQUIA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.
2024

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA

ELABORADO POR

CAMILO BENAVIDES JIMENEZ

JUAN MANUEL CARO TEQUIA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIEROS AMBIENTALES EN MODALIDAD MONOGRAFIA

DIRIGIDO POR
CARLOS HERNANDO MORENO MORENO
Ingeniero Ambiental con Especialización en Ingeniería de Sistemas Hídricos Urbanos.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.
2024

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres, hermanos, abuelas y familiares que nos apoyaron desde el inicio de nuestra vida universitaria hasta la culminación de esta etapa, brindándonos amor, apoyo y paciencia durante todo este tiempo.

¡Gracias por ser ejemplo e inspiración en cada momento!

Este logro también es de ustedes y para ustedes.

Al profesor Diego Torres por darnos su confianza, conocimiento y apoyo para la realización de este trabajo de grado.

Al profesor Carlos Moreno por haber aceptado ser el director de nuestro trabajo de grado y habernos acompañado en esta ultima etapa de nuestra carrera.

A nuestros amigos de la carrera de ingeniería ambiental por su compañía, apoyo y por hacer de esta etapa universitaria una de las mas provechosas de nuestras vidas.

A la Universidad Distrital por ser nuestra alma mater y ser un lugar que nos ayudó a nuestro crecimiento profesional y personal.

Orgullosamente hijos de universidad pública.

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN 9
2. ABSTRACT 10
3. INTRODUCCIÓN 11
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12
5. ESTADO DEL ARTE 13
6. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN 15
7. OBJETIVOS 16
8. MÉTODOLOGIA 17
8.1. Metodología para la recolección de la muestra 17
8.2. Sitios de muestreo 20
8.3. Puntos de muestro en empresa Tucán 3 20
8.4. Puntos de muestreo empresa Flores el progreso 21
8.5. Transporte de muestras 23
8.6. Análisis de laboratorio 23
8.7. Identificación de tecnologías de tratamiento 24
8.8. Identificación casos para la aplicación de tecnologías 29
8.9. Metodología para la evaluación ambiental de esquemas tecnológicos 29
8.10. Elaboración de medidas de manejo Ambiental 33
9. MARCO TEÓRICO 35
9.1. Tratamiento de Remoción en agua 35
9.2. Muestreo de agua y caracterización 35
9.2.1. Diferencias entre muestreo de agua, método simple y método compuesto 35
9.3. Proceso productivo de floricultura 36
9.4. Descripción de empresas muestreadas 37
9.4.1. Empresa Flores el Tucán 3 37
9.4.2. La Empresa Flores el Progreso S.A.S 38
9.5. Matriz de eficiencia de remoción 38
9.6. Evaluación ambiental y medidas de manejo ambiental para la tecnología seleccionada 38
9.7. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales 38
9.8. Importancia de las guías en la selección de tecnologías de tratamiento 39
9.9. Selección de tecnologías 40
9.10. Marco Normativo 41
9.10.1. Resolución 1256 De 2021 41

9.10.2. Decreto 1076 De 2015 42
9.10.3. Constitución política de la república de Colombia 1991 48
10. RESULTADOS 49
10.1. Resultados de laboratorio para las muestras de agua 49
10.2. Resultados de esquemas de Selección 51
10.3. Comparación esquema tecnológico seleccionado frente a fuente bibliográfica 65
10.4. Análisis de resultados 69
10.4.1. Recirculación 69
10.4.2. Reúso 69
10.5. Resultados de la Evaluación ambiental 72
10.6. Manejo Ambiental del esquema de tecnologías seleccionadas 75
11. Conclusiones 102
12. Recomendaciones 104
13. Bibliografía 105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de muestreo por metodología de IDEAM 18
Tabla 2. Bibliografía principal 25
Tabla 3. Cambio de tecnologías propuestas 26
Tabla 4. Parámetros añadidos en la matriz de remoción 27
Tabla 5. Caracterización agua postcosecha de la empresa La florícola. 29
Tabla 6. Criterios de parámetros de calificación importancia ambiental 30
Tabla 7. Probabilidad de ocurrencia de impactos 32
Tabla 8. Nivel de importancia de impacto ambiental 32
Tabla 9. Tratamiento convencional y criterios de calidad para Consumo humano y domestico en la 1076 del 2015 43
Tabla 10. Criterios de calidad para Desinfección y criterios de calidad de consumo humano y domestico a en la 1076 del 2015 44
Tabla 11. Criterios de calidad para uso agrícola en la 1076 del 2015 45
Tabla 12. Resolución 1256 del 2021 criterio de calidad para Uso agrícola 46
Tabla 13. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario en la 1076 del 2015 46
Tabla 14. Criterios de calidad para Vertimiento al agua y exigencias mínimas en la 1076 del 2015 47
Tabla 15. Criterios de calidad para Vertimiento al alcantarillado público en la 1076 del 2015 47
Tabla 16. Resultados muestra de agua en canal Tucán 3 49
Tabla 17. Resultados muestra de agua de riego Tucán 3 50
Tabla 18. resultados muestra de agua en suelo El Progreso 50
Tabla 19. Resultados muestra de agua en canal El progreso 51
Tabla 20. Selección de la tecnología en Función del Caudal de agua residual 52
Tabla 21. Selección del esquema tecnológico en función de la temperatura del agua residual 52
Tabla 22. Selección del esquema tecnológico en función del nivel freático del sitio de planta 54
Tabla 23. Selección del esquema tecnológico en función de la pendiente del sitio de planta 54
Tabla 24. Selección del esquema tecnológico en función de la permeabilidad del sitio de planta 54
Tabla 25. Integración de los esquemas de Selección Nivel Primario 56
Tabla 26. Integración de los esquemas de Selección Nivel Secundario 56
Tabla 27. Integración de los esquemas de Selección Nivel Terciario de Nutrientes 57

Tabla 28. Integración de los esquemas de Selección Nivel Terciario de Patógenos 58
Tabla 29. Eficiencia de remoción de Tecnologías 59
Tabla 30. Esquemas Tecnológicos y Precios P1 – P4.....61
Tabla 31. Esquemas Tecnológicos y Precios S1 – S5.....62
Tabla 32. Esquemas Tecnológicos y Precios S7 – S9.....63
Tabla 33. Esquemas Tecnológicos y Precios TN7 – TN9 64
Tabla 34. Esquemas Tecnológicos y Precios TN13 – TN15 64
Tabla 35. Esquemas Tecnológicos y Precios TN27 – TN29 65
Tabla 36. Esquemas Tecnológicos y Precios TP1 y TP28.....65
Tabla 37. Viabilidad de tecnologías para ser usadas en tratamiento de aguas industriales66
Tabla 38. Resumen de los resultados de los esquemas tecnológicos seleccionados.....71
Tabla 39. Identificación de impactos. 73
Tabla 40. Resultados evaluación ambiental 74
Tabla 41. Estructura de las medidas de manejo ambiental 76
Tabla 42. Manejo de emisiones atmosféricas. 77
Tabla 43. Manejo de emisiones de ruido. 81
Tabla 44. Manejo de olores ofensivos. 84
Tabla 45. Manejo de compactación del suelo. 87
Tabla 46. Manejo de lodos y sedimentos. 90
Tabla 47. Manejo de residuos sólidos y líquidos. 93
Tabla 48. Manejo de residuos por excavación. 96
Tabla 49. Manejo de vectores. 99
Tabla 50. Anexos 110

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Primer sitio de muestro Tucán 3 21
Imagen 2. Segundo sitio de muestro Tucán 3 21
Imagen 3. Primer sitio de muestro Flores el progreso 22
Imagen 4. Segundo sitio de muestro Flores el progreso 22
Imagen 5. Diseño de muestreo 24
Imagen 6. Metodología de identificación de tecnologías. 28
Imagen 7. Imagen. Proceso productivo en floricultura 37

1. RESUMEN

El agua es un recurso vital que está siendo cada vez más afectado por actividades humanas, lo que genera una creciente preocupación debido a su importancia para la vida y el medio ambiente. En este contexto, se reconoce la necesidad de desarrollar estrategias para proteger y conservar este recurso, especialmente en sectores industriales como la floricultura, donde el uso intensivo de agua puede tener un impacto significativo en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

En este trabajo, se propone la elaboración de una guía que establezca lineamientos para la aplicación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de promover la recirculación y el reúso del agua en la industria de floricultura. El enfoque principal que se le dio a este trabajo fue el de identificar y evaluar diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales, así como analizar sus costos y beneficios en términos de sostenibilidad y eficiencia.

Para lograr este objetivo, se llevó a cabo una investigación exhaustiva que incluye la revisión de literatura científica, el análisis de casos de estudio y la consulta con expertos en el campo del tratamiento de aguas residuales y la floricultura. A partir de esta investigación, se definió los objetivos y el alcance de la guía, así como los criterios de selección de las tecnologías de tratamiento a incluir.

Una vez establecidos los lineamientos, se realizó el diseño y desarrollo de los diferentes apartados de la guía, que incluyen información detallada sobre las tecnologías de tratamiento disponibles, sus ventajas y desventajas, así como recomendaciones para su implementación en el contexto específico de la industria de la floricultura.

Se espera que esta guía sirva como una herramienta práctica y útil para las empresas del sector de floricultura, proporcionándoles información valiosa para tomar decisiones informadas sobre el manejo y tratamiento de sus aguas residuales. Además, se buscaría contribuir a promover prácticas sostenibles y eficientes en el uso del agua que ayude a reducir el impacto ambiental de esta industria y garantizando la disponibilidad de este recurso vital para las generaciones futuras.

2. ABSTRACT

Water is a vital resource increasingly impacted by human activities, raising growing concerns due to its importance for life and the environment. In this context, the need to develop strategies to protect and conserve this resource is recognized, especially in industrial sectors like floriculture, where intensive water use can significantly affect the availability and quality of water resources.

This work proposes the creation of a guide establishing guidelines for the application of wastewater treatment technologies to promote water recirculation and reuse in the floriculture industry. The main focus of this work was to identify and evaluate different wastewater treatment technologies and analyze their costs and benefits in terms of sustainability and efficiency.

To achieve this objective, comprehensive research was conducted, including a review of scientific literature, analysis of case studies, and consultations with experts in the fields of wastewater treatment and floriculture. Based on this research, the objectives and scope of the guide were defined, as well as the criteria for selecting the treatment technologies to be included.

Once the guidelines were established, the design and development of the various sections of the guide were carried out, including detailed information on the available treatment technologies, their advantages and disadvantages, and recommendations for their implementation in the specific context of the floriculture industry.

This guide is expected to serve as a practical and useful tool for companies in the floriculture sector, providing them with valuable information to make informed decisions about managing and treating their wastewater. Additionally, it aims to promote sustainable and efficient water use practices, helping reduce the environmental impact of this industry and ensuring the availability of this vital resource for future generations.

3. INTRODUCCIÓN

El consumo que se tiene del recurso hídrico cada vez es más alto al pasar los años, esto obedece a que muchos factores como el crecimiento poblacional genera una mayor demanda de los recursos naturales que están disponibles en el medio ambiente. Por lo que el recurso hídrico es uno de los más afectado, por los vertimientos que se generan por el uso industrial, domestico o recreativo que se le da al agua, provocando contaminación y una probabilidad de ocurrencia alta de impactos ambientales (Galvis et al., 2005).

Según lo anterior, el tratamiento de aguas residuales emerge como herramienta fundamental para proteger la salud pública y el medio ambiente. A través de diferentes procesos fisicoquímicos y biológicos, se remueven contaminantes y patógenos, permitiendo la reutilización del agua de forma segura y sostenible, mientras que hay una disminución de la contaminación al momento de realizar vertimientos de aguas residuales, esto a su vez ayuda a reincorporar los efluentes tratados a los sistemas productivos en las industrias o al uso doméstico y/o recreativos dentro de las comunidades.

Conforme a lo anterior, surge la necesidad de establecer la selección de esquema de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales como una estrategia crucial en la gestión eficiente de este recurso. Esta decisión debe considerar diversos factores, como las características del agua residual, los objetivos de tratamiento y remoción de contaminantes, las tecnologías disponibles, los aspectos económicos y ambientales. Este trabajo está motivado a realizar una guía que dictamine el paso a paso para elegir el esquema tecnológico más adaptado a las necesidades del contexto, considerando múltiples criterios relevantes. Asimismo, se dará el desarrollo metodológico utilizado con aplicación a las características del agua en la industria de la floricultura, así mismo, se presentan resultados y su respectivo análisis, y por último, se realiza las respectivas conclusiones y recomendación de trabajo.

4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, el uso de aguas residuales tratadas en la agricultura ha ido ganando importancia como una estrategia para el aprovechamiento de recursos hídricos y la promoción de la sostenibilidad en el sector agrícola. Sin embargo, la falta de lineamientos y criterios técnicos claros para la aplicación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en los procesos de recirculación y reúso de aguas agrícolas ha generado diversas problemáticas que limitan su implementación efectiva.

En primer lugar, existe una falta de consenso y uniformidad en la selección y aplicación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en el sector agrícola. Actualmente, no se cuenta con una guía que rija a nivel nacional y establezca lineamientos técnicos y criterios de calidad específicos para el tratamiento de aguas residuales en el contexto de recirculación y reúso agrícola. Esto ha llevado a la utilización de tecnologías de tratamiento de aguas residuales no estandarizadas y poco eficientes, lo que puede comprometer la calidad del agua utilizada en la agricultura y representar riesgos para la salud humana, económicos para el sector y el medio ambiente.

En segundo lugar, la falta de criterios estandarizados dificulta la toma de decisiones informadas sobre la calidad del agua tratada y limita la confianza de los agricultores y demás actores involucrados en el recirculación y reúso de aguas.

Además, la falta de información técnica y económica sobre las tecnologías de tratamiento disponibles y su adaptabilidad al contexto agrícola colombiano ha limitado la adopción y escalabilidad de estas soluciones. La falta de estudios y análisis de viabilidad económica y ambiental de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales agrícolas dificulta la toma de decisiones informadas para su implementación a gran escala.

En este sentido, es fundamental abordar estas problemáticas a través de la elaboración de esta guía que establezca lineamientos técnicos y criterios de calidad para la selección, diseño, implementación y operación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en los procesos de recirculación y reúso de aguas para uso agrícola en Colombia. Esta propuesta de guía busca proporcionar un marco normativo y técnico que promueva la implementación adecuada de tecnologías de tratamiento, mejore la calidad del agua utilizada en la agricultura y garantice la protección del medio ambiente y, por ende, la salud pública.

5. ESTADO DEL ARTE

Importancia del recurso agua

El agua como recurso hídrico por excelencia es vital para el funcionamiento de los ciclos naturales de la vida, se utiliza en diferentes ámbitos como los sistemas productivos y de industria, en el sector de estética, como insumo para el desarrollo deportivo de las comunidades y como componente fundamental para la generación de energía y transporte, para uso doméstico y consumo en las poblaciones. El agua es esencial para la supervivencia de las comunidades y se necesitan investigaciones que dictaminen características físicas, químicas y biológicas, además de conocer su dinámica general, para conservar este importante recurso natural (Foster et al, 1987).

Contaminación del agua

Debido al aumento poblacional en los últimos años los recursos naturales han empezado a tener un mayor deterioro por su consumo en los diferentes ámbitos que son utilizados. EL agua ha estado aún más contaminada, menos disponible en poblaciones y con una mayor presión en su consumo, esto hace que, principalmente, los ciclos biológicos se alteren y el medio ambiente se vea afectado.

La contaminación en el medio agua se entiende como la introducción de un contaminante o agente contaminante, en condiciones físicas, químicas y biológicas, que no está asociada a un impacto si este no supera los límites máximos permisibles, pero en general tiene efectos adversos en dicho medio, esto puede ser causado por actividades antrópicas, o incluso generarse de manera natural, esto por la dinámica del contaminante en el medio ambiente; esta contaminación puede ser percibida de manera latente o discreta, este último puede permanecer de forma imperceptible.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) la contaminación del agua supone la imposibilidad de uso humano de este recurso tan valioso, lo que representa un grave peligro para el planeta y exacerba la pobreza. Por su parte, la ONU para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala que la agricultura es la principal causa de la degradación del agua, ya que no solo es el mayor consumidor de recursos de agua dulce en el mundo, sino que también es un grave contaminador del agua. Las fuentes de agua dulce del mundo reciben contaminantes de una amplia gama de sectores, amenazando la salud humana y la fauna (Connor, 2023).

La contaminación hídrica ocasionada en los cultivos de flores se debe principalmente a los residuos de plaguicidas y a la fumigación, que a su vez contaminan el agua subterránea de los terrenos utilizados. Todo lo anterior genera un importante pasivo ambiental en el país, teniendo en cuenta que el producto resultante es exportado casi en su totalidad. Por otro lado, el drenaje natural del suelo es impactado por el cambio en sus características físicas y químicas y las modificaciones en su estructura por la realización de obras de nivelación del terrero y remoción de cobertura vegetal. Adicionalmente, la continua fertilización con químicos saliniza, disminuye la biota microbiana y esteriliza el suelo (Villalobos, 2018).

Por otro lado, los químicos potencialmente volátiles perjudican los componentes del área de influencia directa: plantas, árboles, fauna y la biodiversidad en general. Esto también genera un efecto negativo en las personas que trabajan en los cultivos, pues el viento, la temperatura, la

presión y la humedad determina la influencia del aire, que favorece una mayor distribución del contaminante. En el mismo sentido, la proliferación de organismos competidores puede presentar incrementos por la carga contaminante, la intervención del paisaje, el impacto de la posproducción de los viveros, la alta densidad de los cultivos de flores y la generación de microclimas en los invernaderos, lo puede producir efectos adversos en la calidad y en la cadena de producción de las flores.

Oferta hídrica en Colombia

Según el Estudio Nacional del Agua 2014, la oferta hídrica de Colombia está 6 veces por encima de la oferta mundial y es 3 veces mayor a la oferta latinoamericana (IDEAM, 2015). Lo que hace el precio en la producción de flores, por lo menos en Colombia, sea más bajo, esto por una sobreoferta del producto. Esta tendencia y el apoyo del TLC con Estados Unidos, hace que las políticas del sector externo colombiano, promovidas institucionalmente desde el gobierno, impulsen este tipo de actividades sin tener ningún tipo de criterio hídrico en la estrategia de venta. Lo que agota la disponibilidad hídrica en el territorio colombiano.

En Colombia no hay empresas que tengan un sistema de recolección de aguas por infiltración de cultivos en el sector floricultura, debido a que la mayoría no tiene rubros para hacer medidas de manejo ambiental, que controlen las externalidades de las fincas de flores, como las alteraciones al recurso agua y suelo. Por lo tanto, se pierde la calidad del suelo e incrementa el detrimento del patrimonio ambiental del país. Estos elementos negativos tienen un gran impacto hacia recursos ecosistémicos, que tienen una función muy importante para la supervivencia del ser humano.

6. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En Colombia, la problemática del uso sostenible del agua y la gestión adecuada de las aguas residuales ha llevado a la implementación de diversas iniciativas y programas relacionados con el reúso de aguas en el sector agrícola.

Estos antecedentes y referentes nacionales son fundamentales para el desarrollo de una guía estándar que establezca lineamientos claros y eficientes para la aplicación de tecnologías de tratamiento en este ámbito.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MADS) ha sido un actor clave en la promoción de prácticas sostenibles de la gestión del agua y el reúso de aguas residuales en el sector agrícola. A través de la Resolución 0631 de 2015, se estableció el marco normativo para el uso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas, donde se definen los requisitos y criterios de calidad del agua tratada (MADS, 2015).

Por su parte, se tiene como insumo la Resolución 1256 de 2021, en donde se definen cuáles son los criterios que se estipulan para que el agua tenga un uso agrícola, esto promovido por El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MADS) en la que "se reglamente el uso de las aguas residuales y se adopta otras disposiciones". Además, se tienen en cuenta el decreto 1076 de 2015 y el decreto 050 de 2018 que modifica parcialmente al anterior citado, esto para tener un lineamiento base de la carga contaminante que debe tener el agua para cada sector analizado.

El Programa Nacional de Reúso de Aguas Residuales en Colombia, liderado por el Ministerio de Vivienda, ha promovido la implementación de proyectos de reúso de aguas en distintas regiones del país. Este programa ha generado experiencias y lecciones aprendidas que pueden servir como referentes prácticos para la elaboración de los lineamientos propuestos en una guía nacional. Estas experiencias incluyen casos de estudio sobre la aplicación de tecnologías de tratamiento en el sector agrícola y la gestión eficiente del agua.

El sector académico y de investigación en Colombia también ha desarrollado trabajos relevantes en el campo del tratamiento de aguas residuales y el reúso en la agricultura. Universidades y centros de investigación han realizado estudios sobre tecnologías de tratamiento, evaluación de la calidad del agua, gestión de riesgos y mejores prácticas en el reúso de aguas en distintas actividades, incluyendo las agrícolas.

Es fundamental desarrollar una guía que establezca lineamientos técnicos y criterios de calidad. Esta guía debe cubrir la selección, diseño, implementación y operación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en la agricultura. En el cual se incorpore el marco normativo existen con el objetivo de mejorar la calidad del agua utilizada en la agricultura, proteger el medio ambiente y garantizar la salud pública. Esto beneficiará tanto al sector agrícola como al entorno natural en Colombia.

7. OBJETIVOS

General

Elaborar una guía que integre los lineamientos técnicos y criterios de calidad, proporcionando recomendaciones claras y actualizadas para la selección, diseño, e implementación de tecnologías de tratamiento en aguas residuales para sus procesos de recirculación y reúso en el sector de floricultura en Nemocón.

Específicos

1. Identificar y definir los parámetros de caracterización del agua tratada necesarios para la recirculación y reúso de aguas en el sector de floricultura en Colombia, tomando en cuenta las características de las aguas industriales y los requisitos de cumplimiento del agua para uso en la floricultura.
2. Realizar un análisis de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales disponibles y utilizadas actualmente en el sector floricultura en Colombia
3. Identificar estudios de caso en los que se aplicaría la guía de tratamientos de aguas residuales para el uso agrícola.
4. Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes, la capacidad de tratamiento, la complejidad en la implementación y los requerimientos específicos del contexto agrícola colombiano de las tecnologías de tratamiento consideradas.
5. Evaluar el impacto ambiental de las tecnologías de tratamiento seleccionadas, analizando la generación de residuos, las emisiones de gases, el consumo de energía y el uso de productos químicos, proponiendo medidas de manejo para los impactos.

8. MÉTODOLOGIA

A continuación, en este apartado se describe la metodología que se utilizó para el desarrollo de los diferentes objetivos que se establecieron en este trabajo:

8.1. Metodología para la recolección de la muestra

El proceso de recolección de agua en la industria de flores a las dos empresas ubicadas en Nemocón se realizó siguiendo estrictamente los lineamientos establecidos por el IDEAM. En primer lugar, se hizo un estudio del terreno y las fuentes de agua disponibles en la zona, se identificó los puntos de muestreo óptimos que representaron la caracterización del agua utilizada en la producción florícola de las empresas.

Se utilizó como referencia el instructivo del IDEAM, fechado el 21 de octubre de 2020, denominado "Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM" con el cual se diseñó un plan de recolección que abarca tanto la cantidad adecuada de muestras como la diversidad de puntos de captación. Cada etapa del proceso se llevó a cabo con sumo cuidado para garantizar la integridad de las muestras y la precisión de los resultados. Este plan esta soportado con la tabla 1 que estipula la guía metodológica.

Para la recolección del agua, se utilizaron instrumentos y recipientes de vidrio esterilizados para evitar cualquier contaminación cruzada que pudiera afectar los análisis posteriores. Se siguieron las pautas específicas del IDEAM para la toma de muestras de agua superficial, asegurando que se obtuvieran muestras representativas de diferentes áreas de la fuente hídrica.

A continuación, se muestran la tabla ajustada según la guía del IDEAM que contienen los parámetros que se midieron junto a la instrumentación y recipientes necesarios para cada muestreo.

Las conversiones de las letras de la tabla 1 son las siguientes:

- **P:** Plástico (Polietileno o equivalente)
- **V:** Vidrio
- **FP**: Fluoro polímero (Politetrafluoroetileno (PTFE, teflón) u otro Fluoro polímero).
- **S**: Simple
- **C:** Compuesta
- **Analizar inmediatamente**: Dentro de los primeros 15 minutos de la toma de la muestra

Tabla 1. Tipo de muestreo por metodología de IDEAM

Determinación	Tipo de recipiente	Tamaño mínimo de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento Regulatorio
pH	P,V	50	S	Analizar inmediatamente	0,25h
DBO	P, V, FP	1000	S	Refrigere ≤6°C	48h
DQO	P, V, FP	100	S, C	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H2SO4. Llevar a pH<2, refrigerar a ≤6°C	28d
Nitrato	P, V, FP	100	S, C	Analizar tan pronto como sea posible, refrigerar a ≤6°C	48h (14 d para muestras cloradas)
Oxígeno disuelto (Electrodo y Winkler)	V, Botellas DBO	300	S	Analizar inmediatamente, la titulación puede realizarse después de la acidificación.	0,25h, para titulación después de acidificación 8h
Sulfato	P, V, FP	100	S, C	Refrigerar ≤6°C	28d
Temperatura	P, V, FP	-	S	Analizar inmediatamente	0,25h
Turbiedad	P, V, FP	100	S, C	Analizar el mismo día, almacenar en la oscuridad hasta las 24 horas siguientes, refrigerar ≤6°C	24h
Coliformes Totales y E.coli.	V	200	S	Refrigerar ≤6°C; agregar 0,1 mL de Tiosulfato de Sodio (Na2 S2O3) al 3% para agua potable. Refrigerar ≤6°C; agregar 0,1 mL de Tiosulfato de Sodio (Na2 S2O3) al 10% para agua residual	24h

Fuente: (IDEAM,2020)

Se tomaron muestras simples en cada parámetro a medir por cada sitio de muestreo en las dos empresas, pues los parámetros determinados, según la metodología escogida, se pueden obtener con un muestro simple y se pueden almacenar en recipiente de vidrio. En la tabla 1 podemos ver dependiendo del parámetro que se quiera medir se tiene fija la metodología para saber que tamaño mínimo de muestra hay que tomar, en que recipiente es óptimo guardar y en qué condiciones

Teniendo en cuenta los lineamientos propuestos por la guía del IDEAM, se estipuló los siguientes pasos para desarrollar cada actividad de muestreo:

- Selección de sitios de muestreo:
    - Se hizo la planificación del muestreo, es decir, el diseño del muestreo según la guía, si la muestra debe ser simple o compuesta
    - Se identifico los sitios de muestreo de acuerdo con los objetivos del estudio y la distribución geográfica del área de interés.
    - Se evaluó la presencia de fuentes potenciales de contaminación que puedan influir en los resultados,
    - Se tomó el agua de puntos clave posteriormente al riego de las flores
- Preparación del equipo y materiales:
    - Se revisó y calibró los instrumentos de medición necesarios, para la medición in situ, como el oxígeno disuelto o la temperatura.
    - Se prepararon los recipientes de recolección de muestras limpios y estériles, etiquetados adecuadamente.
    - Se aseguró la disponibilidad de materiales de seguridad personal, como guantes y gafas de protección.
- Recolección de muestras:
    - Se utilizaron técnicas adecuadas de toma de muestras según el medio acuático (por ejemplo, muestreo de agua superficial, muestreo de aguas subterráneas).
    - Se siguieron los protocolos específicos para evitar la contaminación de las muestras durante su recolección, como el uso de envases estériles y la manipulación adecuada.
- Preservación de muestras:
    - Se preservaron las muestras según los métodos recomendados para cada parámetro a analizar.
    - Se registró la información relevante sobre la preservación de las muestras, lo que incluye el tipo de preservativo utilizado y las condiciones de almacenamiento.
- Transporte y almacenamiento de muestras:
    - Se almacenaron las muestras en condiciones adecuadas de temperatura y oscuridad para evitar cambios no deseados.
    - Se etiquetaron correctamente cada muestra con información detallada, como la ubicación de muestreo, la fecha y la hora de recolección.
    - Se transportaron las muestras al laboratorio en recipientes adecuados y dentro del tiempo especificado para su análisis.

8.2. Sitios de muestreo

En este enunciado se presenta los datos climáticos de las dos empresas y los puntos de recolección de muestras para hacer su análisis posteriormente en el laboratorio. Las características generales climáticas de los sitios están ligadas al comportamiento climático de Nemocón, El muestreo se hizo el día 12 de diciembre del 2023, donde las condiciones climáticas fueron:

- **Temperatura**: 13°C
- **Precipitación**: 6.0 mm/día
- **Humedad**: 80%

Por otro lado, los puntos seleccionados se determinaron debido a que, primero, se mostró la disponibilidad del recurso hídrico cerca al riego del cultivo dentro de las canaletas creadas como surco alrededor de toda la nave de cultivo, y segundo, se observó que estos puntos fueron estratégicos por la cantidad de agua suficiente para tener una muestra representativa que se buscaba caracterizar. A continuación, se muestra los puntos de muestreo descritos.

8.3. Puntos de muestro en empresa Tucán 3

En la primera empresa visitada, los puntos de muestreo fueron dos; el primero se recolectó para riego directo de agua desde la maguera que suministra el riego habitual, y el segundo, se recolectó agua en la canal que se ubica al costado de los viveros que conduce al sumidero; esta agua se infiltra en el suelo y luego se vuelve a utilizar para riego. Para ambos puntos se equipó con la indumentaria de muestreo, usando guantes de nitrilo y recipientes de vidrio para tomar 2 L de muestra que, según el diseño de muestreo, es la alícuota necesaria para realizar los análisis en laboratorio. Las siguientes imágenes muestran la ubicación puntual donde se tomó las muestras.

Imagen 1. Primer sitio de muestro Tucán 3

Fuente: (Autores, 2024)

Imagen 2. Segundo sitio de muestro Tucán 3

Fuente: (Autores,2024)

8.4. Puntos de muestreo empresa Flores el progreso

En la segunda empresa se volvió a obtener las muestras desde dos puntos diferentes, el primero, se obtuvo dentro de la zona de cultivo, donde se tomó el agua de escorrentía superficial que puede contener contaminantes de importancia para nuestra investigación, ya que serían la base dentro de la caracterización de parámetros como contaminantes a remover. El segundo punto, al igual que en el caso de la empresa anterior se tomó de la canaleta que rodea el cultivo. Cabe mencionar que, se volvieron a tomar 2 L por punto de muestro, haciendo uso del equipo de protección y almacenando las muestras en recipientes de vidrio. A continuación, se observan las fotos de los sitios puntuales donde se hizo la recolección.

Imagen 3. Primer sitio de muestro Flores el progreso

Fuente: (Autores, 2024)

Imagen 4. Segundo sitio de muestro Flores el progreso

Fuente: (Autores, 2024)

8.5. Transporte de muestras

El transporte de las muestras se realizó en condiciones controladas, manteniendo la cadena de frío para preservar la integridad de las muestras hasta su llegada al laboratorio. Se registraron cuidadosamente todos los detalles del proceso, desde la ubicación exacta de cada punto de muestreo hasta las condiciones ambientales durante la recolección. Después de tomada la alícuota necesaria en cada punto de muestreo se rotuló con el nombre del punto, hora y fecha tomada. Y luego se almacenó en una nevera portátil para tenerla refrigerada hasta el siguiente día en su proceso de determinación.

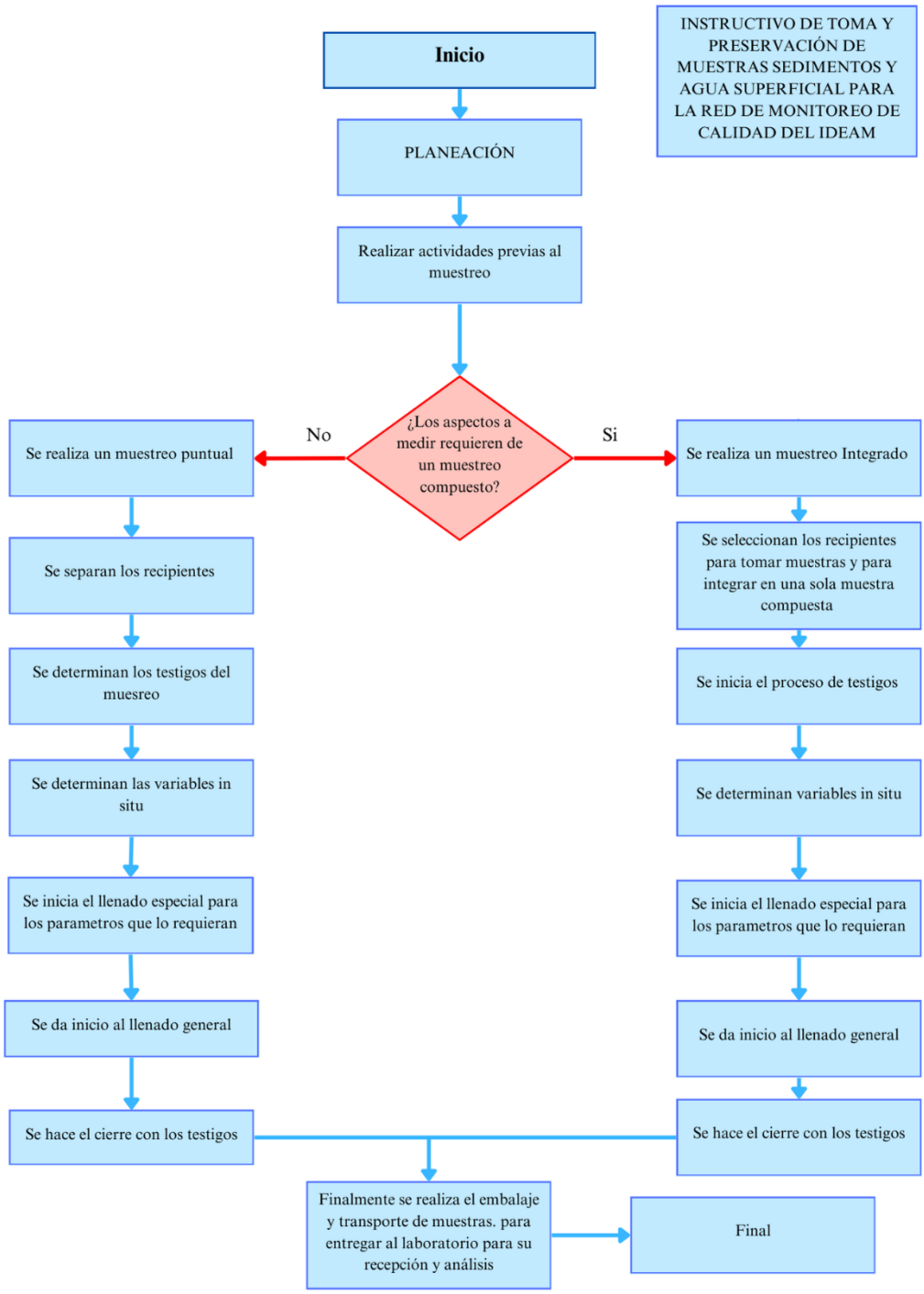
Una vez en el laboratorio, pasadas 24 horas después de la recolección de las muestras fueron sometidas a una serie de análisis según los estándares establecidos por el IDEAM, fechado el 21 de octubre de 2020, denominado "Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM" incluyendo pruebas de pH, y los otros parámetros según la normativa 1256 del 2021 y 1076 del 2015 esenciales para nuestra investigación.

8.6. Análisis de laboratorio

En este apartado se muestran la metodología con la que se analizó las muestras para determinar cada parámetro dentro de la caracterización del agua. Se indica primero los materiales usados en cada uno de los procesos y el procedimiento que se debe seguir. Esta información se encuentra más detallada en el anexo 1.1.

Además, en la imagen 5 se determina la estructura para llevar a cabo el diseño del muestreo, principalmente definiendo que tipo de muestra (simple o compuesta) se estipula para cada parámetro a medir.

Imagen 5. Diseño de muestreo



Fuente: (Autores, 2024)

8.7. Identificación de tecnologías de tratamiento

En cuanto a la identificación de las tecnologías de tratamiento para reúso y recirculación, se realizó una búsqueda de bibliografía con el fin de tener un procedimiento que permitió definir los trenes de tratamiento de aguas industriales, en la tabla 2 se muestra las fuentes consultadas en cuanto a estudios que han realizado investigaciones para la definición de tecnologías en el tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales.

Tabla 2. Bibliografía principal

Autor	Titulo
Cabrales, V (2021)	Metodología para la selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en un sistema regionalizado
Lozano & Gutiérrez (2017)	Herramienta de Selección de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales basada en Modelos de Decisión Multicriterio
Galvis et al (2005)	Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes, SELTAR
Romero (2010)	Tratamiento de aguas residuales industriales

Fuente: (Autores, 2024)

Dentro de las metodologías utilizadas por Cabrales, 2021 y Lozano & Gutiérrez, 2017, se explica que sus procedimientos para identificar sistemas de aguas residuales domésticas se hacen mediante la selección de softwares multicriterio, por lo cual, el autor estima un porcentaje para realizar una ponderación de las tecnologías, y se selecciona el tren de tratamiento con mayor o menor porcentaje, según el criterio del autor. En esta metodología su desarrollo incluye una revisión bibliográfica de estudios e investigaciones relacionados con la elección de tratamientos o sistemas de saneamiento de agua residual.

Por otro lado, Galvis et al, 2005 tiene una base de información y criterio de selección similar a la de los dos autores anteriores, sin embargo, esta establece trenes de tratamiento según el alcance de remoción de los contaminantes del agua, y las condiciones del lugar que se deben tener para poder implementarlas en el sitio esperado, por lo cual, se decidió escoger como procedimiento principal la metodología por Galvis et al, 2005. Cabe resaltar que la información de los esquemas tecnológicos y las condiciones ambientales fue tomada del documento realizado por la Corporación Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), esto para la ejecución del plan maestreo de acueducto y alcantarillado del municipio de Belmira.

Luego, se seleccionaron los posibles esquemas de tratamiento de aguas considerando el caudal de tratamiento, la temperatura del agua residual, nivel freático, pendiente y permeabilidad del sitio de implementación de la planta para cada tratamiento a nivel primario, secundario y terciario.

La metodología propuesta por Galvis et al, 2005, se tomó como soporte para realizar una matriz propia que permitió identificar los trenes de tratamiento óptimos para su aplicación, posterior a esto se adaptó algunos de estos trenes con tecnologías nuevas para el tratamiento en el uso industrial. En cuanto al cambio de las tecnologías se realizó una revisión bibliográfica, en la que se establece las nuevas tecnologías y por cuales se cambiaron, esto dependiendo de los criterios de remoción y adaptabilidad al sistema.

El libro de Romero, 2010 titulado “Tratamiento aguas residuales industriales” se usó como insumo para detallar tecnologías aceptables para tratar aguas industriales en Colombia y, así mismo, para descartar dentro de los trenes de tratamiento realizados por Galvis et al, 2005, las tecnologías no aptas para las aguas industriales.

A continuación, en la tabla 3 se muestra la bibliografía consultada al momento de realizar el cambio de tecnologías de tratamiento:

Tabla 3. Cambio de tecnologías propuestas

Autor	Titulo	Tecnologías Nueva	Tecnología Utilizada
Rodríguez et al (2006)	Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales	Reactor UASB	Tanque séptico
Tilley, E. et al (2018)	Compendio de Sistemas y tecnologías de saneamiento	Filtro anaerobio de flujo ascendente	Filtro de arena intermitente
Gonzales, W. & Núñez, M. (2021)	Eficiencia del proceso de cloración en la eliminación de coliformes termo tolerantes en una planta de tratamiento de agua potable	Cloración	Ninguna

Fuente: (Autores, 2024)

Estos cambios se hicieron debido a que el tanque séptico no sirve para el tratamiento de aguas residuales industriales debido a que estos residuos contienen una gran cantidad de contaminantes y sustancias químicas que no pueden ser tratados eficazmente por el sistema de tanque séptico. El tanque séptico es un sistema de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala que se utiliza principalmente para el tratamiento de aguas grises y negras en hogares y edificios residenciales (United States Enviormental Protection Agency, 2000).

Por otro lado, los filtros de arena intermitente no pueden ser utilizados en aguas residuales industriales debido a que no poseen la capacidad ni la eficiencia suficiente para manejar grandes cantidades de contaminantes y patógenos encontrados en aguas residuales industriales, estos sistemas están diseñados para tratar aguas domésticas y residuales de pequeños centros poblacionales. Además, agregar aguas residuales industriales a filtros de arena intermitentes podría saturarlos rápidamente y provocar la propagación de patógenos en vez de eliminarlos (EPA,1999).

Por su parte, la cloración es un método de desinfección eficaz que se utiliza para eliminar patógenos en aguas residuales, aguas superficiales y aguas potables, por lo cual, disponer de esta tecnología en un tren de tratamiento de nivel terciario es importante para hacer su reúso en otras actividades diferentes a la industrial (EPA,1999).

Una vez obtenido las modificaciones de los trenes de tratamiento con el cambio y/o adición de tecnologías, se propuso una matriz de remoción de contaminantes, esta se puede ver en la tabla 'Eficiencia de remoción de tecnologías', Esta matriz se construyó con la información de diversos autores que mostraban porcentajes de remoción de contaminantes con respecto a los distintos parámetros de caracterización de aguas que se querían comparar y remover para así hacer su reúso o recirculación según los límites máximos permisibles de la norma 1256 de 2021 y el decreto 1076 de 2015, y lo que el decreto 703 de 2018 corrija de este último, respectivamente.

En total en la matriz de remoción de contaminantes hay 31 autores diferentes, en cada uno de estos se mencionó la tecnología y su porcentaje de remoción de los contaminantes. Cabe señalar que como insumo principal se utilizó el articulo realizado por Rodríguez et al., 2015, en el cual establece una metodología para la selección de tecnologías en el tratamiento de aguas residuales municipales, esto ayudo a la adopción de dichos porcentajes para los objetivos de tratamiento, los cuales se adaptaron por los autores de esta monografía, esto para realizar un nuevo procedimiento de selección de esquemas tecnológicos.

En cuanto a los parámetros escogidos para realizar la matriz de remoción de contaminantes, estos están dividos entre físicos, químicos, nutrientes y biológicos; para la definición de estos parámetros, se tuvo en cuenta la norma 1256 de 2021, el decreto 1076 de 2015 y lo propuesto por Rodríguez et al., 2015. A continuación, se muestra la tabla 4 los parámetros que se añadieron a la matriz de remoción de contaminantes.

Tabla 4. Parámetros añadidos en la matriz de remoción

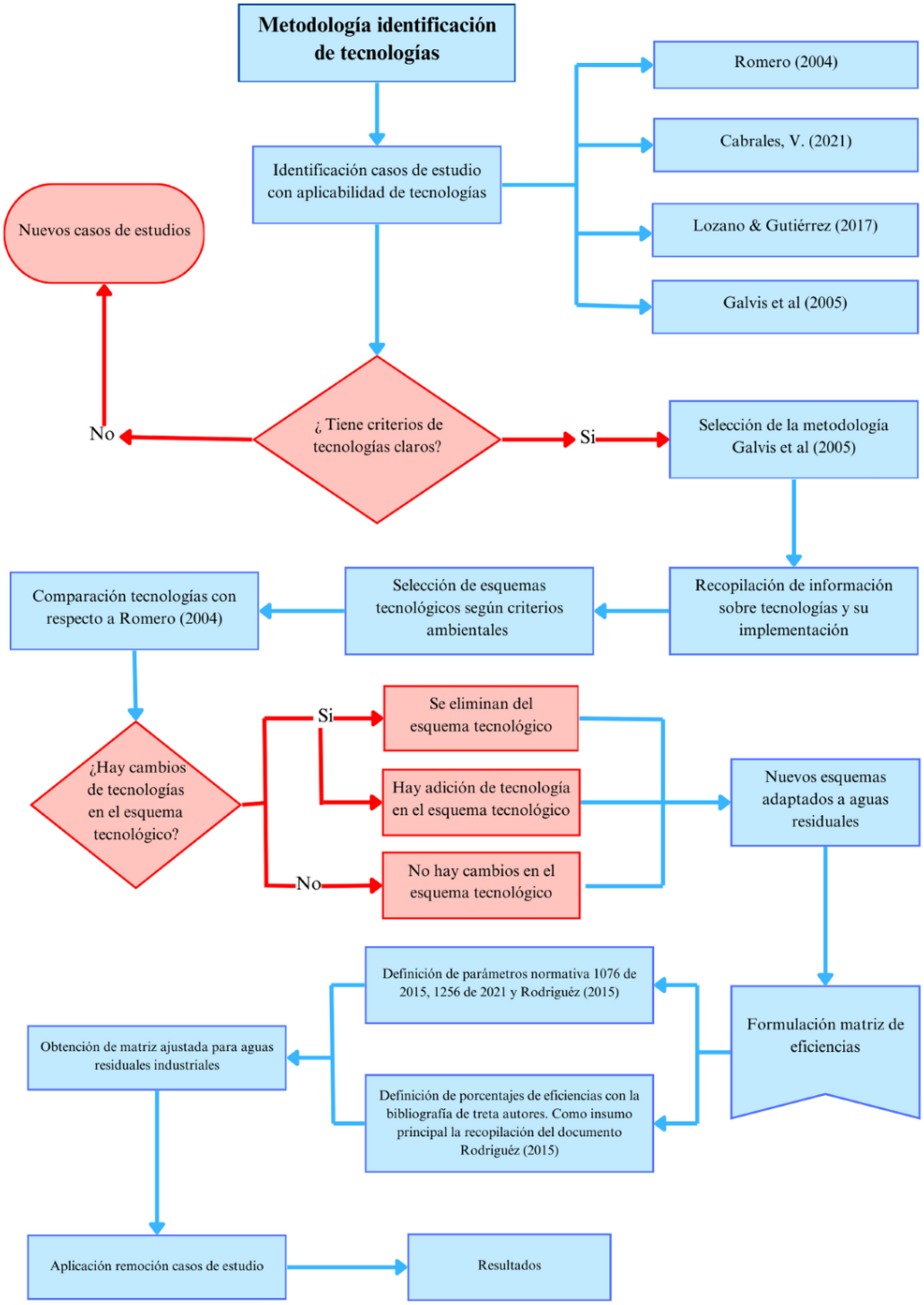
Parámetro	Abreviatura
Solidos suspendidos totales	SST
Turbidez	Turbidez
Demanda bioquímica de oxigeno	DBO_5
Demanda química de oxigeno	DQO
Nitrógeno amoniacal	$N\ NH_3$
Nitrógeno orgánico	N ORG
Nitratos	$N\ NO_3$
Nitrógeno total	N TOTAL
Fosfato	$P\ PO_4$
Fosforo total	P TOTAL
Sulfatos	SO_4
Coliformes totales	Coliformes totales
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Fuente: (Autores, 2024)

Al momento de obtener la matriz con los trenes de tratamiento adaptados y con las eficiencias de remoción que se indago en la bibliografía correspondiente, se obtuvo la matriz de eficiencias de remoción, la cual se adaptó al tratamiento de aguas residuales industriales, una vez llegado a este paso se procedió a hacer la simulación de tratamiento de cargas contaminantes de las aguas recolectadas en las empresas de floricultura.

A continuación, se muestra en la imagine 6 el diagrama de la metodología para la identificación de tecnologías y las eficiencias de remoción, esta imagen resume lo propuesto en este apartado del trabajo realizado.

Imagen 6. Metodología de identificación de tecnologías.



Fuente: (Autores, 2024)

8.8. Identificación casos para la aplicación de tecnologías

En cuanto a estudios de casos que se hayan aplicado para reúso y recirculación en la industria de floricultura, no hubo reportes de estudios previos o de aplicación de esquemas tecnológicos para este fin, por lo menos en Colombia. Sin embargo, se utilizó como insumo principal el documento "Caracterización y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de una empresa florícola" por Santillán, 2005, el cual es un documento en el que se realizó la caracterización del agua dentro de una empresa de floricultura, donde se obtuvo como resultado el análisis fisicoquímico de agua en postcosecha, como se muestra en la tabla 5, que sirvió para complementar datos de parámetros dentro de la matriz de eficiencia de remoción.

Tabla 5. Caracterización agua postcosecha de la empresa La florícola.

Parámetro	Expresado	Unidades	Valor
Caudal	Q	L/h	277,5
Potencial Hidrógeno	pH		8,16
Temperatura		°C	18,16
Conductividad eléctrica	CE		472,6
Solidos Suspendidos	SS	mg/L (ppm)	178
Solidos Totales	ST	mg/L (ppm)	330
Turbidez		FTU	77
Sulfatos	SO_4	mg/L (ppm)	37
Nitratos	NO_3	mg/L (ppm)	3,8
Nitritos	NO_2	mg/L (ppm)	0,8
Fosfatos	PO_4	mg/L (ppm)	16,5
Cromo Total	Cr	mg/L (ppm)	0,5
Cobre	Cu	mg/L (ppm)	0,1
Zinc	Zn	mg/L (ppm)	2
Cadmio	Cd	mg/L (ppm)	0,32
Nitrógeno Amoniacal	TKN	mg/L (ppm)	225
Demanda Química de Oxigeno	DQO	mg/L (ppm)	80
Demanda Bioquímica de Oxigeno	DBO_5	mg/L (ppm)	38,46
Coliformes Totales	NMP	microorganismos/100/ml	900

Fuente: (Santillán, 2005)

8.9. Metodología para la evaluación ambiental de esquemas tecnológicos

Posteriormente a la selección de los esquemas tecnológicos se realizó una evaluación ambiental con el fin de definir el impacto de las tecnologías seleccionadas. Para este proceso se llevó a cabo una adaptación de la metodología propuesta por CONESA 1997, en donde se evaluó por cada tecnología la generación de residuos, la emisión de gases de efecto invernadero, el consumo de energía y el uso de productos químicos necesarios dentro de la implementación y operación de las tecnologías. Cabe resaltar que la información con la que se evaluó la matriz proviene de información secundaria con respecto al impacto de los esquemas seleccionados.

Las características principales que contiene la matriz se dividieron en: componente (abiótico, biótico y socioeconómico), elemento (aire, suelo, agua y socioeconómico), actividades que hace referencia a la génesis del impacto, aspecto que se refiere al elemento derivado producto de la actividad generadora y por último la denominación del impacto

A continuación, en la tabla 6, se muestran los parámetros que se tuvieron en cuenta dentro de la evaluación ambiental, junto a la descripción de cada uno, el tipo de clasificación que se tiene para cada parámetro y el valor que tiene según la calificación dada.

Tabla 6. Criterios de parámetros de calificación importancia ambiental

Parámetro	Descripción	Calificación	Valor
SIGNO o CARÁCTER (+ / -)	El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados ya que determina el sentido del cambio producido por una acción del proyecto sobre el ambiente	Positivo (Benéfico)	+
		Negativo (Perjudicial)	-
MAGNITUD (M)	Se refiere al grado de trascendencia o incidencia de la acción sobre uno o más componentes ambientales. Se evalúa en una escala de 2 a 8.	Baja	2
		Media	4
		Alta	6
		Muy alta	8
EXTENSION (EX)	Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto, en el cual se manifiestan las consecuencias de las actividades contempladas.	Puntual	1
		Local	3
		Parcial	6
		Extenso	9
TENDENCIA (T)	Cambio o comportamiento que manifiesta el efecto de un impacto en la medida que transcurre el tiempo.	Decreciente	1
		Estable	2
		Creciente	3
		Exponencial	4
EXPOSICIÓN (EX)	Corresponde al periodo de tiempo y/o a la frecuencia con el que el impacto actúa o incide sobre cualquiera de los componentes del ecosistema. Se mide en una escala de 1 a 4, donde uno (1) es baja duración y cuatro (4) alta duración	Fugaz -esporádico	1
		Temporal-breve	2
		Frecuente-prolongado	3
		Permanente	4
RESILIENCIA (Rs)	Capacidad intrínseca del ecosistema y/o la comunidad receptora para absorber, tolerar o asimilar las perturbaciones generadas por la acción del hombre, sin alterar significativamente sus características estructurales y de funcionalidad, permitiéndole regresar a su estado original una vez que la perturbación haya terminado	Muy tolerante	
		Tolerante	2
		Sensible	3
		Intolerante-muy sensible	4

Parámetro	Descripción	Calificación	Valor
RECUPER-ABILIDAD (R)	lapso de tiempo que requiere un ecosistema y/o comunidad, después de haber sido objeto de un impacto para retornar a las condiciones originales, mediante el uso o aplicación de tecnologías que actúen como medidas correctivas. Se califica en una escala de 1 a 4, donde 1 es la mayor capacidad de recuperación y 4 es la menor capacidad de reconstrucción del ecosistema	Rápida	1
		Moderada	2
		Lenta	3
		Irrecuperable-perdurable	4
EFECTO (EF)	Se refiere a la forma cómo se manifiesta la relación Causa-Efecto sobre un elemento como consecuencia de una acción	Indirecto	1
		directo	4
ACUMULACIÓN (A)	Un impacto es acumulativo cuando al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incremento progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto	simple	1
		acumulativo	4
SINERGIA (S)	se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente. Así mismo, se incluye en este tipo aquel efecto cuyo modo de acción induce con el tiempo la aparición de otros nuevos	No sinérgico	1
		Sinérgico	6
IMPORTANCIA	La importancia del impacto ambiental se realizará mediante la sumatoria de las calificaciones otorgadas a los 10 parámetros anteriormente descritos como se muestra en la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que se ejecutará una mayor valoración en función del comportamiento para las variables de Magnitud, Extensión, Acumulación y Sinergia.	I.A.=±(Ef+M+E+T+Ex+Rs+R+A+S)	

Fuente: (Adaptación autores Conesa, 1993)

Así mismo, se determinó el porcentaje de probabilidad de ocurrencia de los impactos ambientales considerando el escenario sin intervención y con intervención sobre la implementación y operación para cada esquema tecnológico evaluado. En la matriz se determinó que valores cercanos al 100 % tienen una mayor probabilidad de ocurrencia del impacto ambiental y los valores cercanos a 0 % tienen menor probabilidad de ocurrencia del impacto ambiental en los dos escenarios propuestos. A continuación, en la tabla 7, se muestran

los valores de ocurrencia asignando un carácter cualitativo a cada uno de los rangos de probabilidad.

Tabla 7. Probabilidad de ocurrencia de impactos

Escenario sin intervención-Evidencia	Escenario con intervención -probabilidad de ocurrencia	
	%	Definición
Poco evidente	≤ 20	Prácticamente imposible que ocurra
Moderadamente evidente	21 – 40	Poco probable que ocurra
Evidente	41 – 60	Es posible que ocurra
Muy evidente	61 – 80	Bastante probable que ocurra
Destacado	>80	Ocurrirá con alto nivel de certeza

Fuente: (Adaptación autores Conesa, 1993)

Una vez culminada la evaluación, se realizó la sumatoria de los valores de cada parámetro para los esquemas tecnológicos, esto con el fin de determinar el nivel de impacto en cada uno de ellos como se ve en la tabla 8. A continuación, se muestra la tabla con los valores de niveles de importancia resultado de la calificación para la jerarquización del impacto ambiental clasificado en leve, menor, localizado y mayor. Cabe aclarar que no hay impactos con valores menores a 10 puntos en nivel de importancia y tampoco superiores a 47.

Tabla 8. Nivel de importancia de impacto ambiental

Jerarquización del nivel de importancia del impacto ambiental			
Nivel de importancia ambiental	Escala de consecuencias	Nivel de importancia	
		Impactos negativos	Impactos positivos
10.0 - 16	1	Leve	Leve
17-24	2	Menor	Menor
25-32	3	Localizado	Localizado
33-40	4	Mayor	Mayor
41-47	5	Masivo	Masivo

Fuente: (Adaptación autores Conesa, 1993)

Por último, se realizó la representación estadística como resultado de la evaluación ambiental obtenidos de cada esquema donde se obtuvo como resultado el carácter, la importancia, la significancia, los impactos y las actividades; para así comparar finalmente los esquemas tecnológicos entre ellos mismos y poder concluir cuales actividades generadoras tienen mayores impactos, mayor relevancias, mayor significancia para así poder visualizar en donde estarán destinadas las medidas de manejo ambiental.

8.10. Elaboración de medidas de manejo Ambiental

Para la elaboración de medidas de manejo de los impactos adjudicados a los esquemas de tecnologías que se evaluaron anteriormente, se siguió los pasos descritos en "Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales" propuesta por la ANLA en el año 2018 dictamina el contenido que debe tener las medidas de manejo, como se muestra a continuación:

- Objetivos de cada medida.
- Metas relacionadas con los objetivos identificados.
- Impactos para manejar por cada programa (con base en la evaluación de impactos).
- Tipo de medida (prevención, mitigación, corrección o compensación).
- Fases del proyecto en las que se implementaría medida
- Lugares de aplicación (ubicación cartográfica, siempre que sea posible).
- Descripción de acciones específicas a desarrollar.
- Relación de las obras propuestas a implementar
- Cronograma estimado de implementación de las medidas.
- Costos estimados de implementación de cada medida de manejo

Para la realización de cada ítem del plan de manejo a continuación se describe el contenido que debe tener cada aspecto.

Objetivos: en este apartado se detallaron los objetivos específicos que se pretendieron alcanzar con la implementación de cada medida

Metas relacionadas con los objetivos identificados: aquí se establecieron las metas cuantificables y cualitativas que se debían lograr para alcanzar los objetivos establecidos en cada programa y subprograma. Estas metas proporcionaron criterios claros para evaluar el éxito de las acciones implementadas.

Impactos a manejar por cada programa (con base en la evaluación de impactos): se describieron de manera detallada cada impacto ambiental que sería abordado por las medidas. Esto se fundamentó en la evaluación previa de los impactos ambientales del proyecto o actividad, donde se identificaron y analizaron los posibles efectos adversos sobre el medio ambiente.

Tipo de medida (prevención, mitigación, corrección o compensación): se especificó el enfoque de cada medida propuesta dentro cada medida de manejo. Podía tratarse de medidas de prevención contra impactos futuros, mitigación para reducir la magnitud de los impactos, corrección para remediar los efectos ya ocurridos, o compensación para contrarrestar los impactos negativos con acciones positivas.

Fases del proyecto en las que se implementaría cada medida: se indicó en qué etapas del proyecto se llevarían a cabo las acciones de cada medida. Esto pudo incluir desde la fase de planificación y diseño hasta la operación y cierre.

Lugares de aplicación (ubicación cartográfica, siempre que sea posible): se proporcionó información geográfica precisa sobre los sitios donde se implementarían las acciones de cada programa y subprograma.

Descripción de acciones específicas a desarrollar: se detallaron las medidas específicas que se llevarían a cabo para cumplir con los objetivos y metas establecidos en cada medida de manejo ambiental. Estas acciones pudieron incluir actividades técnicas, de monitoreo, educativas, de sensibilización, entre otras.

Cronograma estimado : se estableció un calendario tentativo que indicó el momento en que se ejecutarían las acciones. Sin embargo, no se realizaron los cronogramas en los planes de manejo debido a que no es un proyecto que requiera años para la realización de sus diferentes etapas, y su tiempo de ejecución son cortos.

Costos estimados de implementación de cada medida de manejo: se proporcionaron estimaciones de los costos asociados con la implementación de cada medida de manejo ambiental. Estos costos incluyeron recursos financieros necesarios para llevar a cabo las acciones propuestas, como materiales, personal, equipos, monitoreo, entre otros.

Cabe aclarar que, si el esquema tecnológico no presenta impactos negativos en la fase de implementación y operación, no se establece plan de manejo ambiental

9. MARCO TEÓRICO

9.1. Tratamiento de Remoción en agua

El tratamiento de remoción en agua es un proceso crucial para garantizar la seguridad y la calidad del agua destinada al consumo humano, así como para la protección del medio ambiente. A continuación, se muestra cada nivel.

- Niveles primarios: esta etapa, se eliminan las impurezas físicas más grandes del agua. El proceso comienza con el cribado, que consiste en pasar el agua a través de tamices para retirar objetos grandes como palos, hojas y residuos flotantes. Luego, el agua se somete a desarenado, donde se eliminan partículas de arena y otros sedimentos gruesos mediante sedimentación (Csuros, 2007).
- Niveles secundarios: esta fase se centra en la eliminación de contaminantes orgánicos y biológicos disueltos o en suspensión. Una técnica común es la oxidación biológica con lodos activados, donde microorganismos aeróbicos descomponen la materia orgánica. Este proceso se lleva a cabo en tanques de aireación, donde el agua se mezcla con microorganismos y oxígeno (Csuros, 2007).
- Niveles terciarios: esta etapa se aplica cuando se requiere un tratamiento adicional para eliminar contaminantes específicos o para alcanzar estándares de calidad más altos. Por ejemplo, la filtración avanzada puede eliminar partículas muy pequeñas y microorganismos que puedan haber sobrevivido al tratamiento secundario. La desinfección, utilizando métodos como la cloración o la irradiación ultravioleta, se emplea para eliminar bacterias, virus y otros patógenos (Csuros, 2007).

9.2. Muestreo de agua y caracterización

El muestreo de agua implica tomar muestras representativas del agua en diferentes puntos y momentos, lo que asegura que reflejen con precisión la calidad del agua en un área determinada. Estas muestras se analizan en laboratorio para caracterizar el agua, lo que implica lo siguiente.

- Análisis químico: determina la concentración de diferentes componentes químicos, como pH, oxígeno disuelto, nutrientes, metales pesados, pesticidas, entre otros.
- Análisis microbiológico: detecta la presencia y la cantidad de microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos, que pueden representar un riesgo para la salud humana.

La caracterización del agua proporciona información crucial para evaluar su calidad y determinar si cumple con los estándares de calidad requeridos para su uso previsto. Es necesaria esta información en la presente investigación ya que proporciona los datos que se necesitan como base comparativa frente a la norma de reúso (Csuros, 2007).

Dentro de la metodología del presente documento se encuentra más detallada el método que se siguió para establecer; los puntos, el diseño y la estrategia de toma de muestra.

9.2.1. Diferencias entre muestreo de agua, método simple y método compuesto

En el método simple de muestreo, se toma una sola muestra de agua en un solo punto y en un solo momento. Esta muestra se recoge directamente de la fuente de agua, utilizando un

recipiente estéril y siguiendo un protocolo específico para evitar la contaminación o alteración de la muestra. El método simple es útil cuando se necesita información puntual sobre la calidad del agua en un momento único determinado (IDEAM, 2018).

En el método compuesto de muestreo, se toman múltiples muestras de agua en un mismo punto y durante un período de tiempo determinado. Estas muestras individuales se recogen en intervalos regulares (por ejemplo, cada hora o cada día) y se combinan para formar una sola muestra compuesta. El objetivo de este método es obtener una representación más precisa de la calidad del agua a lo largo del tiempo, se promedia las variaciones que puedan ocurrir debido a factores como la fluctuación del caudal, las condiciones meteorológicas o las actividades humanas (IDEAM, 2018).

Se muestran las diferencias clave entre método simple y método compuesto.

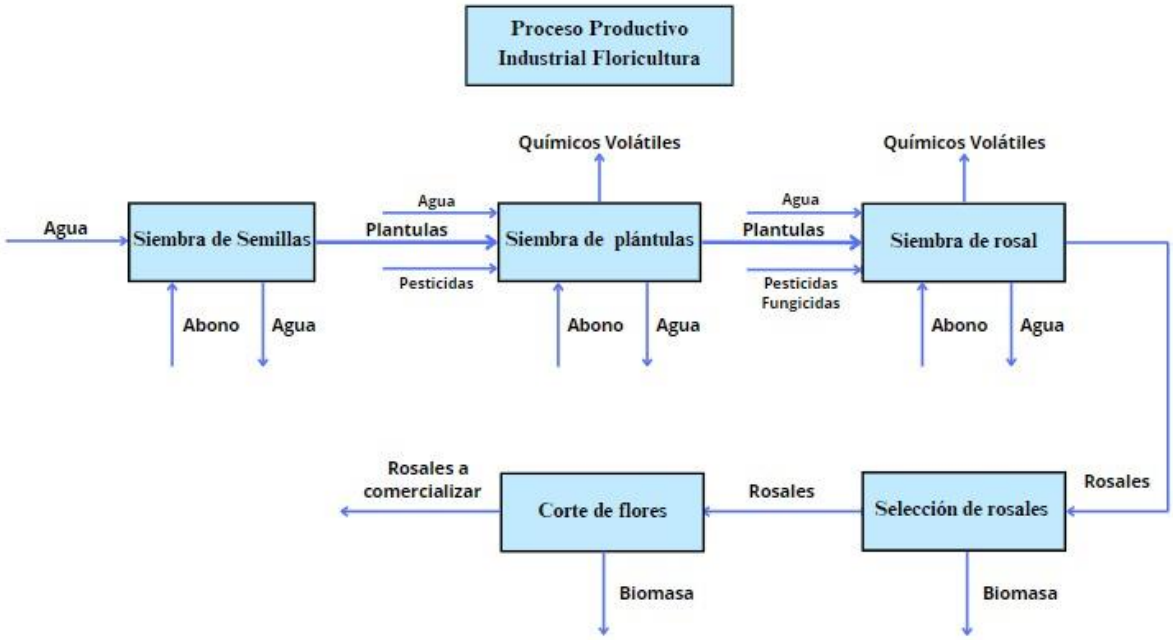
- Punto de muestreo: el método simple toma una muestra en un solo punto, mientras que el método compuesto recoge muestras en el mismo punto durante un período de tiempo determinado.
- Duración del muestreo: el método simple proporciona una instantánea de la calidad del agua en un momento específico, mientras que el método compuesto ofrece una visión más completa de las condiciones del agua a lo largo del tiempo.
- Representatividad: el método compuesto tiende a ser más representativo de las condiciones generales del agua en un área determinada, ya que tiene en cuenta las variaciones temporales, mientras que el método simple puede verse influenciado por condiciones específicas en el momento del muestreo (IDEAM, 2018).

9.3. Proceso productivo de floricultura

El proceso productivo de la floricultura implica una serie de pasos que van desde la selección de la semilla hasta la comercialización de las flores. A continuación, se muestra una descripción más detallada y en la imagen 7 se observa la entrada y salida de este proceso productivo.

- Selección de la semilla: se eligen variedades de flores adecuadas para el cultivo, considerando factores como el clima, el suelo y la demanda del mercado.
- Preparación del suelo: se prepara el terreno donde se cultivarán las flores, asegurando que tenga las condiciones óptimas de pH, nutrientes y drenaje.
- Siembra: las semillas o plantones se siembran en el suelo preparado, esto sigue las recomendaciones específicas para cada variedad de flor.
- Cuidado y mantenimiento: se llevan a cabo prácticas de riego, fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades para promover el crecimiento saludable de las plantas.
- Cosecha: las flores se cosechan cuando están en su punto óptimo de desarrollo y antes de que las flores se abran por completo. Esto se hace cuidadosamente para evitar dañar las flores.
- Empaque y distribución: las rosas se empacan cuidadosamente en cajas o envolturas especiales para protegerlas durante el transporte, dicho trasporte siempre sigue una cadena de frio para conservar la flor, luego se distribuyen a los mercados locales o se exportan a otros países (Csuros, 2007).

Imagen 7. Imagen. Proceso productivo en floricultura



Fuente: (Autores, 2024)

9.4. Descripción de empresas muestreadas

9.4.1. Empresa Flores el Tucán 3

Esta empresa se caracteriza por tener 11 Bloques, y cada bloque está constituido por 12 naves. Por bloque constituido hay un aproximado de 96 líneas o camas de flores; el riego se realiza manualmente; cada línea gasta un aproximado de 180 litros de agua, este proceso se hace por medio de una maguera que está conectado por tubos que direccionan el agua hacia los viveros, cabe resaltar que el agua utilizada es de agua lluvia y agua de riego infiltrada que mediante canaletas llega a su respectivo sumidero donde el agua es almacenada, y por acción de una motobomba se vuelve a recircular por el sistema de conducción para el riego. En épocas de altas lluvias, hay un sistema de desagüe del agua que hace que el sumidero se vierta a una quebrada ubicada cerca a los viveros.

La empresa Flores el Tucán 3 utiliza fungicidas como el lanzador e insecticidas como confidor, los cuales se riegan en una cantidad aproximada de 1.500 litros por cada bloque; el insecticida puede ser mezclado con nutrientes y se completa con agua un volumen de 1.500 litros para realizar su aspersión a las flores de manera manual, esto para combatir plagas como los trips, el pellozo, el polvoso, las arañas rojas y las moscas blancas.

La industria de floricultura tiene épocas de oferta y demanda, como es la temporada de San Valentín, en la cual exportar un 90 % de las flores cosechadas, y el otro 10 % es distribuido al mercado nacional, este porcentaje incluye flores que no cumplen ninguno de los estándares para ser comercializadas internacionalmente, ya sea porque se vieron afectadas por alguna plaga o por un bajo desarrollo. Las flores que no fueron comercializadas se convierten en compost, este proceso se hace mediante molienda y desinfección para volver a ser utilizadas como abono orgánico en los cultivos de flores. Cabe destacar que el suelo debe tener un pH optimo entre un valor de 5-6 y una conductividad eléctrica de 0.8 – 1 µS.

9.4.2. La Empresa Flores el Progreso S.A.S

La empresa Flores el Progreso maneja dos tipos de riego, el primero es por goteo y el segundo por manguera de forma manual, esto para reforzar el primer riego realizado. Diariamente se riega entre 3 a 5 veces dependiendo si el tiempo tiene predominancia seca o húmeda, debido a que cada planta consume de 2 a 3 litros por semana, y la tasa de evaporación puede cambiar haciendo que se necesite o no más agua. Es importante resaltar que una vez el agua que se infiltre puede llegar a acuíferos y contaminar las aguas subterráneas, debido a que el mayor volumen de agua de riego por área tiende a infiltrarse en el suelo y solo un porcentaje del mismo riego termina decantado al canal alrededor de la nave y se vuelve a reutilizar por conducción.

El agua utilizada por la empresa es solamente de agua lluvia, esta empresa utiliza el principio de recirculación del agua que es almacenada y trasportada por conducción a través de las canaletas para volverla a usar en el riego. En comparación a Tucán 3 esta empresa presenta un riego por goteo, convirtiéndose en un sistema más sofisticado, donde se suministra aproximadamente 95 cm^3 de agua por planta. Esta finca tiene entre 200 a 300 plantas de flores en las que destacan rosas blancas, rojas y amarillas.

Los parámetros del suelo deben estar acondiciones de pH neutro entre 5 a 6 y conductividad eléctrica entre 0.8 – 1 μS, los suelos de las dos empresas manejan parámetros iguales con respecto al suelo.

9.5. Matriz de eficiencia de remoción

Las matrices de eficiencia de remoción son herramientas que muestran la capacidad de un sistema de tratamiento de aguas para eliminar contaminantes específicos durante cada etapa del proceso. Estos cuadros suelen incluir información sobre la eficiencia de remoción de diferentes contaminantes, como sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes y microorganismos patógenos, en cada etapa del tratamiento. Por ejemplo, un cuadro de eficiencia de remoción para un sistema de tratamiento de agua residual puede mostrar cuánto es el porcentaje de un contaminante específico en ser eliminado dentro del proceso de sedimentación primaria, oxidación con lodos activados y desinfección final (Csuros, 2007).

9.6. Evaluación ambiental y medidas de manejo ambiental para la tecnología seleccionada

Evaluación ambiental: este proceso implica la evaluación de los posibles impactos ambientales de las tecnologías, y las actividades referentes a la misma. Se consideran aspectos como la calidad del aire, agua y suelo, la biodiversidad, el paisaje, la salud humana y entre otros. La evaluación ambiental suele llevarse a cabo para desarrollar la identificación, evaluación y control de los impactos ambientales adversos.

Plan de Manejo Ambiental (PMA): es un documento que establece las medidas y acciones específicas que se deben tomar para prevenir, mitigar o compensar los impactos ambientales identificados en la evaluación ambiental. El PMA es una herramienta práctica que guía la implementación de prácticas ambientalmente responsables durante todas las etapas de desarrollo de la tecnología.

9.7. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Las tecnologías de tratamiento sirven para que la depuración de contaminantes en aguas residuales sea posible mediante métodos químicos, físicos y biológicos que, combinados con

estructuras hidráulicas, conocimientos adecuados y el perfil de calidad del agua a tratar, tengan las eficiencias de remoción adecuadas para su posterior uso, según las metas u objetivos que se tenga nuevamente en el uso del recurso hídrico. La oxidación avanzada, la ósmosis inversa, la filtración por membranas y los biorreactores de membrana son algunas de las tecnologías innovadoras que se están utilizando para abordar de manera más eficiente la contaminación del agua (Noyola et al, 2013).

Por su parte, el tratamiento de aguas residuales en el sector agrícola es un tema crítico para la sostenibilidad ambiental y económica de las empresas. Existen diversas tecnologías y soluciones para el tratamiento de aguas residuales, que permiten la recuperación de recursos valiosos, la reducción de costos operativos y la minimización del impacto ambiental, sin embargo, muchas empresas no tienen conciencia sobre los efectos adversos generados por la gestión inadecuada de las aguas residuales. Las nuevas tecnologías de tratamiento son avances fundamentales para encargarse de los desafíos a la contaminación del agua y la sostenibilidad ambiental del recurso hídrico (Noyola et al, 2013).

Los modelos de selección de selección de tecnologías son herramientas multicriterio que ayudan a que el autor tenga una visión sobre los pesos de los aspectos y/o criterios utilizados para la selección de dichas tecnologías; esto por su parte va a depender de aspectos económicos, sociales y ambientales. En el caso de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales se necesitan las características ambientales del sitio de implementación, las dimensiones de las tecnologías, el caudal de tratamiento, las características físico-químicas y biológicas del agua y los objetivos de remoción.

Así mismo, han existido varios modelos que sirvieron como insumo para la selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales para Colombia, estos incorporan un modelo de decisión multicriterio que se adapta a las características ambientales mencionadas. La metodología implementada para el desarrollo de esta herramienta incluye una revisión bibliográfica de estudios e investigaciones relacionados con la elección de tratamientos o sistemas de saneamiento de agua residual (Gutiérrez & Rodríguez, 2017). Además, se ha realizado una revisión bibliográfica sobre diseños de tratamiento de aguas residuales basada en modelos de decisión multicriterio, lo que resalta la relevancia y el interés en el desarrollo y aplicación de estos modelos en el campo del tratamiento de aguas residuales (Cabrales, 2021).

9.8. Importancia de las guías en la selección de tecnologías de tratamiento

En Colombia, la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales ha sido de suma importancia debido a la diversidad de contextos y necesidades presentes en los municipios del país. Algunos estudios y guías se han enfocado en desarrollar metodologías y herramientas de apoyo para la toma de decisiones en este ámbito. Por ejemplo, la "Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas" ha sido desarrollada como una herramienta de soporte para la toma de decisión en los municipios de Colombia, que considera aspectos ambientales, económicos, técnicos y sociales. Esta guía se basa en la definición de criterios cuantitativos y cualitativos, así como en la identificación de escenarios de aplicación que reflejen las particularidades de cada municipio (Cabrales, 2021).

Además, se ha realizado un trabajo de evaluación de distintas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Socorro, Santander, donde se aplicó una metodología basada en modelos de decisión multicriterio. Este enfoque permitió considerar las

características específicas de dicho municipio y proponer soluciones a sus necesidades (Abril & Galvis, 2022).

Así mismo, se ha publicado una "Guía de Selección de Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Métodos Naturales", la cual aborda aspectos como la infraestructura de acueducto y alcantarillado, el área requerida por la tecnología y las características del agua residual (Bernal et al, 2013).

Estos esfuerzos evidencian la importancia de contar con guías y metodologías específicas para la selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Colombia, con el fin de atender las particularidades de cada región y municipio. El enfoque en criterios ambientales, económicos, técnicos y sociales, así como la consideración de escenarios de aplicación, son aspectos relevantes que buscan garantizar la efectividad y sostenibilidad de las soluciones de tratamiento de aguas residuales en el país.

9.9. Selección de tecnologías

El tratamiento efectivo de las aguas residuales es esencial para la recuperación del recurso hídrico, esto con el fin de que el agua siga con su ciclo natural, además de que esta pueda ser aprovechada por la posible reutilización que se le puede dar. Por lo cual, las tecnologías a utilizar deben ser las más indicadas para que este proceso tenga un mínimo impacto ambiental y se pueda conseguir los objetivos de remoción de contaminantes esperados (Plakas et al.,2016).

El proceso de selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales es un problema complejo que involucra múltiples criterios y objetivos. Los modelos de decisión multicriterio (MCDM) son herramientas que permiten considerar varios criterios y objetivos que al mismo tiempo proporcionan una estructura sistemática para la toma de decisiones; unos de los modelos más utilizados han sido AHP, TOPSIS y PROMETHEE (Belton & Stewart, 2002).

El uso de sistemas de soporte de decisión han sido importante en los procesos de tratamiento de aguas residuales desde la década de 1960, esto debido a que unos de los problemas principales era el diseño y la puesta en marcha de estos sistemas de atamiento, debido a la complejidad que se tenía en cuenta a las situaciones que se presentaban en la falta de equipos e instrumentos, control y mantenimiento en los equipos de los procesos unitarios, por lo cual se convirtieron en uno de los instrumentos útiles para la optimización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Mannina et al., 2019).

Los primeros en utilizar MCDM en la selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales fueron Tecle et al., 1988; en el cual se evaluaron 3 métodos, el primero llamado Compromise Programming (CP) , ELECTRE – 1 y la Teoría del Juego Cooperativo (CGT); en todas se identificó la mejor alternativa con respecto a los criterios que utilizaron; cabe resaltar que en dicho estudio no se tuvieron criterios energéticos y de sostenibilidad para la selección de tecnologías; por lo cual, los estudios que se han ido actualizando a lo largo de los años han tenido en cuenta parámetros que no pueden ser cuantificables en comparación con los parámetros técnicos de una tecnología tradicional, como perspectivas de las partes interesadas, aceptabilidad de la tecnología, molestias por la ejecución de la tecnología, entre otros (Munasinghe-Arachchige et al., 2020).

Por su parte, algunos proyectos toman en consideración aspectos como confiabilidad, complejidad en la implementación, eficiencia de remoción, costos, impacto ambiental y

sostenibilidad. En estos se pueden generar indicadores como la necesidad de personal; la aplicabilidad; la necesidad de equipo importado y eficiencias de remoción en parámetros de calidad de agua. Así mismo, se establecen indicadores de costos más allá de los convencionales como costos por consumo de energía, costos del área requerida y costos por disposición de residuos. Existe otros criterios ambientales como impacto por olores ofensivos, ruido y contaminación visual; potencial de eutrofización; generación de lodos y como criterio de sostenibilidad la reutilización del agua tratada (Mahjouri et al., 2017).

En Colombia, hay varios estudios que involucran una revisión bibliográfica exhaustiva, indicando los parámetros y criterios para seleccionar las tecnologías y una posible implementación de equipos para eliminar contaminantes según la caracterización del agua residual; además, se muestran casos de éxito en la aplicación y desarrollo de las tecnologías. Cabe resaltar que no ha habido una metodología estandarizada o establecida, aun cuando en la legislación y normativa vigente se consideran algunos principios y criterios para la selección del tratamiento de las aguas residuales, específicamente no se establece una metodología apropiada; por lo cual, es importante instituir una metodología que se ajuste a las necesidades para la sostenibilidad del recurso hídrico en los diferentes usos del agua, y además se tenga en cuenta atributos técnicos, económicos y ambientales (Rodríguez Miranda et al, 2015).

9.10. Marco Normativo

En este apartado se anexan todas las resoluciones, decretos y leyes especificando puntualmente donde se encuentra la información normativa necesaria para la investigación. Por esto mismo se consultó toda la normativa referente al reúso de agua en Colombia y se definen los valores admisibles transitorios para el agua en el decreto 1076 del 2015 en los diferentes sectores de destino de uso.

9.10.1. Resolución 1256 De 2021

Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

Dentro de esta norma se encuentra en el artículo 6 los destinatarios finales para el agua residual tratada. Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos:

1. Uso Agrícola. Para el riego de:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
- Jardines en áreas no domiciliarias.

2. Uso Industrial. En actividades de:

- Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas.

- Descarga de aparatos sanitarios.
- Limpieza mecánica de vías.
- Riego de vías para el control de material particulado.
- Sistemas de redes contraincendios.

Cabe resaltar tener en cuenta el Parágrafo 1°. Cuando el agua residual tratada se utilice en la descarga de aparatos sanitarios, las aguas residuales resultantes deberán someterse a tratamiento como agua residual no doméstica.

Parágrafo 2°. En lo que respecta a los cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales, y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos, puede usarse el agua residual tratada para riego siempre y cuando se cumplan las normas de la autoridad sanitaria y agrícola en el ámbito de sus competencias.

9.10.2. Decreto 1076 De 2015

Expedida por la Republica de Colombia, por el cual se establece el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. A continuación, se presentan la información dada en la sección 9 “disposiciones transitorias” dentro del decreto, el cual tiene como fin exponer los valores permisibles que debe tener el agua para usarse dentro de cada industria o sector referente.

Tabla 9. Tratamiento convencional y criterios de calidad para Consumo humano y domestico en la 1076 del 2015

Referencia	Expresado como	Valor
Amoniaco	N	1
Arsénico	As	0,05
Bario	Ba	1
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN-	0,2
Zinc	Zn	15
Cloruros	Cl-	250
Cobre	Cu	1
Color	Color real	75 unidades, escala platino - cobalto
Compuestos Fenólicos	Fenol	0,002
Cromo	Cr+6	0,05
Difenil policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0,002
Nitratos	N	10
Nitritos	N	1
pH	Unidades	5,0-9,0
Plata	Ag	0,05
Plomo	Pb	0,05
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	SO-4	400
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0,5
Coliformes totales	NMP	20.000
Coliformes fecales	NMP	2000

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 adaptada por autores, 2024)

Tabla 10. Criterios de calidad para Desinfección y criterios de calidad de consumo humano y domestico a en la 1076 del 2015

Referencia	Expresado como	Valor
Amoniaco	N	1
Arsénico	As	0,05
Bario	Ba	1
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN-	0,2
Zinc	Zn	15
Cloruros	Cl-	250
Cobre	Cu	1
Color	Color real	20 unidades, escala platino - cobalto
Compuestos Fenólicos	Fenol	0,002
Cromo	Cr+6	0,05
Difenil policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0,002
Nitratos	N	10
Nitritos	N	1
pH	Unidades	6,5 -8,5
Plata	Ag	0,05
Plomo	Pb	0,05
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	SO-4	400
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0,5
Turbiedad	UJT	10 unidades Jackson de Turbiedad, UJT
Coliformes totales	NMP	1.000 microorganismos/100 ml.

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 adaptada por autores, 2024)

Tabla 11. Criterios de calidad para uso agrícola en la 1076 del 2015

Referencia	Expresado como	Valor
Aluminio	N	5,0
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
Zinc	Zn	2
Cobalto	Co	0,05
Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr+6	0,1
Fluor	F	0,002
Hierro	Fe	5,0
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01
Niquel	Ni	0,2
pH	Unidades	4,0-9,0
Plomo	Pb	5,0
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0.1

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 adaptada por autores, 2024)

Tabla 12. Resolución 1256 del 2021 criterio de calidad para Uso agrícola

Referencia	Expresado como	Valor
conductividad	µS/cm	1.500
Fenoles Totales	mg/L	0.2
Hidrocarburos Totales	mg/L	1,0
Cianuro Libre	mg CN^-/L	0,20
Cloruros	mg CL^-/L	300
Fluoruros	Mg F^-/L	1
Sulfatos	Mg SO_4^{2-}/L	500
Mercurio	Mg Hg/L	0.001
Sodio	Mg Na/L	200
Antimono	Mg Sb/L	0.1
Cloro Total Residual	Mg Cl_2/L	<1.0
Nitratos	Mg N/L	11

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 Adaptada por autores, 2024)

Tabla 13. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario en la 1076 del 2015

Referencia	Expresado como	Valor
Coliformes Fecales	NMP	200 microorganismos/100mL
Coliformes Totales	NMP	1000 microorganismos/100mL
Compuestos Fenólicos	Fenol	0,002
Oxígeno disuelto	-	70% concentración saturada
pH	Unidades	5,0-9,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	0,5

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 adaptada por autores, 2024)

Tabla 14. Criterios de calidad para Vertimiento al agua y exigencias mínimas en la 1076 del 2015

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	= 40ºC	40ºC
Material Flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción = 80% en carga	Remoción = 80% en carga
Solidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción = 50% en carga	Remoción = 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción = 30% en carga	Remoción = 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción = 20% en carga	Remoción = 80% en carga

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 adaptada por autores, 2024)

Tabla 15. Criterios de calidad para Vertimiento al alcantarillado público en la 1076 del 2015

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	
Temperatura	<40ºC	-
Ácidos, bases o sustancias inflamables	Ausente	-
Solidos sedimentables	< 10mL/L	-
Sustancias solubles en hexágono	<100mL/L	-
Solidos suspendidos para desechos domésticos e industriales	Remoción > 50% en carga	-
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Fuente: (Decreto 1076 del 2015 adaptada por autores, 2024)

9.10.3. Constitución política de la república de Colombia 1991

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Además, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas de las zonas fronterizas.

10. RESULTADOS

En este apartado se presenta los resultados obtenidos en la caracterización del agua muestreada en las dos empresas de floricultura, así mismo, se muestra los resultados basados en la bibliografía secundaria consultada en donde se obtiene los esquemas seleccionados con el cuadro de eficiencias de remoción de contaminantes, y finalmente se hace una aproximación de los costos de adquisión de los trenes de tratamiento seleccionados con sus respectivas tecnologías.

10.1. Resultados de laboratorio para las muestras de agua

De la tabla 16 a la 19 muestran los resultados de los parámetros analizados en las muestras de agua y su comparación con la norma 1076 de 2015 y la resolución 1256 de 2021 para uso agrícola.

Tabla 16. Resultados muestra de agua en canal Tucán 3

Tucán canal	Valores	Unidades	Comparación
pH	6,814	-	No Cumple
Conductividad	549	µS/cm	Cumple
Cloro Libre	2,28	mg/L	No Cumple
Turbidez	223	NTU	No Cumple
Oxígeno Disuelto	0,54	mg/L	No Cumple
Cloruros	40,05	mg/L	Cumple
Solidos Suspendidos	110	mg/L	Cumple
Solidos Disueltos	600	mg/L	Cumple
Olor	Si	-	

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 17. Resultados muestra de agua de riego Tucán 3

Tucán canal	Valores	Unidades	Comparación
pH	7,074	-	No Cumple
Conductividad	303,98	µS/cm	Cumple
Cloro Libre	0	mg/L	No Cumple
Turbidez	1,19	NTU	No Cumple
Oxígeno Disuelto	3,1	mg/L	No Cumple
Cloruros	19,143	mg/L	Cumple
Solidos Suspendidos	162	mg/L	Cumple
Solidos Disueltos	200	mg/L	Cumple
Olor	No	-	

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 18. resultados muestra de agua en suelo El Progreso

El progreso suelo	Valores	Unidades	Comparación
pH	7,694	-	No Cumple
Conductividad	1792,4	µS/cm	No Cumple
Cloro Libre	5	mg/L	No Cumple
Turbidez	801	NTU	No Cumple
Oxígeno Disuelto	2,06	mg/L	No Cumple
Cloruros	61,3285	mg/L	Cumple
Solidos Suspendidos	1998	mg/L	No Cumple
Solidos Disueltos	2414	mg/L	No Cumple
Olor	No	-	

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 19. Resultados muestra de agua en canal El progreso

El progreso canal	Valores	Unidades	Comparación
pH	7,062	-	No Cumple
Conductividad	157,8	µS/cm	Cumple
Cloro Libre	0,49	mg/L	Cumple
Turbidez	48,7	NTU	No Cumple
Oxígeno Disuelto	3,51	mg/L	No Cumple
Cloruros	18,434	mg/L	Cumple
Solidos Suspendidos	138	mg/L	Cumple
Solidos Disueltos	750	mg/L	Cumple
Olor	No	-	

Fuente: (Autores, 2024)

10.2. Resultados de esquemas de Selección

Para hacer posible el reúso o recirculación del agua residual del sector de floricultura es necesario implementar tecnologías para disminuir la carga contaminante y así poder darle una sostenibilidad al recurso hídrico. En este apartado se dan a conocer, mediante esquemas de la metodología propuesta por Galvis et al. 2005, las posibles combinaciones de tecnologías para el tratamiento del agua en cuanto a las condiciones ambientales de las dos empresas de floricultura El Tucán 3 y El Progreso en Nemocón, Cundinamarca.

Según el nivel de tratamiento, se tiene diferentes esquemas tecnológicos, esto depende de las condiciones de diseño y ambientales que presente la zona, se tiene cuenta el caudal del agua residual, la temperatura, la permeabilidad del suelo, el nivel freático y la pendiente de la zona

Dentro de la nomenclatura para los esquemas tecnológicos se distingue entre P, S, TN y TP, donde P indica tratamiento primario, S indica tratamiento Secundario, TN indica tratamiento terciario para nutrientes y TP indica tratamiento terciario para patógenos. En el anexo 1 se tiene el listado de abreviaturas de las tecnologías que conforman los esquemas tecnológicos

A continuación, se muestra la clasificación de los esquemas según las condiciones ambientales y de diseño que se deben tener en cuenta para la implementación de la tecnología:

Tabla 20. Selección de la tecnología en Función del Caudal de agua residual

Caudal (L/s)	Esquemas tecnológicos nivel primario	Esquemas tecnológicos nivel secundario
≤ 5	P1, P2, P3, P4, P5	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30, S31, S32, S33

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Caudal (L/s)	Esquemas tecnológicos nivel terciario nutrientes	Esquema tecnológico nivel terciario patógenos
≤ 5	TN1, TN2, TN3, TN4, TN5, TN6, TN7, TN8, TN9, TN10, TN11, TN12, TN13, TN14, TN15, TN16, TN17, TN18, TN19, TN20, TN21, TN22, TN23, TN24, TN25, TN26, TN27, TN28, TN29, TN30, TN31, TN32	TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6, TP7, TP8, TP9, TP10, TP11, TP12 TP13, TP14, TP15, TP16, TP17, TP18, TP19, TP20, TP21, TP22, TP23, TP24, TP25, TP26, TP27, TP28

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Se estima que el caudal de infiltración sea ≤ 5, por las dimensiones de las naves en el cultivo de flores y por la cantidad de agua de riego que se suministra con el fin de que no exista exceso de agua.

Tabla 21. Selección del esquema tecnológico en función de la temperatura del agua residual

Temperatura (ºC)	Esquemas tecnológicos nivel primario	Esquemas tecnológicos nivel secundario
> 10	P1, P2, P3, P4, P5	S1, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S12, S13, S14, S15, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S32, S33

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Temperatura (ºC)	Esquemas tecnológicos nivel terciario nutrientes	Esquema tecnológico nivel terciario patógenos
> 10	TN7, TN8, TN9, TN10, TN11, TN12, TN13, TN14, TN15, TN16, TN17, TN18, TN19, TN20, TN21, TN22, TN23, TN24, TN25, TN26, TN27, TN28, TN29, TN30, TN31, TN32	TP1, TP4, TP5, TP6, TP7, TP8, TP9, TP10, TP11, TP12, TP13, TP14, TP15, TP22, TP23, TP24, TP25, TP28

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Se estima mediante el análisis de calidad de agua se encuentra que el promedio de temperatura del agua residual tiene valores mayores a 10 °C.

Tabla 22. Selección del esquema tecnológico en función del nivel freático del sitio de planta

Nivel Freático (m)	Esquemas tecnológicos nivel primario	Esquemas tecnológicos nivel secundario
≤ 5	P1, P2, P3	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S18, S19, S20, S21, S22, S23

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Nivel Freático (m)	Esquemas tecnológicos nivel terciario nutrientes	Esquema tecnológico nivel terciario patógenos
≤ 5	TN1, TN2, TN3, TN4, TN5, TN6, TN7, TN8, TN9, TN10, TN11, TN12, TN13, TN14, TN15, TN16, TN17, TN18, TN27, TN28, TN29, TN30, TN31, TN32	TP1, TP28, TP16, TP17

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Se encontró mediante un análisis de muestreo de suelos realizado en el municipio de Nemocón en el que dictamina que el nivel freático de los suelos está en un aproximada a 0,40 m (Jiménez, 1994). Lo que supone que El Progreso tienen un Nivel freático menos o igual a 5 metros, igualmente para los suelos de la empresa EL Tucán 3.

Tabla 23. Selección del esquema tecnológico en función de la pendiente del sitio de planta

Pendiente (%)	Esquemas tecnológicos nivel primario	Esquemas tecnológicos nivel secundario
> 5	P1, P2, P3	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Pendiente (%)	Esquemas tecnológicos nivel terciario nutrientes	Esquema tecnológico nivel terciario patógenos
> 5	-	TP1, TP28

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Se encuentra mediante un análisis cartográfico sobre el Shapefile de pendiente del POMCA del rio Bogotá que ambas empresas presenta una pendiente entre 3 – 5 % en el terreno donde se puede implantar las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. Se puede observar el mapa en el anexo 17.

Tabla 24. Selección del esquema tecnológico en función de la permeabilidad del sitio de planta

Permeabilidad (mm/h)	Esquema tecnológico primario	Esquema tecnológico secundario
≤ 5	P1, P2, P3, P4	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S14, S16, S18, S20, S22, S24, S26, S28, S30, S32

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Permeabilidad (mm/h)	Esquemas tecnológicos nivel terciario nutrientes	Esquema tecnológico nivel terciario patógenos
≤ 5	TN1, TN3, TN5, TN7, TN9, TN11, TN13, TN15, TN17, TN19, TN21, TN23, TN25, TN27, TN29, TN31	TP1, TP2, TP4, TP6, TP8, TP10, TP12, TP14, TP16, TP18, TP20, TP22, TP24, TP26, TP28

Fuente: (Galvis et al. ,2005)

Se encuentra mediante la información proporcionada por la CAR que los suelos de Nemocón tienen una permeabilidad de ≤ 5 (mm/h), la empresa El Progreso presenta una familia de suelo franca arcillosa, también se encuentra una familia franca gruesa. Por su parte, la Empresa el Tucán 3 tiene suelos superficiales, pobremente drenados, texturas muy finas, muy fuertemente ácidos y fertilidad natural alta.

Posteriormente, al análisis de las características ambientales en donde se va a implementar las tecnologías para la depuración del agua, se hace una agrupación de los esquemas tecnológicos que coinciden en las variables de Caudal, Temperatura, Nivel freático, Pendiente del Terreno y Permeabilidad. Esto quiere decir que son las tecnologías que cumplen con los aspectos ambientales del lugar, para esto se realizaron 3 tablas que tienen los esquemas a escoger, esto por los 3 niveles de tratamiento. En el anexo 1 se puede observar el significado las abreviaturas para cada una de las tecnologías y los trenes de tratamiento.

Tabla 25. Integración de los esquemas de Selección Nivel Primario

NIVEL DE TRATAMIENTO PRIMARIO			
ASPECTO TECNOLÓGICO	**CONDICIÓN**	**ESQUEMA TECNOLÓGICO SOSTENIBLE**	**ESQUEMAS TECNOLÓGICOS COMUNES**
Caudal (L/s)	≤ 5	P1, P2, P3, P4, P5	P1, P2, P3, P4
Temperatura (ºC)	> 10	P1, P2, P3, P4, P5	
Nivel Freático (m)	≤ 5	P1, P2, P3	
Pendiente Terreno (%)	> 5	P1, P2, P3	
Permeabilidad (mm/h)	≤ 5	P1, P2, P3, P4	

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 26. Integración de los esquemas de Selección Nivel Secundario

NIVEL DE TRATAMIENTO SECUNDARIO			
ASPECTO TECNOLÓGICO	**CONDICIÓN**	**ESQUEMA TECNOLÓGICO SOSTENIBLE**	**ESQUEMAS TECNOLÓGICOS COMUNES**
Caudal (L/s)	≤ 5	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20 S21, S22, S23, S24, S25, S26 S27, S28, S29, S30, S31, S32 S33	S1, S4, S5, S7, S8, S9
Temperatura (ºC)	0 – 10	S1, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S12, S13, S14, S15, S18, S19 S20, S21, S22, S23, S24, S25 S32, S33	
Nivel Freático (m)	< 2	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 S9, S10, S11, S12, S13, S18 S19, S20, S21, S22, S23	
Pendiente Terreno (%)	> 5	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 S9, S10, S11	
Permeabilidad (mm/h)	≤ 5	S1, S2, S3, S4, S5, S7, S8, S9 S10, S11, S12, S14, S16, S18 S20, S22, S24, S26, S28, S30 S32	

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 27. Integración de los esquemas de Selección Nivel Terciario de Nutrientes

NIVEL DE TRATAMIENTO TERCIARIO REMOCIÓN DE NUTRIENTES			
ASPECTO TECNOLÓGICO	**CONDICIÓN**	**ESQUEMA TECNOLÓGICO SOSTENIBLE**	**ESQUEMAS TECNOLÓGICOS COMUNES**
Caudal (L/s)	≤ 5	TN1, TN2, TN3, TN4, TN5, TN6 TN7, TN8, TN9, TN10, TN11 TN12, TN13, TN14, TN15, TN16 TN17, TN18, TN19, TN20, TN21 TN22, TN23, TN24, TN25, TN26 TN27, TN28, TN29, TN30, TN31 TN32	TN7, TN9, TN11, TN13, TN15, TN17, TN27, TN29, TN31
Temperatura (ºC)	0 – 10	TN7, TN8, TN9, TN10, TN11 TN12, TN13, TN14, TN15, TN16 TN17, TN18, TN19, TN20, TN21 TN22, TN23, TN24, TN25, TN26 TN27, TN28, TN29, TN30, TN31 TN32	
Nivel Freático (m)	≤ 2	TN1, TN2, TN3, TN4, TN5, TN6 TN7, TN8, TN9, TN10, TN11 TN12, TN13, TN14, TN15, TN16 TN17, TN18, TN27, TN28, TN29 TN30, TN31, TN32	
Permeabilidad (mm/h)	≤ 5	TN1, TN3, TN5, TN7, TN9, TN11 TN13, TN15, TN17, TN19, TN21 TN23, TN25, TN27, TN29, TN31	

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 28. Integración de los esquemas de Selección Nivel Terciario de Patógenos

NIVEL DE TRATAMIENTO TERCIARIO REMOCIÓN DE PATOGENOS			
ASPECTO TECNOLÓGICO	**CONDICIÓN**	**ESQUEMA TECNOLÓGICO SOSTENIBLE**	**ESQUEMAS TECNOLÓGICOS COMUNES**
Caudal (L/s)	≤ 5	TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6 TP7, TP8, TP9, TP10, TP11, TP12 TP13, TP14, TP15, TP16, TP17 TP18, TP19, TP20, TP21, TP22 TP23, TP24, TP25, TP26, TP27 TP28	TP1, TP28
Temperatura (ºC)	0 – 10	TP1, TP4, TP5, TP6, TP7, TP8 TP9, TP10, TP11, TP12, TP13 TP14, TP15, TP22, TP23, TP24 TP25, TP28	
Nivel Freático (m)	≤ 2	TP1, TP28, TP16, TP17	
Pendiente Terreno (%)	> 5	TP1, TP28	
Permeabilidad (mm/h)	≤ 5	TP1, TP2, TP4, TP6, TP8, TP10, TP12, TP14, TP16, TP18, TP20, TP22, TP24, TP26, TP28	

Fuente: (Autores, 2024)

Una vez obtenido los esquemas que cumplen con los criterios ambientales para la selección de las tecnologías, se prosigue a establecer las eficiencias de remoción que cada una de las tecnologías con respecto a los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual. Uno de los insumos para saber el porcentaje de remoción de las tecnologías fue el articulo "Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales", aquí los diferentes autores muestras una recopilación bibliográfica de información especializada sobre las tecnologías de tratamiento. Por su parte, se le hizo una adaptación con nuevas fuentes bibliográficas actualizadas para las diferentes eficiencias de remoción. En la Tabla 29 se observa los parámetros y la remoción en porcentaje.

Tabla 29. Eficiencia de remoción de Tecnologías

TECNOLOGÍAS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)												
	REFERENCIA	SST	TURBIDEZ	DBO_5	DQO	N NH_3	N ORG	N NO_3	N TOTAL	P PO_4	P TOTAL	SO_4^{2-}	COLIFORMES
Rejilla Gruesa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rejilla Fina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desarenador	RAS (2000)	0 – 10	-	0 – 10	0 – 5	-	-	-	-	-	-	-	-
	RAS (2021)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Metcalf & Eddy (2001)	0 – 10	-	0 – 10	0 – 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Sedimentador Primario Convencional	Metcalf & Eddy (2001)	50 - 65	-	30 – 40	30 - 40	-	10,0 – 20	-	-	-	10,0 - 20	-	-
	Fair (1954)	40 - 70	-	25 – 40	20 - 35	-	-	-	-	-	-	-	25 – 75
	Arango & López (2020)	-	-	-	-	-	-	-	-	-		30 - 50	-
	Ridwan et al (2022)	-	90 - 92	-	-	-	-	-					-
	Yánez (1995)	40 - 70	-	25 – 40	-	-	-	-	-	-	-	-	25 – 75
Sedimentador Primario Alta Tasa	Rincon A et al (2014)	83	-	80	80	-	-	-	-	-	80	-	-
	Urgiles, S. & Vintilmilla C. (2023)	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tanque Séptico	Batalha (1989)	50 - 70	-	40 – 62	-	-	-	-	< 10	-	< 10	-	< 60
Laguna Anaerobia	Mara (1980)	-	-	50 – 85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Arceivala (1984)	-	-	30 – 70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RAS (2000)	20 - 60	-	50 – 70	-	-	-	-	-	-	-	-	90 - 99,99
	RAS (2021)	50-60	-	50 - 70	30-50	-	-	-	-	-	-	-	80-90
Biodisco	Liu & Liptack (2000)	-	-	85 – 95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lopez et al. (2022)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50 - 80	-
	Torres et al. (2006)	85-95	-	85 – 93	-	-	-	-	30 - 40	-	30 - 45	-	60 – 90
	Metcalf & Eddy (2001)	80 - 85	-	80 – 85	80 - 85	8,0 – 15	-	-	15 - 20	-	10,0 - 25	-	-
Sedimentador Secundario	Cutipa et al (2021)	90	-	50	75	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ridwan et al (2022)	-	90 - 92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EPA (1992)	90	-	80	40 -60	-	-	-	20 -40	0	30 - 50	-	-
Filtro Percolador (tasa alta)	Yánez (1995)	70 - 90	-	60 – 85	-	-	-	-	-	-	-	-	90 – 95
	Metcalf & Eddy (2001)	60 - 85	-	65 – 80	60 - 80	8,0 – 15	-	-	15 - 30	0	8,0 - 12	-	90 – 95

TECNOLOGÍAS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)												
	REFERENCIA	**SST**	**TURBIDEZ**	**DBO_5**	**DQO**	**N NH_3**	**N ORG**	**N NO_3**	**N TOTAL**	**P PO_4**	**P TOTAL**	**SO_4^{2}-**	**COLIFORMES**
Filtro Percolador (tasa alta)	Von Sperling (1996)	85 – 95	-	80 – 93	-	-	-	-	30 - 40	0	30 - 45	-	60 – 90
	RAS (2021)	60 – 85	-	65 – 90	55 - 70	-	-	-	-	-	-	-	80 - 90
Laguna Aireada	Mara (1980)	-	-	80 – 95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mendoza (2000)	-	-	50 – 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RAS (2000)	85 – 95	-	80 – 95	-	-	-	-	-	-	-	-	90 - 99,99
	RAS (2021)	-	-	80 – 95	60 - 70	-	-	-	-	-	-	-	80 - 90
Lodos Activados Oxidación Completa	Von Sperling (1996)	80 – 90	-	93 - 98	-	-	-	-	15 - 30	-	10,0 - 20	-	65 – 90
Lodos Activados Clásicos	RAS (2000)	80 - 90	-	80 - 95	80 - 95	-	-	15 - 20	-	-	10,0 - 25	-	-
	RAS (2021)	80 - 90	-	80 - 95	70 - 80	-	-	-	-	-	-	-	80 - 90
	Yánez (1995)	85 - 98	-	70 - 98	-	-	-	-	-	-	-	-	95 – 98
	Fair (1954)	55 - 95	-	55 - 95	50 - 80	-	-	-	-	-	-	-	90 – 98
	Von Sperling (1996)	80 - 90	-	85 - 93	-	-	-	-	30 - 40	-	30 - 45	-	60 – 90
Lodos Activados SBR	Von Sperling (1996)	80 - 90	-	85 - 95	-	-	-	-	30 - 40	-	30 - 45	-	60 – 90
Humedal de Flujo Libre	Rodriguez (2019)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	-
	Caicedo (2005)	87 - 93	.-	80 - 90	-	-	-	-	37 - 48	-	45 - 50	-	-
Humedal de Flujo Libre Superficial	Torres et al (2017)	90 - 95	77	84	85	-	-	-	-	-	-	-	89
Laguna con Lenteja de Agua	Sierra L et al (2018)	-	-	-	-	-	-	-	95	-	72	-	-
Sedimentador Primario Alta Tasa	Rincon A et al (2014)	83	-	80	80	-	-	-	-	-	80	-	-
	Urgiles, S. & Vintilmilla C. (2023)	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reactor UASB	Torres (2000)	60 - 80	-	60 - 70	-	-	-	-	10,0 - 25	-	10,0 - 20	-	60 - 90
	RAS (2000)	60 - 70	-	65 - 80	60 - 80	-	60 - 80	-	-	-	30 - 40	-	-
	Valencia (2002)	72	-	83	74	-	-	-	-	-	-	-	-
	Orozco (2005)	60 - 70	-	65 - 80	60 - 80	-	-	-	-	-	30 - 40	-	-
	Lettinga et al (1983)	-	-	-	55 - 78	-	-	-	-	-	-	-	-
	RAS (2021)	60 - 70	-	65 -80	60 - 80	-	-	-	-	-	-	-	20 - 40
Cloración	Núñez & Gonzáles (2021)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90 - 100
	RAS (2021)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100

Fuente: (Miranda et al. adaptación autores, 2024)

Posterior a la matriz de remoción, se relacionó la eficiencia de remoción para cada uno de los esquemas seleccionados, esto por cada una de las tecnologías contenidas en los trenes de tratamiento. Así mismo, se realizó una comparación de los costos referentes a los esquemas tecnológicos resultantes, esto como una aproximación en el costo de adquisición de cada una de las tecnologías dentro del esquema de tratamiento.

Tabla 30. Esquemas Tecnológicos y Precios P1 – P4

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
P1	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Convencional	22.750.000	55.400.000
P2	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Alta Tasa	45.250.000	75.400.000
P3	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Reactor UASB	10.000.000	20.000.000
P4	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Laguna Anaerobia	20.250.000	50.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 31. Esquemas Tecnológicos y Precios S1 – S5

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
S1	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Convencional Biodisco Sedimentador Secundario	123.750.000	165.400.000
S4	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Convencional Filtro Percolador (tasa alta)	24.750.000	75.400.000
S5	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Laguna Aireada	70.250.000	250.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 32. Esquemas Tecnológicos y Precios S7 – S9

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
S7	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Lodos Activados Oxidación Completa Sedimentador Secundario	121.250.000	560.400.000
S8	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Convencional Lodos Activados clásicos Sedimentador Secundario	223.750.000	265.400.000
S9	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Lodos Activados SBR	120.250.000	550.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 33. Esquemas Tecnológicos y Precios TN7 – TN9

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
TN7	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Convencional Filtro Percolador (tasa alta) Sedimentador Secundario Humedal de Flujo Libre	26.750.000	95.400.000
TN9	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Sedimentador Primario Convencional Filtro Percolador Sedimentador Secundario	27.250.000	100.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 34. Esquemas Tecnológicos y Precios TN13 – TN15

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
TN13	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Laguna Aireada Humedal de Flujo Libre	71.250.000	260.400.000
TN15	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Laguna Aireada Humedal de Flujo Libre Superficial	71.750.000	265.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 35. Esquemas Tecnológicos y Precios TN27 – TN29

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Lodos Activados Oxidación Completa Sedimentador Secundario Humedal de Flujo Libre	122.250.000	570.400.000
TN29	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Desarenador Lodos Activados Oxidación Completa Sedimentador Secundario Humedal de Flujo Libre Superficial	122.750.000	575.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 36. Esquemas Tecnológicos y Precios TP1 y TP28

ESQUEMA TECNOLÓGICO	TECNOLOGÍAS	COSTO ($)	
		MINIMO	MÁXIMO
TP1	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Sedimentador Primario Alta Tasa Cloración	45.250.000	125.400.000
TP28	Rejilla Gruesa Rejilla Fina Reactor UASB Cloración	30.250.000	120.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

10.3. Comparación esquema tecnológico seleccionado frente a fuente bibliográfica

En este apartado se compararon las tecnologías de los trenes de tratamiento seleccionados con respecto a el libro titulado “Tratamiento de Aguas Residuales” de Romero, 2010, el cual recopila información de la literatura sobre tecnologías adecuadas para el tratamiento de aguas de tipo industrial y agrícola. Por lo que, dicho libro sirvió de insumo para una recopilación final de información para decidir si la tecnología era apta para el tratamiento del uso industrial o si no cumplía se cambiaría por otra adecuada.

Tabla 37. Viabilidad de tecnologías para ser usadas en tratamiento de aguas industriales

Tecnologías	Cumple	No cumple	Justificación	Tecnología final
Rejilla Fina	X		Se utiliza principalmente en el tratamiento para proteger válvulas, bombas, y equipos que se puedan taponar por objetos grandes	Rejilla Fina
Rejilla Gruesa	X			Rejilla Gruesa
Sedimentador Primario Alta Tasa	X		Esta tecnología sirve para remover material flotante tanto para industria como para el sector doméstico, tiene una particular de trabajar a velocidades más grandes.	Sedimentador Primario Alta Tasa
Sedimentador Primario Convencional	X		Su operación es similar al sedimentador primario de alta tasa, pero la velocidad de remisión es menor.	Sedimentador Primario Convencional
Desarenador	X		Si cumple porque tiene una mejor facilidad para la remoción de arenas, se diseña para retener tamaño de partícula entre 0.15mL 0.21mL y funciona para aguas industriales.	Desarenador
Reactor UASB	X		Si cumple porque se creó para las aguas residuales de la industria de la remolacha, operación simple. El P2 es el único esquema que no se tiene encuentra por lo que no es un esquema completo supla la remisión total de contaminantes.	Reactor UASB
Laguna Anaerobia	X		La laguna anaerobia puede ser efectiva para tratar aguas residuales con una carga orgánica moderada	Laguna Anaerobia
Biodisco	X		Se utiliza para caudales menores a 0.04 m3/s y más de 2.2m3/s. para el tratamiento es necesario usar sedimentador antes y después del biodisco.	Biodisco
Sedimentador Secundario	X		Esta tecnología se suele utilizar después de un tratamiento con lodos activados.	Sedimentador Secundario

Tecnologías	Cumple	No cumple	Justificación	Tecnología final
Filtro Percolador (tasa alta)	X		Si se puede usar en la industria.	Filtro Percolador (tasa alta)
Laguna Aireada	X		Las lagunas aireadas se utilizan bastante para aguas residuales de alta concentración.	Laguna Aireada
Lodos Activados Oxidación Completa	X		La tecnología de lodos activados con oxidación completa puede ser muy eficaz para la remoción de una amplia gama de contaminantes en la industria, incluyendo materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, compuestos tóxicos, metales pesados y otros contaminantes inorgánicos.	Lodos Activados Oxidación Completa
Lodos Activados Clásicos	X		En los lodos activados clásicos, el proceso se basa principalmente en la actividad biológica aerobia para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales.	Lodos Activados Clásicos
Lodos Activados SBR	X		Proceso biológico aerobio en lotes secuenciales, es decir, en ciclos repetitivos de llenado, reacción, decantación y extracción del efluente tratado.	Lodos Activados SBR
Humedal de Flujo Libre	X		Son utilizados para el tratamiento secundario avanzado, en el tratamiento de aguas de irrigación, para tratar lixiviados de rellenos sanitarios.	Humedal de Flujo Libre
Humedal de Flujo Libre Superficial	X			Humedal de Flujo Libre
Laguna con Lenteja de Agua		x	No es una tecnología óptima para le investigación, debido a que los tiempos de remoción de la laguna son altos, pueden durar de semanas a meses, mientras crece la planta y cumple con sus niveles de tratamiento. Sería necesario un análisis más detallado de los nutrientes del agua al tratarse.	Se elimina el esquemaTN17 Y TN31 que contiene esta tecnología debido a que el TN15 Y TN29 se presentan como una alternativa de esquema, cambia por Humedal de Flujo Libre Superficial

Tecnologías	Cumple	No cumple	Justificación	Tecnología final
Filtrado Anaeróbico de Flujo Ascendente	X		Proceso anaeróbico en el que el agua residual fluye de abajo hacia arriba a través de un medio filtrante con biomasa anaerobia adherida. Sirve como pretratamiento de purificación de agua. Y sirve para el tratamiento de gran parte de los residuos orgánicos industriales.	Filtrado Anaeróbico de Flujo Ascendente
Cloración	X		Una vez pasado por todos los tratamientos previos para que no exista cargas orgánicas o de nutrientes, la cloración es eficaz en eliminar patógenos del agua tratada.	Se añadió Cloración
Filtro de Arena		x	Tecnología antigua, que se utilizaba solo para un número pequeño de viviendas, es una tecnología principal para aguas domésticas.	Filtrado Anaeróbico de Flujo Ascendente
Tanque séptico		x	Sirve para acondicionar las aguas residuales para disposición subsuperficial en lugares donde no existe un sistema de alcantarillado sanitario, es de uso principal para aguas domésticas. Se cambia esta tecnología de los trenes de tratamiento debido a que se encuentra en los esquemas para eliminar patógenos y el tanque séptico no es una tecnología común que permita tratar patógenos en el agua. Los reactores UASB son más eficientes en la remoción de materia orgánica que los tanques sépticos tradicionales, debido a su diseño y operación los UASB pueden lograr una mayor reducción de la carga orgánica	Reactor UASB

Fuente: (Autores, 2024)

10.4. Análisis de resultados

10.4.1. Recirculación

Sector agrícola: el decreto 1076 del 2015 establece los primeros criterios que debe tener el agua, indicándose 18 parámetros, en el que predomina la medición exclusivamente de metales pesados. Además, la resolución 1256 del 2015 añade 12 para un total de 30 parámetros; en la investigación se abordaron los siguientes parámetros; conductividad, cloro residual, cloruros y pH, estos son los únicos parámetros medidos con posibilidad de medición en el laboratorio, por esto la matriz no es óptima para determinar un tren de tratamiento para este apartado. Cabe resaltar que se añadieron los parámetros de nitratos y sulfatos según Santillán, 2005. Se puede encontrar el cuadro de eficiencia de remoción de contaminantes en el anexo 2.

Es importante destacar que, en las empresas visitadas, tanto el Tucán 3 como Flores el Progreso utilizan el agua de infiltración que llega a las canaletas junto a los invernaderos dirigidos al sumidero de aguas lluvias, el cual es utilizado para el riego de las flores. Por lo cual, aunque no se haya obtenido un resultado en el tren de tratamiento para la recirculación de estas aguas, en lo que concierne al sector floricultura, no hay un tratamiento previo de aguas en el momento de ser usada en la actividad productiva.

10.4.2. Reúso

Tratamiento convencional para consumo humano y doméstico: este sector está estipulado en el decreto 1076 del 2015, se indican 24 parámetros de los cuales en esta investigación se abordaron conductividad, cloruros y pH, ya que fueron los únicos parámetros que se midieron en el laboratorio. Se añadieron los parámetros de nitratos, sulfatos y coliformes totales según Santillán, 2005. Sin embargo, no fueron suficientes los parámetros medidos para saber con eficiencia de remoción se debida trata cada contaminante presente en el agua, por esto la matriz no es óptima para determinar un tren de tratamiento para este apartado Se puede encontrar el cuadro de eficiencia de remoción de reúso en el anexo 3.

Desinfección para consumo humano y doméstico: este sector está estipulado en el decreto 1076 del 2015 indicando 23 parámetros, de los cuales, en esta investigación se abordaron turbiedad, cloruros y pH, ya que fueron los únicos parámetros que se midieron en el laboratorio. Cabe resaltar que se añadió los parámetros de nitratos, sulfatos y coliformes totales según Santillán, 2005. En este apartado se tuvo en cuenta el decreto 2115 del 2007 para compatibilizar la medida de laboratorio de turbiedad en NTU frente a los límites de turbiedad en la normal 1076 del 2015 debido a que se expresan en UJT. Sin embargo, no fueron suficientes los parámetros medidos para saber la eficiencia de remoción que se debida tratar en cada contaminante presente en el agua, por esto la matriz no es óptima para determinar un tren de tratamiento para este apartado. Se puede encontrar el cuadro de eficiencia de remoción de reúso en el anexo 4.

Uso recreativo mediante contacto primario: este apartado está estipulado en el decreto 1076 del 2015 indicando 6 parámetros de los cuales en esta investigación solo se midieron oxígeno disuelto y pH, mientras que coliformes totales se añadieron según Santillán, 2005. Se puede encontrar el cuadro de eficiencia de remoción para reúso en el anexo 5. En este apartado se determinó que no se puede hacer reúso del agua porque no se midieron coliformes fecales, un parámetro crítico para actividades como natación, buceo o baños medicinales.

Uso recreativo mediante contacto secundario: este apartado está estipulado en el decreto 1076 del 2015 indicando 4 parámetros, de los cuales en esta investigación se abordaron; oxígeno disuelto, pH y coliformes totales, este último basándonos en Santillán, 2005. Se puede

encontrar el cuadro de eficiencia de remoción de reúso en el anexo 6. En este un apartado se determinó que, si puede hacerse reúso del agua porque se midieron la mayoría de sus parámetros, o se completó mediante información secundaria, y además se encontró un esquema óptimo para generar el tratamiento que satisfaga este destino transitorio.

Vertimiento al agua: en este apartado está estipulado en el decreto 1076 del 2015 indicando 5 parámetros, de los cuales se midieron 4, por lo cual esta matriz de remoción es óptima para la selección de tecnologías en el contexto de vertimiento al agua, abarca los parámetros de pH, Temperatura, Solidos suspendidos y DBO5.

Vertimiento al alcantarillado público: en este apartado está estipulado en el decreto 1076 del 2015 indicando 7 parámetros, de los cuales se midieron 4, por lo cual esta matriz de remoción es óptima para la selección de tecnologías en el contexto de vertimiento al agua al alcantarillado público, abarcan los parámetros de pH, Temperatura, Solidos suspendidos y DBO. Cabe resaltar que por la localización de las empresas de floricultura se encuentran en una zona rural, no hay un vertimiento directo al alcantarillado.

Apartados descartados: el tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico el uso recreativo mediante contacto primario, el uso pecuario y el uso del agua para la preservación de flora y fauna no se tuvieron en cuenta, debido a que la gran mayoría de los parámetros que exige la norma no fueron medidos, el parámetro en común en estos apartados descartados son los metales pesados, que por falta de equipo de Espectroscopia de absorción atómica en el laboratorio no se pudieron llegar a analizar en su totalidad los metales en las muestras.

En la siguiente tabla se reúnen los esquemas tecnológicos que, por nivel de remoción y precio, se seleccionaron como los óptimos con el fin de tratar el agua residual industrial para cada sector de destino de uso que establece el decreto 1076 del 2015 y la resolución 1256 del 2021 específicamente para el sector agrícola.

Tabla 38. Resumen de los resultados de los esquemas tecnológicos seleccionados

Sector	Esquema	Tecnologías	Costo ($)	
			Mínimo	Máximo
Uso recreativo mediante Contacto Secundario	S4 TN7 TN9	S4: Desarenador, Sedimentador Primário Convencional, Filtro Percolador alta tasa TN7: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional, Filtro Percolador de Tasa Alta, Sedimentador Secundario, Humedal de Flujo libre TN9: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional, Filtro Percolador de alta tasa, Sedimentador Secundario, Humedal de Flujo libre	S4: 24.750.000 TN7: 26.750.000 TN9: 27.250.000	S4: 75.400.000 TN7: 95.400.000 TN9: 100.400.000
Vertimiento al agua y exigencias mínimas	P2 P3 S4 TN7	P2: Desarenador, Sedimentador Primario de alta tasa. P3: Reactor UASB S4: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional, Filtro Percolador de alta tasa TN7: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional, Filtro Percolador de tasa alta, Sedimentador Secundario, Humedal de Flujo libre	P2: 45.250.000 P3: 10.250.000 S4: 24.750.000 TN7: 26.750.000	P2: 75.400.000 P3: 20.400.000 S4: 75.400.000 TN7: 95.400.000

Sector	Esquema	Tecnologías	Costo ($)	
			Mínimo	Máximo
Vertimiento al alcantarillado	P1 P2 P3 P4 S4 TN7	P1: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional P2: Desarenador, Sedimentador Primario Alta Tasa. P3: Reactor UASB P4: Laguna aireada S4: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional, Filtro Percolador de Alta Tasa TN7: Desarenador, Sedimentador Primario Convencional, Filtro Percolador de tasa alta, Sedimentador Secundario, Humedal de Flujo libre	P1: 22.750.000 P2: 45.250.000 P3: 10.250.000 P4: 20.250.000 S4: 24.750.000 TN7: 26.750.000	P1: 55.400.000 P2: 75.400.000 P3: 20.400.000 P4: 50.400.000 S4: 75.400.000 TN7: 95.400.000

Fuente: (Autores, 2024)

10.5. Resultados de la Evaluación ambiental

Para la evaluación de las tecnologías se realizó una matriz para cada una de estas, con el fin de identificar los impactos comunes entre tecnologías, e impactos que solo se presentaban en cada uno de sus procesos unitarios al momento de su operación o en su etapa de construcción. Cada impacto tuvo su respectiva calificación en las matrices. Lo anterior se puede observar en los anexos del 9 al 16**.** A continuación en la tabla 39, se muestra los impactos con sus actividades generados y el medio al que pertenece. y en la tabla 40 se encuentra los resultados de la evaluación ambiental, se recopila el porcentaje de impacto negativo que tiene cada tecnologia respecto al medio y la cantidad de impactos tanto positivos como negativos.

Tabla 39. Identificación de impactos.

Medio	Actividad	Impacto	Significancia del impacto ambiental con intervención	Significancia del impacto ambiental sin intervención
Abiótico	Labores de corte y relleno, uso del material de construcción	Alteración de la calidad del aire por el incremento del material particulado.	Alta (-)	Muy baja (-)
	Labores de corte y relleno, uso del material de construcción	Alteración de la calidad del aire por ruido de descapote de terreno y nivelación en la topografía	Alta (-)	Muy baja (-)
	Construcción de obras civiles, hidráulicas	Alteración en la calidad de aire por la presencia de material particulado y gases de combustión por vehículo	Media (-)	Muy baja (-)
	Construcción de obras civiles e hidráulicas	Cambios en las características del suelo por posibles derrames, residuos sólidos, descarga de efluentes o desechos sólidos que se dispongan dentro del área de influencia del proyecto	Alta (-)	Muy baja (-)
	Suministro y transporte de equipos	Cambio en la calidad del aire por generación de ruido y polvo por entrada y salida de vehículos	Media (-)	Baja (-)
	Manejo y disposición de escombros y material sobrante	Cambio en la calidad del aire por la presencia del material particulado en carga y de material	Media (-)	Muy baja (-)
	Manejo y disposición de escombros y material sobrante	Alteración en las características físicos del suelo por compactación de maquinaria pesada	Alta (-)	Muy baja (-)
	Operación del sistema de la Laguna Aireada	Cambio en la calidad del aire por presencia de olores y gases (CH_4, CO_2, H_2S)	Alta (-)	Muy baja (-)

Medio	Actividad	Impacto	Significancia del impacto ambiental con intervención	Significancia del impacto ambiental sin intervención
Abiótico	Operación del sistema de la Laguna Aireada	Cambio en las características fisicoquímicas del suelo por la disposición de sedimentos con alta carga contaminante	Alta (-)	Muy baja (-)
Biótico	Operación del sistema de la Laguna Aireada	Incremento de vectores biológicos	Alta (-)	Baja (-)
Socio - económico	Operación en el tratamiento del agua de la laguna aireada	Incremento en el consumo de energía	Media (-)	Muy baja (-)
	Contratación para ejecutar la construcción de obras civiles e hidráulicas	Aumento del empleo en la zona en donde se establece el proyecto	Media (-)	Muy baja (-)

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 40. Resultados evaluación ambiental

Tecnología	Porcentaje impacto negativo			Impactos	
	Abiótico	Biótico	Socioeconómico	Positivo	Negativos
Desarenador	81.82 %	-	9.09 %	1	10
Sedimentador primario convencional	91.67 %	-	8.33 %	1	11
Sedimentador Secundario	83.33 %	-	8.33 %	1	11
Sedimentador primario alta tasa	81.82 %	-	9.09 %	1	10
Reactor UASB	80 %	-	10 %	1	9
Filtro Percolador Alta tasa	81.82 %	-	9.09 %	1	10
Laguna Aireada	75 %	8.33 %	8.33 %	1	11
Humedal de flujo libtre	81.82 %	9.09 %	9.09 %	1	10

Fuente: (Autores, 2024)

10.6. Manejo Ambiental del esquema de tecnologías seleccionadas

En este apartado se encuentra los planes de manejo realizados para los impactos negativos calificados en la matriz de impacto ambiental para cada una de las tecnologías. Cabe resaltar que la metodología utilizada para la realización de los planes se titula ¨Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales¨. En estos planes se consideró la tipología de la medida, la descripción de las medidas asociadas para manejar adecuadamente la actividad generadora del impacto o al medio que este afecte, además de incluir personal, insumos y maquinaria requerida para realizar la medida de manejo ambiental con sus respectivos precios, además de tener indicadores de eficiencia para verificar el cumplimiento de las medidas dentro de cada plan de manejo ambiental.

A continuación, se muestra una tabla resumen con el código, las medidas y las acciones de manejo en cada uno de planes, y posteriormente cada uno de los planes realizados para los impactos ambientales de carácter negativo.

Tabla 41. Estructura de las medidas de manejo ambiental

Medio	Código	Medida	Acciones de Manejo
Abiótico	Ficha – AB1	Manejo de emisiones atmosféricas	Manejo de vehículos para transporte de material. Manejo de maquinaría. Humectación de vías. Manejo de materiales y excavación.
	Ficha – AB2	Manejo de emisiones de ruido	Control de horarios aptos para construcción. Manejo de ruido por vehículos. Uso de EPP.
	ficha – AB3	Manejo de olores ofensivos	Aplicación del neutralizador de olores Ecosorb. Uso de EPP.
	Ficha – AB4.	Manejo de compactación del suelo	Implementación de pastos como cobertura en zonas compactadas. Planificación de rutas de trasporte de material.
	Ficha – AB5.	Manejo de lodos y sedimentos	Creación sistema de transporte de lodos activados. Implementación de esquema para el tratamiento de lodos activados. Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas.
	Ficha – AB6.	manejo de residuos sólidos y líquidos	Clasificación en la fuente. Reutilización, reciclaje y disposicion final. Manejo de residuos por derrames accidentales.
	Ficha – AB7.	manejo de residuos por excavación	Manejo de residuos de excavación. Estabilización de paredes de excavación.
Biótico	Ficha –B1	Manejo de Vectores	Control biológico, Mantenimiento adecuado y Monitoreo constante

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 42. Manejo de emisiones atmosféricas.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – AB1. MANEJO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Abiótico
DESCRIPCIÓN	
Con estas medidas de manejo permitirán la mitigación de los impactos presente en las actividades de descapote, construcción y trasporte de material que presentan emisiones atmosféricas y de material particulado. En la etapa de construcción, en el área de implementación de la tecnología y en las vías de acceso a la empresa de floricultura.	
OBJETIVOS	
General: Mitigar los impactos asociados a emisiones atmosféricas en la etapa constructiva del esquema de tratamiento de las aguas residuales industriales generadas por la floricultura. **Específicos**: • Minimizar las emisiones de material particulado y gases generados durante la etapa de construcción, operación y mantenimiento que puedan causar afectación directa sobre la comunidad y/o fauna local. • Asegurar que todos los vehículos cumplan con los estándares establecidos por la ley para una operación adecuada en el transporte de material y riego de vías.	
META	**INDICADOR**
80 % de la reducción de las emisiones atmosféricas en la etapa constructiva del esquema de tratamiento de aguas residuales.	-Indicador: porcentaje de emisiones atmosféricas reducidas -Tipo: eficiencia -Formula: (Cantidad emisiones atmosféricas reducidas/ Cantidad totales de emisiones atmosféricas) x 100 %
80 % de la reducción de las emisiones atmosféricas en la etapa de construcción del esquema tecnológico con actividades como humectación de vías, manejo de materiales, manejo de vehículo y manejo de maquinaria.	- Indicador: Porcentaje de actividades cumplidas -Tipo: Eficiencia. -Fórmula: (Número de actividades realizadas/ Número de actividades a implementar) x 100 %.

META	**INDICADOR**
100 % de la verificación de los vehículos cumplan con normativa para su uso el transporte durante la etapa de implementación del esquema tecnológico.	- Indicador: Porcentaje de vías humectadas. -Tipo: Eficiencia. - Fórmula: (Número de vehículos revisados/ Número de vehículos a revisar) x 100%.

ETAPA DEL PROYECTO			
Pre-construcción	Construcción (X)	Operación y Mantenimiento	Abandono y Restauración

ACTIVIDADES GENERADORAS

- Labores de corte y relleno, uso del material de construcción
- Construcción de obras civiles, hidráulicas y de vialidad
- Manejo y disposición de escombros y material sobrante

IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR

Alteración de la calidad del aire por el incremento de material particulado, Alteración de la calidad del por la generación de gases por combustión vehicular, Cambio de la calidad del aire en carga y descarga de material, Cambio en la calidad del aire por generación de ruido y polvo por entrada y salida de vehículos.

TIPO DE MEDIDA

Mitigación

LUGAR DE APLICACIÓN

Vías, Zona de descapote y construcción

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Manejo de vehículos para transporte de material

Manejo de maquinaría

Humectación de vías

Manejo de materiales y excavación

DESCRIPCIÓN

Manejo de vehículos:

Corresponde al seguimiento y control de los vehículos que son utilizados para el desplazamiento de personal y materiales del proyecto. Esta actividad se desglosa de la siguiente manera:

Transito lento: De acuerdo con las condiciones de los accesos por donde se realizará la circulación de los vehículos se contemplan velocidades de seguridad tanto para garantizar la seguridad del personal, como para evitar la pérdida de materiales de construcción y reducir el levantamiento de material particulado y minimizar los riesgos de accidentabilidad por el tránsito de vehículos, la velocidad de vehículos pesados y livianos en las áreas no pavimentadas será de máximo 40 kilómetros por hora. Como medida para prevenir accidentes de tránsito en las vías de acceso se respetarán los límites de velocidad establecidos por el ministerio de transporte en la legislación vigente, y como medida adicional se restringe el límite de velocidad máxima en vías sin pavimentar a 40km/h, siempre que esta velocidad no exceda la establecida por la autoridad competente.

Calidad de los vehículos utilizados para el proyecto: Se certificará que los vehículos empleados para el Proyecto estén en buen estado y cuentan con certificación técnico mecánica vigente con el fin de garantizar el cumplimiento de la normatividad en cuanto a emisiones y ruido. En caso de no presentar dicha certificación el o los vehículos no podrán operar.

Humectación de vías:
Busca rociar con agua los accesos que estén destapados y están siendo transitados durante el desarrollo del Proyecto para reducir el levantamiento de material particulado que puede alterar momentáneamente la calidad del aire y generar molestias al personal del Proyecto y/o a la comunidad. Se aplicará en estaciones prolongadas de verano o cuando por las condiciones de la vía de acceso se requiera durante la etapa de la construcción. La periodicidad de implementación de esta acción estará supeditada a las condiciones del acceso transitado.

Manejo de maquinaría:
Consiste en realizar inspecciones visuales del funcionamiento de los equipos o maquinaria que está a disposición del Proyecto con el fin de identificar fallas o deterioro en los mismos. En caso de presentarse algún inconveniente o falla con la maquinaría, deberá detenerse su funcionamiento y reportar inmediatamente a la persona encargada. El Contratista deberá presentar y cumplir el programa de mantenimiento preventivo de los equipos y maquinaria de la obra, ajustado a las recomendaciones y normas de los fabricantes, que garantice el buen estado mecánico y de carburación, con el fin de generar la menor emisión posible de contaminantes y ruido a la atmósfera. Deberá registrarse en una ficha los resultados finales de este mantenimiento. El Contratista deberá llevar un formato de registro de las actividades que incluya la fecha de mantenimiento a cada uno de los equipos utilizados. Se deberán utilizar la maquinaria y equipos estrictamente necesarios y con la mayor eficiencia posible, de manera que se reduzcan al máximo las fuentes de emisiones de material particulado.

Manejo de materiales y excavación:
Los materiales de préstamo como arena, triturados y grava que se transporten deberán ser cubiertos con plástico o lona con el fin de evitar la dispersión de material particulado, por efectos del movimiento del vehículo y su velocidad. Se evitará la manipulación de materiales de construcción y material de excavación durante eventos extremos de lluvia o vientos, a fin de evitar la dispersión de material particulado. Se seguirán los lineamientos estipulados en la acción de manejo para los sitios de acopio de materiales, éstos deben cubrirse con lonas o plásticos para evitar la erosión por efectos del agua y viento y la emisión de partículas al aire. En el proceso de transporte por accesos diferentes a vías vehiculares, el material que lo requiera se empacará adecuadamente en estopas con el fin de evitar derrames y posibles emisiones de partículas al aire por efectos del viento.

Manejo de fuentes de emisión de material particulado vehículos:
Se verificará que los vehículos empleados para el Proyecto estén en buen estado y cuenten con el certificado de revisión técnico-mecánica vigente. En caso de no presentar dicha certificación, el o los vehículos en estas condiciones no podrán operar. La presentación de esta medida será soportada en los informes ICA por medio de un listado de los vehículos y maquinaria utilizada para el proyecto con su correspondiente registro del cumplimiento de la revisión técnico-mecánica.

Para la maquinaria y equipos, se realizarán inspecciones visuales del funcionamiento con el fin de identificar fallas o deterioro. En caso de presentarse algún inconveniente o falla con la maquinaría deberá detenerse su funcionamiento y reportar inmediatamente tomando los correctivos necesarios.

Manejo de fuentes de emisión de material particulado en obra:
Se verificará que el tubo de escape de los vehículos pesados y maquinaria diésel cumpla con la altura mínima exigida. Adicionalmente, las vías en mención y áreas de trabajo que lo requieran se humectarán diariamente mediante aspersión de agua con carrotanques. Solamente se podrán usar aguas provenientes de fuentes hídricas con permiso ambiental vigente para uso industrial y se debe llevar un registro sobre el consumo y compra de dicha agua cada vez que se ejecute esta actividad.

PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total
Profesional HSE	1	$1.761. 538	1	$1.761. 538
Conductor de trasporte	1	$2.600.600	1	$2.600.600
Conductor de maquinaria de excavación	1	$2.600.600	1	$2.600.600
TOTAL			$6.962.738	
COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS				
Maquinaria o insumo		Costo/mes	Meses	Total
Alquilado de carrotanque		$1.268.000	30	$38.040.000
COSTOS DE TRANSACCIÓN				
Transacción		Precio		
Contratación		$3.000.000		
Póliza segura		$5.400.000		
TOTAL, MEDIDA		$53.402.738		

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Ecopetrol. (2023). Tarifas Carrotanques. Recuperado de: Tarifas vigentes
Empresa de Energía Bogotá. (2016). Capítulo 7. Plan de Manejo Ambiental "Subestación Norte 500 kV y Líneas de Transmisión Norte – Tequendama 500 kV y Norte – Sogamoso 500 kV, Primer Refuerzo de Red del Área Oriental, Obras que hacen parte de la Convocatoria UPME 01 de 2013"

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 43. Manejo de emisiones de ruido.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – AB2. MANEJO DE EMISIONES DE RUIDO	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Abiótico
DESCRIPCIÓN	
Esta medida de manejo permitirá la mitigación de los impactos presente en las actividades de descapote, construcción y trasporte de material que presentan un aumento de la presión sonora.	
OBJETIVOS	
General: minimizar los impactos sobre la presión sonora en la etapa constructiva del esquema de tratamiento de las aguas resúdales industriales generadas por la floricultura. **Específicos**: • Cumplir con la normativa 0627 del 2006 donde se asegure que no se sobre pase los límites máximos permisibles efectuando las actividades de construcción en horario diurno. • Verificar que todos los vehículos de trasporte de material sean insonorizados con silenciadores de exosto, para minimizar incremento de decibeles en las vías de acceso. • Verificar que todos los equipamientos auditivos sean utilizados de manera adecuada por los trabajadores dentro de la etapa de construcción.	
META	**INDICADOR**
80 % de la reducción de la presión sonora que pueda generar la afectación en el área de implementación de la tecnología durante su etapa constructiva.	Indicador: porcentaje de presión sonora contralada. -Tipo: eficiencia. -Fórmula: (Cantidad de presión sonora controlada/ Cantidad de presión sonora total) x 100 %
100% del cumplimiento de la normativa actual mediante acciones como el cumplimento de horario diurno y manejo de vehículos en la etapa constructiva del esquema tecnológico.	-Indicador: porcentaje de normativa cumplida. -Tipo: eficiencia. -Fórmula: (Normatividad cumplida / Normatividad establecida) x 100 %.
META	**INDICADOR**

100 % del cumplimeinto del uso del equipo de protección auditiva al momento de la construcción del esquema tecnológico del agua residual.	- Indicador: porcentaje uso de equipo de protección. -Tipo: eficiencia. - Fórmula: (Número de equipamiento utilizado/ Número de equipamento total) x 100 %.

ETAPA DEL PROYECTO			
Pre-construcción	Construcción (X)	Operación y Mantenimiento	Abandono y Restauración

ACTIVIDADES GENERADORAS
Labores de corte y relleno, uso y trasporte del material de construcción
IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR
Alteración de la presión sonora generado por el descapote del terreno, nivelación de la topografía y transporte
TIPO DE MEDIDA
Mitigación
LUGAR DE APLICACIÓN
Zona de descapote y construcción
ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR
Control de horarios aptos para construcción
Manejo de ruido por vehículos
Uso de EPP
DESCRIPCIÓN
Control de horarios aptos para construcción: El control de horarios aptos para la construcción del tren de tratamiento se realiza para gestionar los niveles de presión sonora, garantizando que no excedan los límites permitidos. Esta actividad se realiza exclusivamente durante el horario diurno (la norma 0627 del 2006 el cual estipula este horario desde las 7:01 hasta las 21:00) para minimizar su impacto en el entorno circundante. Manejo de ruido por vehículos: Busca controlar el nivel de decibeles producidos durante el desarrollo de actividades del proyecto. Dentro de esta actividad deberá controlarse el uso de bocinas o pitos, así como deberá exigirse en caso de ser necesario el uso de silenciadores para los tubos de escape de humo vehicular. Uso de EPP: Busca asegurar que el equipo de seguridad y salud utilicen el equipo de seguridad y salud, especialmente el equipamiento adecuado de protección de oídos.
PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total

Profesional HSE	1	$1.761. 538	1	$1.761. 538
TOTAL			$1.761. 538	
COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS				
Maquinaria o insumo		Costo unitario	Cantidad	Total
Equipamiento de SST (Tapones Auditivos y Orejeras.)		$50.000	10	500.000
Silenciadores de exosto		350.000	4	$1.400.000
COSTOS DE TRANSACCIÓN				
Transacción		Precio		
Contratación		$1.000.000		
Póliza segura		$3.400.000		
TOTA MEDIDA		$8.061.538		

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Empresa de Energía Bogotá. (2016). Capítulo 7. Plan de Manejo Ambiental "Subestación Norte 500 kV y Líneas de Transmisión Norte – Tequendama 500 kV y Norte – Sogamoso 500 kV, Primer Refuerzo de Red del Área Oriental, Obras que hacen parte de la Convocatoria UPME 01 de 2013"

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 44. Manejo de olores ofensivos.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – AB3. MANEJO DE OLORES OFENSIVOS	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Abiótico
DESCRIPCIÓN	
Con estas medidas de manejo permitirán la mitigación de los olores ofensivos generados por el funcionamiento del esquema tecnológico seleccionado en el área de influencia directa del proyecto.	
OBJETIVOS	
General: mitigar los impactos asociados a la generación de olores ofensivos en la etapa operativa del esquema de tratamiento de las aguas resúdales industriales generadas por la floricultura. **Específicos:** • Reducir el impacto de olores sobre los trabajadores y operarios del sistema de tratamiento implementado. • Construir el sistema de dosificación del neutralizante que permita eliminar los olores ofensivos generados por el funcionamiento del esquema de tratamiento.	
META	**INDICADOR**
90 % de la reducción de los olores generados en la etapa operativa del esquema tecnológico en su área de influencia.	- Indicador: porcentaje de olores ofensivos controlados. -Tipo: eficiencia. - Fórmula: (Cantidad de olores ofensivos controlados/ Cantidad de olores ofensivos generados) x 100 %
100 % del uso de EPP (Equipo de Protección Personal) por parte del personal en la zona de trabajo durante la operación del esquema tecnológico.	- Indicador: porcentaje de uso de EEP. -Tipo: eficiencia. - Fórmula: (Número de EEP utilizados/ Número de EEP totales) x 100%.
100 % del equipo neutralizante de olor para los olores ofensivos en la etapa operativo del esquema tecnológico seleccionado.	-Indicador: porcentaje de equipo de dosificación implementado. -Tipo: Eficiencia. - Fórmula: (Equipo de dosificación implementado/ Equipo de dosificación planificado) x 100 %

ETAPA DEL PROYECTO			
Pre-construcción	Construcción	Operación y Mantenimiento (X)	Abandono y Restauración

ACTIVIDADES GENERADORAS

Operación y funcionamiento del esquema de tratamiento de aguas residuales.

IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR

Cambio en la calidad del aire por presencia de olores y gases (CH_4, CO_2, H_2S)

TIPO DE MEDIDA

Mitigación

LUGAR DE APLICACIÓN

Sitio de operación

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Uso de EPP

Aplicación del neutralizador de olores Ecosorb

DESCRIPCIÓN

Uso de EPP:

El uso de Equipos de Protección Personal (EPP) es indispensable en entornos laborales donde los trabajadores están expuestos a olores ofensivos. Los EPP, como las máscaras faciales o respiradores, ayudan a proteger la salud y el bienestar de los trabajadores al filtrar el aire contaminado y evitar la inhalación de olores ofensivos. Además, el uso de ropa de protección adecuada, como trajes o uniformes sellados, puede minimizar el contacto directo con los olores desagradables, proporcionando una barrera física entre el cuerpo del trabajador y el entorno contaminado. En conjunto, estas medidas de seguridad garantizan un ambiente de trabajo más seguro para aquellos que enfrentan condiciones laborales con olores ofensivos.

Aplicación del neutralizador de olores Ecosorb:

Ecosorb se caracteriza por ser un producto neutralizador de olores que usa ingredientes naturales sin necesidad de sustancias químicas, es un producto a base de aceites esenciales, surfactante y agua; lo cual lo convierte en una sustancia no tóxica y amigable con el medio ambiente, esto determinado según la EPA.

Es un producto que se atomiza en el aire del proceso oloroso o añadirse directamente al proceso sin que este se vea afectado. La aplicación de este producto debe hacerse por medio de un sistema de aplicación por vaporización o atomización, este es un sistema que interactúa de tal forma que el conjunto de neutralización opere eficientemente enviando una corriente de vapor seco a alta velocidad que contiene el agente neutralizador por medio de una tubería o ducto flexible hacia la zona de emisión de olores, con el fin de neutralizar y eliminar el olor.

PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total
Profesional HSE	1	$1.761. 538	1	$1.761. 538
TOTAL			$1.761.538	
COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS				

Maquinaria o insumo	Costo	Cantidad	Total
EPP mascarillas antiolor	$40.000	10	$400.000
Neutralizador de Ecosorb y equipo de vaporización	$180.000.000	1	$180.000.000
COSTOS DE TRANSACCIÓN			
Transacción	Precio		
Contratación	$2.000.000		
Póliza segura	$1.400.000		
TOTA MEDIDA	$185.561.538		

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Valderrama, T. (2021). Formulación de un plan para la reducción del impacto por olores ofensivos generados en la PTAR para la empresa Veolia aguas de Tunja S.A E.S.P. Recuperado de: Plan de olores

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 45. Manejo de compactación del suelo.

<table>
<tr><th colspan="4">PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA</th></tr>
<tr><td colspan="3">FICHA – AB4. MANEJO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO</td><td>UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS</td></tr>
<tr><td colspan="2">MEDIO</td><td colspan="2">Abiótico</td></tr>
<tr><td colspan="4">DESCRIPCIÓN</td></tr>
<tr><td colspan="4">Con esta medida de manejo permitirán la mitigación del impacto de compactación del suelo por movimiento de material sobrante.</td></tr>
<tr><td colspan="4">OBJETIVOS</td></tr>
<tr><td colspan="4">General: corregir los impactos asociados la compactación en la etapa de construcción del esquema de tratamiento de las aguas resúdales industriales generadas por la floricultura.
Específicos:
• Realizar siembras en donde las zonas donde el suelo se compactó con la implementación de zonas de cultivo que permitan des compactar la tierra.
• Señalizar y planificar de forma adecuada rutas concretas que permitan el acceso del material necesario.</td></tr>
<tr><td colspan="2">META</td><td colspan="2">INDICADOR</td></tr>
<tr><td colspan="2">100 % de la corrección de los impactos asociados a la compactación del suelo</td><td colspan="2">-Indicador: porcentaje de impactos corregidos
-Tipo: eficiencia.
- Fórmula:
(Impactos corregidos/ Impactos corregidos totales) x 100 %.</td></tr>
<tr><td colspan="2">100 % de las áreas afectadas que se puedan recuperar por la siembre de cultivos</td><td colspan="2">- Indicador: porcentaje de área restituida.
-Tipo: Eficiencia.
- Fórmula: (Área con cultivos implementados/ Área total de suelos compactados) x 100%.</td></tr>
<tr><td colspan="2">100 % de la señalización de la vía por donde se presenta el impacto de compactación de suelo</td><td colspan="2">-Indicador: porcentaje de señalización realizada.
-Tipo: eficiencia.
-Fórmula:
(Señalización implementada / Señalización planificada) x 100%.</td></tr>
<tr><td colspan="4">ETAPA DEL PROYECTO</td></tr>
<tr><td>Pre-construcción</td><td>Construcción (X)</td><td>Operación y Mantenimiento</td><td>Abandono y Restauración</td></tr>
<tr><td colspan="4">ACTIVIDADES GENERADORAS</td></tr>
<tr><td colspan="4">Operación y funcionamiento del esquema de tratamiento de aguas residuales.</td></tr>
<tr><td colspan="4">IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR</td></tr>
</table>

Alteración en las características físicos del suelo por compactación de maquinaria
TIPO DE MEDIDA
Mitigación
LUGAR DE APLICACIÓN
Sitio de operación
ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR
Implementación de pastos como cobertura en zonas compactadas
Planificación de rutas de trasporte de material
DESCRIPCIÓN
Implementación de pastos como cobertura en zonas compactadas: Selección de pastos: Elige especies de pastos que tengan sistemas radiculares profundos y vigorosos. Estos pastos ayudarán a romper la compactación del suelo a medida que sus raíces se extienden y crean galerías.Algunas opciones de pastos con buen potencial para descompactar el suelo son el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), el pasto bermuda (*Cynodon dactylon*), y el pasto pangola (*Digitaria decumbens*). Preparación del terreno y siembra: Realiza una labor de arado o subsolado para aflojar el suelo en la capa compactada. Esto permitirá que las raíces penetren más fácilmente. Posteriormente, se realizará la siembra los pastos a la profundidad recomendada según la especie. Generalmente, se recomienda una profundidad de siembra de 1 a 2 cm. Monitoreo: Se verifica el crecimiento de los pastos sembrados, y si hay que hacer cortes regulares para estimular el desarrollo de nuevas raíces y brotes. Planificación de rutas de trasporte de material: La planificación de rutas de transporte de material se convierte en una actividad crucial para gestionar el impacto de compactación del suelo generado por el uso continuo de maquinaria pesada. El objetivo principal de esta estrategia radica en minimizar el impacto negativo sobre el suelo al establecer rutas específicas que distribuyan de manera equitativa la carga vehicular. Al diseñar estas rutas, se busca evitar la repetición de trayectos sobre áreas sensibles, reduciendo así la presión ejercida sobre el suelo y disminuyendo el riesgo de compactación excesiva. Además, la planificación cuidadosa de las rutas también puede considerar la topografía del terreno y la ubicación de características ambientales importantes, como cuerpos de agua o áreas protegidas, garantizando así una gestión responsable y sostenible de los recursos naturales durante las operaciones de transporte de material.
PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total
Profesional Ambiental	1	$2.761. 538	1	$2.761. 538
TOTAL			$1.761.538	
COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS				
Maquinaria o insumo		Costo	Cantidad	Total
Señalización vertical vial		$100.000	1	$100.000
Semillas de pasto		$35.000	1kg	$35.000
Tierra negra fértil		$1200	1000kg	$1.200.000
Rastrillo		$50.0000	2	$ 100.000

COSTOS DE TRANSACCIÓN	
Transacción	Precio
Contratación	$2.000.000
Póliza segura	$1.400.000
TOTAL MEDIDA	$7.596.538

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

INGETEC. (2017). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Sistema Hidroeléctrico del Rio San Juan. Colombia.

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 46. Manejo de lodos y sedimentos.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – AB5. MANEJO DE LODOS Y SEDIMENTOS	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Abiótico
DESCRIPCIÓN	
Con esta medida de manejo se permitirá prevenir la afectación del suelo por la mal disposición de los lodos, generados por el tratamiento de aguas residuales.	
OBJETIVOS	
General: prevenir los impactos asociados a la alteración de las características del suelo por la mala disposición de los lodos generados por el tratamiento de las aguas residuales. **Específicos**: • Crear un esquema que trate los lodos generados para evitar la afectación al suelo en su disposición final • Implementar acciones para el mantenimiento y limpieza adecuadas de las estructuras hidráulicas	
META	**INDICADOR**
100 % del manejo de los lodos generados	-Indicador: porcentaje de esquema incorporado. -Tipo: eficiencia. - Fórmula: (Número estructuras hidráulicas implementados/ Número de estructuras hidráulicas a implementar) x 100%.
100 % de un sistema de tratamiento de lodos con todos los procesos unitarios para su disposición final.	-Indicador: porcentaje de esquema incorporado. -Tipo: eficiencia. - Fórmula: (Número estructuras hidráulicas implementados/ Número de estructuras hidráulicas a implementar) x 100%.
100 % de acciones de limpieza y mantenimiento mensuales en las estructuras hidráulicas.	- Indicador: porcentaje de acciones cumplidas en laboras de limpieza y mantenimiento. -Tipo: eficiencia. - Fórmula: (Número de acciones realizadas/Numero de acciones planificadas) x 100%.
ETAPA DEL PROYECTO	

Pre-construcción	Construcción	Operación y Mantenimiento (X)	Abandono y Restauración
ACTIVIDADES GENERADORAS			
Operación y funcionamiento del esquema de tratamiento de aguas residuales.			
IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR			
Cambio en las características fisicoquímicas del suelo por la disposición de lodos con alta carga contaminante Cambio en las características fisicoquímicas del suelo por la disposición de sedimentos con alta carga contaminante			
TIPO DE MEDIDA			
Prevención			
LUGAR DE APLICACIÓN			
Sitio de operación			
ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR			
Creación sistema de transporte de lodos activados			
Implementación de esquema para el tratamiento de lodos activados			
Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas			
DESCRIPCIÓN			
Creación sistema de transporte de lodos activados: Lodos de un esquema de tratamiento de aguas residuales requiere transporte para su tratamiento y disposición. Uno de los sistemas más usados para impulsar lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales están las bombas, entre las que se encuentra las bombas de embolo, se consiguen con 1, 2 o 3 émbolos de capacidad igual a 2,5 a 3,8 L/s por émbolo, varia velocidad entre 40 y 50 RPM y cabezas entre 24 y 70 m. Se caracterizan por ser bombas de uso muy frecuentes que permiten cabezas de succión hasta de 3 m y son auto-cebantes. Implementación de esquema para el tratamiento de lodos activados: Se muestra el esquema para el tratamiento de lodos, que consiste en espesar los sólidos para aumentar su concentración y reducir el volumen total. Sigue la estabilización que es una forma de oxidación, reducir el volumen de lodo para hacerlo inocuo, y por último, la remoción de una porción importante de agua, esto para disminuir el volumen aún más del lodo. A continuación, se muestra las tecnologías implementadas: Digestor anaerobio: Un digestor anaerobio es un tanque cerrado donde los lodos activados se descomponen en ausencia de oxígeno. En este entorno sin oxígeno, los microorganismos descomponen la materia orgánica presente en los lodos, produciendo biogás (principalmente metano) y lodo estabilizado. Estos son recomendados para esquemas de tratamiento con caudales menores de 19.000 m^3/d, y 220 L/s para poder estabilizar el componente orgánico. En este proceso el sobrenadante es enviado al esquema de tratamiento para que pueda seguirse tratando el agua residual. No es apto para uso en plantas de tratamiento de aguas residuales por su alto costo de operación del equipo de aireación. Acondicionamiento químico:			

Coagulación: se añaden coagulantes (como sulfato de aluminio o cloruro férrico) para neutralizar las cargas eléctricas en las partículas sólidas. Esto provoca que las partículas se agrupen y formen flóculos más grandes.
Floculación: se agregan floculantes (como polímeros) para unir los flóculos y formar estructuras más grandes y densas. Esto facilita la sedimentación y separación del lodo del agua.

Centrifugación:
El secado por centrifugación es un proceso en el cual se aplica la fuerza centrífuga al lodo para separar la fracción solida de la fracción liquida. La centrifuga separa el lodo en una pasta desaguada y en un ¨Centrato¨ clarificado con base en la diferencia de densidad existente entre los sólidos y el líquido circundante. Este paso es posible por el floculante que se aplica en el tanque de estabilización, esto para que el lodo tenga una mayor adición y puede ser separado efectivamente. El ¨Centrato¨ generado por el centrifugador vuelve a hacer parte del afluente vuelve a hacer tratado por el afluente. Una vez finalizado estos procesos se dispone el lodo seco para ser parte de la tierra para recuperación de suelo, o incluso dispuesto en un relleno sanitario.

Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas:
Se hace la limpieza de las estructuras hidráulicas mediante la acción de un operario que se encarga de realizar estas acciones, cuando no esté en funcionamiento el esquema de tratamiento. La limpieza y mantenimiento se realizará al menos una vez por semana y cuando se presente algún problema de funcionamiento del esquema de tratamiento.

PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total
Operario	1	$1.500.000	1	$1.500.000
TOTAL			$1.500.000	

COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS			
Maquinaria o insumo	Costo	Cantidad	Total
Pala	$30.000	1	$30.000
Bombas de embolo	$922.000	1	$922.000
Digestor Anaerobia	$30.000.000	1	$30.000.000
Tanque Centrifugador	$8.000.000	1	$8.000.000
Floculador	$20.000	12/año	$240.000

COSTOS DE TRANSACCIÓN	
Transacción	Precio
Contratación	$2.000.000
Póliza segura	$1.400.000
TOTAL MEDIDA	$44.092.000

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Romero, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. Colombia.

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 47. Manejo de residuos sólidos y líquidos.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – AB6. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Abiótico
DESCRIPCIÓN	
Prevenir las afectaciones al recurso suelo, agua y aire por la generación de residuos sólidos a partir de la implementación de medidas para el manejo, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos generados durante las actividades de construcción y operación	
OBJETIVOS	
General: Mitigar los impactos asociados al mal manejo de residuos sólidos y líquidos generados dentro de la construcción, operación y mantenimiento del tren de tratamiento seleccionado. **Específicos**: • Asegurar el tratamiento adecuado de los residuos líquidos generados durante la operación y mantenimiento del tren de tratamiento • Optimizar la gestión de residuos sólidos generados en la construcción y operación del tren de tratamiento.	
META	**INDICADOR**
90 % de la reducción en los impactos ambientales asociados al manejo de residuos	- Indicador: Porcentaje de Cumplimiento -Tipo: Eficacia. - Fórmula: (Numero de impactos ambientales asociados a la mala disposición atendidos/ Numero de impactos ambientales asociados a la mala disposición identificados) x 100%.
100 % del tratamiento adecuado de residuos líquidos	- Indicador: Porcentaje de Residuos Líquidos Tratados Adecuadamente. -Tipo: Eficiencia. -Fórmula: (Volumen de residuos líquidos tratados adecuadamente/Volumen de residuos líquidos tratados adecuadamente) x 100%.
100 % de la disposición correcta de residuos sólidos	- Indicador: Porcentaje de Residuos Sólidos Correctamente Dispuestos y Reciclados -Tipo: Eficiencia. -Fórmula (Volumen de residuos sólidos correctamente dispuestos y reciclados/ Volumen total de residuos sólidos generados) x 100%.

ETAPA DEL PROYECTO			
Pre-construcción	Construcción (X)	Operación y Mantenimiento (X)	Abandono y Restauración
ACTIVIDADES GENERADORAS			
Construcción de obras civiles e hidráulicas			
IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR			
Cambios en las características del suelo por posibles derrames, residuos sólidos, descarga de efluentes o desechos sólidos que se dispongan dentro del área de influencia del proyecto			
TIPO DE MEDIDA			
Mitigación			
LUGAR DE APLICACIÓN			
Sitios de construcción y operación			
ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR			
Clasificación en la fuente			
Reutilización, reciclaje y disposición final			
Manejo de residuos por derrames accidentales			
DESCRIPCIÓN			
Clasificación en la fuente: Los residuos sólidos se clasificarán en los diferentes frentes de obra y campamentos de acuerdo con su origen. Para esto se contará con puntos de separación en la fuente, donde los operarios puedan hacer la clasificación manualmente. Previo al inicio de las actividades el contratista deberá estructurar y presentar para la aprobación de la interventoría el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) para el Proyecto, en el cual se deberá incluir como mínimo: Identificación de los residuos a ser generados en las actividades de construcción y operación. Identificación de los puntos de generación. Procedimiento para la clasificación y separación en la fuente. Metodología para la cuantificación y registro de los residuos ingresados a los sitios de acopio. Definir los periodos de recolección y la disposición final de los mismos, según sea el tipo De residuo generado. Reutilización, Reciclaje y disposición final: En lo posible se recomienda reutilizar residuos tales como: papel, cartón, recipientes, empaques, pedazos de estructuras, cables y aisladores, entre otros. Reciclaje: Separar los residuos sólidos generados durante la construcción, que puedan ser utilizados como materia prima en la producción de elementos. Disposición final: Una vez clasificados y debidamente embalados, se entregarán al gestor autorizado y se dispondrán en los sitios autorizados para tal fin. Manejo de residuos por derrames accidentales: En caso de que ocurran derrames accidentales de aceites, acelerantes, pinturas, disolventes, etc., se debe recoger inmediatamente.			

Se prohíbe la utilización de aceites usados como combustibles de mecheros o antorchas, ya que estas prácticas van en contra de la normatividad ambiental vigente.
Se llevará un registro de todos los derrames presentados, indicando la fecha, el sitio y la medida correctiva aplicada.
Los residuos generados en estas actividades deberán ser entregar a entidades o gestores autorizados y que cumplan con la normatividad ambiental vigente en cuanto a transporte y disposición final.

PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total
Gestor de residuos	1	$2.761. 538	1	$2.761. 538
Ingeniero ambiental	1	$2.761. 538	1	$2.761. 538
TOTAL			$5.523.076	
COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS				
Maquinaria o insumo		Costo	Cantidad	Total
Contenedores de residuos solidos		$70.000	7	$700.000
EEP: Guantes y protección ante residuos		$50.000	10	$500.000
COSTOS DE TRANSACCIÓN				
Transacción		Precio		
Contratación		$4.000.000		
Póliza segura		$2.800.000		
TOTAL MEDIDA		$13.523.076		

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Empresa de Energía Bogotá. (2016). Capítulo 7. Plan de Manejo Ambiental “Subestación Norte 500 kV y Líneas de Transmisión Norte – Tequendama 500 kV y Norte – Sogamoso 500 kV, Primer Refuerzo de Red del Área Oriental, Obras que hacen parte de la Convocatoria UPME 01 de 2013.

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 48. Manejo de residuos por excavación.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – AB7. MANEJO DE RESIDUOS POR EXCAVACIÓN	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Abiótico
DESCRIPCIÓN	
Con esta medida de manejo permitirán la mitigación referente al proceso de excavación para adecuar el terreno donde se instalará el tren de tratamiento	
OBJETIVOS	
General: Mitigar los impactos ambientales asociados al manejo inadecuado de residuos generados por excavación durante las fases de construcción, operación y mantenimiento del tren de tratamiento seleccionado. **Específicos**: • Realizar la disposición adecuada final de todos los residuos de excavación que salgan de la adecuación del terreno. • Estabilizar todas las paredes de excavación que por sus características necesiten mientras se lleva a cabo la construcción.	
META	**INDICADOR**
90% de la reducción de los impactos ambientales asociados al manejo de residuos de excavación	-Indicador: Reducción de Impactos Ambientales por Residuos de Excavación -Tipo: Eficacia. - Fórmula: (Reducción de impactos ambientales por residuos de excavación/ impactos ambientales iniciales) x 100%.
95% de la disposición adecuada final de los residuos de excavación	- Indicador: Porcentaje de Residuos de Excavación Dispuestos Adecuadamente -Tipo: Eficiencia. -Fórmula:(Volumen de residuos de excavación dispuestos adecuadamente / Volumen total de residuos de excavacion generados) x 100%.
100% de la estabilización de paredes de excavación necesarias durante el periodo de construcción.	- Indicador: Porcentaje de Paredes de Excavación Estabilizadas -Tipo: Eficacia. - Fórmula: (Numero de paredes de excavación estabilizadas/ Número total de

		paredes de excavación que necesitan estabilización) x 100%.	
ETAPA DEL PROYECTO			
Pre-construcción	Construcción (X)	Operación y Mantenimiento	Abandono y Restauración
ACTIVIDADES GENERADORAS			
Construcción del tren de tratamiento.			
IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR			
Cambios en las características del suelo			
TIPO DE MEDIDA			
Mitigación			
LUGAR DE APLICACIÓN			
Sitio de Construcción y excavación por adecuación de terreno			
ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR			
Manejo de residuos de excavación			
Estabilización de paredes de excavación			
DESCRIPCIÓN			
Estabilización de paredes de excavación: Se deberán aplicar e implementar buenas prácticas de construcción, ejecutándolas de tal manera que no causen daños innecesarios a estructuras, vías, servicios públicos, propiedades o cultivos localizados cerca pero fuera de los límites de las excavaciones. Se dimensionarán las excavaciones de forma que provean amplio espacio para las obras de cimentación, entibado (cuando las condiciones del terreno así lo requieran), bombeo y desagüe que pudieren ser necesarios. En caso de que se amerite, se dará firmeza a las paredes de la excavación con entibados presionados contra el terreno por gatos, cuñas o codales, que aseguren un íntimo contacto con el terreno y su inmovilidad. Los entibados y demás elementos se colocarán tan pronto como lo permitan los métodos constructivos y antes de que el terreno ceda. Los entibados serán discontinuos, cerrados o machihembrados, según lo requieran las condiciones del terreno. Estos últimos se emplearán para retener suelos finos e inestables situados por debajo del nivel freático y deberán hincarse en el fondo de la excavación. Esta actividad se desarrollará principalmente cuando no se disponga de suficiente espacio para la excavación y al realizarse un corte vertical puedan activarse movimientos de tierra producto del empuje lateral de la tierra contenida. Los entibados de madera y demás material que pueda desintegrarse con el tiempo, deberá retirarse antes de iniciar las operaciones de relleno Manejo de residuos de excavación: Los residuos de excavación se almacenarán adecuadamente con el fin de no producir daños a los bienes situados dentro o fuera del predio destinado. Sin embargo, en caso de que estos materiales sean aptos para el relleno y reconformación de los sitios intervenidos, deberán ser cubiertos mediante plásticos, esto con el fin de evitar que se humedezcan o que por acción del viento o el agua sean arrastrados o dispersados y causen impactos ambientales. Adicionalmente, se evitará el almacenamiento temporal de residuos cerca de cuerpos de agua, sitios públicos y en sitios de moderada o alta pendiente (> 12%). No se almacenarán residuos de excavación dentro del sitio de obra por largos períodos. Siendo así, la frecuencia			

de evacuación será de tres veces por semana dependiendo de la actividad y la generación de residuos, para evitar migración del material por efectos de la lluvia o el viento.
En caso tal que los sobrantes de excavación no puedan ser dispuestos alrededor de las áreas intervenidas, previo al inicio de la etapa de construcción deberá indagarse sobre áreas de disposición de escombros o ZODME autorizadas para la disposición de estos sobrantes

PRESUPUESTO TOTAL

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total
Profesional Ambiental	1	$2.761. 538	1	$2.761. 538
Mano de obra	3	1.400.000	1	$4.200.000
TOTAL			$1.761.538	

COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS			
Maquinaria o insumo	Costo /m3	Cantidad	Total
Codal de madera, de 70 a 90 mm de diámetro y entre 2 y 2,5 m de longitud, para apuntalamiento y entibación de excavaciones.	8.860	50m3	$443.000
Madera de pino para apuntalamiento y entibación de excavaciones.	$24.600		$1.230.000
Puntas de acero de 20x100 mm	$2000		$100.000
Total	$1.773.000		

COSTOS DE TRANSACCIÓN	
Transacción	Precio
Contratación	$2.000.000
Póliza segura	$2.800.000
TOTAL MEDIDA	$10.773.000

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Empresa de Energía Bogotá. (2016). Capítulo 7. Plan de Manejo Ambiental “Subestación Norte 500 kV y Líneas de Transmisión Norte – Tequendama 500 kV y Norte – Sogamoso 500 kV, Primer Refuerzo de Red del Área Oriental, Obras que hacen parte de la Convocatoria UPME 01 de 2013”

Fuente: (Autores, 2024)

Tabla 49. Manejo de vectores.

PROPUESTA DE GUIA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS APROPIADAS EN EL PROCESO DE REÚSO Y LA RECICULACIÓN DE AGUA DENTRO DE LA INDUSTRIA DE FLORICULTURA EN EL MUNICIPIO DE NEMOCON, CUNDINAMARCA	
FICHA – B1. MANEJO DE VECTORES	UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
MEDIO	Biótico
DESCRIPCIÓN	
Reducir la población de vectores, minimizando así los riesgos asociados con la transmisión de enfermedades. mediante el control biológico, el control químico, el mantenimiento adecuado y el monitoreo constante.	
OBJETIVOS	
General: Implementar un programa integral de manejo de vectores en tecnologías de tratamiento de aguas residuales, como lagunas aireadas y humedales de flujo libre, para reducir la población de vectores y minimizar los riesgos asociados con la transmisión de enfermedades. **Específicos**: • Generar un control biológico de vectores mediante la introducción y mantenimiento de poblaciones de depredadores naturales. • Implementar de ser necesario el control químico de vectores mediante la aplicación adecuada de larvicidas e insecticidas.	
META	**INDICADOR**
90 % de la reducción de la población de vectores	- Indicador: Reducción de la Población de Vectores -Tipo: Eficacia. - Fórmula: (Densidad poblacional final de vectores en áreas identificadas /Numero inicial de áreas con vectores) x 100%.
85 % del control efectivo biológico de las áreas de tratamiento mediante la introducción y mantenimiento de depredadores naturales	- Indicador: Porcentaje de Áreas de Tratamiento con Control Biológico Efectivo -Tipo: Eficacia. -Fórmula:(Áreas de tratamiento con control biológico efectivo /Area total del tratamiento) x 100%.
95% de efectividad en el control de vectores mediante el uso de métodos químicos complementarios	Indicador: Porcentaje de Efectividad del Control Químico de Vectores -Tipo: Eficacia. -Fórmula: (Reducción en la población de vectores en áreas tratadas químicamente

		/Número total de aspersiones programadas) x 100%.	
ETAPA DEL PROYECTO			
Pre-construcción	Construcción	Operación y Mantenimiento (X)	Abandono y Restauración
ACTIVIDADES GENERADORAS			
Operación en el tratamiento del agua de la laguna aireada o Humedal de flujo libre.			
IMPACTOS AMBIENTALES PARA MANEJAR			
TIPO DE MEDIDA			
Prevención			
LUGAR DE APLICACIÓN			
Espejos de agua dentro de la laguna aireada o Humedal de flujo libre.			
ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR			
Control biológico			
Mantenimiento adecuado y Monitoreo constante			
DESCRIPCIÓN			
Control biológico: Introducción de organismos depredadores naturales de los vectores, como insectos depredadores para reducir sus poblaciones. Identificar organismos depredadores naturales de los vectores presentes en el área. Introducir y mantener poblaciones de estos depredadores, como peces larvívoros, o insectos depredadores. Monitorear regularmente las poblaciones de depredadores y su eficacia en la reducción de las poblaciones de vectores. Asegurar que las condiciones del hábitat sean adecuadas para el establecimiento y la reproducción de los organismos depredadores. Mantenimiento adecuado y Monitoreo constante: Mantenimiento regular de las instalaciones para prevenir la acumulación de materia orgánica o sedimentos que podrían servir como criaderos de vectores. Vigilancia regular de las poblaciones de vectores y de las condiciones del agua para detectar y abordar cualquier problema potencial de manera oportuna. Realizar inspecciones periódicas de las instalaciones para identificar y corregir posibles fuentes de agua estancada o acumulación de materia orgánica. Limpiar y despejar regularmente las áreas alrededor de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales para reducir la presencia de criaderos potenciales de vectores. Implementar medidas para reducir la vegetación excesiva que pueda proporcionar refugio a los vectores. Monitorear continuamente las poblaciones de vectores y las condiciones del agua para detectar cualquier aumento inusual en la actividad de los vectores o cambios en la calidad del agua que puedan indicar la necesidad de intervención.			
PRESUPUESTO TOTAL			

COSTOS PERSONAL				
Profesional	Cantidad	Costo/mes	Meses	Total

Profesional Ambiental	1	$2.761. 538	3	$8.284. 614
TOTAL			$	
COSTO MAQUINARIAS Y INSUMOS				
Maquinaria o insumo		Costo /m3	Cantidad	Total
Peces larvivoros		30.000	100	$3.000.000
Mantenimiento humedal		$350.000	3	$1.050.000
Total		$4.050.000		
COSTOS DE TRANSACCIÓN				
Transacción		Precio		
Contratación		$2.000.000		
Póliza segura		$2.800.000		
TOTAL MEDIDA		$17.134.614		

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

Romero, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. Colombia.

Fuente: (Autores, 2024)

11. Conclusiones

La elaboración de esta guía representa un avance para optimizar la gestión del recurso agua en el sector de floricultura en Nemocón, ya que a través de la metodología desarrollada como resultado se logró establecer un marco de referencia óptimo para determinar el tren de tratamiento más adecuado en función de la disposición de reúso final para el agua usada en el proceso de riego, según la normativa vigente Esta guía al integrar lineamientos técnicos sobre la adaptación de tecnologías según el terreno, caracterización del agua de reusó y comparando la capacidad de remoción de los diferentes esquemas de tratamiento posibles, proporciona una herramienta práctica y precisa para la selección de tecnologías. Lo que promueve la sostenibilidad y el uso responsable del recurso hídrico en este sector.

Se caracterizó el agua residual utilizada en las industrias de flores en Nemocón con ocho parámetros medidos en el laboratorio, sin embargo, por la falta de recursos se tuvo que acudir a información secundaria que permitió obtener información adicional de parámetros como DBO, DQO, nitratos y sulfatos, pero no se llegó a obtener datos de variables de metales, lo que significa que para hacer la acción de recirculación se necesita un análisis de laboratorio de agua más exhaustivo que incluya todos estos parámetros. Por otra parte, para la disposición de agua para reúso en contacto primario y secundario, vertimiento al agua y alcantarillado, se pudo medir la totalidad o mayoría de parámetros, lo que posibilitó la selección de esquemas de tratamiento para reúso del agua proveniente de la floricultura.

El análisis de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en el sector de la floricultura en Colombia revela una realidad, donde el reúso del agua y la implementación de trenes de tratamiento no son prácticas generalizadas. La investigación, que incluyó diversas fuentes de información, evidenció que este sector no se destaca por el uso de tales tecnologías. Sin embargo, al tomar datos del trabajo por Santillán, 2005 en “Caracterización y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la industria de flores "La Florícola", ubicada en Tabacundo, Ecuador, se abre una ventana para explorar y promover la adopción de prácticas más sostenibles en el tratamiento y reúso del agua en la floricultura colombiana.

En lo consultado y según la experiencia de profesionales en agronomía no existen empresas de floricultura que cuenten con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales para que se tenga el mismo uso o un uso diferente al riego en Colombia, por lo cual, estas tecnologías se podrían implementar en empresas que quieran mejorar su sistema productivo para que tenga un enfoque de producción más limpia, para obtención de beneficios ambientales.

Las matrices de remoción realizadas son la compilación de información secundaria obtenida, así mismo se añadió la norma RAS 2000 y 2021 para hacer una comparación de cómo es la eficiencia de las tecnologías en Colombia con respecto a las eficiencias de dichas tecnologías con investigaciones en otros países. En cuanto a la implementación de los trenes de tratamiento y los requisitos específicos en el contexto colombiano se tomaron textos especializados que sirvieron como procedimiento para dar paso a la metodología para la definición de la implantación de esquemas tecnológicos y sus requerimientos, por lo cual, esto sirve como un insumo o marco de referencia para una posible implementación de un nuevo método de selección en este sector de la agricultura.

La evaluación del impacto ambiental de las tecnologías de tratamiento seleccionadas revela una marcada predominancia de impactos abióticos, lo que sugiere que este componente será de los más afectados por la implementación de los trenes de tratamiento en el contexto de la metodología planteada. A través del análisis de la investigación, se identificaron una variedad de impactos, con una representación significativa en el ámbito abiótico de 11 impactos, seguido por 1 impacto en el medio biótico y otro en socioeconómico. Para abordar estos impactos, se desarrolló un plan de manejo ambiental que incluye medidas de control específicas, consolidadas en 8 fichas que corresponden a cada impacto presente en los esquemas de tratamiento resultantes con destino de reúso de agua. Dentro de las medidas de manejo, la tipicidad de las acciones a realizar corresponde mayoritariamente a ser de mitigación, por lo supone que el plan busca reucir las externalidades que se presentan en las actividades de construcción y mantenimiento del esquema de tratamiento.

12. Recomendaciones

Basándose en la investigación, se hace evidente la necesidad de realizar ajustes a la normativa existente en materia de tratamiento y reusó de aguas residuales industriales. Es fundamental reconocer que los parámetros y niveles admisibles actualmente establecidos pueden resultar inalcanzables para muchos sectores económicos, dado que la tecnología disponible no siempre permite cumplir con todas las exigencias como lo dice la norma y, por otra parte, resulta monetariamente inasequible por el sector. Por consiguiente, se requiere un redimensionamiento de estos parámetros, así como una revisión de las actividades y sectores económicos finales contemplados para el reúso de agua tratada. Es imperativo ampliar la gama de actividades que pueden beneficiarse del reúso del agua, más allá del sector agrícola, como lo establece la normativa actual. Esto garantizará una mayor inclusión y aprovechamiento de recursos hídricos tratados en diversas industrias. Se recomienda la elaboración de decretos que contemplen el reúso de agua de manera más equitativa y realista, teniendo en cuenta las capacidades tecnológicas disponibles y las necesidades reales de cada sector. Esto promoverá un enfoque más justo y coherente en la gestión del agua, asegurando su uso eficiente y sostenible en todas las actividades económicas.

Teniendo en cuenta la realidad industrial colombiana donde es normal que no se cuente con ningún nivel de tratamiento y los resultados de la investigación, se recomienda a las empresas de floricultura que ya cuenten con un tren de tratamiento implementado utilicen la matriz diseñada en este trabajo como una herramienta de optimización para mejorar su capacidad de remoción de contaminantes. Esta matriz proporciona una guía clara y detallada para complementar el tren de tratamiento existente con las tecnologías más adecuadas para el destino final de reúso deseado y a su vez asegura el cumplimiento de las especificaciones de la normativa vigente. Además, se sugiere que las empresas consideren la implementación de prácticas de cultivo hidropónicos para optimizar el reúso y recirculación del agua, el cual minimiza los posibles impactos sobre los recursos naturales el suelo lo que dará como resultado que las empresas no solo puedan mejorar su eficiencia operativa, sino también contribuir significativamente a la conservación de los recursos.

13. Bibliografía

Abril, L. & Galvis, L. (2022). elección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Socorro, Santander. Universidad Industrial de Santander.

Alfoncina R, Diana C. Rodríguez, Gustavo A. Peñuela. (2021). Eficiencia de un reactor SBR para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual de una industria de teñido de flores. Revista ION.

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.

Awad, M., & Abdel-Ghani, S. (2014). Performance of high-rate trickling filters for the treatment of domestic wastewater. Environmental Engineering Research, 29(1), 11-19.

Bartram, J., & Ballance, R. (1996). Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. CRC Press.

Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers.

Bernal, D.P., Cardona, D. A., Galvis, A., Peña, M. R. (2013). Guía de Selección de Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Métodos Naturales. Universidad del Valle.

Cabrales, V. (2021). Metodología Para La Selección De Tecnologías De Tratamiento De Aguas Residuales En Un Sistema Regionalizado. Recuperado de: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/c90edb40-0088-4d90-b9a3-e68ef97fb8e2/content

CDM. (2014). Informe de costos de inversión y de operación y mantenimiento de alternativas. Canoas, Antioquia: CDM.

Cárdenas León J. (2022). Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales. Segunda Edición. Publicado por Ecoe Ediciones. Colombia.

Conesa, V. (1993). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Editorial MUNDI-PRENSA. Madrid. España.

Connor, R. (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua, resumen ejecutivo. Naciones Unidas.

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUA). (2008). Plan maestro de acueducto y alcantarillado del área urbana del municipio de Belmira. Colombia.

Cutipa P. & Ramos B. (2021). “Propuesta de un sistema de tratamiento biológico para agua residual no doméstica de centro comercial de Arequipa”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú.

Csuros, M., & Grob, R. L. (2007). Environmental Sampling and Analysis for Technicians. CRC Press.

Decreto 1076. (2015). Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. Colombia.

Galvis, A., Cardona, D. A., & Bernal, D. P. (2005). Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes, SELTAR. *Conferencia Internacional: De La Acción Local a Las Metas Globales*.

García, J., & López, J. (2020). Estudio de la remoción de sulfatos en el sedimentador primario de una PTAR en Colombia. Revista Ingeniería y Desarrollo, 37(3), 149-156.

Gonzales, W. & Núñez, M. (2021). Eficiencia del proceso de cloración en la eliminación de coliformes termo tolerantes en una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Autónoma de Chota. Perú.

Ehmins, S. (2005). Caracterización y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de una "Empresa Florícola". Universidad Internacional SEK. Quito. Ecuador.

Espinel Ortiz, A. A. (2023). Informe Elaboración del Presupuesto para la Construcción del Sistema de Acueducto de la Vereda La Unión. Universidad Cooperativa de Colombia.

Foster, S. Hirata, R & Ventura, M. (1987). Contaminación de las aguas subterráneas. Informe Técnico". OMS, OPS, CEPIS. Lima. Perú.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá. Colombia.

IDEAM. (2020). Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM. Colombia.

IDEAM. (2018) Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM. Colombia.

IDEAM. (2023). Costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Bogotá, Colombia: IDEAM.

Jimenez, G. (1994). Analsis de suelo en el Municpio de Nemocón Cundinamarca. CAR.

Núñez, F. & Gonzáles, V. (2021). Eficiencia del proceso de cloración en la eliminación de coliformes termotolerantes en una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Autónoma de Chota. Perú.

Organización Panamericana de la Salud (2005). Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Lima. Perú.

Plakas, K. v., Karabelas, A. J., & Georgiadis, A. A. (2016). Sustainability assessment of tertiary wastewater treatment technologies: A multi-criteria analysis. Water Science and Technology, 73(7), 1532–1540.

López, J. M., Peña, M. A., & Torres, A. L. (2022). Eficiencia de remoción de sulfatos en biodiscos en Colombia. Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales.

López, M., Suárez, M., & Ortiz, M. (2018). Tratamiento de aguas residuales municipales con lodos activados clásicos: evaluación de la eficiencia en la remoción de materia orgánica y nutrientes. Revista Colombiana de Ingeniería Ambiental, 26(2), 135-150.

Lozano, G. Rodriguez, J. (2017). Herramienta de Selección de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales basada en Modelos de Decisión Multicriterio Caso de Estudio: Municipios de Colombia. Recuperado de: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/7c293305-1d9f-4f37-8a95-8b269705e2a7/content

Mannina, G., Rebouças, T. F., Cosenza, A., Sànchez-Marrè, M., & Gibert, K. (2019). Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of art. In Bioresource Technology (Vol. 290).

Mahjouri, M., Ishak, M. B., Torabian, A., Abd Manaf, L., Halimoon, N., & Ghoddusi, J. (2017). Optimal selection of Iron and Steel wastewater treatment technology using integrated multi-criteria decision-making techniques and fuzzy logic. Process Safety and Environmental Protection,

Mahvi AH, Sheikhi R, Naddafi K. Total Coliforms and Turbidity Removal of Water in the Continuous Sand Filter. Iran. J. Public Health. 2003;32(3):7-13

María del Pilar Arroyave. (2004). La Lenteja De Agua (Lemna Minor L.): Una Planta Acuática Promisoria. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín.

Márquez-Hernández, P., Hernández-López, D., & López-Pacheco, S. (2016). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante biodiscos: efecto de la temperatura. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32(1), 109-118.

Munasinghe-Arachchige, S. P., Abeysiriwardana-Arachchige, I. S. A., Delanka-Pedige, H. M. K., & Nirmalakhandan, N. (2020). Sewage treatment process refinement and intensification using multi-criteria decision making approach: A case study. Journal of Water Process Engineering, 37.

Nkwonta OI, Olufayo OA, Ochieng GM, Adeyemo JA, Otieno FAO. Turbidity removal: Gravel and charcoal as roughing filtration media. S. Afr. J. Sci. 2010;106(12):1-5.

Noyola, A., Morgan, J., Güereca,. L. (2013). Selección de Tecnologías Para El Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Universidad Autónoma de México.

Núñez, F. & Gonzáles, V. (2021). Eficiencia del proceso de cloración en la eliminación de coliformes termotolerantes en una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Autónoma de Chota. Perú.

Organización Panamericana de la Salud (2005). Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Lima. Perú.

Ridwan, Reri Afrianita, Refa Nabila Hadi (2022). Study of Raw Water Turbidity Removal in Sedimentation Unit Continuous Discharges Flow (CDF) Method Using Plate Settlers. Andalas University. Indonesia.

Rincon. A, Herrera, OF. Ortis, MF. (2014). Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente 1. Universidad Católica de Manizales. Colombia.

Rincón, A. Millan, N. (2013). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Libre. Bogotá. Colombia.

Rincón, J., & García, J. (2016). Tratamiento de aguas residuales agrícolas por lagunas aireadas en la ciudad de Cali, Colombia. Revista Ingeniería y Ciencia, 35(1), 11-20.

Rodríguez, A. Letón, P. Rosal, R. Dorado, M. Villar, S. & Sanz, J. (2006). tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Recuperado de: https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

Rodríguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Revista Tecnura, 19(46), 149-164. doi:10.14483/udistrital. jour.tecnura.2015.4.a12

Rodríguez-Montoya, A. (2019). Evaluación de la eficacia de un humedal anaerobio en la remoción de sulfatos y hierro. Repositorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Santillán, S. (2005). Caracterización y diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de una empresa florícola. En la Universidad internacional SEK - facultad de ciencias ambientales. Quito. Ecuador.

Sierra, L. Ramirez, L. Rodriguez, J. (2018). valuación del postratamiento de aguas residuales municipales mediante la utilización de macrofitas como las lentejas de agua (lemma minor) en lagunas de estabilización. Revista Logos, Ciencia & Tecnología, vol. 10, núm. 2, pp. 153-157.

Tania E. Guerrero Vejarano, Juan C. Salazar Álvarez, José L. Paredes Salazar. (2018). Eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Y Zurbrügg, C. (2018): Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag), 2da. edición revisada.

Torres, D. Vargas, J. Aguirre, R. Cruz, M. (2017). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies Cyperus Papyrus y Phragmites Australis, en Carapongo-Lurigancho. Universidad Peruana Unión. Perú.

Torres-Lozada P, Amezquita-Marroquín CP, Agudelo-Martínez KD, Ortiz-Benítez N, Martínez-Ducuara DS. Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon. Dyna. 2018; 85 (205): 234-239.

United States Environmental Protection Angency (EPA). (1999). Desinfección con cloro. Recuperado de: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/cs-99-062.pdf

United States Environmental Protection Agency (EPA). (1999). Filtros intermitentes de arena. Recuperado de: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/septic_fs_intermittent_sp.pdf

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Sistemas de tanque séptico para aplicaciones de alto caudal. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs-00-079.pdf

Urgiles, S. & Vintilmilla, C. (2023). Evaluación hidráulica y propuesta de rediseño del sedimentador de alta tasa de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Nero. Universidad de Cuenca. Ecuador.

US Environmental Protection Agency (EPA). (1992). "Treatment of Wastewater from Small Communities". EPA-832-R-92-001. Washington, DC: EPA.

Villalobos, I. & Villalobos, M. (2018). Análisis del impacto ambiental de los floricultivos en Cundinamarca: una perspectiva económica. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

Tabla 50. Anexos

Código de anexo	Nombre
Anexo 1	Abreviaturas de tecnologías
Anexo 1.1	Metodología de análisis de laboratorio
Anexo 2	Remoción Uso agrícola
Anexo 3	Remoción Tratamiento convencional
Anexo 4	Remoción Desinfección consumo
Anexo 5	Remoción Contacto primario
Anexo 6	Remoción Contacto Secundario
Anexo 7	Remoción Vertimiento al agua
Anexo 8	Remoción Vertimiento al alcantarillado público
Anexo 9	Evaluación Desarenador
Anexo 10	Evaluación Sedimentador Primario Convencional
Anexo 11	Evaluación Sedimentador Secundario
Anexo 12	Evaluación Sedimentador primario alta tasa
Anexo 13	Evaluación Reactor UASB
Anexo 14	Evaluación Filtro Percolador Alta Tasa
Anexo 15	Evaluación Laguna Aireada
Anexo 16	Evaluación Humedal de Flujo libre
Anexo 17	Mapa de pendiente en las zonas de cultivo de las empresas Flores el Progreso y Tucán 3

Fuente: (Autores, 2024)