

Valoración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR del Campus de la Universidad Santo Tomás, e identificación de alternativas de reúso en actividades de Riego y Sanitarios.

Andrés Felipe Lozano Rodríguez

Víctor Stiven Manrique Díaz

Director:

Cristian Mauricio Sierra Yepes

Especialista en desarrollo y gerencia integral de proyectos.

Línea de investigación: Tecnologías limpias

Universidad Santo Tomás sede principal

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá

2024

Tabla de contenido

1. Resumen:	7
2. Abstract:	8
3. Introducción:.....	9
4. Objetivo general:	11
5. Objetivos específicos:	11
6. Antecedentes:	12
7. Marco de referencias:.....	17
7.1 Marco contextual:	17
7.2 Marco normativo:	18
8. Metodología:.....	21
8.1 Reconocimiento inicial de la planta de tratamiento:.....	22
8.2 Planos y dimensiones de las etapas de la planta de tratamiento:.....	27
8.2.1 Plano y red de tuberías para la distribución de agua residual:	29
8.3 Muestreo:.....	30
8.3.1 Cálculo de alícuotas:	31
8.3.2 Cadena de custodia:	32
8.4 Comparación normativa:	33
8.4.1 Revisión según las especificaciones RAS 2000 y resolución 631:	33
8.4.2 Revisión según las normativas de reúso:	34
8.5 Identificación de alternativas de optimización:	34
9. Resultados:	35
10. Análisis de resultados:	47
11. Impacto social y humanístico del trabajo:	56

12.	Conclusiones:	58
13.	Recomendaciones:.....	60
14.	Referencias Bibliográficas:.....	61
15.	Anexos:	64

Lista de tablas

Tabla 1 Marco normativo	19
Tabla 2 Etapas, equipos y materias primas de la planta de tratamiento del campus San Alberto Magno	25
Tabla 3 Equipos y materias primas	26
Tabla 4 Operaciones y dimensiones de la PTAR	29
Tabla 5 Caudales en el afluente y efluente de la PTAR.....	31
Tabla 6 Cantidad de muestra para el análisis de DBO y DQO para estimación de alícuotas	32
Tabla 7 Registro fotográfico de las etapas presentes en la PTAR	35
Tabla 8 Costos mensuales de agua residual y agua potable en el campus San Alberto Magno	38
Tabla 9 Registro de captura de datos caudales afluente y efluente	39
Tabla 10 Resultados de laboratorios S.G.I. SAS	41
Tabla 11 Comparación de eficiencias según el “Título E”	49
Tabla 12 Comparación de remoción grasas y aceites según el "Título E"	50
Tabla 13 Valores máximos permisibles según la resolución 1256 del 2021	51
Tabla 14 Comparación valores máximos permisibles según la NOM ECOL 003 de 1997. 51	
Tabla 15 Costos y beneficios del reúso de aguas residuales tratadas	52
Tabla 16 Valoración e inversión para un sistema teórico de reúso	53
Tabla 17 Tiempo de recuperación de la inversión inicial para un sistema de reúso	53
Tabla 18 Valoración e inversión para un sistema teórico de riego	56
Tabla 5 Características de operación y remoción (DBO) para lodos activados	Error!
Bookmark not defined.	
Tabla 6 Eficiencias generales de remoción para diferentes procesos	Error! Bookmark not defined.

Lista de imágenes

Imagen N. 1 Plano planta de tratamiento de agua residual campus San Alberto Magno	28
Imagen N. 2 Plano red de tuberías de aguas residuales en el campus San Alberto Magno .	30
Imagen N. 3 Trampa de grasas	35
Imagen N. 4 Pozo de igualación	36
Imagen N. 5 Reactor biológico.....	36
Imagen N. 6 Sedimentador compacto	37
Imagen N. 7 Clarificador.....	37
Imagen N. 8 Lodos activados	38
Imagen N. 9 Variación de grasas y aceites en la PTAR.....	43
Imagen N. 10 Variación de DBO en la PTAR	44
Imagen N. 11 Variación de DQO en la PTAR	46

Listado de abreviaturas

Abreviatura	Termino
PTAR	Planta de tratamiento
ARD	Agua residual domestica
ARnD	Agua residual no domestica
lps	Litros por segundo
ml	Mililitro
L	Litro
µg	Microgramo
mg	Miligramo
g	Gramo
kg	Kilogramo
cm	Centímetros
m	Metro
m2	Metro cuadrado
m3	Metro cubico

1. Resumen:

El presente trabajo se enfoca en la evaluación y posible mejora del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) en la sede campus de la Universidad Santo Tomás, que actualmente cuenta con un caudal medio de 4.46 lps y sirve a una población estimada de 1000 a 1400 personas; esto con el objetivo de proponer un sistema teórico que permita la recirculación del agua residual doméstica hacia actividades de riego y uso en sanitarios. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un diagnóstico de la PTAR mediante la toma de muestras compuestas y puntuales en las diferentes etapas de la planta, presentando valores por debajo de los máximos permisibles establecidos en la resolución 1076 del 2015, 1256 del 2021 y la normativa mexicana NOM-003-ECOL-1997, además de un rango de remoción entre el 90% y 95% de DBO, DQO, grasas y aceites. Esto demuestra la capacidad para reusar el agua tratada en temas sanitarios puesto que genera un ahorro teórico de 2 millones mensualmente, por otra parte, para el caso teórico de riego no se puede considerar como una idea viable debido a que su retorno de inversión es de muy largo plazo.

Palabras clave: reúso, aguas tratadas, PTAR, sanitarios, riego agrícola.

2. Abstract:

This paper focuses on the evaluation and possible improvement of the operation of the wastewater treatment plant (WWTP), at the Santo Tomás University campus, which currently has an average flow of 4.46 lps and serves an estimated population of 1,000 to 1,400 people; This with the aim of proposing a theoretical system that allows the recirculation of domestic wastewater towards irrigation activities and use in sanitary facilities. To achieve this objective, a diagnosis of the WWTP was carried out by taking composite and punctual samples at the different stages of the plant. presenting values below the maximum permissible values established in resolution 1076 of 2015, 1256 of 2021 and the Mexican regulation NOM-003-ECOL-1997, In addition to a removal range between 90% and 95% of BOD, COD, greases and oils. This demonstrates the capacity to reuse treated water for sanitary purposes since it generates a theoretical saving of 2 million per month But for the theoretical case of irrigation, it cannot be considered a viable idea because its return on investment is very long term.

Keywords: reuse, treated water, WWTP, sanitary facilities, agricultural irrigation.

3. Introducción:

El aprovechamiento responsable de los recursos naturales es prioritario para el progreso social y ambiental. En particular, el agua, siendo un recurso vital, lo que demanda una gestión eficiente y sostenible para asegurar su disponibilidad para las futuras generaciones. Las PTAR desempeñan un papel importante al mitigar la contaminación generada por las actividades humanas que hacen uso de este recurso, actualmente en Colombia menos del 50% de las PTAR ubicadas en cabeceras municipales se encuentran en operación, esto debido a diferentes factores (Alfárez & Pimiento, 2019) entre los más comunes la falta de presupuesto, esta problemática generalizada reafirma el valor de las PTAR asociadas a instituciones privadas como la del campus San Alberto Magno de la universidad Santo Tomás, ya que esta contribuye a disminuir las cargas contaminantes que finalmente desembocarán en el cuerpo receptor vallado de aguas lluvias. Es necesario para lograr dicho objetivo mantener de manera continua el estado y la eficiencia de la PTAR del campus San Alberto Magno, esta evaluación no solo contribuye a garantizar el cumplimiento normativo y el adecuado funcionamiento operativo de la planta, sino que también proporciona información relevante para la posible implementación de estrategias de reusó de agua, en línea con el compromiso ambiental y la responsabilidad social de la institución.

Las PTAR desempeñan una función determinante en la protección del medio ambiente al tratar las aguas residuales antes de su descarga al medio receptor. Sin embargo, la eficiencia de estas plantas puede verse comprometida debido a diversos factores, como el uso inadecuado de recursos, las altas concentraciones de contaminantes, el deterioro de equipos y la acumulación de lodos, entre otros (Cabrera & Zevallos, 2019). Es muy importante que la capacidad y eficiencia de la PTAR sean suficientes para satisfacer las necesidades de tratamiento de las aguas residuales generadas por la comunidad universitaria. Es imprescindible realizar el análisis de la capacidad operativa y la eficiencia de la PTAR, incluyendo una evaluación de su rendimiento actual, identificación de posibles problemas o

deficiencias, y la evaluación de la proposición de nuevos sistemas de optimización para el reúso del afluente, esto consiguió reconocer el estado actual de la planta sus valores de vertimiento y su uso en actividades de riego y descargas sanitarias debido a su cumplimiento normativo y baja concentración de contaminante en el afluente de la PTAR (Hernández Gómez & Larrota Rangel, 2018). En estudios previos, los cálculos de remoción arrojaron resultados muy satisfactorios obteniendo valores para algunos de los parámetros a medir (DBO y DQO) cercanos al 96.4% para DBO y 94.9% para DQO, sin embargo, estudios más recientes enfocados a la determinación de la toxicidad presente en los vertimientos de la PTAR indican que el porcentaje de remoción alcanza apenas un 2%, lo que crea la necesidad de evaluar el estado actual de los valores de eficiencia de remoción presentes en la PTAR del campus San Alberto Magno (Vergel Chingaté, 2023)

La evaluación del estado actual de los sistemas de tratamiento y proposición de mejoras es vital para buscar garantizar que la planta opere de manera eficiente y cumpla con los parámetros establecidos, esto parámetros fueron enfocados principalmente en la remoción de DBO, DQO, grasas y aceites, midiendo su variación en las diferentes etapas presentes en la planta de tratamiento. Esto no solo contribuye al ahorro de recursos hídricos, sino que también tiene un impacto positivo en el presupuesto institucional, al reducir los costos asociados al consumo de agua potable para actividades que no tienen un contacto muy directo humano como lo son el riego y la descarga sanitaria las cuales comúnmente se encuentran alimentadas por agua potable. El correcto desarrollo del proyecto y el cumplimiento de los estándares de vertimientos en el campus universitario no solo promueve un ambiente más saludable, sino que también fomenta la conciencia ambiental dentro de la comunidad universitaria. Al reconocer la importancia de la gestión eficiente del agua y la preservación de los recursos naturales, los estudiantes, profesores y personal administrativo se involucran activamente en prácticas más sostenibles, lo que contribuye a un entorno universitario más saludable y a la formación de ciudadanos más conscientes y responsables. Además, la implementación de un sistema teórico de reúso de agua beneficia a la institución al proporcionar una fuente adicional de agua para actividades como riego y uso en sanitarios, reduciendo así la dependencia del suministro de agua potable y promoviendo un uso más eficiente de los recursos hídricos.

4. Objetivo general:

Valoración del sistema operativo de la PTAR del campus de la Universidad Santo Tomás, para identificar alternativas de reúso en actividades de riego y sanitarios.

5. Objetivos específicos:

- Evaluar el funcionamiento y la eficiencia de remoción de los procesos unitarios de tratamiento de la PTAR.
- Identificar alternativas de optimización asociadas al reúso del efluente tratado de la PTAR del campus de la universidad en actividades de riego y/o descarga de sanitarios para garantizar el cumplimiento normativo y la reducción de costos operativos.

6. Antecedentes:

En el año 2008, la universidad de Cranfield en Inglaterra decidió meterse de lleno en el estudio del reusó de aguas grises, sometiéndolas a procesos de desinfección para evaluar su viabilidad. Durante esta investigación, se reconoció que la alta concentración de contaminantes presentes en esta agua exigía una mayor cantidad de desinfectante. Sin embargo, aumentar la dosis de cloro no consideraba la resistencia microbiana, un factor clave que limitaba su efectividad. Se observó que la eficiencia óptima del cloro en la remoción de contaminantes dependía del tamaño de las partículas: a mayor tamaño, la desinfección resultaba menos efectiva y más compleja, a esto se sumaba el tiempo de retención en tanques de almacenamiento y tuberías. Que reducía aún más la capacidad del tratamiento. Para determinar si se estaba llevando a cabo una remoción eficiente de los contaminantes, se tomaron muestras de aguas grises en diferentes zonas de Inglaterra y se analizaron mediante diferentes métodos. La DBO a 5 días se midió según el método de la secretaria de medio ambiente de 1997, mientras que la DQO se evaluó usando el espectrocuanto de Merck. Además, se determinaron los sólidos suspendidos totales por el método estándar y el tamaño de las partículas mediante Mastersizer, con 5 repeticiones, un tiempo de medición de 25 segundos y un índice de refracción de 1.52. Esto permitió calcular la cantidad de cloro necesaria para generar aguas tratadas aptas para su reusó. Finalmente, los resultados demostraron que, aunque el cloro era capaz de inactivar coliformes libres, su eficiencia se veía limitada por partículas más complejas y de mayor tamaño. Esto impidió cumplir con los estándares internacionales para el reusó de agua urbana, como el establecido por California

22, que exige un máximo de 2.2 coliformes totales por 100 mL para considerar el agua segura en aplicaciones urbanas, como el objetivo fue imposible de cumplir se recomendó aumentar la concentración inicial de cloro y un tiempo de contacto más prolongado para mejorar la inactivación de partículas más complejas. (Berlin et al., 2015; Corraide Da Silva et al., 2019; Ihalawatta et al., 2015; Secretaría de medio ambiente, 1997; Tusiime et al., 2022; Winward et al., 2008)

Para el 2008 Silva decía que las aguas residuales, compuestas por sólidos suspendidos y materia orgánica e inorgánica disuelta (incluyendo parámetros como DQO y DBO), requieren una cuantificación precisa de sus componentes para definir estrategias de tratamiento que aseguren una calidad adecuada y minimicen riesgos a la salud y el ambiente. Además de los contaminantes convencionales, se pueden encontrar sustancias emergentes, como detergentes, antibióticos y hormonas, que representan amenazas a largo plazo. El agua residual doméstica presenta características fisicoquímicas variables, con un pH cercano a la neutralidad y concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) que incluyen en la fertilización natural y en el desarrollo de los cultivos, aunque también puede generar problemas como la salinización del suelo si no se maneja adecuadamente. Esto hace que sea indispensable aplicar procesos de tratamiento en niveles que van desde el preliminar hasta el terciario, cumpliendo con los estándares internacionales de la OMS y FAO, para asegurar su uso seguro en aplicaciones agrícolas. Experiencias tanto internacionales como nacionales han demostrado que, con el tratamiento correcto, el reúso del agua residual puede beneficiar el riego de cultivos, siempre que se evalúe la capacidad de asimilación de nutrientes y se eviten los riesgos asociados. Finalmente, se destaca la necesidad de un manejo integrado que involucre a gobiernos, instituciones de investigación y el sector productivo, para garantizar un uso seguro y eficiente de este recurso hídrico. (Silva et al., 2008)

Para el año 2010, en América latina, el reúso de aguas grises empezó a tomar fuerza, sobre todo en agricultura. En países como México, donde el agua escasea en muchas zonas, los campesinos comenzaron a probar estas aguas para regar sus cultivos. Los resultados fueron prometedores, se logró ahorrar entre un 12% y un 65% de agua, dependiendo de lugar y las condiciones, y de paso redujeron los costos de mantenimiento. Fue una idea sencilla que

nació de la necesidad de no gastar de más en un momento en el que el agua estaba escaseando. Para ese año en México, no se contaba con una ley que brindara las directrices que permitieran una correcta ejecución de estas soluciones, lo que no permitió que el avance fuera más acelerado. Sin embargo, investigaciones posteriores estimaron que con una correcta infraestructura se podría ahorrar hasta 220000 m³ de agua al año. Además, si más casas se sumaran, el ahorro podría llegar al 30.5%, y los costos de instalar estos sistemas bajarían con el tiempo. Sin embargo, la falta de recursos económicos no permitió que esta idea se extendiera aún más. (Miriam Julieta Salamanca Sánchez Ensenada C, 2010)

En Portugal, para el año 2018, una investigación quiso llevar el reusó de aguas grises a un edificio de apartamentos. Querían ver si podían usar el agua de las duchas, lavamanos y bidés para cosas como descargar inodoros o regar los jardines. Hicieron un estudio completo, preguntándole a los vecinos que pensaban y evaluando si el dinero invertido valdría la pena. La respuesta fue positiva y los vecinos estuvieron de acuerdo en probar esta alternativa de ahorro siempre y cuando el agua estuviera bien tratada. Para limpiarla, se usó un reactor biológico de membrana (MBR), una tecnología moderna que filtra el agua de manera eficiente. Los cálculos arrojaron datos prometedores, el sistema redujo el consumo de agua potable en un 33%, ahorrando unos 3351 m³/Año. Financieramente también había beneficio, con un retorno de la inversión en 24 años y un valor presente neto de 14775 dólares.(Meléndez-Pérez et al., 2019)

También el año 2018 Agrosavia y Ecopetrol se unieron para ejecutar un proyecto donde se buscaba usar aguas tratadas de la industria petrolera en la agricultura y la ganadería. Durante cinco años, estudiaron 44 hectáreas de tierra en Acacías y Villavicencio en el departamento del meta, querían determinar si su uso a largo plazo podría ser factible en cuanto a salubridad y a posibles impactos ambientales. Los resultados fueron nuevamente positivos, El suelo no presento daños y por el contrario mejoro su contenido de calcio, magnesio y potasio, nutrientes esenciales para las plantas. No se encontraron metales pesados ni restos de hidrocarburos, y cultivos como la caña de azúcar y el pasto de elefante crecieron más fuertes que el promedio. En el caso de los animales, también hubo resultados positivos, vacas y gallinas no mostraron ningún problema de salud ni en su producción de carne, leche o huevos.

Incluso el agua de los ríos y pozos cercanos se mantuvo limpia. Con estos datos, las autoridades ambientales dieron luz verde para usar estas aguas en más de 228 hectáreas, y hoy el proyecto recicla 3.1 millones de m³/Año. (Ecopetrol & Coalición agua para Colombia, 2020)

En Colombia durante este mismo año 2018 se realizó una investigación acerca del riego de diversos cultivos como sorgo, maíz, girasol, caña de azúcar y hortalizas, en Colombia esta actividad representa el principal uso del agua residual domestica tratada, obteniendo resultados favorables que demostraron un mejor desempeño en el crecimiento de los cultivos regados con agua residuales diluidas en comparación de los cultivos regados con agua estática del entorno. En ella se reconoce los beneficios del reusó en actividades como la piscicultura, la silvicultura y la estabilización de áreas deforestadas o perturbadas por la minería, así como en actividades urbanas como el riego de espacios verdes y el lavado de áreas comunes. (Ferney & Peña, 2018)

En Brasil durante el año 2019 se planteó el uso de las aguas residuales generadas en los grifos y bebederos de una universidad generando un total de 22.35 m³ de agua al mes, se decidió implementar nuevas de estrategias ahorro como filtros en los bebederos, reducción de caudal en las descargas de sanitarios y la recirculación de las aguas grises generadas en los bebederos. En términos económicos, los costos generados normalmente eran de US\$ 487,85 al mes, pero al implementar las nuevas estrategias de ahorro y el sistema de reuso el consumo de agua de los edificios estudiados se redujo en un 12,96%, llegando a ahorrar un total de US\$ 379,55 por mes, ahora bien, es importante resaltar que se pueden plantear estrategias de recirculación para varias actividades, pero existen casos como las aguas residuales presentes en fregaderos de las cocinas que no pueden tomarse como una opción optima de reuso debido a que estas cargan con una gama de malos olores que pueden convertirse en un problema a futuro, y que a su vez es importante resaltar que algunas baterías sanitarias que por culturas cuentan con un sistema de enjuague y limpieza anal que limitan el uso de estas aguas grises. (Meléndez-Pérez et al., 2019)

Nuevamente en Colombia el municipio de Tuluá Valle del Cauca a lo largo del año 2021 se hizo uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales de las casas. Basados en el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales y en estudios de la CVC, probaron de todo: tanques sépticos, filtros de arena, lagunas de estabilización, humedales e incluso escarabajos que ayudan a descomponer la materia orgánica. Cada método se adapta al lugar, ya fuera un pueblo pequeño o una ciudad más grande. El agua tratada se usó para regar cultivos como maíz, café y hortalizas, y también para lavar calles o regar parques en las ciudades. Los resultados demostraron menos contaminación en los ríos y agua disponible donde escaseaba. Sin embargo, se evidencio que no hay una legislación que regule el reúso de estas aguas en zonas urbanas, las normativas actuales hacen un énfasis en el reusó solamente en la industria y en la agricultura. También en Colombia en el año 2021, se presentó un proyecto de reúso de aguas grises tratadas para una empresa en donde se tuvo que generar un nuevo sistema de tubería en donde se reúsa el agua de los lavabos, esto genero una conclusión negativa debido a que los datos de consumo durante el periodo de análisis fueron mayores en comparación de un sistema común, pero este se relacionó debido que en esta época de estudio surgió la pandemia generando una necesidad sanitaria de aumentar el uso de lavabos, recomendando que este tipo de sistemas debe tener especial cuidado en los tiempos de almacenaje y de posibles taponamientos que pueden generar afectaciones en el sistema además de la producción de malos olores. (Ecopetrol & Coalición agua para Colombia, 2020)

Por último, se han realizado estudios previos en las plantas de tratamiento de una universidad Santo Tomás en la sede principal y en la sede campus, uno de ellos se enfoca en la evaluación de la remoción de la toxicidad de los vertimientos de aguas residuales tomando datos en el afluente y efluente de cada una de las plantas, en donde se reconoció que los valores toxicológicos presentes en la PTAR de la sede central fueron menores en comparación con los datos obtenidos en la PTAR del campus mediante los bioensayos toxicológicos, esto permite concluir que la sede central cuenta con un mejor funcionamiento en la remoción de contaminantes en comparación del campus de la universidad, esto se puede relacionar al mismo tiempo con el funcionamiento de los lodos activados presentes en la PTAR del campus puesto que la carga bacteriana que realiza el tratamiento y se complementa con los

tensoactivos presentes en las aguas residuales debido a que pueden generar afectaciones en estos factores (Vergel Chingaté, 2023).

7. Marco de referencias:

7.1 Marco contextual:

Las plantas de tratamiento tienen como objetivo reducir la carga de contaminantes presentes en las aguas residuales generadas por distintas actividades, ya sean aguas residuales domesticas (ARD) que se clasifican como las aguas procedentes de actividades de hogares e instalaciones presentes en industrias, comerciales o prestadoras de servicio que se generen mediante descargas de sanitarios, aseo personal como duchas y lavamanos, áreas de cocina, pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de ropa no industrial, o aguas residuales no domésticas (ARnD) aguas producidas por actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las anteriormente explicadas, esta reducción debe cumplir con unos valores máximos permisibles para su vertimiento en cuerpos de agua o a la red de alcantarillado, aun así, este tipo de residuos pueden ser gestionados de mejor manera para brindar un reúso en otras actividades que son generadoras de consumo de agua potable y que cumpliendo ciertos parámetros pueden ser reemplazadas por agua residual tratada.(Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2010; Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015)

Para el presente trabajo se tomó como fuente principal la operación y vertimiento de aguas residuales presentes en la planta de tratamiento de la universidad Santo Tomás ubicada en la sede campus San Alberto Magno (Kilómetro 1,6, calle 209, Bogotá), esta planta de tratamiento maneja las aguas residuales generadas por las actividades de descargas sanitarias, piscina y restaurante que brinda la universidad, se cuenta con varias etapas de remoción de contaminantes, siendo una de las primeras la trampa de grasas enfocada en la remoción de grasas y aceites generadas por las actividades del área de comidas, continuo a eso se homogenizan los demás vertimientos en un tanque de igualación, este tanque cuenta con una bomba sumergible encargada de transportar el agua residual hacia el primer tratamiento de

la planta, el cual es el tratamiento de lodos activados encargado de remover DBO y DQO, como actividad adicional se genera un excedente de lodos durante esta etapa los cuales pasan a un lecho de lodos con el propósito de ser secados y usados como compostaje, continuo a esto pasa por un proceso de decantación, floculación y coagulación, siguiendo a un tanque de clarificación para su desinfección, por último, se vierte en el cuerpo receptor vallado de aguas lluvias, aun así, adicionalmente la universidad ya cuenta con el uso de parte del agua residual generada para actividades de riego dentro del campus. (Romero & Giovanny, 2018b)

7.2 Marco normativo:

Para el caso de la normativa colombiana, esta cuenta con una gran variedad de límites permisibles separados en diferentes actividades económicas, estos a su vez están separados también dependiendo del tipo de vertimiento al cual se aplique ya sea a la red de alcantarillado directamente o a cuerpos de agua superficiales, para el caso de (ARD) se presentan valores máximos para los parámetros fisicoquímicos, así mismo, están separados dependiendo de diversos factores como lo pueden ser la carga máxima que se tiene según el tipo de actividad, por último, es importante reconocer que no es obligatorio generar el análisis de todos los parámetros máximos presentes por la norma 631 puesto que si se presenta una explicación y demostración en donde se reconozca que no se usa o no hay presencia de algún parámetro de la norma, no es necesario su estudio. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015b)

Los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el reúso de aguas residuales tratadas en zonas verdes o de riego están en el decreto 1076 del 2015 en donde se muestran los criterios de calidad para uso agrícola máximos permisibles para varios contaminantes y fue ampliado con la resolución 1256 del 2021 la cual presenta más valores para tener en cuenta como calidad adicional de aguas residuales para uso agrícola. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015c, 2021)

Por otra parte, aunque se cuentan con normativas colombianas para el reúso de agua residual en actividades de riego agrícola, Colombia no cuenta con normativas que regulen el reúso de aguas residuales para actividades de descarga en sanitarios, aun así, México cuenta con valores máximos permisibles en el uso de aguas residuales para usarse en servicios públicos con el objetivo de proteger y reducir el consumo de agua en el país, los límites están

enfocados en cuatro principales parámetros coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites, DBO5 y SST, así mismo, se prohíbe la presencia de metales pesados y cianuros por encima de los valores máximos que atenten contra la salud humana, en la tabla 1 se muestran otras legislaciones y normativas con importancia para el trabajo.

Tabla 1 Marco normativo

Norma	Objetivo	Tema
Resolución 631 del 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dicatan otras disposiciones	La resolución se enfoca en establecer los parámetros máximos permisibles que se deben cumplir para generar vertimientos a los cuerpos de aguas superficiales y alcantarillado, estableciendo los parámetros por parte de las actividades que se realicen sean industriales, comerciales o de servicio.
NOM-003-ECOL-1997	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.	La normativa mexicana se centra en los límites máximos para los contaminantes microbiológicos mayormente, dependiendo si la actividad cuenta con un contacto directo con el público o si cuenta con un contacto indirecto u ocasional con el público, además de las técnicas de muestreo de huevos Helmintos

Decreto 1076 del 2015	por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible	El decreto 1076 se encarga de compactar la normativa colombiana enfocada en el recurso hídrico, vertimientos, uso eficiente y monitoreo del recurso, estableciendo límites máximos permisibles para actividades de riesgo agrícola entre otras.
Resolución 1256 del 2021	Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones	establecer las disposiciones relacionadas con el uso de las Aguas Residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios de dichas aguas y criterios adicionales de calidad del agua residual para el uso agrícola presentes en el decreto 1076 del 2015
RAS 2000 "Título E"	fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia	EL título E del RAS 2000 se enfoca en los porcentajes de remoción, dimensionamiento y mantenimiento de los procesos o etapas de tratamiento para un correcto funcionamiento para garantizar que los tratamientos sean seguros y duraderos evitando el mal funcionamiento.

Ley 2169 2021	Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones	La ley 2169 se enfoca principalmente en el tema de la minimización del carbono con el propósito de alcanzar la carbono neutralidad, aun así, en el artículo 6 se habla de que las entidades prestadoras de servicio de acueducto, salud y protección social a 2030 deben cumplir con reusar al menos un 10% del agua residual tratadas.
---------------	---	---

Fuente: Propia

8. Metodología:

Para la identificación de nuevas alternativas de optimización que se pueden implementar en la planta de tratamiento del campus San Alberto Magno, se hizo un reconocimiento del proceso de remoción de contaminantes etapa por etapa enfocado en sus dimensiones, tipos de tratamiento y que tipo de contaminantes se remueven en cada una además de sus equipos y reactivos necesarios para cumplir su funcionamiento, continuo a esto se analizó el tiempo crítico en el que se presenta el mayor caudal en la planta de tratamiento.

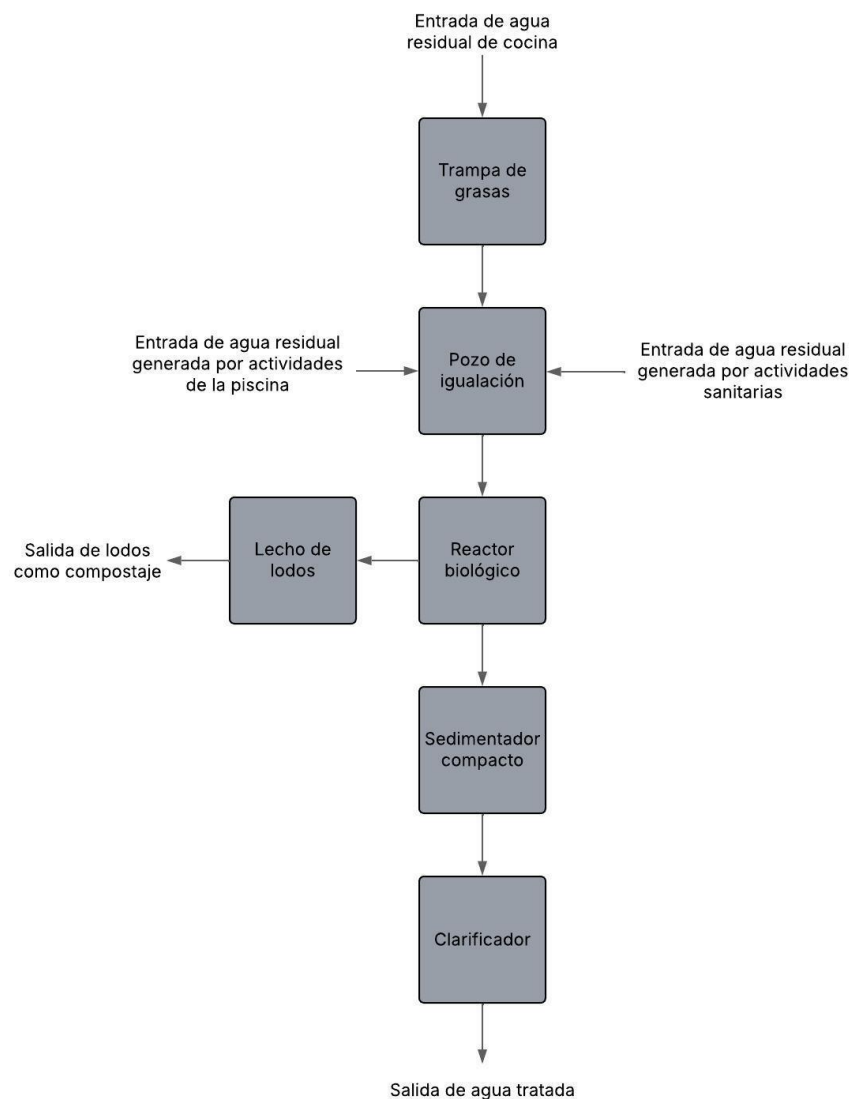
Siguiendo con un muestreo compuesto y puntual en diferentes puntos de la planta de tratamiento enfocados en el análisis de los parámetros de DBO, DQO, grasas y aceites; para el caso de los muestreos compuestos se realizó en el afluente y efluente de la planta siendo un total de 2 muestras compuestas, para el caso de las muestras puntuales se empieza el muestreo en la trampa de grasas de 2 muestras en el afluente y efluente de la misma, posteriormente se pasa a generar un muestreo puntual en lodos activados y concluir con al efluente de la planta, continuo a esto se reconoce los porcentajes de remoción en cada etapa de tratamiento y ser comparados con el título E del RAS 2000, ECOL 003 1997 y la resolución 1256 del 2021 reconociendo si sus porcentajes de remoción están dentro de los

rangos óptimos y sus valores están por debajo de los valores máximos permisibles para reúso en riego como también en descarga de sanitarios, finalmente planteando teóricamente etapas adicionales para la planta y el costo de implementación de estas alternativas de optimización.

8.1 Reconocimiento inicial de la planta de tratamiento:

La planta de tratamiento presente en la sede campus San Alberto Magno cuenta con una variedad de procesos de remoción enfocados en la disminución principalmente de los valores de DQO y DBO, alimentada de 3 principales fuentes de aguas residuales, agua residual sanitaria de los diferentes edificios, agua residual generada por la actividad de piscina y por último el agua residual generada por las actividades de restaurante presente en el campus, esta distribución se reconoce mejor en el siguiente gráfico:

Imagen N. 1 Esquema de tratamiento de la PTAR en el campus San Alberto Magno



Fuente: propia

- **Tratamiento reactor biológico:** mediante el proceso de fangos activados de mezcla completa, se genera un proceso microbiológico que degrada y remueve la materia orgánica sin generar a gran escala gases de dióxido de azufre y gas metano

minimizando los olores en la planta de tratamiento, reduciendo también concentraciones de DQO y DBO5 en el vertimiento.

- **Sistemas de aireación tratamiento biológico:** aumento de oxígeno disuelto facilitando la fermentación mediante la oxigenación continua disminuyendo los parámetros criterio
- **Sedimentador compacto:** su capacidad es de 4.46 lps, se cuenta con 2 celdas de decantación removiendo lodos para la recirculación de este, así mismo esta recirculación se hace mediante bombeo neumático con inyección de aire generando una renovación en el manto bacteriano, se realiza igualmente el tratamiento químico de floculación y desinfección primaria que termina de retirar los sólidos en suspensión y precipitación de metales.
- **Sistema de dosificación:** cuenta con 2 conjuntos de bombas dosificadoras dosificando de forma controlada los reactivos químicos centrados en floculación, coagulación y desinfección, las bombas presentes son Bomba Tekna Evo (encargada de dosificar hipoclorito de sodio) y la bomba Blue white (encargada de dosificar sulfato de aluminio) (Romero & Giovanni, 2018b)
- **Tanque de clarificación o balance hidráulico:** se realiza un proceso de desinfección final mediante hipoclorito de sodio, finalmente se realiza el vertimiento al vallado central de aguas lluvias.
- **Lecho de lodos o manto filtrante:** se cuenta con un lecho de lodos con el que se deshidratan los generados durante los anteriores procesos y se disponen finalmente, así que se neutralizan con cal y se aprovechan como compostaje.
- **Tablero de control:** está controlado desde un tablero de protección y distribución de energía eléctrica, la cual controla todos los motores que intervienen en el equipo.

Algunas de las etapas con las que cuenta la planta de tratamiento cuentan con equipos y materiales necesarios para su dosificación y correcto funcionamiento, cada etapa tiene una mayor o menor cantidad de equipos, siendo el reactor biológico una de las etapas más robustas debido a que cuenta con una mayor cantidad de equipos para su correcto funcionamiento, por otra parte, las etapas más robustas en temas de materias primas son la

trampa de grasas y el sedimentador compacto puesto que están enfocados en un tratamiento más químico.

Tabla 2 Etapas, equipos y materias primas de la planta de tratamiento del campus San Alberto Magno

Etapas	Equipos	Materia prima
Trampa de grasa		- Bacterias facultativas devoradoras de grasas. - Soda caustica a 10 ppm. - Microorganismos eficientes.
Pozo de igualación	- Bomba sumergible de 3 HP 2,5”.	
Reactor biológico	- Difusores burbuja inyección neumática por equipo “BLOWER tipo Easypack lobular. - Blowers: soplador bilobular, motor eléctrico 25 HP. - Filtro silenciador de aire succión 4” 98% eficiencia. - Manómetro de descarga 0 a 15 Psi. - Controlador de temperatura. - Sistema de distribución de aire en tubo 3”.	

	- 20 difusores de burbuja fina en pvc presión ¾”.	
Sedimentador compacto	- Inyección de aire por válvula veturi (neumático). - Bombas tekno evo - Blue white Bomba desinfección.	- Solución de hipoclorito de sodio al 20%. - Solución de sulfato de aluminio tipo A y polímero acrilamida de alto contenido molecular. - Bicarbonato de sodio y/o Soda Caustica y Soluciones alcalinas: metabisulfito de sodio.
Clarificador	- Fibra de vidrio 1,3 m3.	- Hipoclorito de sodio al 15%.
Lecho de lodos		- Arena sílice y gravilla #2 #4.

Fuente: propia

Por otra parte, es importante reconocer que equipos están relacionados con qué tipo de materias primas y que cantidades se manejan para el óptimo funcionamiento de la planta, además es importante reconocer que bombas dosifican que tipo de químicos y que funcionamiento cumplen estas materias primas.

Tabla 3 Equipos y materias primas

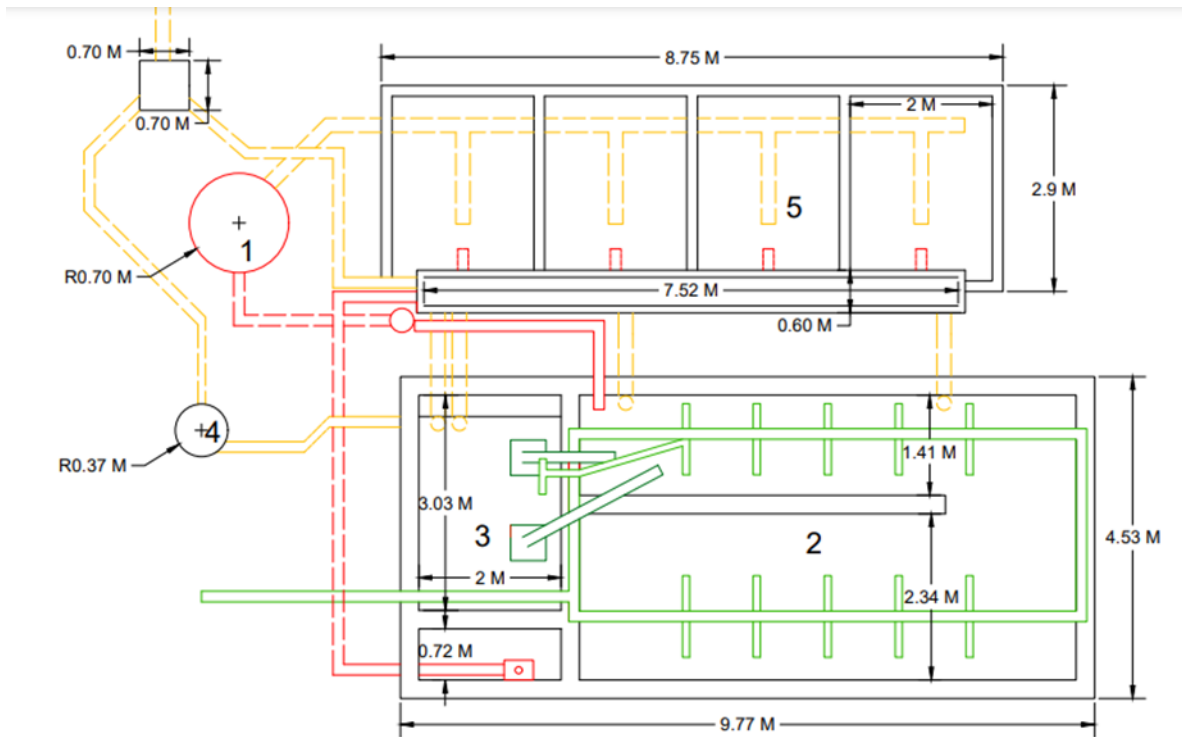
Equipos	Materias primas
---------	-----------------

Bomba sumergible (3HP, 2,5")	Hipoclorito de sodio (15%) de 20 ltrs, agente oxidante y eliminación de bacterias
Difusor de burbuja fina inyección neumática (tubería pvc 3/4")	Sulfato de aluminio tipo A (granulado 25-50kg) enfocado en la coagulación de agua
Motor eléctrico (25HP)	Polímero acrilamida (alto contenido molecular, 1kg) ayudante en el proceso de floculación y remoción de solidos
Blower (Easypack lobular), Motor electrico (25HP), Flitro de aire, soplador bilobular	Metabisulfato de sodio (1-10kg) estabilización de ph
	Bicarbonato de sodio (1-10kg y 25kg) estabilización de ph
Bomba Tekna Evo (caudal 5 lph, 115V) y Blue White (caudal 5 lph, 115V)	Cloruro ferrico (1-10kg y 25kg, solución al 40%) coagulante para tratamiento de aguas
	Bacterias facultativas (1 libra en pastillas) Aspergillus oryzae, Bacillus subtilis (2 cepas), Bacillus megaterium, Bacillus polymxa, Bacillus licheniformis”

Fuente: Romero, 2018

8.2 Planos y dimensiones de las etapas de la planta de tratamiento:

Imagen N. 2 Plano planta de tratamiento de agua residual campus San Alberto Magno



Fuente: Universidad Santo Tomás

La planta de tratamiento cuenta con 5 etapas previamente expuestas, sin contar una trampa de grasas ubicada cerca de la zona de restaurantes la cual cuenta con un volumen de 1 m^3 con una forma cubica de 1m por lado, continuo a esto se presenta el tanque de igualación el cual cuenta con un radio de 0,70 m, volumen de 7 m^3 y una profundidad de 4,5 m, la siguiente etapa es el tanque de lodos activados cuenta con un área de $34,29\text{ m}^2$ y un volumen 90 m^3 y una altura 2,62 m de altura, la siguiente etapa es el tanque de sedimentación el cual cuenta con un área de $6,06\text{ m}^2$, continuo a esto el tanque de clarificación cuenta con un radio de 0,37m, volumen de $1,3\text{ m}^3$ y altura de 3m. por último se encuentran los lechos de lodos cada uno con medidas de 2 m y 2,38 m para cada celda y un área total de 25 m^2 .

Tabla 4 Operaciones y dimensiones de la PTAR

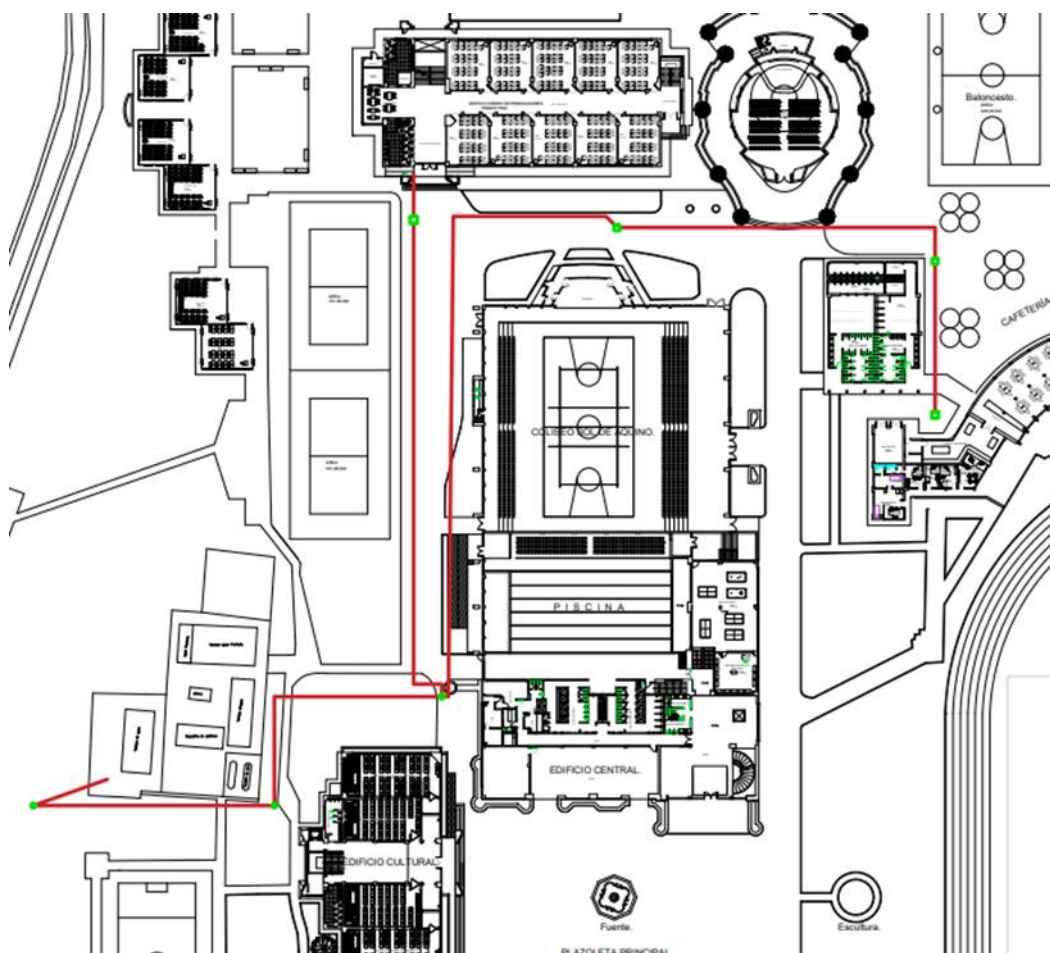
Proceso unitario	Área	Altura	Volumen
Trampa de grasas	1 m ²	1 m	1 m ³
(1) Tanque de igualación	1,54 m ²	4,5 m	7 m ³
(2) Tanque de lodos activados	34,29 m ²	2,62 m	90 m ³
(3) Tanque de sedimentación	6,06 m ²	2,62 m	15,87 m ³
(4) Tanque de clarificación	0,43 m ²	3 m	1,3 m ³
	lado	Ancho	Área total
(5) Lecho de lodos	2 m	2,38 m	25 m ²

Fuente: propia

8.2.1 Plano y red de tuberías para la distribución de agua residual:

Se presentan 2 principales redes que atraviesan el área de la universidad siendo la más lejana el área de cafetería y la segunda se encuentra en el edificio de predicadores, además esta red se alimenta del agua residual generada en las piscinas, sanitarios del edificio cultural y central que van hacia la planta de tratamiento, cuenta con un total de 4 cajas de inspección además de una unión de la red de cafetería y el edificio de predicadores previa a la entrada de la planta.

Imagen N. 3 Plano red de tuberías de aguas residuales en el campus San Alberto Magno



Fuente: universidad Santo Tomás

Además del sistema de tubería que maneja la universidad también cuenta con un total de 52 sanitarios distribuido a lo largo del campus San Alberto Magno en total todos a una distancia diferente de la planta de tratamiento, esto sumado a la cantidad de estudiantes aproximado con el que cuenta la universidad y personal se genera una cantidad importante de agua residual, ahora bien, se cuenta con un valor de consumo de agua de 1937 m³ por mes de agua potable.

8.3 Muestreo:

Se realizó una visita previa para el reconocimiento del caudal pico que entra en la planta de tratamiento, siendo este entre las horas del mediodía entre las 10 y las 2 de la tarde debido a que en este periodo de tiempo es donde más veces se activa la bomba sumergida en el tanque de igualación, por ende, el muestreo se realizó en estas horas donde se presenta mayor actividad en la planta, el muestreo se realizó en un día con una población reducida debido a que las actividades académicas se habían culminado semanas antes generando un entorno que no es crítico en la planta de tratamiento, se empieza con los muestreos compuestos en el afluente y efluente, donde se tomaron un total de 10 alícuotas cada media hora para lograr el volumen total para la muestra y posteriormente ser homogenizadas y divididas en 2 muestras de 1 litro cada una, una para DBO y otra para DQO, posteriormente se tomaron las muestras puntuales en la trampa de grasa, uno a la entrada de la trampa, el segundo a la salida y por ultimo una muestra en la entrada de la planta, para el caso de los parámetros de DBO y DQO se realiza una muestra puntual en lodos activados, siendo este un total de 9 muestras enfocadas en la remoción de DBO, DQO, grasas y aceites.

- **Trampa de grasas:** representa el primer punto de pretratamiento, recibiendo aguas residuales principalmente provenientes de la cafetería.
- **Bomba de entrada:** punto de ingreso del agua residual al sistema de tratamiento, reflejando las condiciones iniciales del afluente.
- **Salida de lodos:** ubicada después del proceso de lodos activados y sedimentación, permitiendo analizar la eficiencia en la reducción de la carga orgánica.
- **Salida de la PTAR:** agua tratada antes del vertimiento o posible reúso, proporcionando datos importantes sobre la calidad final del efluente.

8.3.1 Cálculo de alícuotas:

Para el cálculo de las alícuotas se centran en los dos muestreos compuestos realizados en el afluente y efluente de la planta de tratamiento, sumado la estimación del caudal promedio y caudal instantáneo presentes en la PTAR del campus San Alberto Magno.

Tabla 5 Caudales en el afluente y efluente de la PTAR

Punto de muestreo	Qp (l/s)	Qi (l/s)
-------------------	----------	----------

Afluyente	4,46	4,2
Efluente	1,8	1,6

Fuente: propia

Tabla 6 Cantidad de muestra para el análisis de DBO y DQO para estimación de alícuotas

Parámetro	Muestra	Unidad
DBO	1000	ml
DQO	1000	ml
Total	2000	ml

Fuente: propia

$$Va = \frac{Vt \cdot Qi}{Qp \cdot n}$$

Para el caso de la alícuota necesaria para el muestreo en el afluyente de la planta de tratamiento es de 188 ml que se aproximó a 190 ml y para el caso del efluente de la planta de tratamiento se estimó una alícuota de 177 ml que se aproximó a 180ml y se tomó una adicional para llegar a los 2 litros necesarios para tener la muestra completa.

8.3.2 Cadena de custodia:

Las muestras fueron selladas y rotuladas según el anexo 1, con fecha, volumen, tipo de parámetro y punto de muestreo, posteriormente son transportadas hacia la sede principal donde son almacenadas para luego ser transportadas hasta el laboratorio S.G.I SAS en cual se usaron los métodos de partición infrarroja para grasas y aceites, incubación 5 días y electrodo de membrana para DBO y reflujo cerrado-volumetría para DQO.

Se estudiaron los métodos presentes en la metodología usadas por el laboratorio donde fueron enviadas las muestras: (Giraldo, 1995)

- **Método de partición infrarroja:** Este método se basa en la extracción de grasas y aceites de la muestra de agua residual utilizando un solvente adecuado, seguido de la medición de la absorbancia infrarroja en longitudes de onda específicas, lo que permite cuantificar su concentración.
- **Incubación 5 días y electrodo de membrana:** La DBO mide la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos presentes en una muestra de agua durante un periodo de incubación de 5 días a 20°C. El electrodo de membrana se utiliza para medir la concentración de oxígeno disuelto en la muestra antes y después de la incubación.
- **Reflujo cerrado-volumetría:** La DQO mide la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica presente en una muestra de agua residual. El método de reflujo cerrado-volumetría implica la oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio en un medio ácido y la posterior titulación del exceso de dicromato con una solución de sulfato ferroso amónico.

8.4 Comparación normativa:

Mediante los valores máximos permisibles presentes en las normativas previamente mencionadas se genera una comparación de los datos reconociendo su cumplimiento y la oportunidad de usar estas aguas residuales en otras actividades.

8.4.1 Revisión según las especificaciones RAS 2000 y resolución 631:

Se realizó una revisión de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de acuerdo con las especificaciones en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), centrándose especialmente en los Títulos E. Esta evaluación abarca la recopilación de datos en cada etapa del tratamiento para el análisis del correcto vertimiento de agua residual que genera la PTAR, conforme a las directrices establecidas en la Resolución 631 de 2015, adicionalmente, se lleva a cabo un análisis del dimensionamiento (Imagen N.2), la eficiencia de remoción y los valores máximos permitidos, con énfasis en la cuantificación y comparación con los límites máximos permisibles para uso en riego además de sistemas sanitarios.

8.4.2 Revisión según las normativas de reúso:

Se realizó un análisis comparativo entre los datos obtenidos en cada etapa de tratamiento enfocado en los parámetros de DBO, DQO, grasas y aceites, de la PTAR de la Universidad Santo Tomás, con el fin de proponer posibles estrategias para ampliar la eficiencia del sistema y mejorar la remoción de contaminantes comparando los valores máximos en las normativas ECOL 003 1997 y la resolución 1256 del 2021. Asimismo, tener como condición la viabilidad económica de implementar un sistema teórico que permita reusar el agua tratada del efluente de la PTAR hacia las baterías sanitarias, analizando el tiempo de recuperación de la inversión inicial que permita agregar posibles nuevas etapas en la planta, sistema de tuberías y bombeo, garantizando una operación estable y el cumplimiento de los estándares de calidad en caso de ser necesario.

8.5 Identificación de alternativas de optimización:

La evaluación de las etapas de tratamiento se realiza a partir del análisis de los resultados obtenidos en los puntos de muestreo establecidos en cada etapa de tratamiento enfocadas en la remoción de grasas y aceites, DBO y DQO. Estos datos permiten determinar si el sistema de tratamiento de aguas residuales de la universidad opera de manera eficiente o si presenta deficiencias en alguna de sus etapas. Este análisis es primordial, ya que influye directamente en la precisión de los resultados de laboratorio y puede impactar la viabilidad de futuros proyectos de reúso del agua tratada en la PTAR.

Análisis de posibles mejoras para sistemas de reúso en sanitario:

Se realiza un análisis comparativo entre los datos obtenidos en cada etapa de tratamiento enfocado en los parámetros de DBO, DQO, grasas y aceites, de la PTAR de la Universidad Santo Tomás, proponiendo posibles estrategias para ampliar la eficiencia del sistema y mejorar la remoción de contaminantes. Asimismo, tener como condición la viabilidad

económica de implementar un sistema teórico que permita reusar el agua tratada del efluente de la PTAR hacia las baterías sanitarias, analizando el tiempo de recuperación de la inversión inicial que permita agregar posibles nuevas etapas en la planta, sistema de tuberías y bombeo, garantizando una operación estable y el cumplimiento de los estándares de calidad en caso de ser necesario.

9. Resultados:

Tabla 7 Registro fotográfico de las etapas presentes en la PTAR

Etapa.	Registro fotográfico.
Trampa de grasa	Imagen N. 4 Trampa de grasas  Fuente: Propia

Pozo de igualación	Imagen N. 5 Pozo de igualación  Fuente: Romero, 2024
Reactor biológico	Imagen N. 6 Reactor biológico  Fuente: Propia

Sedimentador compacto	<i>Imagen N. 7 Sedimentador compacto</i>  Fuente: Romero, 2024
Clarificador	<i>Imagen N. 8 Clarificador</i>  Fuente: Romero, 2024

Lecho de lodos	Imagen N. 9 Lodos activados  Fuente: propia
----------------	---

Fuente: propia

El costo de funcionamiento mensual para el tratamiento de 1843.2 m³ de agua residual en la planta de tratamiento es de un total de \$5'000.000, los cuales están compuesto por los suministros utilizados mensualmente tales como: 6 bultos de sulfato de aluminio, 3 garrafas de hipoclorito al 15% 8 kilos de hipoclorito al 70% y 200 gramos de acrilamida de alto contenido molecular, además se generan costos operativos de mantenimiento, mano de obra, ensayos de laboratorio entre otros. (Fuentes: Universidad Santo Tomás)

Tabla 8 Costos mensuales de agua residual y agua potable en el campus San Alberto Magno

Agua potable	Consumo mensual	Unidad	Costo unitario	Costo total
	1.937	m3	\$5.278,00	\$10.223.486
Agua residual	Generación mensual	Unidad	Costo unitario	Costo total
	1.843,20	m3	\$2.712,68	\$5.000.006

Fuente: propia

Así mismo, según el caudal estudiado de 3,2 l/s con un funcionamiento de 8 horas genera un total de 1843,2 m³ al mes que la planta de tratamiento trata, por esta razón y con el valor promedio de gastos mensuales que genera la planta de tratamiento, el valor promedio de m³ tratado es de \$2712 pesos, ahora bien para el caudal promedio que maneja la planta de 4,46 l/s la cantidad de m³ tratados al mes sería de 2569 m³ dando un costo de metro cubico al mes de \$1946 pesos, ahora bien como dato importante se cuenta con un valor promedio de consumo de agua de 1937 m³ de agua potable, así mismo, el costo de metro cubico de agua según el acueducto para diciembre del 2024 es de \$5,278 pesos para casos no residenciales siendo un total de \$10'223,486 pesos los costos de agua potable que debe asumir la universidad para brindar este servicio a los estudiantes. (Fuentes: Universidad Santo Tomás)

Por otra parte, se registraron los datos capturados en campo en los puntos de afluente y efluente de la planta de tratamiento, enfocados en la medición de caudal promedio y caudal presente en cada muestra, el caudal se midió con un cronómetro el tiempo en que se demoraba en llenar el volumen por cada muestra, se puede reconocer la variación del caudal durante las horas de muestreo realizado.

Tabla 9 Registro de captura de datos caudales afluente y efluente

Registro de captura de datos caudales afluente y efluente						
Punto	Hora	Qi(L/s)	Qp(L/s)	Volumen de muestra (L)	n	Alícuota L
Afluente	10:00	1,6	3,27	2	10	1,05
	10:30	2,1				1,37
	11:00	3,5				2,29

	11:30	3,7				2,42
	12:00	3,8				2,49
	12:30	2,4				1,57
	13:00	3,8				2,49
	13:30	4,4				2,88
	14:00	4,2				2,75
	14:30	3,2				2,09
Promedio						21,39
Punto	Hora	Qi(L/s)	Qp(L/s)	Volumen de muestra (L)	n	Alícuota L
Efluente	10:16	0,8	1,793	2	10	0,29
	10:46	0,9				0,32
	11:15	1,6				0,57
	11:46	2,13				0,76
	12:15	2,23				0,80
	12:45	1,5				0,54
	13:15	2,3				0,82
	13:45	2,8				1,00
	14:16	2,4				0,86
	14:45	1,27				0,46
Promedio						6,43

Fuente: propia

9.1 Resultado de laboratorios:

Tabla 10 Resultados de laboratorios S.G.I. SAS

Etapas de tratamiento	Parámetro	Método	Resultado	Unidad
Trampa de grasas (Afluente)	Grasas y aceites	Partición - infrarrojo	1572,75	mg/L
Entrada PTAR (Afluente)	Grasas y aceites	Partición - infrarrojo	11,9	mg/L
	DBO	Incubación 5 días y electrodo de membrana	51	mg/L
	DQO	Reflujo cerrado, volumetría	84,04	mg/L
Lodos activados (Efluente)	DBO	Incubación 5 días y electrodo de membrana	131	mg/L
	DQO	Reflujo cerrado, volumetría	217,87	mg/L
Salida PTAR (Efluente)	DBO	Incubación 5 días y electrodo de membrana	6,94	mg/L
	DQO	Reflujo cerrado, volumetría	21,77	mg/L

--	--	--	--	--

Fuente: propia

Mediante el muestreo realizado y los resultados generados mediante S.G.I SAS se hizo el análisis de 9 muestras de laboratorio, el primer resultado para la muestra de grasas y aceites genera un valor de 1572 (Mg/L) siendo esto el valor de la cantidad que son generadas por este parámetro y acumuladas en la trampa por la zona de restaurante, continuo a esto se reconoce el segundo punto de muestreo enfocado en la variación generada entre la trampa de grasas y las condiciones iniciales en la entrada de la planta, para esta muestra hay presencia de grasas de 11,9 (Mg/L) en donde se reconoce que mediante la trampa de grasa ya se ha generado una remoción de este parámetro, ahora bien, los valores iniciales para DBO son de 51 (Mg/L) y de DQO son de 84,04 (Mg/L), estos valores son las concentraciones naturales en los vertimientos de aguas domesticas que se generan en el campus San Alberto Magno, como punto importante se hizo el muestreo en el proceso de lodos activados de DBO y DQO en donde se usó una metodología distinta que en la entrada, estos resultados para DBO son 131 (Mg/L) y para DQO de 217,87 (Mg/L) en donde se presentan los valores más elevados, por último, se realizan muestreos a la salida de la PTAR donde se miden DBO y DQO con la misma metodología usada en la entrada de la planta previamente expuesta, reconociendo la remoción total con la que cuenta la planta de tratamiento, para el caso de DBO cuenta con un valor de 6,94 (Mg/L) y DQO de 21,77 (Mg/L) en donde ambos valores están por debajo de los valores máximos permitidos para vertimiento de aguas residuales en cuerpos de agua.

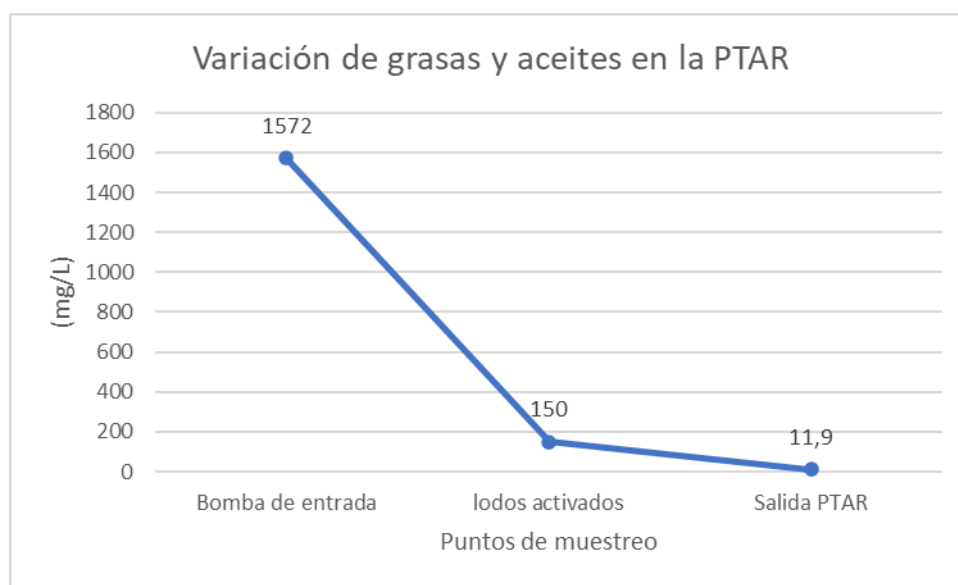
9.2 Grasas y aceites

Se realizó un análisis comparativo entre los valores obtenidos en la muestra puntual tomada en el punto de entrada de la trampa de grasas, en la salida de la trampa y la muestra compuesta recolectada en la entrada de agua de la PTAR. Este análisis tuvo como objetivo principal determinar el porcentaje de remoción de grasas y aceites antes de que el agua ingrese al

sistema de tratamiento de la planta esto es primordial para entender el rendimiento inicial del proceso de tratamiento, ya que la remoción de grasas y aceites es un paso decisivo para evitar problemas operacionales posteriores, como la obstrucción de tuberías y la disminución de la eficiencia de los equipos en la PTAR.

Asimismo, este análisis también consideró otros factores que podrían influir en la eficiencia de la remoción de grasas y aceites, como la naturaleza de las descargas que alimentan la trampa y la condición operativa de la misma, ya que una trampa que no recibe mantenimiento adecuado o que está mal diseñada podría presentar una eficiencia significativamente menor a la esperada (Romero et al., 2018).

Imagen N. 10 Variación de grasas y aceites en la PTAR



Fuente: propia

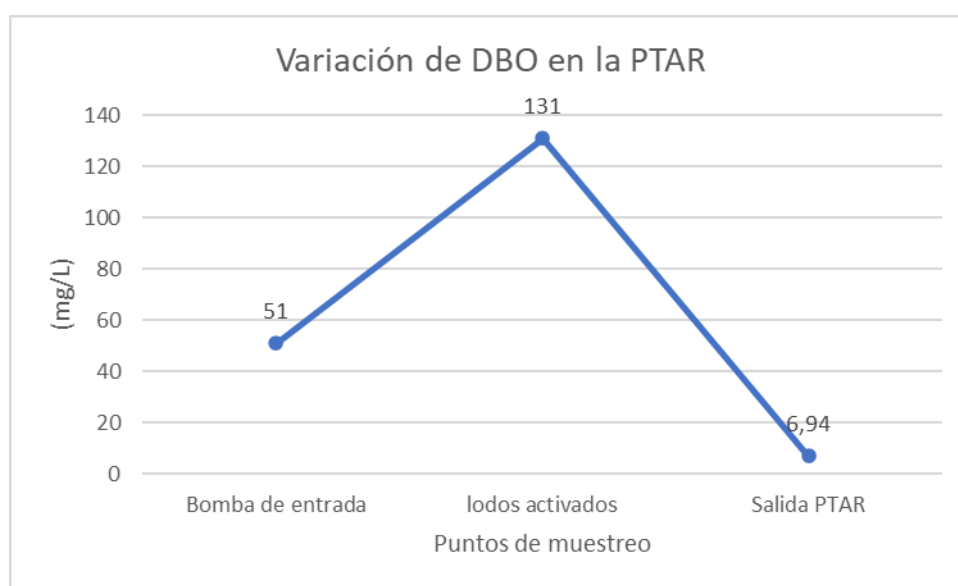
Para el caso de grasas y aceites, se obtuvo una concentración de 1572 mg/L en el punto de muestreo correspondiente a la trampa de grasas el día del análisis, en donde se evidenció una acumulación de grasa en la parte superficial de la trampa, lo que indica una acumulación importante de este tipo de contaminantes en esta primera etapa del sistema de tratamiento de agua residual. Posteriormente se monitoreó la cantidad de grasas y aceites en la salida de la trampa, mostrando un resultado de 150 mg/L siendo un valor inferior a su punto inicial. Por

último, el punto de entrada a la planta de tratamiento, específicamente antes del tanque de igualación, los resultados mostraron una notable disminución, con una concentración de 12 mg/L en este punto, esta disminución en las concentraciones en los diferentes puntos de muestreo sugiere una remoción extremadamente eficiente de grasas y aceites en el sistema de pretratamiento. La eficiencia de remoción para este parámetro entre la entrada y la salida de la trampa de grasa fue calculada en un 90,46% removiendo la gran mayoría de residuos generados, continuo a esto se presenta una reducción de grasas y aceites entre la salida de la trampa y la entrada a la planta disminuyendo un 92,07% del anterior valor, siendo el valor de entrada de grasas y aceites muy bajo en los demás procesos de la planta de tratamiento.

9.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

En el caso del parámetro de DBO el cual mediante el mismo proceso de lodos activados también se genera la remoción de este factor, se presenta con un mismo porcentaje de remoción el cual está entre el 80% al 95%, para el caso de la PTAR del campus San Alberto magno la variación entre el valor de afluente y el efluente se reconoce una reducción del 94,7% aproximadamente entrando dentro del rango de eficiencia que debería tener según el título E en la anexo 7.

Imagen N. 11 Variación de DBO en la PTAR



Fuente: propia

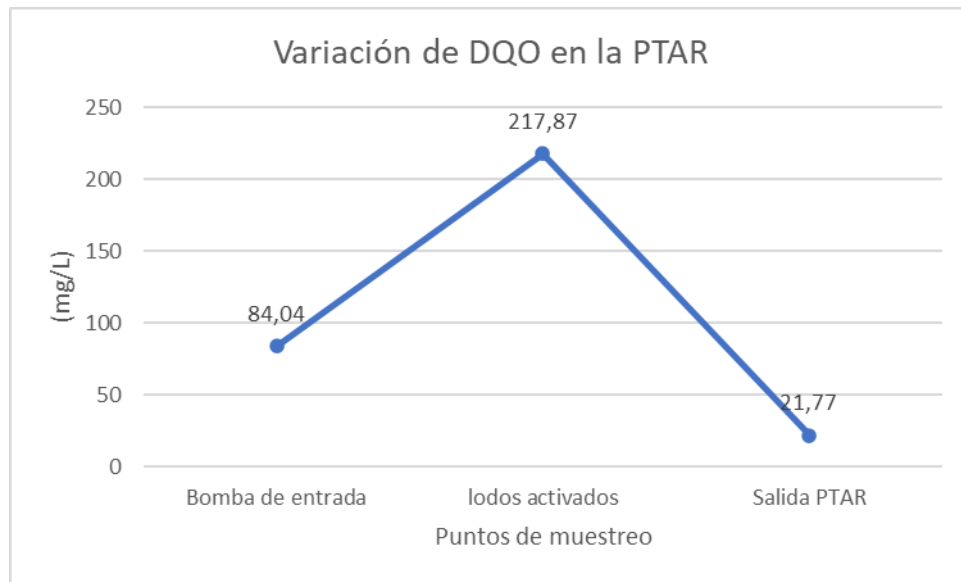
Se realizó una comparación en tres puntos estratégicos del sistema de tratamiento con el fin de evaluar la variación de las concentraciones a lo largo del proceso de remoción de materia orgánica, estos puntos fueron seleccionados para comprender la efectividad del tratamiento en diferentes etapas. En el primer punto correspondiente a la bomba de entrada, se midió una concentración de 51 mg/L de DBO, esta cifra refleja la carga inicial de materia orgánica que debe ser tratada. Sin embargo, al llegar a la zona de lodos, las concentraciones aumentaron de manera significativa, alcanzando un valor de 131 mg/L, finalmente, a la salida de la PTAR, después de pasar por todas las etapas de tratamiento, la concentración de DBO se redujo drásticamente a 6,94 mg/L, este descenso en los valores refleja la alta eficiencia del tratamiento biológico y fisicoquímico aplicado en la planta, logrando una remoción significativa de materia orgánica. (Romero, 2024)

El primer valor de DBO registrado en el ingreso a la planta en comparación del segundo valor registrado en el punto de lodos activados tuvo un crecimiento de un 250% siendo este el valor más alto presentado en el muestreo, continuo a eso se presenta una reducción entre los lodos activados y la salida de la PTAR del 94,70% mostrando una amplia reducción de este parámetro. (Romero et al., 2018).

9.4 Demanda Química de Oxígeno:

Por último, para la remoción de la DQO se cuenta con un reactor biológico que hace uso del proceso aerobio de fangos activados de mezcla completa, un sistema de aireación blower tipo EasyPak lobular, según el “título E” debe tener una remoción entre un rango de 85% a 95% como valores óptimos de este proceso, en comparación con los valores presentados entre el afluente y efluente de la PTAR se presenta una reducción del 90% entrando dentro del rango de eficiencia que debería tener según el título E presente en la anexo 8.

Imagen N. 12 Variación de DQO en la PTAR



Fuente: propia

La determinación de la DQO también se realizó en los mismos tres puntos, para la bomba de entrada se registró una concentración de 84 mg/L. Al igual que en el caso de la DBO, se observó un aumento significativo en la concentración de la DQO en los lodos activados, donde la concentración alcanzó los 217 mg/L. Finalmente, después de pasar por cada etapa de tratamiento la concentración de DQO en el efluente final de la PTAR se redujo aproximadamente a 22 mg/L. La variación de concentraciones entre la entrada de la PTAR y lodos activados es de un 220% mostrando un aumento considerable en este parámetro, por otra parte, la variación entre el punto de lodos activados y la salida de la PTAR es una remoción aproximadamente del 90% mostrando una reducción significativa de este parámetro.

Ahora bien, los lodos activados cuentan con una edad de máximo 15 días, puesto que, el tiempo de vida y la necesidad de recircular el lecho filtrante es una actividad importante, debido a que este puede reducir la eficiencia de remoción de la DQO y a su vez en la DBO, por esto es fundamental reconocer si se tiene una buena remoción o en caso de que se presenten variaciones por fuera de los rangos establecidos por el “título E”, indicaría que esta

etapa no cumple con la remoción adecuada de estos parámetros y debería entrar en revisión para su correcto funcionamiento.

10. Análisis de resultados:

Inicialmente, se menciona que el día que se realizó el muestreo en la PTAR del campus San Alberto Magno fue un día con baja afluencia de personal en las instalaciones. Esta menor actividad en el campus podría haber influido en la cantidad y composición de los contaminantes presentes en las aguas residuales recolectadas, especialmente en aquellos provenientes de áreas de alto tráfico, como la cafetería y otras zonas de servicio. La baja cantidad de usuarios en el día del muestreo puede haber contribuido a un menor nivel de residuos orgánicos y grasas en el flujo de entrada, permitiendo que las muestras recolectadas reflejen un escenario de operación en condiciones controladas. Aun así, este contexto particular también permite evaluar el rendimiento de la planta en condiciones menos exigentes, lo cual puede proporcionar un punto de comparación útil para futuras mediciones bajo condiciones neutrales o de mayor presencial estudiantil. Por ende, se espera que el potencial de la planta para adaptarse a distintas demandas operativas, lo cual es imprescindible en contextos universitarios, donde el número de usuarios puede variar significativamente a lo largo del año. Sin embargo, los resultados muestran un comportamiento efectivo dentro de los valores estipulados en el título E de funcionamiento en cada una de las etapas de tratamiento llevadas a cabo, reflejando la eficiencia del sistema operativo de la planta de tratamiento.

En la primera etapa, la trampa de grasas, que recibe las aguas provenientes de la cafetería, presenta una remoción óptima evidenciando la remoción y control sobre las grasas que se generan en la zona de restaurante. Dicha eficiencia es en gran parte atribuible al

dimensionamiento de la trampa de grasas puesto que cuenta con 1 m³ de volumen el cual según la normativa debería tratar un caudal de 4 l/s siendo este más alto en comparación de la cantidad de agua y caudal que maneja la zona de cocina, pues el caudal inicial de la PTAR total entre las actividades sanitarias, cocina y piscina es de 3,2 l/s siendo inferior al caudal que debería manejar la trampa, además de la ayuda de las bacterias facultativas empleadas en el proceso biológico de tratamiento de aguas residuales. Estas cepas bacterianas incluyen especies como *Aspergillus oryzae*, *Bacillus subtilis* (con dos cepas distintas), *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa* y *Bacillus licheniformis*. (citar informe) Estas bacterias facultativas actúan en un entorno controlado para llevar a cabo procesos metabólicos que facilitan la retención y posterior eliminación de grasas y aceites, que representan una fracción importante de la carga orgánica inicial, estos microorganismos no solo permiten el correcto procesamiento de grasas, sino que también optimizan el compostaje de los residuos generados, mejorando la sostenibilidad del proceso al minimizar el uso de insumos químicos y reduciendo la carga orgánica residual que, de otro modo, sobrecargaría las etapas posteriores de tratamiento, este comportamiento es particularmente relevante en plantas de tratamiento como la de este campus universitario, donde la eficiencia del proceso depende en gran medida de la correcta operación y mantenimiento de las colonias bacterianas que aseguran una eliminación eficiente y sostenible de contaminantes orgánicos. En términos de rendimiento, el parámetro de grasas y aceites en la trampa de grasas arrojó una concentración inicial de 1572,75 mg/L, la cual se redujo de forma notable hasta llegar a un valor de 150 mg/L, lo que representa un porcentaje de eficiencia calculado de aproximadamente el 90,46% en remoción, además se nota una reducción de este parámetro en la entrada de la planta debido a que se presenta una dilución debido a la mezcla de las demás aguas residuales minimizando este valor un 92,07% en comparación del último llegando a ser de 11,9 mg/l. Esta drástica disminución resalta el óptimo desempeño de la trampa de grasas, confirmando su rol principal en el pretratamiento del agua residual. La capacidad de esta etapa para reducir de manera tan significativa la concentración de grasas y aceites destaca no solo su efectividad como primera línea de remoción de contaminantes, sino también su importancia en el alivio de carga para los procesos subsecuentes, en este sentido, el rendimiento observado en la trampa de grasas demuestra la relevancia de implementar y mantener estos sistemas de pretratamiento como un pilar indispensable para asegurar la eficiencia general del sistema

operativo de la PTAR, permitiendo un control inicial robusto sobre parámetros críticos como las grasas y aceites.

El proceso de lodos activados cuenta con 2 etapas, la primera parte se encarga de reducir los índices de DQO y DBO mediante un lecho de lodos compuesto de un conjunto de bacterias para posteriormente pasar a un sedimentador compacto que cuenta con un tratamiento químico y físico para la decantación de lodos y posteriormente ser recirculados al sistema, para el caso de la PTAR del campus San Alberto Magno se cuenta con una recirculación mediante una válvula tipo Venturi por la cual se recirculan los lodos precipitados, estos procesos remueven el 90% de DBO y un 94% de DQO durante este proceso que luego pasa a un tanque de clarificación que se realiza un último proceso de desinfección mediante hipoclorito de sodio, para posteriormente terminar su proceso de vertimiento.

Según los valores de dimensionamiento y eficiencia que se presentan en el Título E del RAS se debe contar con la profundidad de líquidos entre 3,05m a 4,57m y un borde libre de 40cm, la planta tiene un área aproximada de 35m² y un volumen de 90 m³ en donde su diseño y operación cumplen con las remoción estipulada por el título E, ahora bien, el proceso de lodos activados para el caso de DBO debería remover entre un 85% a un 95% y para el caso de DQO entre 80% a 95%, se reconoce que la planta de tratamiento cuenta con estos valores de remoción por debajo del 95% y a su vez por encima del 85%, por otra parte, es importante reconocer que el proceso de lodos activados en el momento en el que se realizó el estudio no contaba con una gran carga de caudal o su punto crítico debido a que no había una amplia presencia estudiantil, por consiguiente, se presenta un comportamiento óptimo en valores normales durante el muestreo y posiblemente similar común durante la temporada de estudio con baja presencia estudiantil.

Tabla 11 Comparación de eficiencias según el “Título E”

Parámetros	Afluente	Efluente	% de remoción calculado	Remoción óptima para lodos activados (%)	Cumple o no cumple
------------	----------	----------	-------------------------	--	--------------------

DBO	51	6.94	94.70	Flujo de pistón	85-95	SI
DQO	84.04	21.77	90.01	Flujo de pistón	85-95	SI

Fuente: propia

Tabla 12 Comparación de remoción grasas y aceites según el "Título E"

Parámetros	Afluyente	Efluyente	% de remoción calculado	Remoción y área óptima para trampa de grasas según título E		Cumple o no cumple
Grasas y aceites	1572,75	150	90.46	1/4 por L/min	48Kg	SI
				0.25 m2 por L/s	1m2	SI

Fuente: propia

Los valores finales presentes en la salida de la planta de tratamiento en los parámetros de DBO y DQO son valores muy bajos debido a la buena eficiencia que presenta la planta de tratamiento, para el caso de los valores máximos para el reúso de aguas residuales en sanitarios mediante la normativa mexicana 003 ECOL de 1997 mostrando valores máximos para coliformes de 1000 (nmp/100ml), DBO de 30 (Mg/L), también grasas y aceites de 15 (Mg/L), estos valores se presentan en reúsos de servicios públicos con contacto indirecto u ocasional, los valores de estos parámetros según los resultados de laboratorio son para DBO de 6,94 (Mg/L), grasas y aceites de 11,9 (Mg/L) y coliformes realizados previamente por un informe de control de la universidad en donde se presentan valores de 1×10^2 , (D. Romero 2024)

Tabla 13 Valores máximos permisibles según la resolución 1256 del 2021

Parámetros	Unidad	Efluente	valor resolución 1526 del 2021	Cumple o no cumple
pH	Unidad ph	7,3	4,5-9,0	SI
Conductividad	(µg/cm)	450	1500	SI
Hidrocarburos totales	(Mg/L)	<0,0010	1	SI
Nitratos	(Mg/L)	0,5	11	SI

Fuente: propia

Para el caso del reusó de agua residual en sistema de riego se presentan valores máximos según el anexo 5, los parámetros que se indican son ph, conductividad, hidrocarburos totales y nitratos, los principales valores que se presentan de ph entre 7,8 a 6,1, conductividad de 450 (µg/cm), hidrocarburos totales <0,0010 (Mg/L) y nitratos de 0,5 (Mg/L), para el caso de la norma de recirculación en actividades de riego (1256 de 2021) se presentan que los valores máximos para ph son de 9, conductividad 1500 (µg/cm), hidrocarburos totales de 1 (Mg/l) y nitratos de 11 (Mg/L), por lo siguiente se reconoce que el agua residual tratada generada por la planta cuenta con valores por debajo de la normativa, cumpliendo con los requerimientos para ser usada en sistemas de riego en zonas de no consumo directo humano. (D. Romero 2024) (CHEMILAB S.A.S, 2022)

Tabla 14 Comparación valores máximos permisibles según la NOM ECOL 003 de 1997

Parámetros	Unidad	Efluente	Valores de reúsó NOM ECOL 003-1997	Cumple o no cumple
Coliformes	(NMP/100 ml)	4,3x10 ²	1000	SI
Grasas y aceites	(Mg/L)	11,9	15	SI

DBO5	(Mg/L)	6,94	30	SI
SST	(Mg/L)	18	30	SI

Fuente: propia

Para el caso del reúso de agua residual tratada en un sistema de recirculación hacia los sanitarios de la universidad la normativa NOM ECOL 003-1997 los principales parámetros para el uso de aguas residuales tratadas en actividades con contacto indirecto humano son, coliformes con un valor máximo de 1000 (NMP/100 ml), grasas y aceites de 15 (Mg/L), DBO de 30 (Mg/L) y SST de 30 (Mg/L) , ahora bien, para el caso de la PTAR del campus se presentan valores de coliformes con un valor de $4,3 \times 10^2$ (NMP/100 ml), grasas y aceites de 11,9 (Mg/L), DBO de 6,94 (Mg/L) y SST de 18 (Mg/L). Todos los valores presentes en el efluente de la PTAR son inferiores en comparación de los valores máximos permitidos por la normativa, reconociendo que todos los valores necesarios para generar un sistema de reúso de aguas residuales tratadas según la normativa mexicana se cumplen y esta actividad de reúso puede implementarse en el campus San Alberto Magno.

Tabla 15 Costos y beneficios del reúso de aguas residuales tratadas

Descripción	Valor
costo de agua potable	\$10,223,486.00
Costos reducidos por agua en reúso	\$7,791,384.00
Beneficio de reúso	\$2,432,102.00

Fuente: propia

Tabla 16 Valoración e inversión para un sistema teórico de reúso

Costos de implementación	Valor
Valor adquisición de filtro de arena y carbón	18'000.000
Tubería necesaria	10'898.200
Otros costos	1'101.800
Total de inversión	30'000.000

Fuente: propia

Por último, se presenta un caso hipotético en la implementación de un sistema de reúso para el campus de la universidad Santo Tomás en donde se estima la necesidad de un tratamiento adicional siendo un sistema de filtración de arena y carbón con un costo de 18 millones adicionalmente se plantea un valor aproximado para el costo de tuberías de 11 millones, siendo un total aproximado para implementar un sistema de reúso en 30 millones y usando un 25% de caudal tratado para un sistema de reúso en los sanitarios, el costo total de agua potable que consume la universidad es de \$10'223,486 al mes, la planta de tratamiento trata al mes un total de 1843,2 m³ siendo el 25% 460,8m³ al mes que serán reusados para los sistemas sanitarios, el total mensual que usa la universidad es de 1937 m³ y con la reducción de esto quedaría un total de 1476,2 m³ de agua potable consumido al mes, haciendo una reducción mensual en tema de costos \$2'432,102 pesos al mes.

Tabla 17 Tiempo de recuperación de la inversión inicial para un sistema de reúso

Mes	flujo de efectivo	flujo acumulado
-----	-------------------	-----------------

0	-\$30,000,000.00	
1	\$2,432,102.00	\$2,432,102.00
2	\$2,432,102.00	\$4,864,204.00
3	\$2,432,102.00	\$7,296,306.00
4	\$2,432,102.00	\$9,728,408.00
5	\$2,432,102.00	\$12,160,510.00
6	\$2,432,102.00	\$14,592,612.00
7	\$2,432,102.00	\$17,024,714.00
8	\$2,432,102.00	\$19,456,816.00
9	\$2,432,102.00	\$21,888,918.00
10	\$2,432,102.00	\$24,321,020.00
11	\$2,432,102.00	\$26,753,122.00
12	\$2,432,102.00	\$29,185,224.00
13	\$2,432,102.00	\$31,617,326.00

Fuente: propia

Mediante la implementación de este sistema teórico se puede recuperar el costo de la zona adicional de la PTAR del campus San Alberto Magno en aproximadamente 12 meses y posteriormente generar una ganancia mensual para la universidad de 2 millones y una reducción de costos de 24 millones al año, ahora bien, este sistema cuenta con valores presentes que a futuro los costos de agua potable podrían aumentar debido a la escasez de agua que se viene presentando en la universidad además de evitar un desabastecimiento en los sanitarios para los días de recortes de agua debido a que se cuenta con esta reserva de agua residual tratada por parte de la planta.

Para el caso de la implementación de un sistema que apoye el riego de las zonas verdes del campus San Alberto Magno se estimó el requerimiento de agua para las zonas cubiertas de

pastos, mediante el coeficiente de cultivo para pastos igual a $K_c = 0.95$ y una evapotranspiración mensual promedio de Bogotá de 80 (mm) se puede hacer el cálculo del requerimiento de agua, además de esto la universidad cuenta con un área promedio cubierta por césped de 84 m².

$$Etc = Eto \times Kc$$

$$Etc = 80 \times 0.95; Etc = 76 \frac{l}{m^2}$$

$$Volt = Etc \times \text{área de cultivo}$$

$$Volt = 76 \frac{l}{m^2} \times 84 m^2; Volt(mes) = 6384 l$$

Se genera una necesidad de riego total mensualmente de 6,38 m³ generando un costo de 32,000 pesos al mes, para reducir el consumo de agua potable en esta actividad de riego que no tiene un contacto directo con el consumo humano se plantea la idea de usar el agua residual tratada por la planta, puesto que la planta genera un total de 1843,2 m³ por lo cual se estaría usando tan solo un 0,32% del vertimiento total para evitar el consumo de agua potable en la actividad de riego, ahorrando mensualmente el costo total de agua necesaria para el riego de zonas verdes, evitando el gasto de agua potable en riego y a su vez minimizando la cantidad de descarga que se genera en el cuerpo de agua cercano a la planta de tratamiento. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2021; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006)

Tabla 18 Valoración e inversión para un sistema teórico de riego

Costos de implementación	Valor
Valor adquisición tanque de almacenamiento	\$3.000.000,00
Tubería necesaria	\$2.500.000,00
Otros costos	\$1.000.000,00
Total de inversión	\$6.500.000,00

Fuente: propia

Para el caso para la implementación de un sistema teórico de riego relacionado con las aguas residuales generadas en la planta, se plantea la adquisición de un tanque almacenamiento con el litraje suficiente para almacenar los 6 m³ necesarios para el riego mensual de las zonas verdes del campus, así mismo, la adquisición de tuberías que conecte el tanque de almacenamiento con el sistema de riego en el campus San Alberto Magno, para el caso del tanque se estima un costo aproximado de 3'000.000 aproximadamente sumado a la tubería necesaria para la conexión de este sistema, con un gasto aproximado de 2'500.000 y 1'000.000 para costos adicionales, la implementación de esta alternativa seria de 6'500.000 pesos.

Ahora bien, para el caso de sistema de riego se cuenta con una inversión inicial elevada pero su mayor inconveniente es la cantidad de tiempo que tiene que transcurrir para que la inversión inicial empiece a generar un beneficio, puesto que para el caso individual de riego empieza a producir ganancias en un valor futuro extremo de 16 años, siendo un tiempo de recuperación excesivo y poco productivo para la universidad Santo Tomás.

11. Impacto social y humanístico del trabajo:

Este trabajo tiene un impacto significativo en el ámbito social y humanístico al abordar la gestión sostenible del agua y la optimización de recursos en un contexto universitario,

promoviendo una conciencia ambiental y un compromiso con la preservación del entorno. En primer lugar, el reúso del agua residual tratada permite reducir la dependencia de agua potable en la universidad, un recurso cada vez más escaso y costoso, especialmente en estos tiempos en que el agua es un compuesto importante para la vida en la tierra escasea en la capital del país. Esto contribuye a la preservación de las fuentes hídricas locales y a la sostenibilidad de los servicios de agua, beneficiando a las futuras generaciones de estudiantes, docentes y trabajadores. Además, garantizar un correcto y eficiente funcionamiento de la planta aguas residuales del campus San Alberto Magno facilita la reducción de costos operativos para la institución para que no solo libere recursos económicos, sino que también sirva como un ejemplo para otras entidades educativas, promoviendo un modelo de gestión de agua replicable y sostenible en otras instituciones con demandas similares.

Desde una perspectiva humanística, este proyecto fomenta una cultura de responsabilidad ambiental en la comunidad tomasina, al involucrar tanto a estudiantes como a docentes en la observación y el análisis de los beneficios del tratamiento y reúso del agua, la idea es crear en los estudiantes y futuros profesionales una conciencia sobre la importancia de los recursos naturales y la necesidad de preservarlos, generando un cambio de mentalidad hacia el uso racional y la valorización de agua. Además, la implementación de un sistema de tratamiento de aguas eficiente y respetuoso con el ambiente, con microorganismos que minimizan el uso de productos químicos, transmite una visión ética de la tecnología, que atrae el interés de quienes vemos la pasión y el compromiso detrás de la búsqueda de soluciones que armonicen con el ambiente.

Finalmente, al contribuir a la protección de las fuentes de agua y minimizar el impacto ambiental de las aguas residuales, el proyecto promueve la calidad de vida y el bienestar social. Al reducir la contaminación y preservar los recursos hídricos locales, se protege el entorno en el que la comunidad universitaria vive y se desarrolla, consolidando el vínculo entre la universidad y la sociedad a través de la responsabilidad ambiental compartida. Este esfuerzo colectivo hacia la sostenibilidad fortalece la relación de la universidad con la comunidad y posiciona a la institución como un referente en prácticas sostenibles, alentando a otros sectores educativos y empresariales a adoptar prácticas similares en favor del bienestar común.

12. Conclusiones:

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que los diferentes procesos de remoción en la planta de tratamiento de aguas residuales del campus San Alberto Magno para el día muestreado, cumplen con los valores de eficiencia establecidos por el RAS 2000, incluso en condiciones de baja afluencia poblacional, debido a que los procesos indispensables de la planta son especialmente la trampa de grasas y el sistema de lodos activados que destacan por su capacidad de remoción de contaminantes específicos, superando el 85% de eficiencia en la eliminación de grasas y aceites, así como DBO y DQO en el tratamiento de lodos activados. Esta alta eficiencia permite que los niveles de dichos contaminantes se mantengan por debajo de los límites máximos permisibles para el vertimiento en cuerpos de agua, según lo estipulado en la Resolución 631 de 2015. Este desempeño demuestra que cada etapa de tratamiento cuenta con una eficiencia óptima asegurando no solo el cumplimiento de los requerimientos normativos, sino que también se posicione como un recurso potencial para el reúso en riego ya activo en la sede campus de la universidad.

Ahora bien, debido a los porcentajes óptimos de remoción que presenta la planta de tratamiento se puede usar este efluente para actividades de riego debido a que sus valores de pH, conductividad, hidrocarburos totales y nitratos se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos por la resolución 1256 del 2021 como lo muestra el anexo 5, en donde se permite el reúso de aguas tratadas en actividades de riego para zonas en donde no haya

presencia de contacto directo humano, por otra parte, los valores máximos de los parámetros de DBO son de 6,94 (Mg/L) y DQO son de 21,77 (Mg/L) en la salida de la PTAR, estos valores al compararlos con la normativa 003 ECOL de 1997 de Mexico, están por debajo de los valores máximos permisibles para el reúso y recirculación en sanitarios residenciales con contacto indirecto de estas aguas, dando como resultado que es posible usar el agua residual tratada de la planta para las actividades de riego en el área del campus San Alberto Magno como también el reúso de este efluente en los sanitarios del campus para la reducción en el consumo de agua generado por la universidad.

Cabe mencionar, que la inversión inicial para la implementación de un sistema de reúso de aguas residuales tratadas hacia los sanitario con los que cuenta la universidad es un costo amplio, pero este costo tiene un periodo corto de recuperación de 13 meses, logrando que después de un año de implementación la universidad empiece a generar un ahorro aproximado de 2 millones mensuales, por otra parte, para el caso de usar el agua residual tratada para el riego de las zonas verdes presentes en la universidad cuenta con un inversión inicial muy inferior en comparación del sistema para reúso sanitario, pero su recuperación de inversión no es nada óptima para la universidad debido a que se estima una recuperación en 16 años esto debido a la baja ganancia mensual que le generaría a la universidad, ahora bien, debido a los recientes inconvenientes presentados con el abastecimiento de agua para la ciudad de Bogotá es factible que aun futuro los precios de consumo de agua potable aumenten generando una mayor ganancia a futuro de implementar este tipo de sistemas que permitan ahorra agua, además, se prevé que para ciertas entidades para 2030 deberán tener un reúso de aguas tratadas al menos del 10%, el evento más ideal para la universidad visto desde una perspectiva ambiental sería contar con estos 2 sistemas de reúso debido a que se reusaría un total de 25,3% del agua residual generada por lo vertimientos producidos en la universidad y que a su vez esto permita reducir la carga contaminante hacia el cuerpo receptor de los vertimientos, además, esto permitirá a la universidad contar con un sistema que si a futuro las normas de vertimiento fuesen más estrictas la universidad no necesite implementar otros gastos económicos para poder mantener su cumplimiento.

13. Recomendaciones:

A partir de los resultados presentes en este proyecto se recomienda el uso de las aguas residuales generadas por la planta de tratamiento posiblemente en su totalidad, es posible fraccionar el caudal del afluente para que una parte de este sea llevado a actividades de riego de las zonas verdes del campus San Alberto Magno y otra parte del caudal sea destinado al uso de agua residual en sanitarios de la universidad para que el consumo de agua mensual que se genera en la universidad sea reducido y así mismo los costos de mantenimiento de servicios en el campus.

Se recomienda también plantear un proyecto de recirculación de aguas tratadas a los sanitarios del edificio cultural debido a su cercanía con la planta de tratamiento para la }

reducción de costos en la creación en la red de reusó, así mismo, plantear un sistema de 2 alimentación de los sanitarios para poder variar la entrada de agua residual tratada para la descarga de sanitarios como también esa misma descarga mediante agua potable, con esto se podría reducir la cantidad de agua potable usada por la universidad y una reducción en el costo del servicio de agua, por último para este caso se recomienda un mayor tratamiento químico en la etapa de balance hídrico para evitar afectaciones durante el almacenamiento del agua residual en los sanitarios como también reducir las posibilidades de presentarse malos olores durante el tiempo de estancamiento que se genera en los sanitarios hasta su uso.

Por último, se recomienda la constante revisión de las etapas de trampa de grasa y lodos activados debido a que presentan un rendimiento óptimo durante los procesos de tratamiento, esto permite que su afluente pueda ser usado en actividades de reúso o de reúso en sanitario, por esto la revisión de sus lechos de bacterias para la trampa de grasas y lodos son importantes para que estos proceso no reduzcan su eficiencia o que sus parámetros remoción aumenten impidiendo que este tipo de actividades de reúso ya no puedan ser ejecutadas por la universidad aun sabiendo que puedan cumplir con los valores máximos permitidos por la normativa colombiana.

14. Referencias Bibliográficas:

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2010). *Decreto 3930 de 2010*.
www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620
- Alfárez, E., & Pimiento, N. (2019). *PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR): IMPACTO AMBIENTAL ESPERADO E IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html>
- Berlin, U., Ihalawatta, R. K., Kuruppuarachchi, K. A. B. N., & Kulatunga, A. K. (2015). *NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Peer-review under responsibility of Assembly Technology and Factory Management/Technische*

ScienceDirect Eco-Friendly, Water Saving Sanitation System.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.165>

Cabrera, L. A., & Zevallos, L. A. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jaén*. <https://core.ac.uk/download/pdf/270319142.pdf>

CHEMILAB S.A.S. (2022). *Informe de resultados de análisis R99791 Sede Campus San Alberto Magno PTAR-CAMPUS*.

Corraide Da Silva, L. C., Oliveira Filho, D., Silva, I. R., Caio Vargas E Pinto, A., & Nogueira Vaz, P. (2019). *Water sustainability potential in a university building-Case study*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101489>

Ecopetrol, & Coalición agua para Colombia. (2020). *Estado actual, barreras, propuestas de ajuste y oportunidades en el reúso de aguas residuales tratadas*.

Ferney, J., & Peña, M. (2018). *Reutilización y aprovechamiento de aguas residuales domésticas tratadas en Colombia*.

Giraldo, G. (1995). *Manual de análisis de aguas*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55218/manualdeanalisisdeaguas.pdf>.

Hernández Gómez, W. F., & Larrota Rangel, S. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la provincia comunera, Santander, Colombia*.

Ihalawatta, R. K., Kuruppuarachchi, K. A. B. N., & Kulatunga, A. K. (2015). Eco-Friendly, Water Saving Sanitation System. *Procedia CIRP*, 26, 786–791. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.07.165>

Meléndez-Pérez, J. A., Lemos-Lima, M. M. C., Dominguez, I., & Oviedo-Ocaña, E. R. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 223–236. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n1-2019020>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015a). *Resolución 0631 de 2015*.

- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015b). *Resolución 0631 de 2015*.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015c, mayo 26). *Decreto único reglamentario 1076 de 2015 nivel nacional*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511>.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2021). *Resolución 1256 del 2021*.
- Miriam Julieta Salamanca Sánchez Ensenada C, P. B. (2010). *Modelo de simulación de reuso de aguas grises en nuevos desarrollos habitacionales en Ensenada Baja California, México*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- Romero, M. (2024). *Informe de operación PTAR campus San Alberto Magno y sede central*.
- Romero, M., & Giovanny, D. (2018a). *Memorias técnicas, descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales y manual de operación PTAR universidad Santo Tomás, campus San Alberto Magno*. www.imaingenieria.com.co
- Romero, M., & Giovanny, D. (2018b). *Memorias técnicas, descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales y manual de operaciones PTAR universidad Santo Tomás, campus San Alberto Magno*. www.imaingenieria.com.co
- Secretaría de medio ambiente, recursos naturales y pesca. (1997). *Norma oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). *Reuso de aguas residuales doméstica en agricultura*.
- Tusiime, A., Solihu, H., Sekasi, J., & Mutanda, H. E. (2022). Performance of lab-scale filtration system for grey water treatment and reuse. *Environmental Challenges*, 9, 100641. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2022.100641>
- Vergel Chingaté, P. A. (2023). *EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS VERTIMIENTOS DE AGUA RESIDUAL DE LA SEDE PRINCIPAL Y DEL CAMPUS*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/50485/2023paulavergel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., & Jefferson, B. (2008). Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. *Water Research*, 42(1–2), 483–491. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2007.07.042>

15. Anexos:

Anexo 1 Rótulo para muestreo de agua residual PTAR

Muestra de agua residual				
Fecha		# muestra		Volumen
Hora		Etapa PTAR		
Parámetro		Encargados		

Anexo 2

Anexo 2 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles según la resolución 631 del 2015

Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles resolución 631 de 2015			
PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICA S Y AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICA S CON UNA	AGUAS RESIDUALES DOMESTICA S Y AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICA S CON UNA

		CARGA MAYOR A 25 Kg/día Y MENOR O IGUAL A 3000 Kg/día DBO	CARGA MAYOR A 3000 Kg/día DBO
Generales			
pH	Unidades de pH	6 - 9	6 - 9
Demanda química de oxígeno	mg/L O ₂	180	150
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L O ₂	90	70
Sólidos suspendidos totales	mg/L	90	70
Sólidos sedimentables	mg/L	5	5
Grasas y aceites	mg/L	20	10
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/L		Análisis y reporte
Fenoles totales	mg/L		Análisis y reporte
Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos totales	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	mg/L		Análisis y reporte

Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno	mg/L		Análisis y reporte
Compuestos orgánicos halogenados absorbibles	mg/L		Análisis y reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Fosforo total	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Nitritos	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Iones			
Cloruro total	mg/L	0.5	0.5
Cloruros	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Sulfatos	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
sulfuros	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Metales y Metaloides			

Aluminio	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Cadmio	mg/L	0.1	0.1
Zinc	mg/L	3	3
Cobre	mg/L	1	1
Cromo	mg/L	0.5	0.5
Hierro	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Mercurio	mg/L	0.02	0.02
Níquel	mg/L	0.5	0.5
Plata	mg/L		Análisis y reporte
Plomo	mg/L	0.5	0.5
Otros parámetros para análisis y reporte			
Acidez total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	Análisis y reporte

Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo

Anexo 3

Anexo 3 Límites máximos permisibles de contaminantes para reúso en actividades indirectas humanas según NOM-ECOL-003-1997

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 mL	Huevos de helminto (h/L)	Grasas y aceites mg/L	DBO5 mg/L	SST mg/L
Servicios al público con contacto directo	240	1	15	20	20

Servicios al público con contacto directo u ocasional	1000	5	15	30	30
--	------	---	----	----	----

Fuente: NOM-003-ECOL-1997

Anexo 4

Anexo 4 Criterios para la calidad de aguas residuales tratadas en actividades de riego agrícola según el decreto 1076 del 2015

Referencia	Expresado como	Valor
Aluminio	Al	5
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,001

Cinc	Zn	2
Cobalto	Co	0,05
Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr+6	0,1
Flúor	F	1
Hierro	Fe	5
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01
Níquel	Ni	0,2
pH	Unidades	4,5-9 unidades
Plomo	Pb	5
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1

Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible

Anexo 5

Anexo 5 Criterios adicionales para el reúso de aguas grises tratadas en actividades de riego agrícola

Variable	unidad de medida	Valor límite máximo permisible
Conductividad	µS/cm	1500
Fenoles totales	mg/L	0,2
Hidrocarburos totales	mg/L	1
Cianuro libre	mg CN-/L	0,2
Cloruros	mg CN-/L	300
Fluoruros	mg F-/L	1
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	500
Mercurio	mg Hg/L	0,001
Sodio	mg Na/L	200
Antimonio	mg Sb/L	0,1
Cloro total residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl ₂ /L	< 1
Nitratos (expresados como N)	mg/L	11

Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible

Anexo 6

Anexo 6 Remoción de grasas y aceites según el "título E"

Tipo de afluente	Caudal (L/min)	Capacidad de retención de grasas (kg)	Capacidad máxima recomendada (L)
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitación sencilla	72	18	190
Habitación doble	92	23	240
Dos habitaciones sencillas	92	23	240
Dos habitaciones dobles	128	32	330

lavaplatos para restaurantes			
Volumen de agua mayor de 115 litros	56	14	115
Volumen de agua mayor de 190 litros	92	23	240
Volumen entre 190 y 378 litros	144	36	378

Fuente: RAS 200 “Título E”

Anexo 7

Anexo 7 Porcentajes de remoción para lodos activados según el "título E"

Modificación al proceso	Modelo de flujo	Sistema de aireación	Eficiencia de remoción de DBO, %
Convencional	Flujo de pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Completamente mezclado	Flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95
Aireación escalonada	Flujo pistón	Aire difuso	85-95
Aireación modificada	Flujo pistón	Aire difuso	60-75
Estabilización por contacto	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	80-90
Aireación extendida	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	75-95
Aireación de alta tasa	Flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85-95

Oxígeno puro	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores mecánicos	85-95
Zanión de oxidación	Flujo pistón	Aireador mecánico (tipo eje horizontal)	75-95
Reactor SBR	Flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85-95

Fuente: RAS 200 "Título E"

Anexo 8

Anexo 8 Eficiencia de remoción general según el “título E”

	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
Unidades de tratamiento	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH3-N	Patógenos
Rejilla	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores alta tasa, roca, super tasa, plástico	65-85 65-85	60-80 65-85	60-80 65-85	8-12 8-12	15-50 15-50	8-15 8-15	Desp.
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	--	--	Desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	--	--	Desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	--	--	Desp.
Lagunas de oxidación							
Lagunas anaerobias	50-70	--	20-60	--	--	--	90-99.99

Lagunas aireadas	80-95	--	85-95	--	--	--	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	--	63-75	30	--	--	90-99.99
Laguna de maduración	60-80	--	85-95	--	--	--	90-99.99
Ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100

Fuente: RAS 2000 "Título E"