



Programa de gestión integral del recurso hídrico en el Colegio del Bosque

Bilingüe UAN-Bogotá, Colombia.

Lizeth Dayana Tovar Lozano

Código: 11231715393

Edwin Gonzalo Timana Beltrán

Código: 11231522129

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

Programa de gestión integral del recurso hídrico en el Colegio del Bosque
Bilingüe UAN-Bogotá, Colombia.

Lizeth Dayana Tovar Lozano

Edwin Gonzalo Timana Beltrán

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

PhD (c). Didier Camilo Sierra Flórez

Línea de Investigación:

Proyecto de Investigación

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Tabla de contenido

Página

Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Marco Conceptual	5
2.1. Huella hídrica.....	5
2.2. Aguas residuales.....	5
2.3. Aguas residuales domésticas.....	5
2.5. Parámetros importantes en el tratamiento de aguas residuales.	6
2.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	6
2.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO)	6
2.5.3. Nitrógeno.....	7
2.5.4. Oxígeno disuelto.....	8
2.5.5. pH.....	9
2.5.6. Tensoactivos	9
2.5.7. Color	10
2.5.8. Aceites y Grasas	10
2.5.9. Sólidos.....	10
2.5.10. Temperatura.....	11
2.5.11. Turbidez.....	11
2.5.12. Grupo coliforme.....	11
2.6. Tratamiento secundario	12
2.6.1. Rendimientos.....	12
2.6.2. Lechos de secado de arena	12
3. Estado del Arte	13
4. Planteamiento del Problema	15
5. Objetivos	16
5.1. Objetivo general.....	16
5.2. Objetivos específicos.....	16
6. Metodología	17
6.1. Etapa 1: Diseño del plan de monitoreo.....	18
6.1.1. Muestreo.....	18
6.1.2. Análisis Físicoquímico.....	19
6.2. Etapa 2: Diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia.....	20
6.3. Etapa 3: Elaboración de protocolo para la gestión integral del recurso hídrico ...	20

7. Resultados y Discusión	20
7.1. Caracterización del agua residual.....	20
7.1.1. Comportamiento del pH.....	21
7.1.2. Comportamiento de la temperatura.....	22
7.1.3. Comportamiento oxígeno disuelto	23
7.1.4. Remoción de la DQO y DBO ₅	23
7.1.5. Comportamiento de tensoactivos.....	24
7.1.7. Remoción de grasas y aceites.....	26
7.1.8. Remoción turbiedad y solidos	26
7.1.9. Comportamiento de la conductividad.....	28
7.1.10. Remoción de coliformes y mesófilos aerobios	28
7.2. Sistema de aprovechamiento de agua lluvia	29
8. Conclusiones	32
9. Contribuciones.....	33
10. Recomendaciones.....	33
Referencias Bibliograficas.....	34
Anexos.....	36
Anexo 1. Etiqueta control de almacenamiento de muestras y cadena de custodia	36
Anexo 2. Informes de monitores	36
Anexo 3. Diseño sistema de aprovechamiento de agua lluvia	36
Anexo 4. Programa de monitoreo y control	36

Lista de Figuras

	Página
Figura 1. Ciclo del nitrógeno	7
Figura 2. Metodología	17
Figura 3. Esquema sistema de tratamiento de agua residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN	18
Figura 4. Comportamiento del pH.....	22
Figura 5. Comportamiento de la temperatura	22
Figura 6. Comportamiento del oxígeno disuelto.....	23
Figura 7. Comportamiento de la DQO	24
Figura 8. Comportamiento de la DBO ₅	24
Figura 9. Comportamiento de tensoactivos	25
Figura 10. Comportamiento de nitratos	25
Figura 11. Comportamiento de nitritos	26
Figura 12. Comportamiento de grasas y aceites	26
Figura 13. Comportamiento de la turbiedad	27
Figura 14. Comportamiento de los sólidos sedimentables	27
Figura 15. Comportamiento de la conductividad	28
Figura 16. Comportamiento de coliformes totales	29
Figura 17. Comportamiento de mesófilos aerobios	29
Figura 18. Precipitaciones periodo 2011-2020	30

Lista de tablas

	Página
Tabla 1. Parámetros para la evaluación del sistema	19
Tabla 2. Límites permisibles en vertimientos de aguas residuales.....	19
Tabla 3. Resultados parámetros in situ y ex situ	21
Tabla 4. Características de los materiales filtrantes	31

Resumen

En busca de reducir la huella hídrica en instituciones académicas, se caracterizaron las aguas residuales mediante diferentes monitoreos del STAR en el Colegio del Bosque Bilingüe-UAN, logrando el diseño de un programa de monitoreo y control. El programa estuvo influenciado principalmente por la falta de capacitación del personal, la ausencia de guías de mantenimiento que establecieran trabajos rutinarios efectuados, análisis de parámetros, frecuencia y periodo de análisis; esta ausencia de información se reflejó en las bajas remociones de DBO_5 , conductividad, nitritos y nitratos. Mediante el análisis hidrometeorológico se identificó que la zona no presenta precipitaciones mayores a 5,56 mm, permitiendo el planteamiento de un colector de agua lluvia compacto a base de botellas PET reutilizadas y el uso de filtro con un medio granular a base de antracita que permite la remoción de materia orgánica y sólidos sedimentables para el aprovechamiento de lavamanos, cisternas y aseo de zonas comunes que permita reducir el gasto de agua potable.

Palabras claves: Tratamiento, aguas residuales, parámetros fisicoquímicos, remoción, agua lluvia.

Abstract

In search of reducing the water footprint in academic institutions, wastewater was characterized through different monitoring of the STAR at the school Colegio del Bosque Bilingüe-UAN, achieving the design of a monitoring and control program. The program was mainly influenced by the lack of personnel training, the absence of maintenance guides establishing routine work performed, analysis of parameters, frequency and period of analysis; this absence of information was reflected in the low removals of DBO_5 , conductivity, nitrites and nitrates. The hydrometeorological analysis identified that the area does not have rainfall greater than 5.56 mm, allowing for the design of a compact rainwater collector based on reused PET bottles and the use of a filter with an anthracite-based granular medium that removes organic matter and sedimentable solids for use in sinks, cisterns and common areas to reduce potable water consumption.

Keywords: Treatment, wastewater, physicochemical parameters, removal, rainwater.

1. Introducción

El aumento de la población, la demanda y la actual contaminación ha limitado la disponibilidad de agua para consumo humano, generando que millones de personas alrededor del mundo no tengan acceso a agua potable y sufran de estrés hídrico. En busca de reducir la inseguridad hídrica del país se han llevado acciones de gestión orientadas a sectores específicos, formulando proyectos robustos desde una visión macro, los cuales no involucran proyectos o programas dirigidos a instituciones que aporten a mitigar el consumo.

Si bien, las instituciones o centros educativos representan un papel importante de análisis con respecto al estrés hídrico. A pesar de ser zonas con una asignación de dotación de 20 L/alumno/jornada en educación elemental y 25 L/alumno/jornada en educación media y superior, se ha logrado evidenciar que el impacto y la demanda es similar al gasto hídrico de ciudades medianas (Bonnet, Devel, Faucher, & Rotunier, 2002). Por lo tanto, surge la necesidad de formular proyectos o programas que permitan gestionar los recursos hídricos en instituciones académicas, involucrando indicadores medioambientales como la huella hídrica, en donde a partir de las tres bases que componen este indicador se busque reducir el consumo de agua y los vertidos que se generan, se mejoren las condiciones hidrosanitarias y se logre incluir diferentes actores sociales en función de aumentar la participación en su gobernanza.

En busca de reducir la huella hídrica en instituciones académicas, las instalaciones del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN en la ciudad de Bogotá permitieron llevar a cabo el presente proyecto, la ausencia de red de alcantarillado en la zona requirió implementar un Sistema de Tratamiento de Agua Residual (STAR) el cual estaba operando, pero no contaba con un plan de monitoreo y control que pudiera establecer el volumen y las condiciones de la huella hídrica gris que allí se genera. Adicional, en función de establecer un programa de gestión integral del recurso hídrico en la institución, se evaluó la pertinencia de implementar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que pueda ser recirculado a las redes secundarias hidrosanitarias en función de reducir el consumo de la huella hídrica azul.

Para el desarrollo del proyecto, este fue dividido en tres etapas. En la primera etapa se diseñó el plan de monitoreo y control del STAR mediante la creación del manual de operación del sistema, para esto se realizó la caracterización del afluente y efluente con el fin de establecer mediante un análisis en laboratorio las características de los parámetros fisicoquímicos del agua y verificar la eficiencia del sistema. Previamente, se diseñaron los documentos de registro (cadena de custodia, etiquetas) que fueron claves para el desarrollo del plan de monitoreo y control.

Durante la etapa dos se llevó a cabo un análisis hidrometeorológico mediante la recolección de información de niveles de precipitación en la zona de estudio, con el fin de establecer un diseño de aprovechamiento de agua lluvia óptimo. Por último, fueron socializados los resultados a la comunidad educativa con el fin de lograr articular la información a los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE).

2. Marco Conceptual

2.1. Huella hídrica

La huella hídrica es un indicador que permite determinar el volumen total de agua dulce utilizado durante la cadena de producción de un bien o servicio. Está constituida por tres componentes según la procedencia del agua:

- Huella Hídrica Azul: agua extraída de fuentes subterráneas y/o superficiales.
- Huella Hídrica Verde: aprovechamiento de agua lluvia.
- Huella Hídrica Gris: agua contaminada por diferentes procesos (Iberdrola, s.f.).

2.2. Aguas residuales

Las aguas residuales son todo tipo de agua la cual su calidad de manera negativa ha sido afectada por procesos antropogénicos y es transportada mediante el sistema de alcantarillado. Dependiendo de sus orígenes, sus características son muy diversas y a la vez los procesos de tratamiento dependen del uso específico y su final vertimiento. Estas características permiten tener conocimiento y control de las mismas (Romero, 2004).

2.3. Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales se dividen en dos tipos: aguas residuales no doméstica y domésticas. Las aguas residuales domésticas son los vertimientos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Las aguas residuales provenientes de inodoros, se denominan aguas negras y son aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en nitrógeno, coliformes fecales y sólidos suspendidos. Las aguas provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras se denominan aguas grises, estas aportan, sólidos suspendidos, DBO, coliformes fecales, fósforo, grasas (Romero, 2004).

2.4. Sistema de tratamiento de agua residual

Los seres humanos a partir de una serie de procesos químicos y biológicos han conseguido devolverle la calidad al agua para lograr ser reutilizada, a esta serie de procesos se le conoce como un sistema de tratamiento de agua residual (Rotoplas, 2019).

2.5. Parámetros importantes en el tratamiento de aguas residuales.

Para el tratamiento del agua residual es importante medir parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el fin de determinar la calidad del agua. A continuación, se establecen los principales parámetros.

2.5.1. *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*

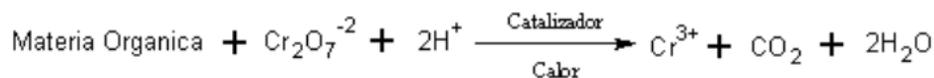
La demanda bioquímica de oxígeno permite establecer la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aerobias. Se denomina demanda bioquímica última del oxígeno carbonácea (DBOUC) cuando se refiere a la DBO necesaria para oxidar todo el material orgánico carbonáceo biodegradable. En condiciones normales de laboratorio, esta demanda es cuantificada a 20 °C, el ensayo estándar se realiza durante cinco días de incubación, con valores numéricos expresados en mg/L O₂ (Romero, 2004).

La DBO es el parámetro más ampliamente escogido para establecer la calidad de aguas residuales y superficiales, permite determinar la cantidad de oxígeno requerido y estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, de igual forma evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar las cargas orgánicas permisible en fuentes receptoras. La DBO estándar en la mayor parte de las aguas usadas para acueductos es menor de 7 mg/L (Romero, 2004).

2.5.2. *Demanda química de oxígeno (DQO)*

La DQO permite medir establecer el oxígeno equivalente necesario para oxidar químicamente la materia orgánica mediante un agente oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, a altas temperaturas y en un medio ácido. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes es necesario la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. Los cloruros pueden causar resultados erróneos de DQO, siendo compuestos inorgánicos que interfieren con el ensayo (Romero J. , 2002).

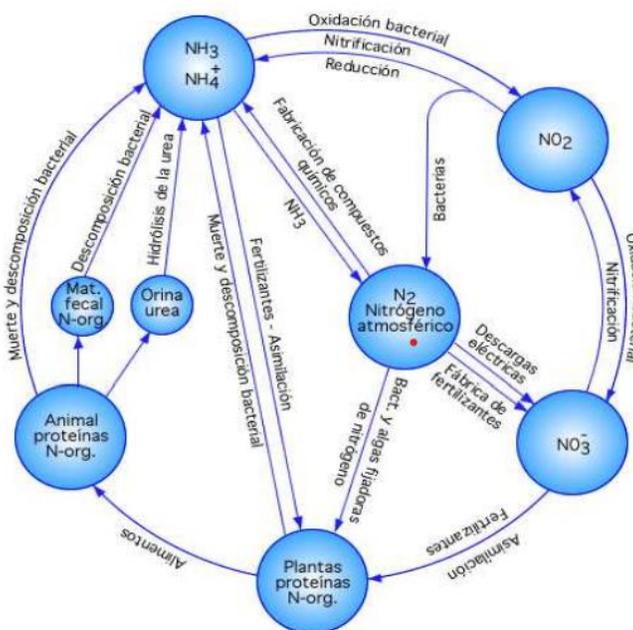
La principal reacción se representa en la siguiente ecuación:



2.5.3. Nitrógeno

En aguas residuales se presenta como nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno en forma de nitritos y nitratos. Todas son formas interconvertibles bioquímicamente y componentes del ciclo del nitrógeno. El nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal se denomina Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK). La determinación del nitrógeno permite evaluar la tratabilidad de las aguas residuales mediante tratamientos biológicos; un agua residual con deficiencia de nitrógeno puede requerir la adición de nitrógeno para su adecuada descomposición (Romero, 2004).

Figura 1. Ciclo del nitrógeno



Fuente: (Romero J. , 2002)

Como se observa en la Figura 1, la forma predominante del nitrógeno en aguas residuales domésticas frescas es orgánico; las bacterias permiten descomponer el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, si el medio es aerobio, en nitritos y nitratos. La presencia de nitratos indica que el residuo se ha estabilizado con respecto a su demanda de oxígeno. Los nitratos, sin embargo, son utilizados por las algas y otros organismos presentes en el agua para formar proteínas y, por lo tanto, puede necesitarse la remoción del nitrógeno para controlar dichos crecimientos.

Se considera nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno existente como amoníaco o como ion amonio, dependiendo del pH.



El amoníaco produce una solución básica cuando se disuelve en agua, esto se expresa en la anterior ecuación; sin embargo, a pH mayor de 9 predomina el ion amonio. La forma tóxica del nitrógeno amoniacal es la no ionizada (NH₃); la forma iónica no es tóxica (NH₄⁺). Por lo tanto, a pH bajo, una concentración relativamente alta de nitrógeno amoniacal total puede ser tóxica, debido a que solo una pequeña porción del total estará presente como NH₃.

En aguas residuales domésticas la concentración de nitritos y nitratos menor de 1 mg/L, nitrógeno total de 30 a 100 mg/L; nitrógeno amoniacal de 5 a 20 mg/L. La concentración de nitratos puede ser del orden de 30 mg/LN en aguas residuales tratadas. La presencia de nitrógeno amoniacal en exceso de 1.600 mg/L es considerada inhibitoria para muchos microorganismos existentes en el proceso de lodos activados (Romero, 2004).

2.5.4. *Oxígeno disuelto*

El oxígeno es un gas de baja solubilidad en el agua, importante para la vida acuática aerobia. La solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua dulce oscila entre 7 mg/L a 35 °C y 14,6 mg/L a 0 °C a presión de una atmósfera. La concentración de saturación de OD está en función de la temperatura, la presión atmosférica y la salinidad del agua. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) inhibe la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y haciendo necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición final. La determinación de este parámetro es el fundamento del cálculo de la DBO y de la

evaluación de las condiciones de aerobividad del agua. En general, los procesos aerobios requieren una concentración de OD superior a 0,5 mg/L. El suministro de oxígeno y la concentración de OD en tratamientos biológicos aerobios y aguas residuales son aspectos de mayor importancia en el diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales. En un tanque de aireación de un proceso de lodos activados, la cantidad de oxígeno que se transfiere al agua residual debe ser suficiente con el fin de satisfacer la demanda microbiana existente en el sistema de tratamiento y mantener un residual de OD del orden de 2 mg/L. Para evitar efectos perjudiciales sobre la vida acuática se recomienda emplear concentraciones mayores de 4 mg/L en aguas naturales (Romero, 2004).

2.5.5. *pH*

En aguas residuales, las concentraciones adversas del ion hidrógeno dificultan el tratamiento biológico, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis (6), en tratamiento biológico favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. El poder bactericida del cloro es mayor a pH bajo, por lo que predomina el HOCl; a pH alto predomina la forma gaseosa no iónica (NH₃) del nitrógeno amoniacal, la cual es tóxica, siendo removible mediante arrastre con aire a pH de 10,5 a 11,5. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica generalmente es de 6,5 a 8,5. Para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0, desnitrificación de 6,5 a 7,5 y para descarga de efluentes de tratamiento secundario se establece un pH de 6,0 a 9,0 (Romero, 2004).

2.5.6. *Tensoactivos*

También conocidos como detergentes o agentes superficiales activos, son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes polares, solubles en agua y aceites. Generalmente, se fabrican por la mezcla de detergente con sales sódicas como sulfatos, fosfatos, carbonatos, silicatos o boratos. Según la presencia del grupo polar hidrófilo, pueden ser aniónicos, catiónicos y no iónicos. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y la formación de espuma aun en bajas concentraciones, cuando se acumula en la interfaz aire-agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales

disueltas. Además, inhiben la actividad biológica y disminuye la solubilidad del oxígeno. Son fuente principal de fósforo en las aguas residuales y causan la eutrofización en lagos. Este parámetro se determina mediante el ensayo conocido como SAAM, sustancias activas al azul de metileno, a través de la cuantificación del cambio de color de una solución estándar de azul de metileno (Romero, 2004).

2.5.7. *Color*

El color en aguas residuales industriales es posible que indique el origen de la polución, de igual manera el estado o deterioro de los procesos de tratamiento. En las aguas residuales domésticas frescas su color generalmente es gris, cuando el agua envejece se torna a gris y luego a color negro. Este color negro de las aguas residuales sépticas se produce principalmente por la formación de sulfuros metálicos (Romero, 2004).

2.5.8. *Aceites y Grasas*

Son consideradas grasas y aceites a los compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren la superficie con la cual entran en contacto, causando iridiscencia y problemas de mantenimiento, interfieren con la actividad biológica debido a que son difíciles de biodegradar. Por lo general provienen de la mantequilla, manteca, margarina, aceites vegetales, hidrocarburos y carnes. Los aceites y grasas de origen vegetal y animal son comúnmente biodegradables y aun estando en forma emulsificada, pueden tratarse en plantas de tratamiento biológico. Las de origen mineral pueden no ser biodegradables y requieren un pretratamiento para lograr ser removidas antes del tratamiento biológico (Romero, 2004).

2.5.9. *Sólidos*

El contenido de sólidos presentes en el agua influye directamente en la cantidad de lodo que se producirá en el sistema de tratamiento o disposición. Los sólidos sedimentables es una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, durante una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple, expresado comúnmente en mL/L (Romero, 2004).

2.5.10. Temperatura

Parámetro importante por su efecto sobre las características del agua, las operaciones y procesos de tratamiento, de igual manera en los métodos de disposición final. Las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento y en aguas de enfriamiento la contaminación termina es significativa.

La temperatura altera y afecta la vida acuática, la concentración de saturación de OD y la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacteriana. La tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías debido al cambio de la viscosidad del agua. Siendo el calor específico del agua mayor que el del aire, la temperatura del agua residual es mayor que la del ambiente en periodos fríos y menor en periodos cálidos. La actividad bacteriana necesita temperatura óptima de 25°C a 35°C. La digestión aerobia y la nitrificación es suspendida cuando la temperatura alcanza los 50°C. Si la temperatura es menor a 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, a temperatura de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar (Romero, 2004).

2.5.11. Turbidez

En general, las aguas residuales crudas son turbias; en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante como control de calidad. La turbidez es la medida óptima del material suspendido en el agua (Romero, 2004).

2.5.12. Grupo coliforme

En las aguas residuales los organismos patógenos que pueden existir son generalmente pocos y difíciles de aislar e identificar. Por este motivo se prefiere utilizar a los coliformes como indicadores de la existencia de organismos productores de enfermedad. El grupo de coliformes totales, grupo coli-aerogenes, incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. En general se considera el género *Escherichia*, *E coli*, como la población de bacterias coliformes más representativas de contaminación fecal.

En la remoción de coliformes tiene principal efecto el tiempo de retención, la temperatura, la radiación ultravioleta, la concentración algar y el consumo por protozoos, rotíferos y dafnias (Romero, 2004).

2.6. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario, o procesos biológicos, son empleados para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual en floc biológico sedimentable y sólidos inorgánicos que pueden ser removidos en tanques de sedimentación. Estos procesos son empleados en conjunto con procesos físicos y químicos para el tratamiento preliminar y primario del agua residual.

Su principal objetivo es remover la DBO soluble que se logra escapar del tratamiento primario, adicional de remover cantidades de sólidos suspendidos (Montoya & Ramirez, 2010).

2.6.1. Rendimientos

Un tratamiento secundario típico logra remover alrededor del 85% de la DBO y los SS, aunque no remueve cantidades significativas de fósforo, metales pesados, nitrógeno y organismos patógenos. Los procesos biológicos son eficientes para remover sustancias orgánicas que presentan tamaño coloidal e inferior (Montoya & Ramirez, 2010).

2.6.2. Lechos de secado de arena

Son dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente en los lodos, para que lo demás pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70%. Sobre el lecho el lodo es aplicado en capas de 20 a 30 cm y se deja secar. La remoción de agua se efectúa mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación en la superficie por acción del sol y el viento. Inicialmente, el agua percola a través del lodo y de la arena para luego ser removida a través de la tubería de drenaje en un periodo corto. La capa se agrieta a medida que se seca, permitiendo más evaporación (Romero, 2004).

3. Estado del Arte

A través de revisión documental, se llevó a cabo el análisis de diferentes estudios que han logrado plantear diferentes investigadores acerca del uso y gasto hídrico, las acciones y programas implementados con el fin de lograr reducir la demanda de agua en instituciones educativas.

En una revisión llevada a cabo en el año 2015 por investigadores de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, permite establecer una identificación de usuarios y hábitos de consumo con el fin de estimar la demanda de agua en centros educativos, generar herramientas de gestión y formular programas en función del uso eficiente del agua. A través de técnicas de observación, diálogo y la instalación de medidores volumétricos de media pulgada R-160, se determinó el consumo de cada uno de los usuarios de la institución, la demanda hídrica de la institución y el diseño de un modelo matemático para calcular el consumo de agua en centros educativos (Manco, Guerrero, & Morales, 2017). Otro estudio en Brasil permitió identificar aquellos factores que influyen en el consumo de agua en escuelas, para esto los investigadores recolectaron datos sobre el uso de agua mediante mediciones in situ y cuestionarios realizados a los directores de cada escuela, logrando determinar mediante análisis de regresión lineal múltiple el consumo mensual de agua. Los resultados obtenidos mostraron que los factores que influyen en el consumo de agua en las escuelas dependen del número de estudiantes y del número de baños en uso que tenga la institución educativa (Schultt, Kalbusch, & Henning, 2022).

Referente al gasto hídrico en escuelas primarias, la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwán para el año 2004 desarrolló un estudio de evaluación referente a la utilización del agua en estas instituciones. Este estudio permitió obtener resultados que establecen que el consumo de agua varía de manera considerable entre escuelas. Estas variaciones se dan a las diferentes estrategias de ahorro de agua (reciclaje de agua, sistemas de aprovechamiento de agua lluvia) que aportan a disminuir la demanda de agua potable. De manera adicional, los investigadores establecen un sistema de evaluación cuantitativo, el cual permite evaluar de manera eficaz el consumo de agua (Cheng & Hong, 2004).

Frente a las tecnologías desarrolladas e implementadas para el aprovechamiento de la huella hídrica verde, investigadores de la Universidad Federal Fluminense, en Brasil, implementaron un sistema de captación y tratamiento de aguas pluviales compacto para viviendas e industrias y el cual no hace uso de bombas. Como medio filtrante para el tratamiento emplearon una manta acrílica (Acrylon) permitiendo una eficiencia de remoción de color del 81,70% y turbidez 74,28%, además de lograr cumplir con los requisitos de la norma brasileña para cloro residual y coliformes. Siendo una alternativa de tratamiento de agua lluvia de bajo costo, de fácil obtención y operación (Costa, Acevedo, Silva, Cecchin, & Carmo, 2021). El agua que se obtiene de los sistemas de agua lluvia es empleada generalmente para respaldar aquellos componentes no potables, ya que como bien se sabe, los sistemas de tratamiento son muy costosos. En un estudio realizado en Taiwán, se implementó un sistema de recolección de agua lluvia de modo dual con el fin de lograr complementar el suministro de agua existente de una escuela primaria, el agua lluvia captada se destinó para el uso de inodoros y urinarios. Como resultado de este estudio, los investigadores lograron demostrar que un volumen óptimo de agua lluvia captada permite resolver adecuadamente la escasez de agua en casos de emergencia (Islam, Chou, & Liaw, 2010). Adicional, el promover el uso de agua lluvia permite aliviar la problemática mundial actual de disponibilidad de agua potable, mediante el estudio de un indicador se logró representar los beneficios que conlleva considerar recolectar agua lluvia a lo largo de los años en zonas residenciales en Brasil promoviendo un aumento de la disponibilidad y logrando un ahorro de agua potable que oscila entre el 48% y el 100%; porcentajes que depende de la región geográfica. Los investigadores además sugirieron que tal indicador sería mayor si se lograra implementar el uso de agua lluvia en edificios comerciales, industriales y públicos (Ghisi, 2006).

Con el fin de identificar el impacto de ahorro y obtener indicadores positivos (Souza & Ghisi, 2012) evaluaron el potencial de ahorro de agua potable a través de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia y el correcto dimensionamiento del sistema. Para esto se realizó una recolección de información de precipitaciones en la zona de estudio, la determinación de las zonas de captación, la población que se busca abastecer y las demandas de agua potable y pluvial. Se obtuvieron como resultados en donde se logró concluir que

existe un mayor potencial de ahorro de agua potable en lugares donde las precipitaciones son constantes.

4. Planteamiento del Problema

La disponibilidad de agua para consumo humano ha disminuido a lo largo del tiempo por el aumento de la población, la demanda y la contaminación del recurso, en donde millones de personas alrededor del mundo no tienen acceso a agua potable y sufren de estrés hídrico.

El estrés hídrico es el término utilizado cuando la demanda de agua dulce supera la cantidad disponible en un tiempo determinado o cuando el mismo se ve limitado en su uso por mala calidad (Zarza, 2021). Este aumento en la intensidad de extracción del agua representa una amenaza en la búsqueda de desarrollo sostenible, según la FAO.

Para Colombia, según el IDEAM, aproximadamente 391 municipios experimentan estrés hídrico por factores como la inadecuada gestión de los recursos, contaminación, desarticulación institucional, cambio climático, entre otros factores (Ospina, 2020); donde las acciones de gestión que se han empezado a implementar con el fin de reducir la inseguridad hídrica del país se orientan a sectores específicos, formulando proyectos robustos desde una visión macro como recuperación de cuencas hídricas o descontaminación de ríos, sin lograr incluir proyectos o programas dirigidos a instituciones los cuales permitan mitigar el consumo de agua.

Si bien, las instituciones o centros educativos representan un papel importante de análisis con respecto al estrés hídrico. A pesar de ser zonas en las cuales se les establece una dotación de agua de 20 L/alumno/jornada en educación elemental y 25 L/alumno/jornada para educación media y superior, se ha logrado evidenciar que el impacto y la demanda de agua en instituciones es similar al gasto hídrico de ciudades medianas (Bonnet, Devel, Faucher, & Rotunier, 2002), siendo clasificados como altos consumidores. Este considerable consumo de agua es debido a la movilidad estudiantil, la incorrecta identificación y cuantificación de la demanda de agua y la ausencia de programas enfocados a usar y aprovechar adecuadamente los recursos hídricos y además no se involucran indicadores medioambientales que permitan cuantificar la eficiencia de estos programas. Es por esto que

se formula el indicador de huella hídrica (HH), el cual permite estimar el volumen total de agua dulce que se utiliza y se contamina en el planeta. Este indicador (HH) tiene bases en el desarrollo de tres conceptos: Huella Hídrica Azul (agua extraída de fuentes subterráneas y/o superficiales), Huella Hídrica Verde (aprovechamiento de agua lluvia) y Huella Hídrica Gris (agua contaminada por diferentes procesos). El análisis individual de estos tres conceptos permite obtener resultados informativos sobre impactos asociados a las diferentes condiciones económicas, ambientales y sociales que intervienen en la sostenibilidad y disponibilidad de los recursos hídricos, siendo indispensable para la formulación de programas que involucren estrategias en materia de gestión del uso sostenible del agua.

Por lo anterior, se logra evidenciar la actual necesidad de formular proyectos o programas que permitan gestionar los recursos hídricos en instituciones académicas, involucrando indicadores medioambientales como el de huella hídrica, en donde a partir de las tres bases que componen este indicador, se logre reducir el consumo de agua y los vertidos que se generan, mejorar las condiciones hidrosanitarias y adicional incluir diferentes actores sociales con el fin de aumentar la participación en su gobernanza. Es por ello que se pretende investigar ¿qué programa será el más adecuado para lograr una correcta gestión del recurso hídrico en el Colegio del Bosque Bilingüe UAN- Bogotá, Colombia?

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Generar un programa de gestión integral del recurso hídrico en el Colegio del Bosque Bilingüe UAN-Bogotá, Colombia.

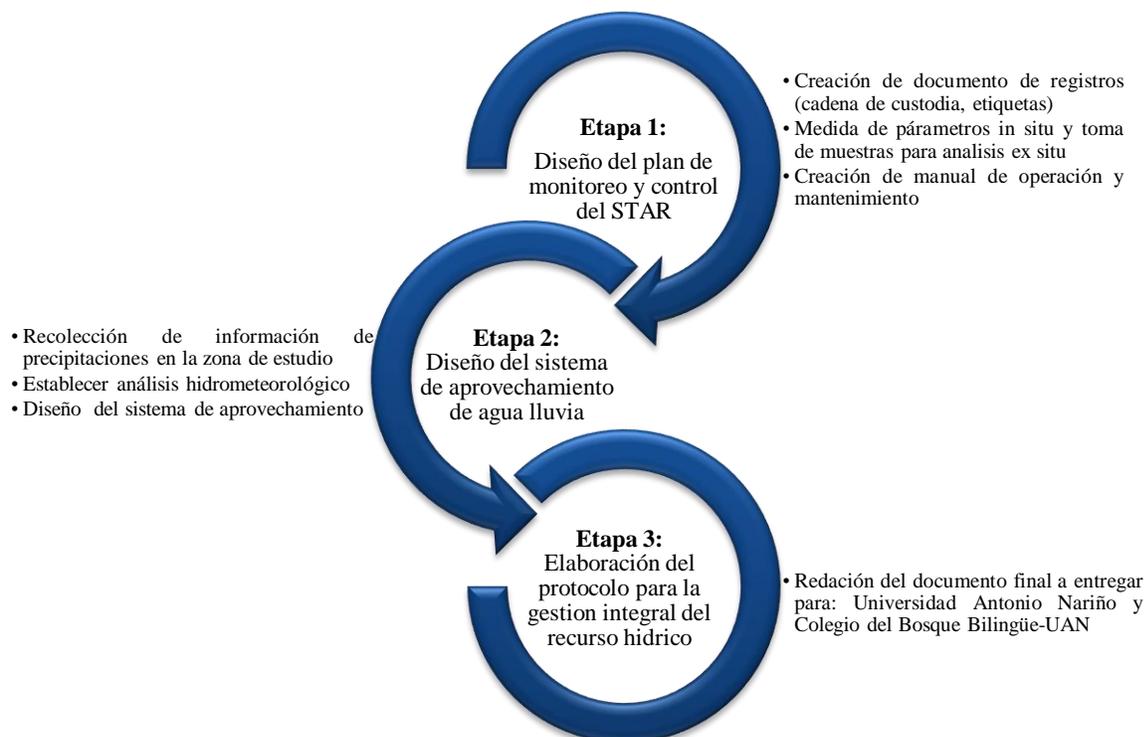
5.2. Objetivos específicos

1. Establecer un plan de monitoreo y control para el sistema de tratamiento de agua residual (STAR) del Colegio del Bosque Bilingüe UAN.
2. Diseñar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para la recirculación en redes secundarias.
3. Establecer un protocolo para la gestión integral del recurso hídrico.

6. Metodología

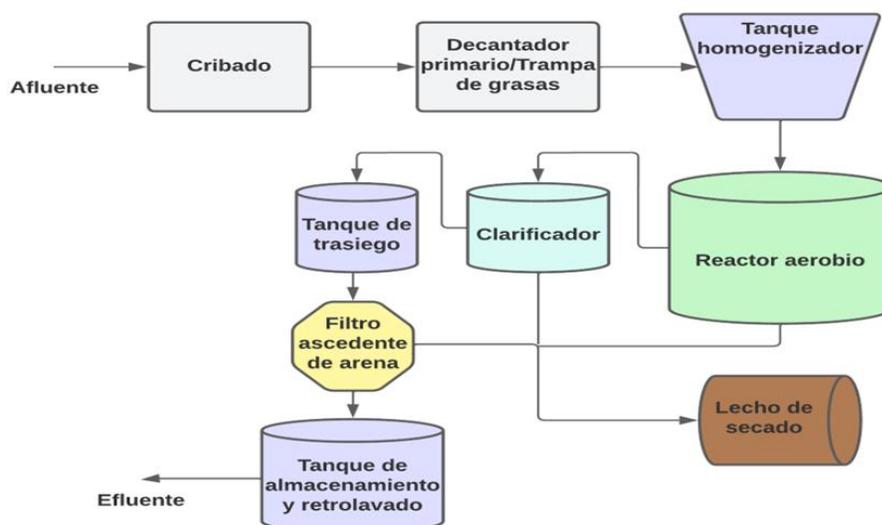
El desarrollo del presente proyecto fue dividido en tres etapas, las cuales se observan a continuación:

Figura 2. Metodología



El Colegio del Bosque Bilingüe-UAN cuenta con un sistema de tratamiento de agua residual, en el cual se lleva a cabo el tratamiento del agua contaminada antes de su disposición final, el sistema cuenta con un tratamiento preliminar de cribado, sedimentación y trampa de grasas, y un tratamiento secundario que consta de un reactor aerobio, clarificador, filtro ascendente de arena y lechos de secado (Figura 3).

Figura 3. Esquema sistema de tratamiento de agua residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN



6.1. Etapa 1: Diseño del plan de monitoreo

Durante esta etapa se llevó a cabo la creación de la cadena de custodia y las etiquetas de los envases que se utilizaran durante los muestreos (**Anexo 1**). Se realizaron visitas de campo a la institución, en donde se efectuó el respectivo reconocimiento del lugar, la identificación de los puntos de muestreo para lograr la caracterización del afluente y el efluente del sistema de tratamiento mediante un análisis fisicoquímico y microbiológico, con el fin de determinar las falencias en el sistema y lograr la creación del manual de operación y mantenimiento. A continuación, se describe paso a paso el desarrollo de las actividades para la caracterización del agua en el sistema.

6.1.1. Muestreo

El tanque de igualación y en la caja de salida del sistema fueron los puntos de muestreo seleccionados. Se tomaron 2 muestras compuestas por cada monitoreo, cada uno con una frecuencia de 10 minutos entre muestra y muestra y un periodo de 5 horas. Se midieron parámetros *in situ* tales como: pH, temperatura del agua, sólidos sedimentables, amonio, nitratos y nitritos. Se llevaron a cabo 3 muestreos compuestos, entre las 8:30 de la mañana, hora en la que por lo general estudiantes, docentes y administrativos comenzaban a generar

vertimientos en zona de baños y cafetería de manera representativa. Para el análisis *ex situ* las muestras fueron preservadas de acuerdo con los estándares del IDEAM, y transportadas al laboratorio *Biopolab* ubicado en la ciudad de Bogotá en la carrera 18 # 63a- 50.

Para la evaluación de la remoción de la carga contaminante en el sistema de tratamiento de agua residual, se planteó el análisis fisicoquímico de parámetros representativos (Tabla 1), que aporten a la evaluación pertinente con la normativa colombiana.

Tabla 1. Parámetros para la evaluación del sistema

Parámetros físicos	Parámetros químicos	Parámetros Microbiológicos
Temperatura	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Coliformes totales
Sólidos sedimentables	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Escherichia coli
Color	pH	Mesófilos aerobios
Conductividad	Dureza total	
Turbidez	Tensoactivos	
	Nitritos	
	Nitratos	
	Amonio	
	O ₂	

6.1.2. Análisis Fisicoquímico

La resolución 0631 del 2015, establece los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) en actividades industriales, comerciales o de aquellos servicios diferentes a los que fueron contemplados en los capítulos V y VI, a continuación, en la Tabla 2 se presentan los parámetros analizados en el presente trabajo y los cuales contempla la normativa vigente

Tabla 2. Límites permisibles en vertimientos de aguas residuales

Parámetro	Unidades	Valores límites máximos permisibles
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,0
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,0

Tensoactivos	mg/L	Análisis y Reporte
Nitratos (N-NO ₃ -)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ -)	mg/L	Análisis y Reporte
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte

Fuente: Resolución 0631 (MINAMBIENTE, 2015)

6.2. Etapa 2: Diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia

En esta etapa se procedió a recopilar información de las precipitaciones del lugar. Para el análisis hidrometeorológico se tomó como fuente de información principal la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB, siendo un sistema de monitoreo ambiental continuo. Se analizaron los datos de precipitación del periodo 2011-2020 en tres estaciones de medición disponibles cerca de la zona en la que se ubica la institución, estas son: Guaymaral, Suba y Usaquén; principalmente porque el colegio se encuentra en un área sin cobertura de la red de monitoreo. Mediante la obtención de estos datos se busca la mejor alternativa de sistema de aprovechamiento de agua lluvia acorde a los niveles de precipitación en la zona a lo largo del año.

6.3. Etapa 3: Elaboración de protocolo para la gestión integral del recurso hídrico

Se diseña un documento final en forma de protocolo en el cual se establecen los diferentes actores, procesos y actividades que interfieren en el desarrollo del plan de monitoreo y control del STAR junto al sistema de aprovechamiento de agua lluvia, este protocolo se plantea cómo propuesta educativa para la apropiación y comprensión de la importancia de una gestión integral del recurso hídrico.

7. Resultados y Discusión

7.1. Caracterización del agua residual

En la Tabla 3 se registran los resultados de los parámetros medidos en cada muestreo *in situ* y *ex situ*, los tres muestreos realizados son fundamentales para la caracterización del agua residual y para el diseño del plan de monitoreo y control que será entregado a la institución educativa, junto con los respectivos informes (**Anexo 2**) que se realizaron durante cada

monitoreo. Es necesario resaltar que las muestras que fueron transportadas y analizadas por el laboratorio *Biopolab* estuvieron bajo una cadena de custodia.

Tabla 3. Resultados parámetros in situ y ex situ

PARAMETRO	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3	
	In	Out	In	Out	In	Out
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (mg O ₂ /L)	83,7	54	88,7	59	8,4	55
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg O ₂ /L)	156,4	16	164,6	20	18	36
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	104	10,9	115	11,7	97,6	49,7
Aceites y Grasas (mg/L)	10,64	1,14	12,56	6,47	9,43	1,7
Tensoactivos (SAAM o Detergentes) (mg SAAM/L)	6,31	0,9	6,14	1,2	5,87	2,54
Turbidez (NTU)	28,07	1,69	27,94	12,97	134	13,56
Conductividad (μS)	1995	1299	1194	1127	673	472
pH (Unidades de pH)	7,74	6,34	7,9	7,02	6,81	6,9
Temperatura (°C)	17,8	17,8	19,34	19,31	20,44	20,2
Nitritos (mg/L)	0	0,2	0	1	1	1
Nitratos (mg/L)	10	40	10	10	10	20
O₂ (% O ₂)	28	50,4	9,4	50,4	47	57
Color (UPC)	454	44	489	98	500	115
Amonio (mg/L)	0,1	0	0,2	0,1	0,2	0
Sólidos sedimentables (SS) (mL/L)	0	0	1,7	0,4	0,2	0,1
Coliformes Totales (NMP/100 Ml)	33000	1200	29000	1000	31000	14000
Escherichia coli (NMP/100 mL)	<1,8	0,1	1,3	0,1	1,5	0,7
Mesófilos aerobios (UFC/mL o cm ³)	253000	3000	216000	2400	236000	80000

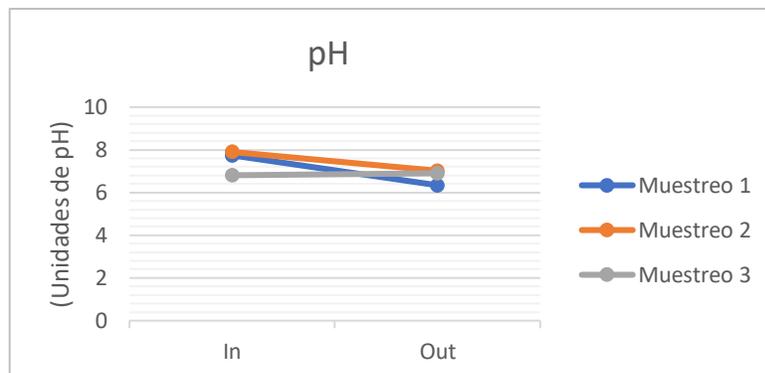
Nota: Durante el tercer muestreo el tratamiento secundario no estaba funcionando debido al cierre de una válvula, por lo tanto, el agua residual estaba siendo recirculada después del tratamiento preliminar.

7.1.1. Comportamiento del pH

En la Figura 4 se observa el comportamiento del pH durante los diferentes tres muestreos que se realizaron, en esta se destaca que el pH durante los dos primeros muestreos fue más alto, este comportamiento se debe a que durante estos días de análisis la institución se encontraba con su capacidad total de estudiantes/docentes lo cual puede ser resultado de las actividades y el aumento de descargas en baños, cafetería y uso de zonas comunes. A la salida del sistema siempre se evidenció un aumento de los iones hidrógeno (H⁺), esto se

debe a la degradación biológica de la materia orgánica y a la desinfección durante la etapa final del proceso.

Figura 4. Comportamiento del pH

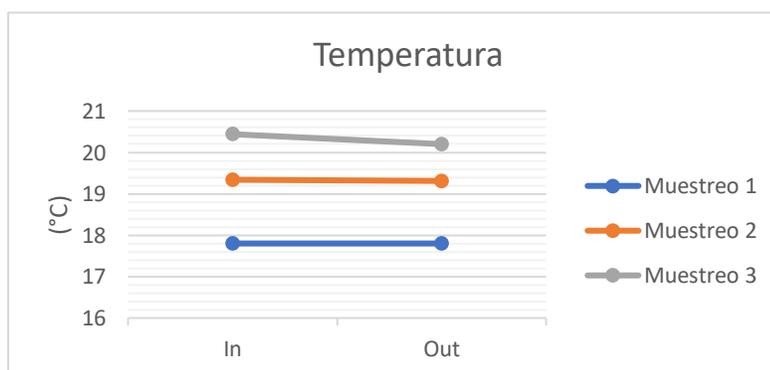


Sin embargo, los niveles de pH de todos los muestreos se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma colombiana.

7.1.2. Comportamiento de la temperatura

La temperatura del sistema se mantuvo relativamente constante durante cada muestreo, es decir, los aumentos o decaídas fue similar en todos los puntos (Figura 5). La temperatura mínima fue de 17,8°C y la máxima de 22,4°C, valores que favorecen los procesos biológicos. Este comportamiento es importante debido a que una reducción drástica de la temperatura aumenta la producción de lodos, modifica la concentración de saturación del oxígeno disuelto y la actividad bacteriana (Romero, 2004). La temperatura de las ARD es más elevada que el agua de abastecimiento, principalmente por la incorporación de aguas calientes durante las actividades domésticas.

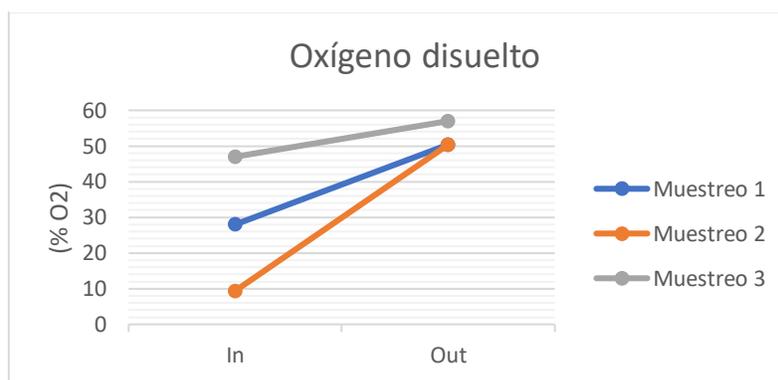
Figura 5. Comportamiento de la temperatura



7.1.3. Comportamiento oxígeno disuelto

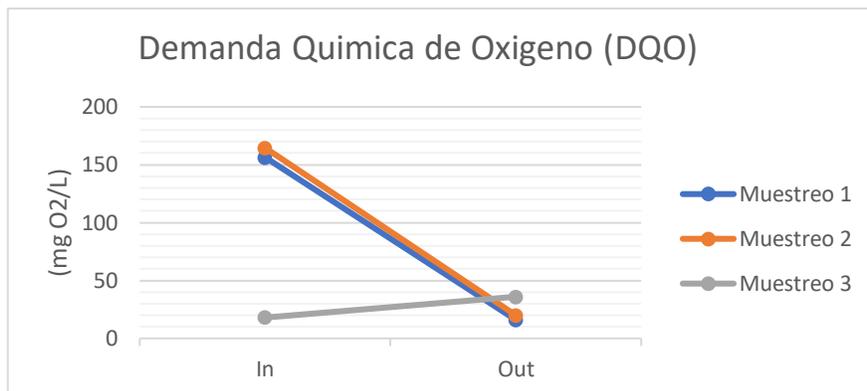
El comportamiento de la concentración de saturación del oxígeno disuelto se muestra en la Figura 6, se evidenció un comportamiento muy variable entre cada muestreo. Este parámetro es un importante indicador de la contaminación del agua, mayor cantidad de oxígeno mejor calidad del agua, principalmente porque a valores bajos los microorganismos no sobreviven. A la salida del sistema, el agua residual presentaba un aumento del porcentaje de oxígeno, esto se debe a la inyección de aire en el reactor aerobio, logrando suplir la demanda necesaria de oxígeno para la descomposición de la materia orgánica. La normativa colombiana no contempla un límite permisible de oxígeno disuelto.

Figura 6. Comportamiento del oxígeno disuelto

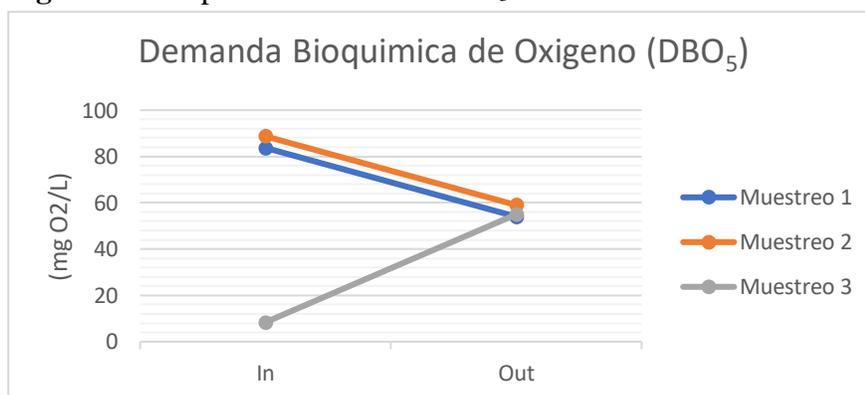


7.1.4. Remoción de la DQO y DBO₅

Las concentraciones de salida en DQO presentaron valores en los dos primeros muestreos de 16 mg O₂/L y 20 mg O₂/L obteniendo porcentajes de remoción del 90% y 88% respectivamente, estando en los valores límites máximos permisibles de vertimientos de aguas residuales domésticas según lo establecido en la vigente normativa colombiana (Resolución 0631 del 2015). Para el muestreo 3 a pesar de que el valor permisible cumple con la normativa, este no presentó un porcentaje de remoción, en cambio, se evidencia un aumento de la concentración de DQO en la salida (Figura 7), este comportamiento se da debido a que durante este análisis el tratamiento secundario no estaba funcionando, el agua no estaba ingresando al reactor aerobio en donde se realiza la descomposición de la materia orgánica y adicional, esta variabilidad depende de la presencia o ausencia de la comunidad educativa debido al cambio en la cantidad de vertimientos que produce la comunidad.

Figura 7. Comportamiento de la DQO

La DBO₅ (Figura 8) presentó un comportamiento similar durante todos los muestreos realizados, los valores obtenidos a la salida del sistema superan el valor límite permisible de 50 mg O₂/L establecido por la norma colombiana, con porcentajes de remoción del 35% y 33% para el muestreo 1 y 2, el porcentaje de remoción teórico debe ser superior al 80%. El muestreo 3 no presentó remoción por el daño que presentaba el tratamiento secundario y por lo tanto hubo aumento en la concentración de la DBO₅ en el efluente.

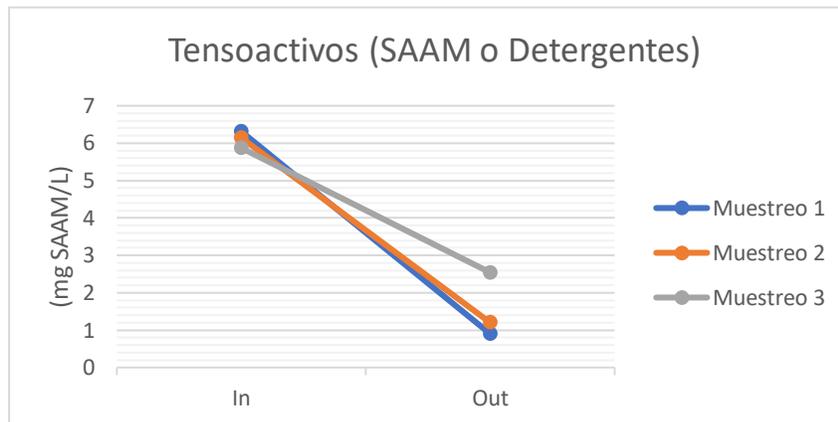
Figura 8. Comportamiento de la DBO₅

7.1.5. Comportamiento de tensoactivos

Se creía que iba a ser un parámetro crítico dentro del sistema de tratamiento, principalmente por el uso elevado de detergentes en baños y zonas comunes, aun así, los tensoactivos presentaron niveles bajos de concentración tanto en el afluente como en el efluente (Figura 9) con porcentajes de remoción del 86% y 80% para los muestreos 1 y 2. El porcentaje de

remoción teórico establece una reducción superior al 80% donde el único muestreo que no cumplió fue el 3 con una remoción del 57%.

Figura 9. Comportamiento de tensoactivos



7.1.6. Comportamiento de nitritos y nitratos

En la Figura 10 se ilustra las concentraciones de nitratos y en la Figura 11 el comportamiento de los nitritos durante los tres muestreos realizados. Se aprecia durante los muestreos un comportamiento de remoción negativo, relacionado con la oxidación del nitrógeno y el aumento del oxígeno disuelto durante el proceso aerobio. Es importante tener mayor control de este parámetro con el fin de evitar el aumento de la acidez y el crecimiento excesivo de algas.

El comportamiento de los nitritos también está dado porque ellos en agua residual son muy inestables, y más en presencia de condiciones aerobias, en donde logran oxidarse fácilmente a nitratos.

Figura 10. Comportamiento de nitratos

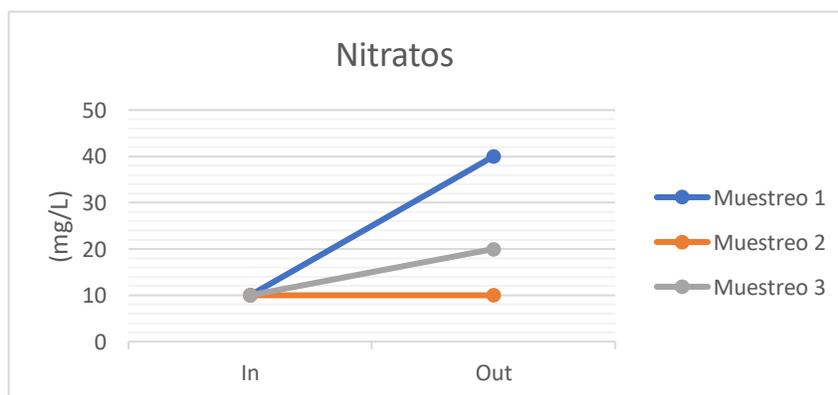
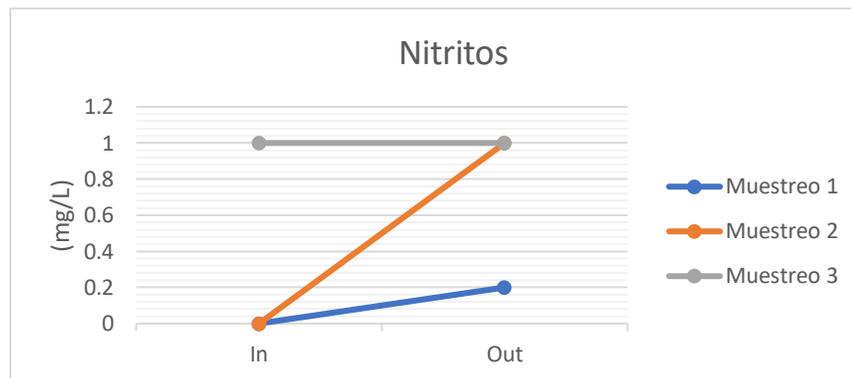
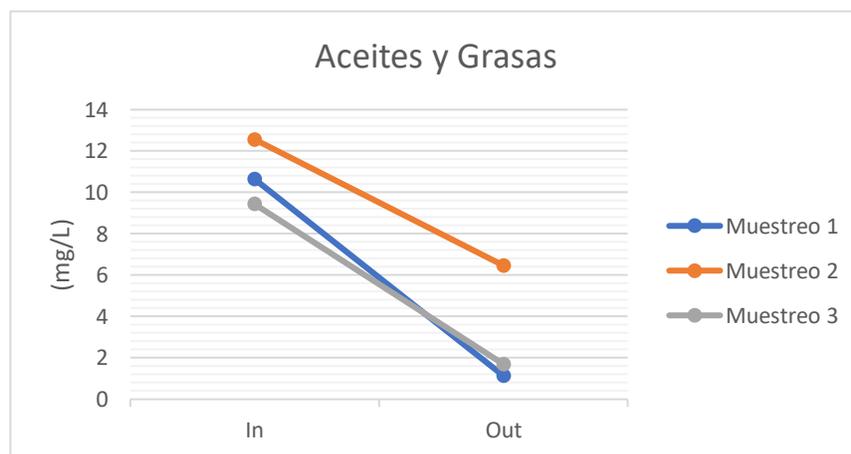


Figura 11. Comportamiento de nitritos

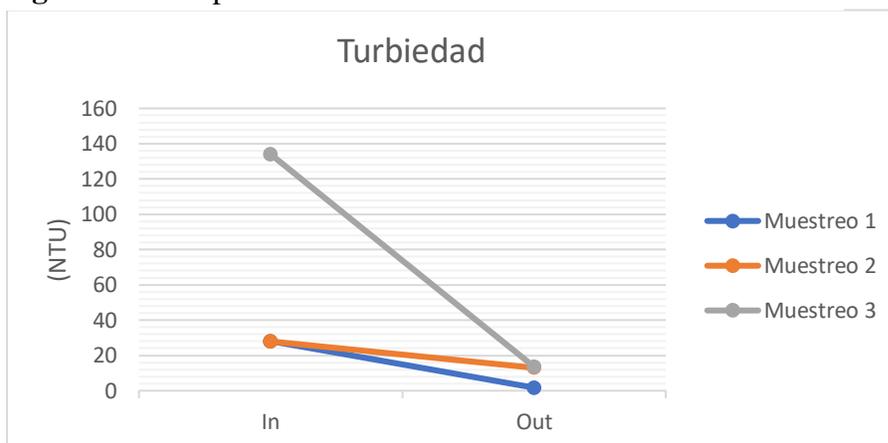
7.1.7. Remoción de grasas y aceites

Los niveles registrados en el afluente indican una presencia significativa de este tipo de sustancias (Figura 12), aun así, se evidencia durante los muestreos realizados una remoción en el efluente entre el 50-60%, cuyos valores nunca superaron el límite permisible establecido por la normativa colombiana.

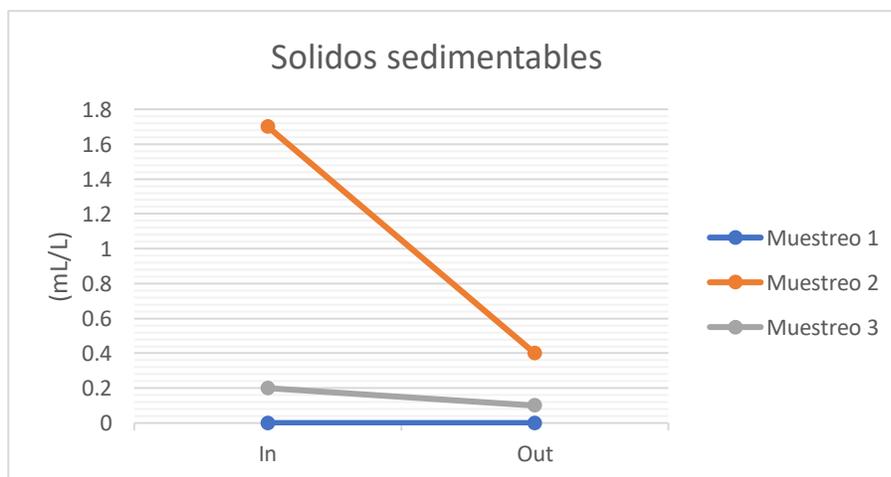
Figura 12. Comportamiento de grasas y aceites

7.1.8. Remoción turbiedad y solidos

Durante la caracterización del afluente, el muestreo 3 presentó una turbiedad mayor de 134 NTU con respecto a los dos primeros muestreos, sin lograr alcanzar valores altos típicos de las ARD (1000 NTU). Los procesos físicos y químicos del sistema de tratamiento permitieron una remoción significativa del 94% durante el muestro 1 (Figura 13).

Figura 13. Comportamiento de la turbiedad

La determinación de los sólidos sedimentables se realizó mediante el uso de conos Imhoff, con un volumen de agua de 1L en un tiempo de 1 hora, tanto para el afluente como el efluente, se obtuvieron resultados bajos como se observa en la Figura 14. Este comportamiento es positivo debido a que el oxígeno del reactor aerobio no está generando hinchamiento del lodo por exceso de oxígeno y está siendo removido por sedimentación. Adicional, todos los muestreos cumplen con los valores máximos permisibles de 1.0 mL/L establecido en la norma.

Figura 14. Comportamiento de los sólidos sedimentables

7.1.9. Comportamiento de la conductividad

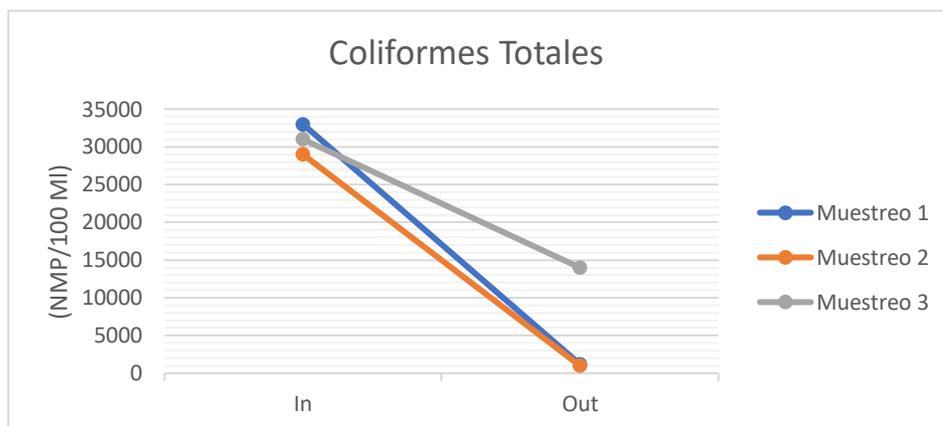
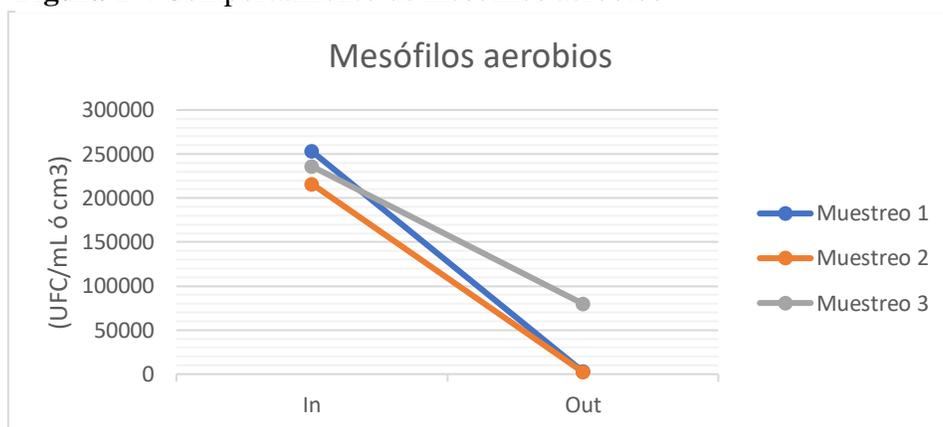
Respecto a este parámetro se pudo observar que su comportamiento fue similar durante los dos primeros muestreos, con valores por encima del límite permitido de $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 15). El muestreo 3 estuvo por debajo del límite permitido principalmente porque la institución durante este día no contaba con la totalidad de estudiantes y docentes, reduciendo la presencia de sólidos disueltos en forma de electrolitos.

Figura 15. Comportamiento de la conductividad



7.1.10. Remoción de coliformes y mesófilos aerobios

Durante los primeros dos muestreos se logró una remoción de hasta el 80% de coliformes totales (Figura 16) y del 86% de mesófilos aerobios (Figura 17). Este resultado es dado que durante las etapas de tratamiento se logra una remoción de diferentes tipos de sólidos asociados a cargas bacterianas como sólidos en suspensión, sedimentables, entre otros; adicional, el reactor aerobio permite la remoción de sólidos por oxidación biológica, de igual manera el clarificador y el filtro ascendente de arena permiten la remoción de microorganismos mediante la adherencia en las partículas de menor tamaño. En el muestreo 3 como el sistema no estaba funcionando en su totalidad, solo se logró alcanzar una remoción del 55% de coliformes totales y 66% de mesófilos aerobios.

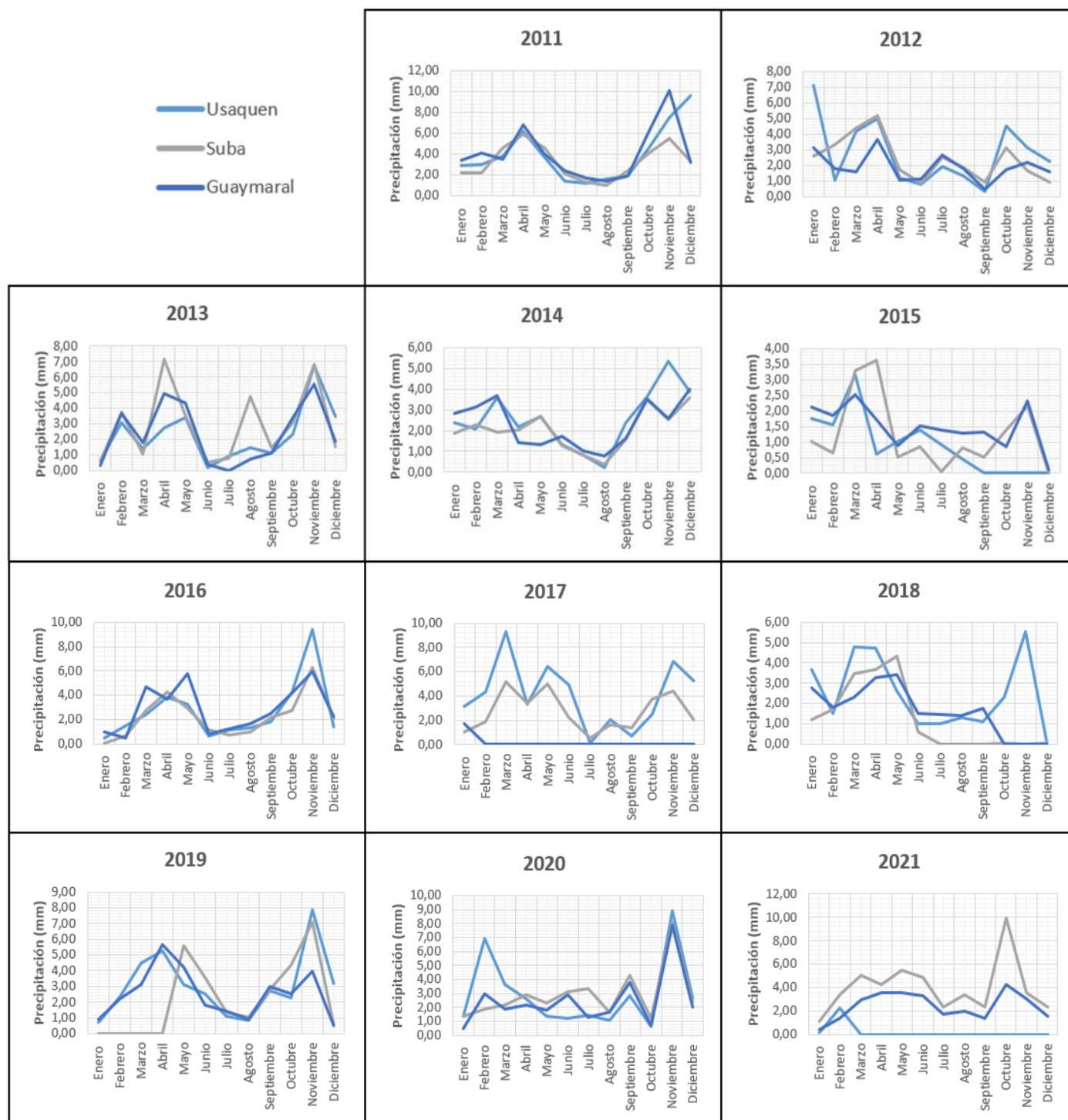
Figura 16. Comportamiento de coliformes totales**Figura 17.** Comportamiento de mesófilos aerobios

7.2. Sistema de aprovechamiento de agua lluvia

Durante los últimos diez años, las estaciones de Usaquén, Suba y Guaymaral presentaron un comportamiento similar con dos temporadas con mayores precipitaciones. Entre los meses febrero a mayo las precipitaciones oscilan entre 2,13 mm y 3,85 mm, desde el mes de octubre al mes de diciembre las precipitaciones varían entre los 2,48 mm y 5,56 mm respectivamente. Los meses con precipitaciones por debajo de 2 mm son enero, julio, agosto y septiembre (Figura 18).

Según el IDEAM, el promedio de lluvia durante el año en Bogotá es de aproximadamente 501 mm, logrando establecer que durante los últimos diez años las estaciones de Usaquén, Suba y Guaymaral contribuyen tan solo con el 1,5% en los niveles de precipitación que registra la ciudad.

Figura 18. Precipitaciones periodo 2011-2020



Debido a que las precipitaciones de la zona son muy bajas, no es recomendable incorporar sistemas de aprovechamiento de agua lluvia muy robustos, por lo tanto, se establece la

implementación de un depósito vertical de agua lluvia mediante el uso de botellas PET reutilizadas (**Anexo 3**). Este colector ya se ha implementado en varias instituciones y viviendas debido a su bajo costo y al uso mínimo del espacio.

De manera adicional se plantea un sistema de tratamiento para el agua lluvia mediante un proceso de filtración, se analizaron tres diferentes materiales filtrantes (Tabla 4), con el objetivo de seleccionar el más óptimo según sus características y costos.

Tabla 4. Características de los materiales filtrantes

Medio granular	Tamaño de la partícula	Filtración nominal	Características	Precio
Antracita	0.6-1.6 mm	-	Buen medio de filtración cuando es usado con arenas filtrantes. Medio filtrante de solidos suspendidos. Reduce materia orgánica. Permite un desempeño en el filtro de mayor flujo, menos caída de presión y un mejor y rápido retro lavado.	Bulto 25 kg: \$ 50.000
Arena sílice	0.35-0.65 mm	-	Retiene solidos suspendidos. No aporta sabor ni modifica su composición.	Bulto 25 kg: \$ 17.000
Zeolita natural	0.4-1.4 mm	3-5 micras	No es necesario combinarlo con otro medio filtrante. Mayor superficie y porosidad. Medio filtrante más durable (más de 5 años). Eliminación de materia orgánica. Altamente eficaz para filtrar y purificar el agua.	Bulto 25 kg: \$ 198.000

Fuente: Adaptado de Carbotecnia.info

Se recomienda como medio granular de filtración la antracita por encima de la arena sílice, principalmente por la adicional remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, se busca un tratamiento del agua lluvia simple principalmente porque este tipo de agua será aprovechada solo en cisternas, lavamanos y riego de zonas comunes en la institución.

La zeolita es una excelente opción si se pretende hacer un tratamiento de agua lluvia para consumo humano debido a que tiene la capacidad de remover metales pesados como cobre, zinc, cromo, manganeso, plomo, cadmio, cobalto y hierro; reduce en parte la acidez del agua,

es un medio filtrante con una vida útil de 5 años, elimina la materia orgánica, entre otras características.

8. Conclusiones

- La caracterización de las aguas residuales del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN presentan un problema referente a la remoción de la DBO₅, conductividad, nitritos y nitratos. La DBO₅ durante los tres muestreos realizados no cumplió con el límite permisible de vertimientos, contemplado en la resolución 0631 del 2015, por lo que se deben hacer adecuaciones en el sistema de tratamiento con el fin de controlar este parámetro.
- Durante los muestreos se identificó la importancia de establecer un plan de monitoreo y control del sistema, ya que el operario a cargo desconocía el funcionamiento/mantenimiento de las unidades del sistema y equipos de medición. Adicional no se cuenta con una guía de operación en la cual se establezca los trabajos rutinarios realizados, medidas de mantenimiento, resultados obtenidos de anteriores análisis o monitoreos y sucesos específicos.
- Gracias al análisis hidrometeorológico realizado se logró establecer precipitaciones en la zona de estudio no superan los 5,56 mm en un mes, por lo tanto, se plantea el diseño de un colector de agua lluvia vertical mediante el uso de botellas PET reutilizadas, junto con un sistema de filtro con medio granular a base de antracita principalmente por su bajo costo y su capacidad de reducir la materia orgánica y sólidos suspendidos.
- El protocolo fue socializado con éxito a la actual rectora del Colegio del Bosque Bilingüe- UAN, la señora Adriana Ramírez.

9. Contribuciones

- Se hará entrega de los tres informes realizados durante los muestreos al Colegio del Bosque Bilingüe-UAN, con el fin de que la institución educativa pueda hacer un empalme de la información con el constructor del sistema de tratamiento.
- Se hará entrega del programa de mantenimiento y control del sistema de tratamiento de agua residual con el objetivo de que este pueda ser implementado (**Anexo 4**).

10. Recomendaciones

- Se recomienda a la institución educativa el diseño de una guía de operación, donde se plasmen los trabajos rutinarios efectuados, las medidas de mantenimiento, los resultados obtenidos durante el tratamiento y sucesos específicos.
- Se manera obligatoria es necesaria la colocación de signos claros de prohibición, prevención, indicación y socorro, así como instrucciones para primeros auxilios y demás indicadores, de acuerdo con las normas pertinentes. Ubicación de botiquín, extintores, equipos de socorro y de protección laboral en lugares de fácil acceso.
- Si no se cuenta con personal calificado en trabajos de limpieza, establecer un contrato de mantenimiento con el constructor del sistema de tratamiento o con una entidad apropiada.
- Para futuras investigaciones se recomienda ejecutar e implementar el sistema de aprovechamiento de agua lluvia incorporando la participación de la comunidad educativa. Lograr evaluar el porcentaje de ahorro de agua potable y la eficiencia de remoción de contaminantes con el filtro de antracita.

Referencias Bibliograficas

- Bonnet, J.-F., Devel, C., Faucher, P., & Rotunier, J. (2002). Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: Case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration. 10(1), 13-24.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00018-X)
- Cheng, C. L., & Hong, Y. T. (2004). Evaluating water utilization in primary schools. *Building and Environment*, 39, 837-845.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.006>
- Costa, P. C., Acevedo, A. R., Silva, F. C., Cecchin, D., & Carmo, D. (2021). Rainwater treatment using an acrylic blanket as a filtering media. *Journal of Cleaner Production*, 303, 126964. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126964>
- Ghisi, E. (2006). Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, 41 (2006) 1544–1550.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.03.018>
- Iberdrola. (s.f.). *IBERDROLA*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-huella-hidrica#:~:text=QU%C3%89%20ES%20LA%20HUELLA%20H%C3%8DDRICA%20Y%20PARA%20QU%C3%89%20SIRVE,bien%20de%20consumo%20o%20servicio>.
- Islam, M. M., Chou, F. N.-F., & Liaw, C.-H. (2010). Evaluation of dual-mode rainwater harvesting system to mitigate typhoon-induced water shortage in Taiwan . *Water Science and Technology*, 62(1), 140-147. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2010.280>
- Manco, Guerrero, & Morales. (2017). ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA EN CENTROS EDUCATIVOS: CASO DE ESTUDIO FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, COLOMBIA. *Revista Luna Azul*, 44, 153-164.
- MINAMBIENTE. (18 de 04 de 2015). *MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE*. Obtenido de <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>
- Montoya, J. P., & Ramirez, J. C. (2010). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la guadua angustifolia kunth*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira.

- Ospina, L. F. (6 de 09 de 2020). *Territorios Sostenibles*. Obtenido de <https://territoriosostenibles.com/alianzas-y-gobernanza/agua-en-colombia-una-novia-rica-sin-pretendientes>
- Romero. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoria y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2002). *Calidad del agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rotoplas. (2 de 10 de 2019). *Rotoplas*. Obtenido de <https://rotoplas.com.mx/conoce-el-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales-especializado-para-tus-necesidades/>
- Schultt, J., Kalbusch, A., & Henning, E. (2022). Factors influencing water consumption in public schools in Southern Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 1411-1427. doi:<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01473-2>
- Souza, E. L., & Ghisi, E. (2012). Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses. *Water (Switzerland)*, 4(3), 607-628. doi:<https://doi.org/10.3390/w4030607>
- Zarza, L. (15 de 02 de 2021). *iAgua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-estres-hidrico>

Anexos

Anexo 1. Etiqueta control de almacenamiento de muestras y cadena de custodia

	ETIQUETA CONTROL DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS
	<i>Muestra:</i>
	<i>Origen:</i>
	<i>Fecha de elaboración:</i>
	<i>Fecha de eliminación:</i>
<i>Responsable:</i>	

Anexo 2. Informes de monitores

Anexo 3. Diseño sistema de aprovechamiento de agua lluvia

Anexo 4. Programa de monitoreo y control



CADENA DE CUSTODIA

FECHA

PAGINA

2 DE 2

12. OBSERVACIONES

OTROS (*):

ILUSTRACIÓN DEL MONITOREO

NOMBRE COMPLETO DE QUIEN REALIZA LAS OBSERVACIONES:

OBSERVACIONES RECEPCIÓN DE MUESTRAS

TEMPERATURA DE NEVERA °C:

RELACIÓN DE RECIPIENTES Y PRESERVACIÓN

PUNTO MONITOREADO	FISICO	SST	METALES	GYA	HIDROCARBUROS TOTALES	TPH 's	CLORO LIBRE	COT	NITROGENO TOTAL	NITROGENO AMONIAICAL	OXIGENO DISUELTO	CROMO +6	SULFUROS	CARBAMATOS	FENOL 1L	FENOL 500mL	PAH 's	MERCURIO ORGANICO	D.Q.O	ORGANOFOSFORADOS	ORGANOCLORADOS	D.B.O	CIANURO	MICROBIOLOGÍA	THM 's	BTEX 's	VOC 's	PCB 's	HIDROBIOLOGIA	BLANCO	DUPLICADO	BOLSA ZIPLOC	TUBO 1 LITRO	TUBO 4 LITROS	SOLUCIONES	FILTROS	
1																																					
2																																					
3																																					
4																																					
5																																					
6																																					
7																																					
8																																					
9																																					
10																																					

PRESERVACIÓN: CUMPLE NO CUMPLE x

OBSERVACIONES:

NOMBRE COMPLETO DE QUIEN REALIZA LAS OBSERVACIONES RECEPCIÓN DE MUESTRAS

INFORME MONITOREO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL COLEGIO DEL BOSQUE BILINGÜE-UAN

I. Introducción

En conformidad con el artículo 15 de la Resolución 631 de marzo de 2015, se establece los parámetros fisicoquímicos y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domesticas (ARnD) para las actividades industriales, comerciales.

El presente documento contiene información correspondiente al monitoreo y análisis de vertimientos, cuyo objetivo es comparar los resultados de laboratorio con la normativa vigente en lo referente a calidad del agua residual del Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN, Bogotá-Colombia.

II. Objetivo

- Comparar los resultados obtenidos en el monitoreo y seguimiento del STAR con la normatividad vigente y evaluar su actual funcionamiento.

III. Metodología

3.1. Muestreo

Se desarrollo un **muestro compuesto** a la entrada y salida del Sistema de Tratamiento de Agua Residual (Ilustración 1). Se midieron parámetros de campo como pH y Temperatura en cada muestra simple. Adicional, se midieron parámetros como Nitritos, Nitratos, Amonio, SS.

Ilustración 1. Puntos de muestreo

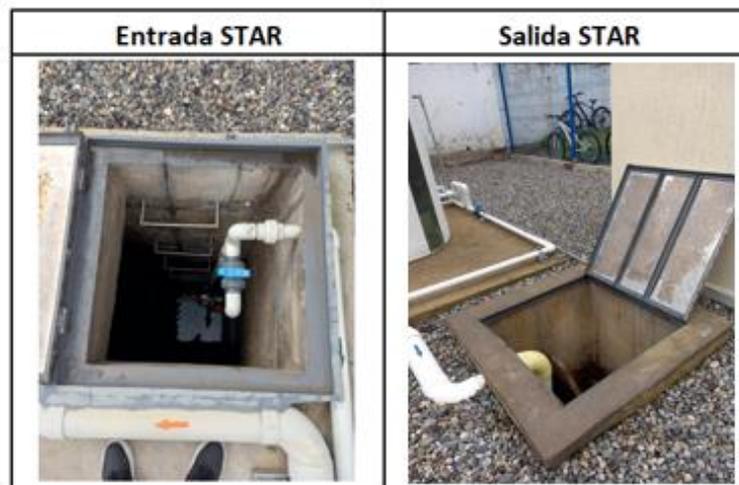


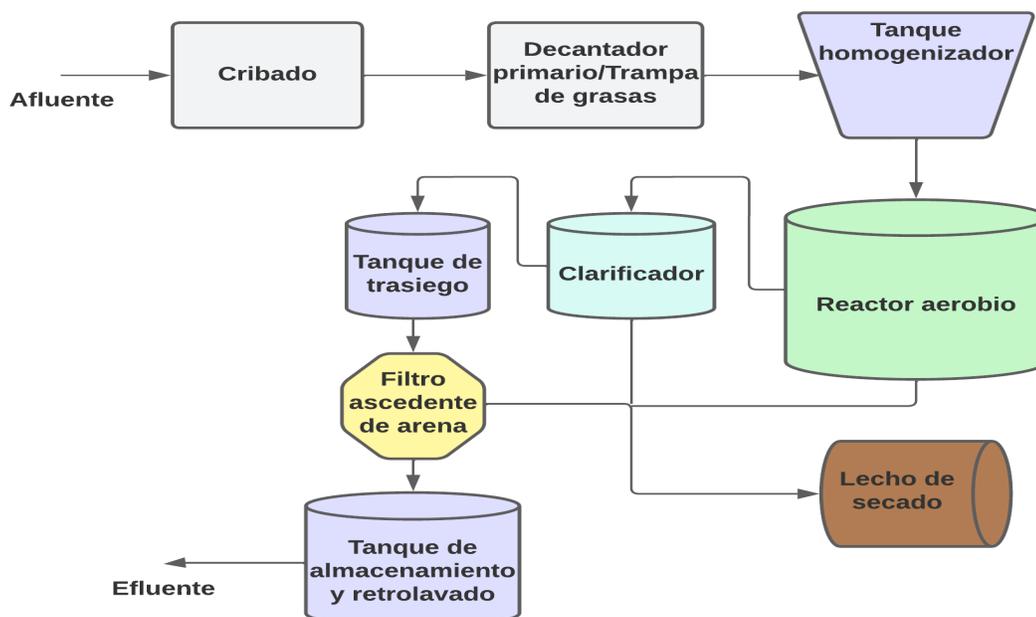
Tabla 1. Caracterización toma de muestras

INFORME DE RESULTADOS	
TÍTULO:	Monitoreo y análisis de agua residual
FECHA(DD/MM/AA):	22/08/2022
TOMA DE MUESTRAS	
TIPO DE MUESTRA:	Aguas residuales
TIPO DE MUESTREO:	Muestreo compuesto
PERIODO:	5 Horas
FRECUENCIA:	1/6 de Hora
NOMBRE DE LA MUESTRA 1:	Entrada STAR
PUNTO DE MUESTREO:	Muestras tomadas en tanque de igualación
NOMBRE DE LA MUESTRA 2:	Salida STAR

Las muestras se preservaron de acuerdo con los estándares del IDEAM, estas se transportaron al laboratorio con la correspondiente cadena de custodia.

3.2. Tren de tratamiento

Ilustración 2. Esquema proceso de tratamiento de agua residual en el Colegio del Bosque Bilingüe-UAN



3.3. Datos de campo

A continuación, en la tabla 2 se presenta los parámetros evaluados y la metodología de ensayo en los puntos de muestreo.

Tabla 2. Parámetros evaluados entrada y salida del STAR

PARAMETRO	METODOLOGÍA	RESULTADO ENTR	RESULTADO SAL	REMOCIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (mg O ₂ /L)	5-Day BOD Test	83,7	54	35%
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg O ₂ /L)	Closed Reflux, Titrimetric Method	156,4	16	90%
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	EDTA Tritimetric Method	104	10,9	90%
Aceites y Grasas (mg/L)	Extracción líquido-líquido, partición gravimétrica	10,64	4,3	60%
Tensoactivos (SAAM o Detergentes) (mg SAAM/L)	Anionic Surfactants as MBAS	6,31	0,9	86%
Turbidez (NTU)	Turbidímetro Milwaukee Mi 415	28,07	1,69	94%
Conductividad (µS)	7021 conductividad con Microprocesador Portátil Ezodo	1995	1299	35%
pH (Unidades de pH)	pHmetro	7,74	6,34	-
Temperatura (°C)	pHmetro	17,8	17,8	-
Nitritos (mg/L)	HI 3873 Test Kit de Nitrite	0	0,2	0%
Nitratos (mg/L)	HI 3874 Test Kit de Nitrate	10	40	-300%
O₂ (% O ₂)	HI 9146 Medidor de Oxígeno Disuelto	28	50,4	-
Color (UPC)	HI 83399 Multiparameter Photometer with COD	454	44	90%
Amonio (mg/L)	HI 38049 Test Kit Amoniaco para agua dulce con Checker Disc	0,1	0	100%
Sólidos sedimentables (SS) (mL/L/h)	Cono Imhoff	1,4	0	100%
Coliformes Totales (NMP/100 MI)	Fermentación en tubos múltiples	33000	7000	79%
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Fermentación en tubos múltiples	<1,8	0,5	72%
Mesófilos aerobios (UFC/mL o cm ³)	Recuento en placa	253000	50000	80%

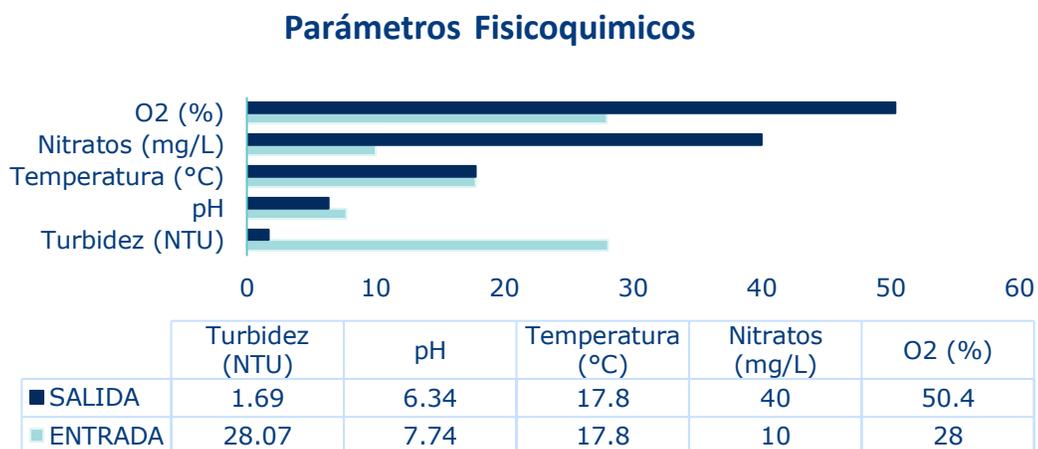
Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos *Biopolab*.

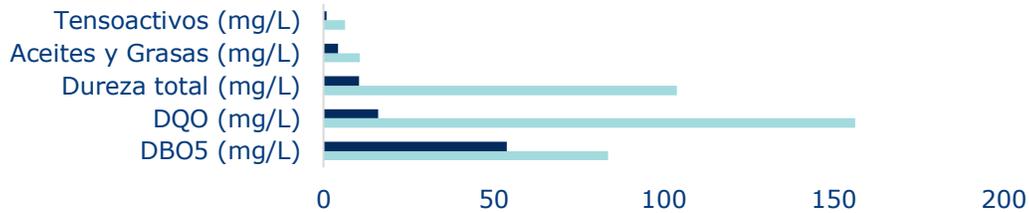
IV. Análisis y Resultados

- Los parámetros fisicoquímicos analizados en el Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN como pH, DQO, Sólidos sedimentables, Grasas y aceites cumplen con los límites permisibles de la normativa ambiental vigente referente a vertimientos de aguas residuales.
- El parámetro que no cumple con la normativa ambiental es la DBO₅ debido a que la norma establece un valor de 50 mg/L O₂, esto se ve reflejado adicional en el porcentaje de remoción de cargas con un 35% de remoción en el sistema, donde la teoría establece una remoción mayor al 80%.

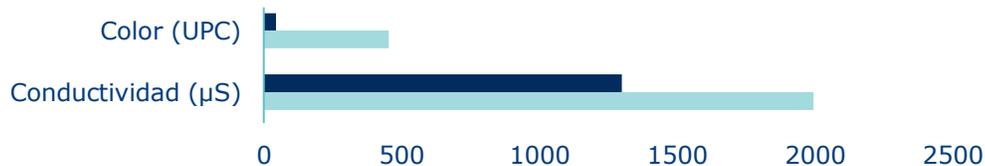
- La conductividad del agua es muy alta, superando los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor establecido como límite; este comportamiento es debido a la alta presencia de sales disociadas presentes en el agua, factor que influye en la reducción de la capacidad depuradora del sistema.
- Se logra evidenciar la formación de compuestos nitrogenados como lo son los nitritos y en gran proporción la presencia de nitratos, es importante tener mayor control del oxígeno presente en el agua, ya que éste favorece las condiciones para que se logre la nitrificación. El comportamiento de los nitritos también está dado porque ellos en agua residual son muy inestables, y más en presencia de condiciones aerobias, en donde logran oxidarse fácilmente a nitratos. Altas concentraciones de nitritos y nitratos de manera negativa afectan el proceso de tratamiento principalmente porque aumentan la acidez y fomentan el crecimiento excesivo de algas y microorganismos.
- El aumento a la salida del sistema del oxígeno disuelto es un indicador positivo, puesto que nos permite deducir que los microorganismos presentes tienen suficiente oxígeno para asimilar y reproducirse, logrando satisfacer la demanda microbiana existente en el sistema de tratamiento y aumentando la capacidad auto purificadora.
- La reducción de los sólidos sedimentables es positivo, debido a que el oxígeno del reactor aerobio no está generando hinchamiento del lodo por exceso de oxígeno y está siendo removido por sedimentación.
- Por último, la baja presencia de tensoactivos en el sistema es un factor importante porque al ser una institución educativa se tenía la hipótesis de que habría una alta presencia de detergentes; siendo uno problema la alta concentración de tensoactivos debido a su capacidad para inhibir la actividad biológica y disminuir la solubilidad del oxígeno.

Ilustración 3. Parámetros fisicoquímicos de entrada y salida del STAR





	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
■ SALIDA	54	16	10.4	4.3	0.9
■ ENTRADA	83.7	156.4	104	10.64	6.314

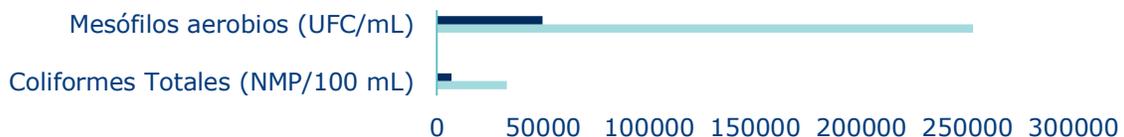


	Conductividad (µS)	Color (UPC)
■ SALIDA	1299	44
■ ENTRADA	1995	454

Referente a la remoción del grupo coliforme, la normativa colombiana no establece unos valores máximos de presencia de microorganismos en vertimientos de aguas residuales, aun así, se evidencia una gran cantidad de bacterias coliformes y una reducción de los mismos de hasta el 80%, este resultado es dado que durante las etapas de tratamiento se logra una remoción de diferentes tipos de sólidos asociados a cargas bacterianas como sólidos en suspensión, sedimentables, entre otros; adicional, el reactor aerobio permite la remoción de sólidos por oxidación biológica, de igual manera el clarificador y el filtro ascendente de arena permiten la remoción de microorganismos mediante la adherencia en las partículas de menor tamaño.

Ilustración 4. Parámetros microbiológicos de entrada y salida del STAR

Parámetros Microbiológicos



	Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Escherichia coli (NMP/100 mL)	Mesófilos aerobios (UFC/mL)
■ SALIDA	7000	0.5	50000
■ ENTRADA	33000	1.8	253000

INFORME MONITOREO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL COLEGIO DEL BOSQUE BILINGÜE-UAN

I. Introducción

En conformidad con el artículo 15 de la Resolución 631 de marzo de 2015, se establece los parámetros fisicoquímicos y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domesticas (ARnD) para las actividades industriales, comerciales.

El presente documento contiene información correspondiente al monitoreo y análisis de vertimientos, cuyo objetivo es comparar los resultados de laboratorio con la normativa vigente en lo referente a calidad del agua residual del Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN, Bogotá-Colombia.

II. Objetivo

- Comparar los resultados obtenidos en el monitoreo y seguimiento del STAR con la normatividad vigente y evaluar su actual funcionamiento.

III. Metodología

3.1. Muestreo

Se desarrollo un **muestro compuesto** a la entrada y salida del Sistema de Tratamiento de Agua Residual (Ilustración 1). Se midieron parámetros de campo como pH y Temperatura en cada muestra simple. Adicional, se midieron parámetros como Nitritos, Nitratos, Amonio, SS.

Ilustración 1. Puntos de muestreo

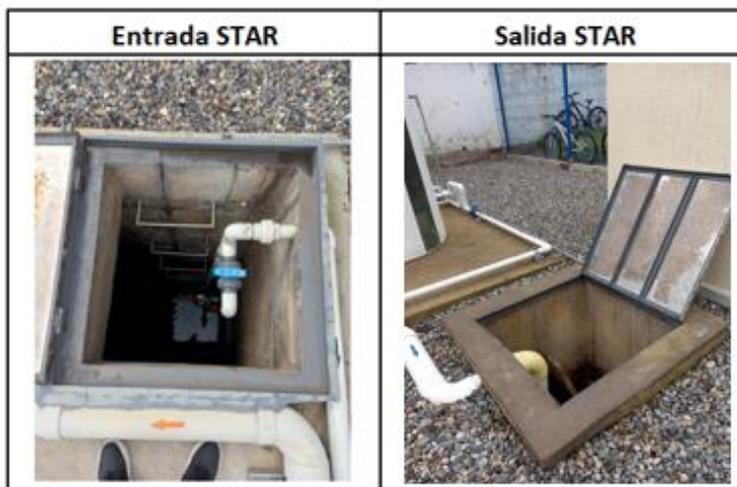


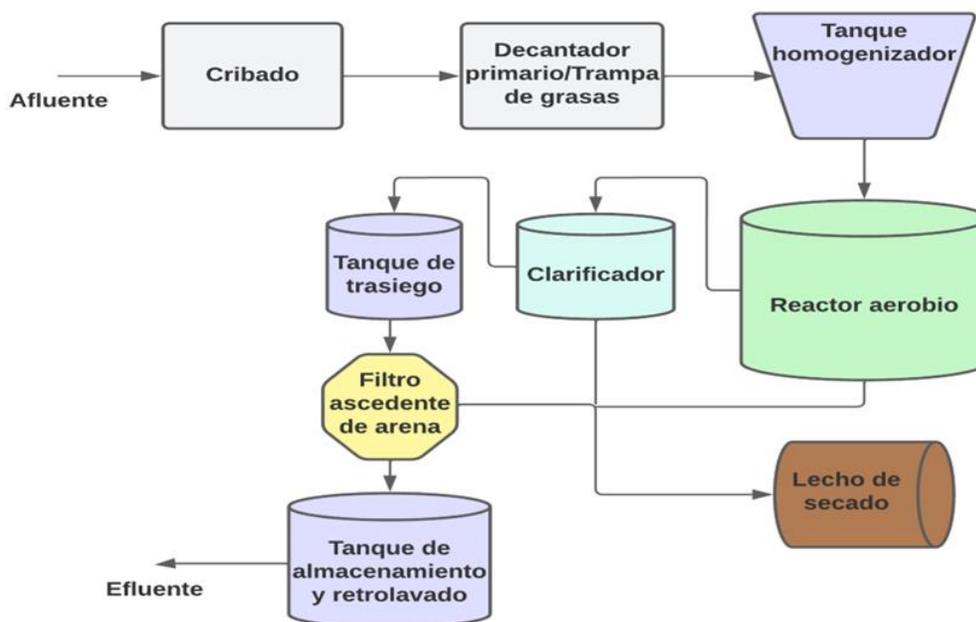
Tabla 1. Caracterización toma de muestras

INFORME DE RESULTADOS	
TITULO: Monitoreo y analisis de agua residual	
FECHA(DD/MM/AA):	23/09/2022
TOMA DE MUESTRAS	
TIPO DE MUESTRA:	Aguas residuales
TIPO DE MUESTREO:	Muestreo compuesto
PERIODO:	5 Horas
FRECUENCIA:	1/6 de Hora
NOMBRE DE LA MUESTRA 1:	Entrada STAR
PUNTO DE MUESTREO:	Muestras tomadas en tanque de igualación
NOMBRE DE LA MUESTRA 2:	Salida STAR

Las muestras se preservaron de acuerdo con los estándares del IDEAM, estas se transportaron al laboratorio con la correspondiente cadena de custodia.

3.2. Tren de tratamiento

Ilustración 2. Esquema proceso de tratamiento de agua residual en el Colegio del Bosque Bilingüe-UAN



3.3. Datos de campo

A continuación, en la tabla 2 se presenta los parámetros evaluados y la metodología de ensayo en los puntos de muestreo.

Tabla 2. Parámetros evaluados entrada y salida del STAR (Muestreo 2)

PARAMETRO	METODOLOGÍA	RESULTADO ENTR	RESULTADO SAL	REMOCIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (mg O2/L)	5-Day BOD Test	88,7	59	33%
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg O2/L)	Closed Reflux, Titrimetric Method	164,6	20	88%
Dureza total (mg CaCO3/L)	EDTA Tritimetric Method	115	11,7	90%
Aceites y Grasas (mg/L)	Extracción líquido-líquido, partición gravimétrica	12,56	6,47	48%
Tensoactivos (SAAM o Detergentes) (mg SAAM/L)	Anionic Surfactants as MBAS	6,14	1,2	80%
Turbidez (NTU)	Turbidímetro Milwaukee Mi 415	27,94	12,97	54%
Conductividad (µS)	7021 conductividad con Microprocesador Portátil Ezodo	1194	1127	6%
pH (Unidades de pH)	pHmetro	7,9	7,02	-
Temperatura (°C)	pHmetro	19,34	19,31	-
Nitritos (mg/L)	HI 3873 Test Kit de Nitrite	0	1	0%
Nitratos (mg/L)	HI 3874 Test Kit de Nitrate	10	10	0%
O2 (% O2)	HI 9146 Medidor de Oxígeno Disuelto	9,4	50,4	-
Color (UPC)	HI 83399 Multiparameter Photometer with COD	489	98	80%
Amonio (mg/L)	HI 38049 Test Kit Amoniaco para agua dulce con Checker Disc	0,2	0,1	50%
Sólidos sedimentables (SS) (mL/L/h)	Cono Imhoff	1,7	0,4	76%
Coliformes Totales (NMP/100 MI)	Fermentación en tubos múltiples	29000	6500	78%
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Fermentación en tubos múltiples	1,3	0,2	85%
Mesófilos aerobios (UFC/mL o cm3)	Recuento en placa	216000	30000	86%

Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos *Biopolab*.

IV. Análisis y Resultados

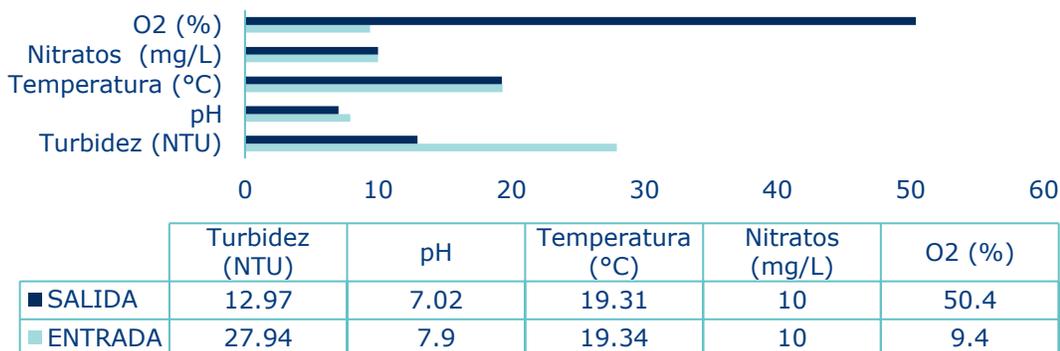
- Los parámetros fisicoquímicos analizados en el Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN como pH, DQO, Sólidos sedimentables, Grasas y aceites cumplen con los límites permisibles de la normativa ambiental vigente referente a vertimientos de aguas residuales.
- El parámetro que no cumple con la normativa ambiental es la DBO₅ debido a que la norma establece un valor de 50 mg/L O₂, esto se ve reflejado adicional en el porcentaje de

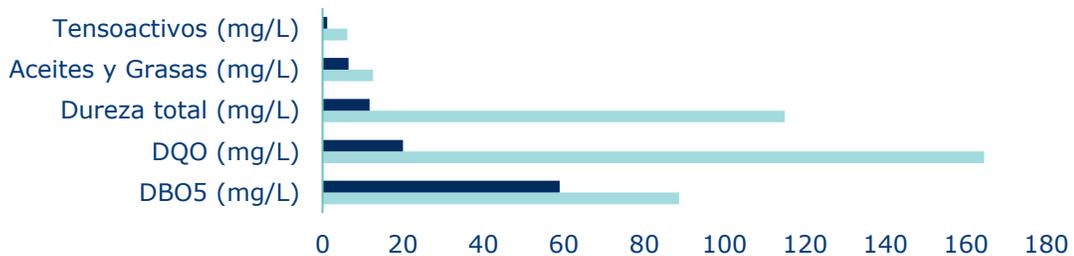
remoción de cargas con un 33% de remoción en el sistema, donde la teoría establece una remoción mayor al 80%.

- La conductividad del agua es muy alta, superando los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor establecido como límite; este comportamiento es debido a la alta presencia de sales disociadas presentes en el agua, factor que influye en la reducción de la capacidad depuradora del sistema.
- Se logra evidenciar la formación de compuestos nitrogenados como lo son los nitritos. El sistema no realiza la remoción de nitratos, ya que estos permanecen con la misma concentración a la entrada y salida. Como se sabe, las altas concentraciones de nitritos y nitratos afectan de manera negativa el proceso de tratamiento, principalmente porque aumentan la acidez y fomentan el crecimiento excesivo de algas y microorganismos.
- Aumento del oxígeno disuelto a la salida del sistema, logrando deducir que los microorganismos presentes tienen suficiente oxígeno para asimilar y reproducirse, logrando satisfacer la demanda microbiana existente en el sistema de tratamiento y aumentando la capacidad auto purificadora.
- Hay presencia de sólidos sedimentables a la salida del sistema, lo que representa mayor cantidad de lodo removible por sedimentación simple que no se precipitó en el tanque clarificador ni pudo ser retenido en el filtro ascendente de arena.
- Se evidencia baja remoción de aceites y grasas, esto se debe a que no se realizan periódicamente la limpieza de las estructuras del sistema, por lo que la colmatación genera un arrastre de las mismas a las siguientes unidades de tratamiento, siendo un factor para tener en cuenta durante el mantenimiento.
- La reducción de los sólidos sedimentables es positivo debido a que el oxígeno del reactor aerobio no está generando hinchamiento del lodo por exceso de oxígeno y está siendo removido por sedimentación.

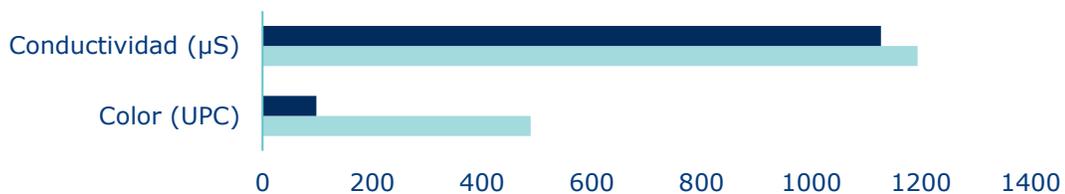
Ilustración 3. Parámetros físicoquímicos de entrada y salida del STAR (Muestreo 2)

Parámetros Físicoquímicos

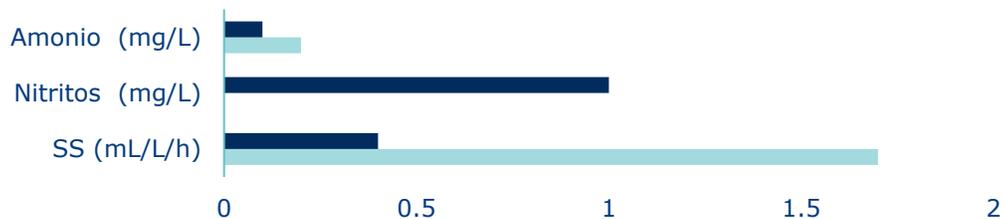




	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
■ SALIDA	59	20	11.7	6.47	1.2
■ ENTRADA	88.7	164.6	115	12.56	6.14



	Color (UPC)	Conductividad (µS)
■ SALIDA	98	1127
■ ENTRADA	489	1194



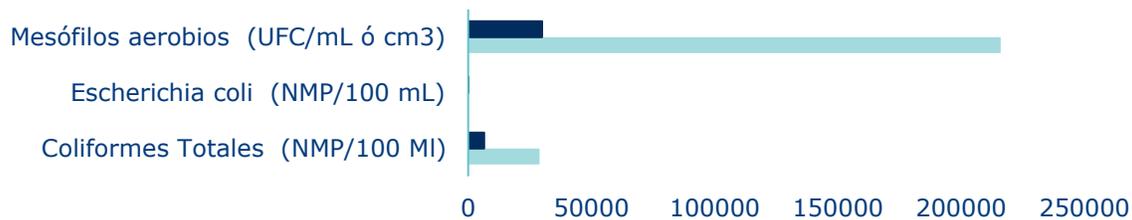
	SS (mL/L/h)	Nitritos (mg/L)	Amonio (mg/L)
■ SALIDA	0.4	1	0.1
■ ENTRADA	1.7	0	0.2

Referente a la remoción del grupo coliforme, la normativa colombiana no establece unos valores máximos de presencia de microorganismos en vertimientos de aguas residuales, aun así, se evidencia una gran cantidad de bacterias coliformes y una reducción de los mismos entre el 80-90%, esto se debe principalmente a que durante las etapas de tratamiento se logra una remoción de diferentes tipos de sólidos asociados a cargas bacterianas como sólidos en suspensión, sedimentables, entre otros; adicional, el reactor aerobio permite la remoción de sólidos por

oxidación biológica, de igual manera el clarificador y el filtro ascendente de arena permiten la remoción de microorganismos mediante la adherencia en las partículas de menor tamaño.

Ilustración 4. *Parámetros microbiológicos entrada y salida STAR (Muestreo 2)*

Parámetros Microbiológicos



	Coliformes Totales (NMP/100 MI)	Escherichia coli (NMP/100 mL)	Mesófilos aerobios (UFC/mL ó cm3)
■ SALIDA	6500	0.2	30000
■ ENTRADA	29000	1.3	216000

INFORME MONITOREO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL COLEGIO DEL BOSQUE BILINGÜE-UAN

I. Introducción

En conformidad con el artículo 15 de la Resolución 631 de marzo de 2015, se establece los parámetros fisicoquímicos y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domesticas (ARnD) para las actividades industriales, comerciales.

El presente documento contiene información correspondiente al monitoreo y análisis de vertimientos, cuyo objetivo es comparar los resultados de laboratorio con la normativa vigente en lo referente a calidad del agua residual del Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN, Bogotá-Colombia.

II. Objetivo

- Comparar los resultados obtenidos en el monitoreo y seguimiento del STAR con la normatividad vigente y evaluar su actual funcionamiento.

III. Metodología

3.1. Muestreo

Se desarrollo un **muestro compuesto** a la entrada y salida del Sistema de Tratamiento de Agua Residual (Ilustración 1). Se midieron parámetros de campo como pH y Temperatura en cada muestra simple. Adicional, se midieron parámetros como Nitritos, Nitratos, Amonio, SS.

Ilustración 1. Puntos de muestreo

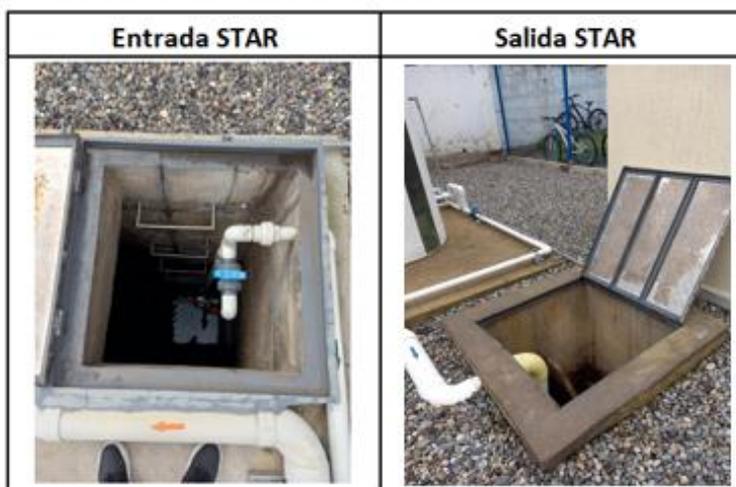


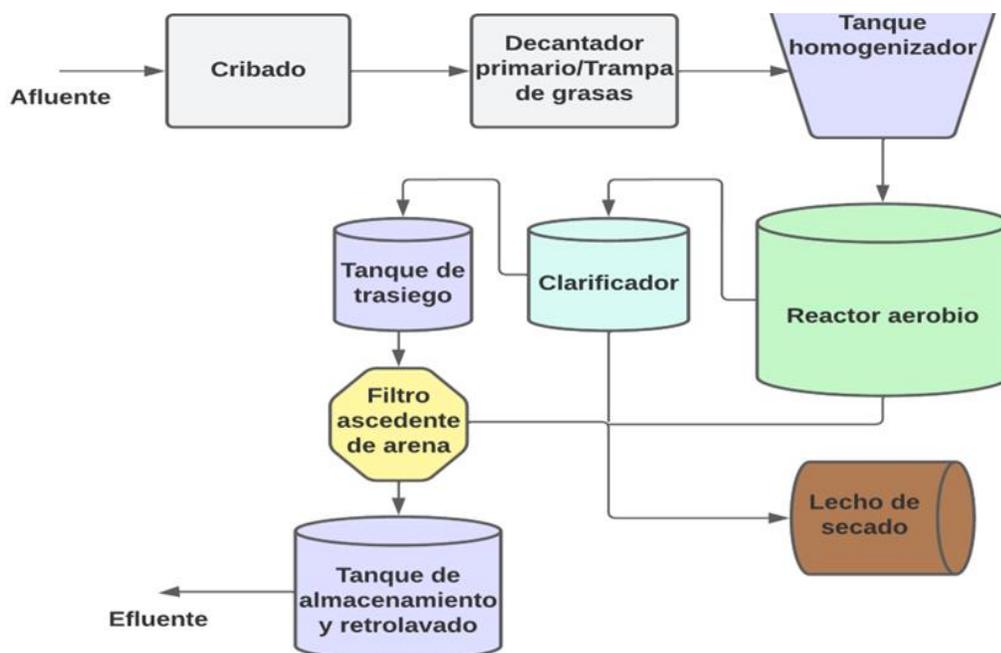
Tabla 1. Caracterización toma de muestras

INFORME DE RESULTADOS	
TÍTULO: Monitoreo y análisis de agua residual	
FECHA(DD/MM/AA):	7/10/2022
TOMA DE MUESTRAS	
TIPO DE MUESTRA:	Aguas residuales
TIPO DE MUESTREO:	Muestreo compuesto
PERIODO:	5 Horas
FRECUENCIA:	1/6 de Hora
NOMBRE DE LA MUESTRA 1:	Entrada STAR
PUNTO DE MUESTREO:	Muestras tomadas en tanque de igualación
NOMBRE DE LA MUESTRA 2:	Salida STAR

Las muestras se preservaron de acuerdo con los estándares del IDEAM, estas se transportaron al laboratorio con la correspondiente cadena de custodia.

3.2. Tren de tratamiento

Ilustración 2. Esquema proceso de tratamiento de agua residual en el Colegio del Bosque Bilingüe-UAN



3.3. Datos de campo

A continuación, en la tabla 2 se presenta los parámetros evaluados y la metodología de ensayo en los puntos de muestreo.

Tabla 2. Parámetros evaluados entrada y salida del STAR (Muestreo 3)

PARAMETRO	METODOLOGÍA	RESULTADO ENTR	RESULTADO SAL	REMOCIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (mg O ₂ /L)	5-Day BOD Test	8,4	55	-555%
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg O ₂ /L)	Closed Reflux, Titrimetric Method	18	36	-100%
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	EDTA Tritimetric Method	97,6	49,7	49%
Aceites y Grasas (mg/L)	Extracción líquido-líquido, partición gravimétrica	9,43	4,7	50%
Tensoactivos (SAAM o Detergentes) (mg SAAM/L)	Anionic Surfactants as MBAS	5,87	2,54	57%
Turbidez (NTU)	Turbidímetro Milwaukee Mi 415	134	13,56	90%
Conductividad (µS)	7021 Conductividad con Microprocesador Portátil Ezodo	673	472	30%
pH (Unidades de pH)	pHmetro	6,81	6,9	-
Temperatura (°C)	pHmetro	20,44	20,2	-
Nitritos (mg/L)	HI 3873 Test Kit de Nitrite	1	1	0%
Nitratos (mg/L)	HI 3874 Test Kit de Nitrate	10	20	-100%
O₂ (% O ₂)	HI 9146 Medidor de Oxígeno Disuelto	47	57	-21%
Color (UPC)	HI 83399 Multiparameter Photometer with COD	500	115	77%
Amonio (mg/L)	HI 38049 Test Kit Amoniaco para agua dulce con Checker Disc	0,2	0	100%
Solidos sedimentables (SS) (mL/L/h)	Cono Imhoff	0,2	0,1	50%
Coliformes Totales (NMP/100 MI)	Fermentación en tubos múltiples	31000	14000	55%
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Fermentación en tubos múltiples	1,5	0,7	53%
Mesófilos aerobios (UFC/mL o cm ³)	Recuento en placa	236000	80000	66%

Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos *Biopolab*.

IV. Análisis y Resultados

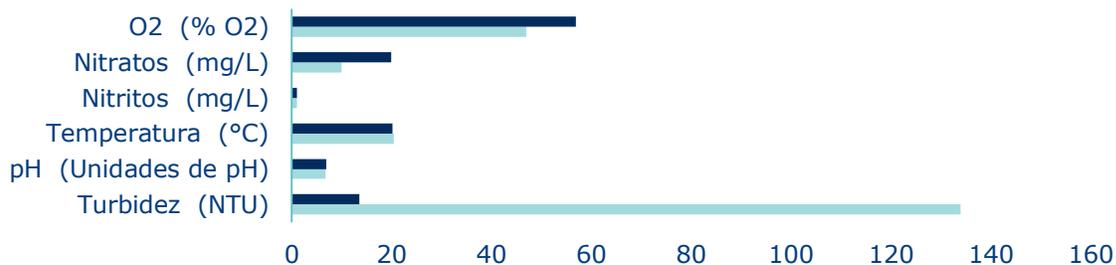
Durante el presente muestro, el sistema secundario presentaba fallas. El agua residual llegaba solo al aforador del reactor aerobio, por lo tanto, el clarificador, el tanque trasiego y el filtro ascendente no estaban operando y el tanque de igualación estaba en su capacidad máxima.

1. Los parámetros fisicoquímicos analizados en el Sistema de Tratamiento de Agua Residual del Colegio del Bosque Bilingüe-UAN como pH, DQO, Sólidos sedimentables, Grasas y aceites cumplen con los límites permisibles de la normativa ambiental vigente referente a vertimientos de aguas residuales. Aun así, es importante hacer énfasis en el aumento de la DQO a la salida del sistema, entre más aumente la DQO mayor contaminación tendrá el agua, principalmente porque es un parámetro que determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos.
2. El parámetro que no cumple con la normativa ambiental es la DBO_5 debido a que la norma establece un valor de 50 mg/L O_2 , esto se ve reflejado adicional en el porcentaje de remoción de cargas en donde el sistema no logro la remoción, en cambio, se aumentó las concentraciones.
3. La conductividad del agua se encuentra por debajo del valor establecido como límite de 1000 $\mu S/cm$, esto se debe a que durante este día la institución no contaba con gran parte de estudiantes, docentes y administrativos y, por lo tanto, no se estaban generando las mismas descargas contaminantes que en un día normal.
4. No hay remoción de nitritos y aumenta la concentración de nitratos a la salida del sistema de tratamiento. El comportamiento de los nitritos también está dado porque en las aguas residuales son muy inestables, y más en presencia de condiciones aerobias, logrando oxidarse fácilmente a nitratos. Las altas concentraciones de nitritos y nitratos afectan de manera negativa el proceso de tratamiento, principalmente porque aumentan la acidez y fomentan el crecimiento excesivo de algas y microorganismos.
5. El aumento del oxígeno disuelto a la salida del sistema, permite deducir que los microorganismos presentes tienen suficiente oxígeno para asimilar y reproducirse, logrando satisfacer la demanda microbiana existente en el sistema de tratamiento y aumentando la capacidad auto purificadora.
6. Para los tensoactivos, se establece de manera teórica un porcentaje de remoción superior al 80%, el sistema de tratamiento solo logro remover el el 57%.

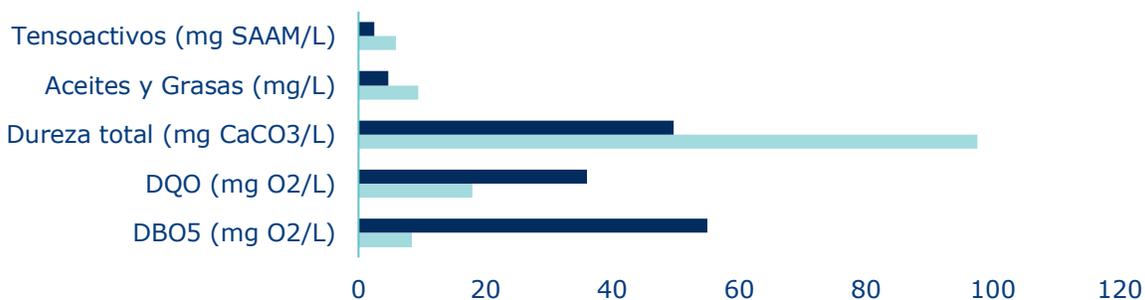
A pesar de que la planta no estaba funcionando en su totalidad, se evidencia la remoción de turbidez, color, este comportamiento está también relacionado con la disminución de vertimientos debido a la actividad que se estaba llevando a cabo en la institución durante el día de toma de muestra.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de entrada y salida del STAR (Muestreo 3)

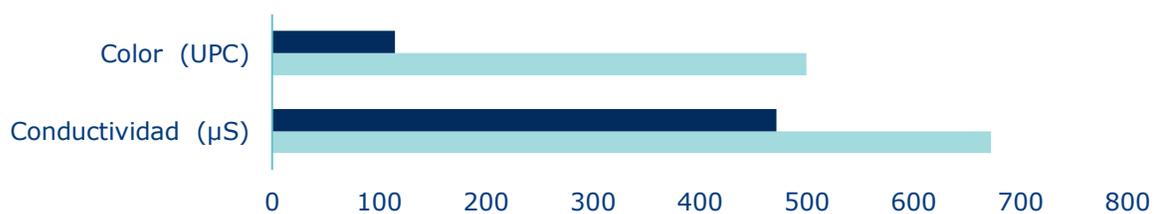
Parámetros Fisicoquímicos



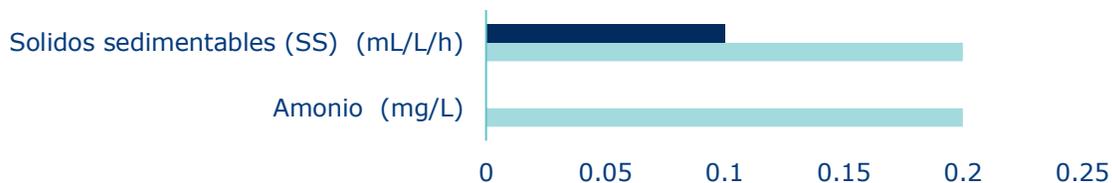
	Turbidez (NTU)	pH (Unidades de pH)	Temperatura (°C)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	O2 (% O2)
■ SALIDA	13.56	6.9	20.2	1	20	57
■ ENTRADA	134	6.81	20.44	1	10	47



	DBO5 (mg O2/L)	DQO (mg O2/L)	Dureza total (mg CaCO3/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Tensoactivos (mg SAAM/L)
■ SALIDA	55	36	49.7	4.7	2.54
■ ENTRADA	8.4	18	97.6	9.43	5.87



	Conductividad (µS)	Color (UPC)
■ SALIDA	472	115
■ ENTRADA	673	500

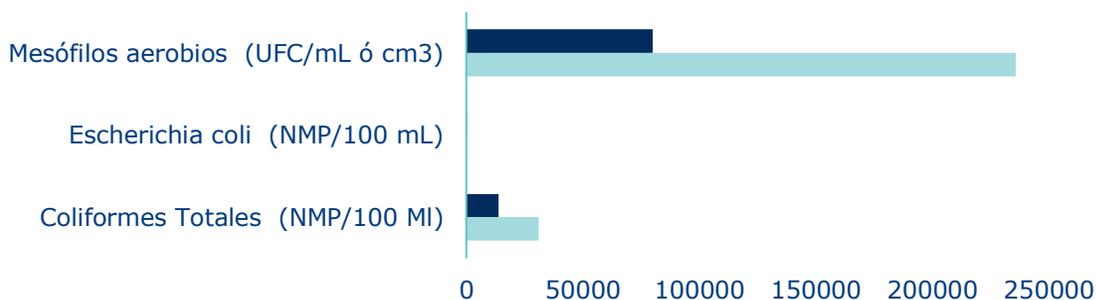


	Amonio (mg/L)	Solidos sedimentables (SS) (mL/L/h)
■ SALIDA	0	0.1
■ ENTRADA	0.2	0.2

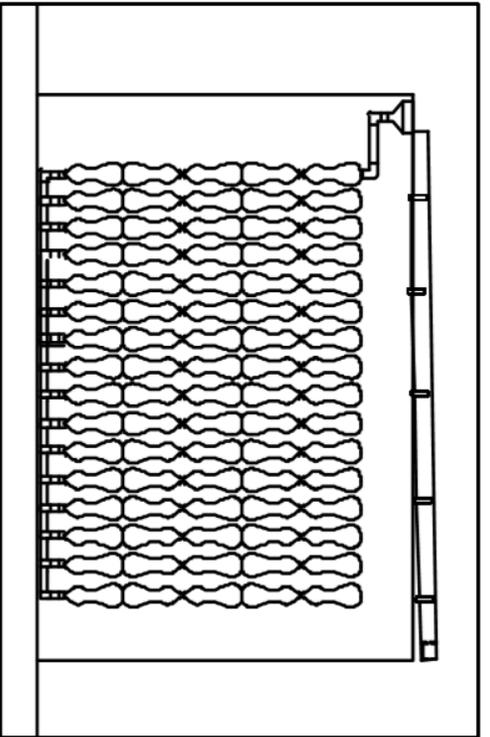
Referente a la remoción del grupo coliforme, la normativa colombiana no establece unos valores máximos de presencia de microorganismos en vertimientos de aguas residuales, aun así, se evidencia reducción de coliformes entre el 50-60%.

Ilustración 3. Parámetros microbiológicos entrada y salida STAR (Muestreo 3)

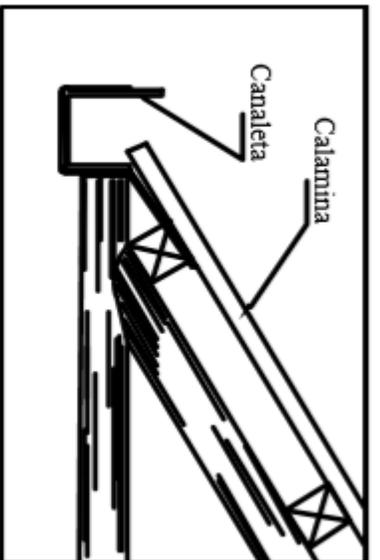
Parámetros Microbiológicos



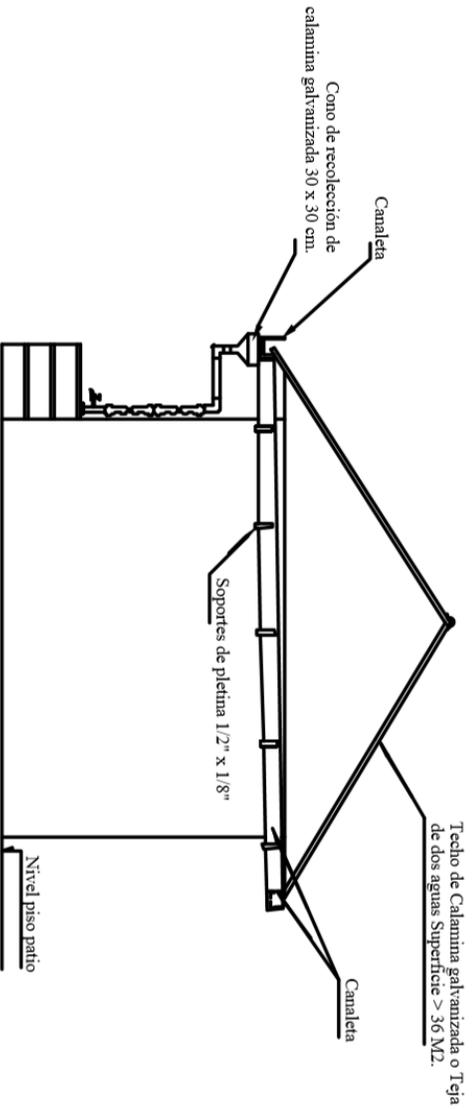
	Coliformes Totales (NMP/100 MI)	Escherichia coli (NMP/100 mL)	Mesófilos aerobios (UFC/mL ó cm3)
■ SALIDA	14000	0.7	80000
■ ENTRADA	31000	1.5	236000



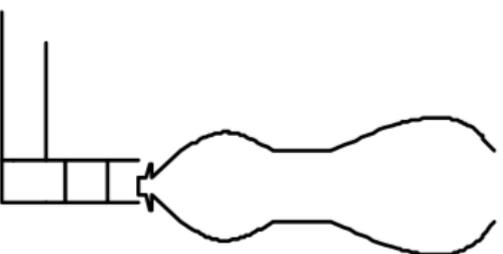
ECOMURO
Sin escala



DETALLE SUJECION CANALETA
Sin escala



CORTE A - A



PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL COLEGIO DEL BOSQUE BILINGÜE-UAN

El Programa de Monitoreo y Control del STAR pretende establecer la eficiencia del sistema actual, mediante el análisis periódico de las actividades de manejo ambiental junto al planteamiento de acciones correctivas.

Las actividades propuestas se establecen en función de implementar un programa integral de monitoreo y control, mediante la realización de mediciones periódicas y el seguimiento del proceso en el STAR de la institución educativa.

Objetivo

- Evaluar el porcentaje de remoción de la carga contaminante en el sistema de tratamiento de agua residual mediante análisis fisicoquímico.

1. Actividades

El monitoreo y control de las características de los vertimientos se realizará de acuerdo con lo establecido en la norma ambiental vigente en la resolución 631 de 2015, los cuales serán programados para su realización una vez por año. Sin embargo, existen ciertos parámetros que se analizan de manera semanal, con el fin de determinar el comportamiento de las condiciones del agua dentro del sistema, a continuación, se establece el procedimiento para la toma de parámetros *in situ*.

Medidor de pH y Temperatura	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encender el equipo. 2. Sumergir el electrodo en la solución a ser testeada. 3. La medición estará tomada cuando el indicador de estabilidad desaparezca. 4. El valor de pH se mostrará en la pantalla junto a la temperatura de la muestra.

Medidor de Oxígeno Disuelto



1. Cubra el electrodo con la capucha. La esponja de la capucha deberá ser humectada (no empapada) con agua desionizada (agua destilada) o agua limpia del grifo.
 2. Encender el medidor presionando el botón **ON/OFF**
 3. Si es la primera vez que se enciende el medidor, esperar aproximadamente 3 minutos para que se polarice la sonda.
 4. Seleccione las medidas deseadas con el botón **MODE/HOLD**. Quite la capucha del electrodo y coloque electrodo en la muestra.
 5. Agite el electrodo en la muestra para eliminar burbujas de aire. No sumergir el electrodo hasta el punto donde el líquido de la muestra alcance el collar del electrodo.
 6. De tiempo al medidor para que se estabilice el valor final de la medida.
- Nota:** A mayor diferencia de temperatura entre el electrodo y la solución más largo será el tiempo para que la lectura se estabilice. El tiempo de estabilización varía de (30) segundos hasta (5) minutos.

Kit de prueba de cloro libre y total



1. Rellene los tubos hasta la primera línea (5 ml) con la muestra.
2. Coloque un tubo en la abertura izquierda de la caja del comparador de colores.
3. Agregue un sobre del reactivo en polvo de cloro (libre o total) al segundo tubo.
4. Agite la solución. Se formará un color rosa.
5. Deje pasar un minuto para la lectura de cloro libre. Espere 3 minutos para la lectura del cloro total.
6. Coloque el segundo tubo en la caja de comparador de colores.
7. Sostenga la caja del comparador de colores delante de una fuente de luz. Gire el disco de color hasta que los colores coincidan.
8. Lea el resultado en **mg/L** en la ventana de la escala.

Conos Imhoff



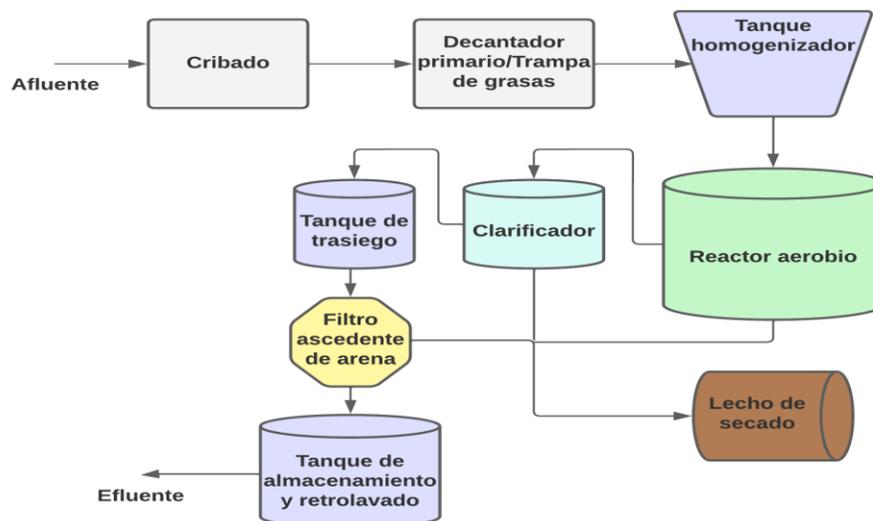
1. Agitar las muestras
2. Llenar cada cono imhoff hasta la marca de 1L (muestra de entrada y de salida del sistema), evitando tocar las paredes de los conos.
3. Dejar sedimentar durante 1 hora.
4. Registrar el volumen de sólidos sedimentables como **mL/L**.

A continuación, se establecen los valores óptimos de los parámetros medidos in situ.

pH (6.0 a 9.0)	
Las concentraciones adversas del ion hidrogeno dificultan el tratamiento biológico, alteran la biota e las fuentes receptoras y son fatales para los microorganismos.	
Alto > 9.0	Predomina la forma gaseosa del nitrógeno amoniacal (NH ₃), la cual es toxica.
Bajo < 6.0	En tratamiento biológico favorece el crecimiento de hongos sobre las bacterias. El poder bactericida del cloro es mayor
Oxígeno disuelto (≥ 4.0 mg/L)	
Alto	Se suple la demanda de oxígeno logrando la descomposición de la materia orgánica
Bajo	La baja disponibilidad de OD inhibe la capacidad auto purificadora del cuerpo de agua.
Cloro residual y total (0.2 -1.0 mg/L)	
Alto > 1.0	Reacción con distintos compuestos orgánicos, aumentando el riesgo de que se produzcan trihalometanos.
Solidos sedimentables (≤1.0 ml/L)	
Alto >1.0	Baja eficiencia del decantador. Baja cantidad de lodo removible por sedimentación simple.

Los puntos establecidos para la toma y análisis de las muestras serán en el afluente del tanque de homogeneización y en la caja de salida del sistema.

Figura 1. Esquema proceso de tratamiento de agua residual en el Colegio del Bosque Bilingüe-UAN



A pesar de que para la presente investigación se desarrollaron tomas de muestras compuestas, también es factible realizar muestreos puntuales, a excepción del análisis de DBO₅ y SST, estos deben analizarse mediante un monitoreo de 8 horas, con muestreos cada hora. La muestra debe ser enviada a un laboratorio acreditado por el IDEAM en un periodo no mayor a 24 horas a partir de la recolección de la misma.

Tabla 1. Criterio de vertimiento de agua residual a un cuerpo de agua

PARÁMETRO	CRITERIO
pH	6 a 9 unidades
Temperatura	< 40 °C
SST	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción >80% en carga
Tensoactivos	Remoción >80% en carga
DBO para el agua residual domestica	Remoción >80% en carga
DQO	Remoción >80% en carga
Nitratos	Remoción 80% en carga
Nitritos	Remoción 90% en carga

En la tabla 2, se presentan la frecuencia y los parámetros mínimos a ser monitoreados.

Tabla 2. Frecuencia y parámetros a evaluar

	PARÁMETRO	FRECUENCIA	PERIODO
AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	pH	ANUAL	8 horas
	Temperatura (°C)		
	Grasas y Aceites		
	Solidos Suspendidos Totales (SST)		
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		
	Nitratos		
	Nitritos		
	Turbiedad		
	Tensoactivos		
	Coliformes Totales		

Con la información obtenida en los diferentes monitoreos realizados, es necesario elaborar una base de datos que permita observar los cambios, evolución y alteraciones que se puedan presentar en el Sistema de Tratamiento de Agua Residual, con el fin de tomar las medidas correctivas.

2. Operación y mantenimiento

Es importante realizar mantenimientos periódicos a cada una de las estructuras utilizadas en el sistema de tratamiento de agua residual, con el fin de lograr garantizar el óptimo funcionamiento del sistema y la remoción de contaminantes según lo establece la normativa.

- *Tratamiento primario*

Es necesario establecer registros sobre el plan de limpieza.

Lodos	Los lodos deben descargarse del tanque al menos una vez al día. Los lodos primarios que se generan no pueden disponerse directamente en los lechos de secados sin previamente haber sido estabilizados. <u>Está prohibido descargar los lodos en corrientes o cuerpos de agua.</u> No se recomienda descargar lodos con excesiva cantidad de agua.
Grasas y aceites	Las natas y grasas deben removerse <u>diariamente</u> de la superficie.
Equipos de medición	El funcionamiento adecuado de los quipos, tales como medidores de caudal, pH, oxígeno, etc, depende de un cuidadoso mantenimiento. Los electrodos deben limpiarse con regularidad, de ser posible diariamente. La calibración de los equipos se realizará mediante las instrucciones del fabricante.

- *Tratamiento secundario*

Reactor aerobio	Revisar las condiciones de operación de válvulas y demás componentes mecánicos para su perfecto funcionamiento. Controlar la presencia de agentes externos dentro del proceso.
Clarificador	Controlar el nivel de los lodos que no sobrepasen el $\frac{1}{4}$ de la profundidad. Tener en cuenta el balance de sólidos entre el tanque de aireación y el clarificador. Realizar la evacuación de los lodos del clarificador cada que se requiera.
Filtro ascendente de arena	Remover la arena que se retiene en los desarenadores y hacerles mantenimiento en general.
Lechos de secado de lodos	Es importante tener en cuenta la humedad de los lodos que se agreguen. Una capa delgada se seca más rápido, además de que permite la remoción del lodo más rápido. La superficie de los lechos debe mantenerse limpia y libre de aquellos lodos que anteriormente se descargaron. <u>Nunca deben descargarse lodos sobre otros secos o parcialmente secos.</u> Después de retirar los lodos, los lechos deben ser preparados para la

siguiente carga. Debe reponerse la arena que se haya perdido en limpiezas anteriores. Los lodos secos se deben sacar cada 10-15 días.

El operador debe tener presente que el equipo mecánico requiere atención y mantenimiento. Las partes móviles de los equipos deben mantenerse lubricadas, deben ser reemplazadas aquellas partes que se encuentren débiles o gastadas. Se recomienda seguir al pie de la letra el instructivo que proporcione el fabricante. Debe verificarse que los controles operan el voltaje prescrito.

Algunos aspectos que el operario tiene que tener en cuenta al momento de estar trabajando en la planta de tratamiento de aguas residuales son las medidas de higiene que deben estar presentes en su lugar de trabajo para la prevención de accidentes y disminución de riesgos durante el mantenimiento. Algunas de las medidas mas importantes a tener en cuenta son:

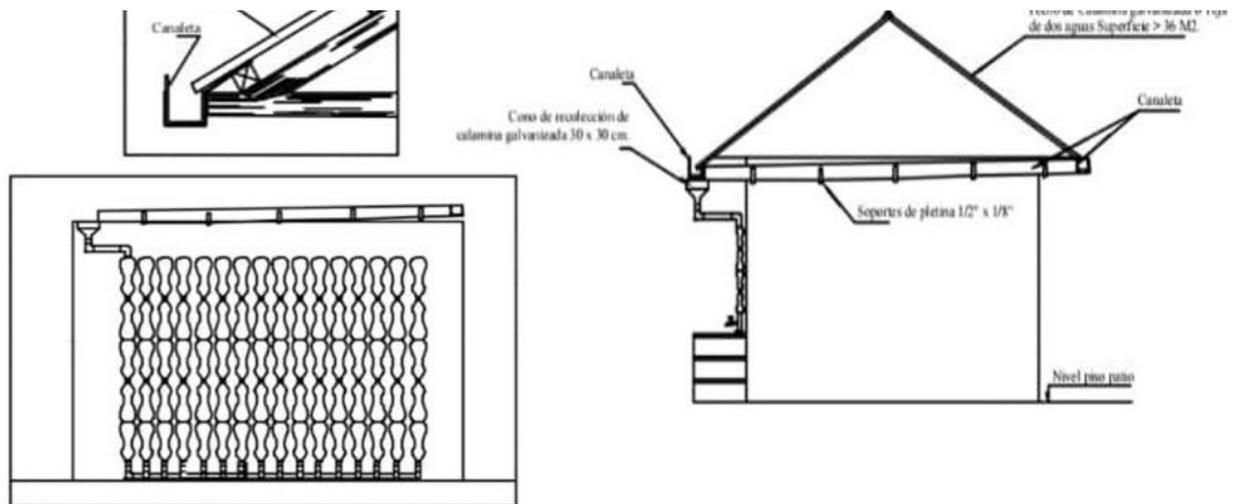
- La planta debe contar con un botiquín de primeros auxilios.
- El operador debe disponer de guantes y botas de goma, casco de trabajo y overol.
- Todas las herramientas de trabajo deben limpiarse con agua antes de ser guardadas después de su uso.
- Los accidentes de trabajo que pueda sufrir el operador deben atenderse inmediatamente y si se presenta cortes o arañazos, realizar la debida desinfección de la herida.

SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

Mediante el análisis hidrometeorológico de la zona, se establece el diseño de un depósito compacto vertical, este depósito se caracteriza por su estructura resistente y el uso de espacios pequeños.

El depósito vertical de agua lluvia, está formado por botellas PET de 2 litros. Las botellas se encuentran interconectadas entre sí. El agua lluvia es recogida en la cubierta del edificio. Se canaliza a través de la bajante hacia el depósito. El depósito se llena de abajo hacia arriba de manera progresiva. Capacidad 162 litros.

Figura 2. Diseño depósito vertical de agua lluvia.



1. Proceso de construcción

Materiales:

- 54 botellas de plástico de 2 litros con sus respectivas tapas
- 2 tubos de 1 m de PVC de diámetro 25 mm (base)
- 1 tubo de 2m de PVC de diámetro 75 mm (Bajante de agua)
- Conectores de PVC roscados
- Codos y tes <<T>> de PVC de diámetro 25 mm
- 1 tubo de adhesivo para PVC
- 1 tubo de sellador de roscas de plástico

Construcción de la base

1. Cortar uno de los tubos de PVC de diámetro 25 mm en 8 partes de 10 cm cada uno
2. Estas 8 partes de 10 cm conectarán las tes <<T>> de PVC de diámetro de 25 mm. Se unen con el adhesivo para PVC.
3. Los agujeros superiores de las tes <<T>> de PVC de diámetro 25 mm deben quedar libres y hacia arriba. Allí se conectarán las botellas.

4. Cierre el circuito hidráulico de la base con los codos de PVC de diámetro 25 mm, formando una base de forma rectangular. Debe dejar uno de los extremos libres para la extracción del agua almacenada.
5. Cortar el tubo de PVC de diámetro 25 mm en 7 partes iguales de 5 cm cada uno. Conectarlos a los agujeros superiores de las tes <<T>> que quedaron libres

Construcción del módulo de almacenaje

1. A la mitad de las botellas realizarles un agujero en la base, y a la otra mitad de las botellas un agujero en la tapa.
2. Unir las botellas formando columnas (conectar tapas con bases y bases con bases). Para unir las bases de las botellas utilizar conectores de PVC roscados
3. Para fijar las botellas, utilizar bridas de plástico o cuerdas. Con el fin de evitar que estas se muevan o caigan.
4. Sellar todas las uniones con sellador de plástico.
5. Llenar la última botella por la que saldrá el agua lluvia con material filtrante, si se utiliza antracita esta debe tener una altura de cama de 24-31 in.

Conexión

Seleccionar los módulos de botellas y conectarlos a la base. Deben conectarse a los tubos de 5 cm de la parte superior de las tes <<T>>. Añadir a uno de los extremos de la base el tubo de PVC de diámetro 75 mm. Este tubo realizara la función de bajante y llenara el deposito con el agua lluvia (jordipuigcaldes, 2020).