

SOLIDOS DISUELTOS: UN RETO EN EL ANÁLISIS DE TRATAMIENTO EN LOS
SISTEMAS DE SANEAMIENTO.



JACQUELIN DAYANA MONTAÑO ORDUÑA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

SOLIDOS DISUELTOS: UN RETO EN EL ANALISIS DE TRATAMIENTO EN LOS
SISTEMAS DE SANEAMIENTO.

JACQUELIN DAYANA MONTAÑO ORDUÑA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título Ingeniera civil

Asesor

Mg. IVAN DARIO ACOSTA SABOGAL

Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTES GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCIA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBON

Secretaria de División Seccional Villavicencio

Mg. LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ

Decano de la Facultad de ingeniería civil

Contenido

	Pág.
Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1. Formulación del problema	11
2. Justificación	12
3. Objetivos	13
3.1. Objetivo General	13
3.2. Objetivos Específicos	13
4. Estado del arte	14
4.1. Antecedentes	14
4.2. Marcos de referencia	15
4.3. Marco Teórico	15
4.3.1 Marco Conceptual	16
5. Metodología	18
6. Desarrollo.	19
6.1. Degradación del ecosistema, enfermedades generadas y escasez.	19
6.1.1 Tecnologías, técnicas y métodos de depuración secundaria en aguas residuales.	21
6.1.2 Método aerobio	28
6.1.3 Filtración	34
6.1.4 Métodos naturales y amigables con el ambiente	38
6.2. Parámetros de medida de calidad del agua	40
6.2.1 Demanda Bioquímica de oxígeno	40
6.2.2 Eutrofización	41
6.2.3 PH	42
6.2.4 Demanda química de oxígeno (DQO)	42
6.2.5 Grasas y aceites (FOGs)	43

6.2.6	Solidos suspendidos totales (SST).....	44
6.2.7	Solidos suspendidos fijos (SSF).....	44
6.2.8	Nitrógeno y fosforo total.....	45
6.2.9	Metales pesados	45
6.2.10	Microbiológicos	46
6.3.	Análisis de eficiencia en los métodos de limpieza de la segunda etapa de tratamiento	47
6.3.1	Ciclo del agua	47
6.3.2	Impacto ambiental.....	48
6.3.3	Tratamiento de sólidos disueltos.....	48
6.3.4	Avances tecnológicos.....	49
6.3.5	Análisis General.....	49
	Conclusiones.....	53
	Referencias bibliográficas	54

Lista de Tablas

Tabla 1 Tabla de ventajas y desventajas del método anaerobio	22
Tabla 2 Ventajas y desventajas del método aerobio	29
Tabla 3 Ventajas y desventajas de las lagunas aireadas.....	33
Tabla 4 Ventajas y desventajas del método de filtración.....	35
Tabla 5 Ventajas y desventajas del método de filtros verdes	38
Tabla 6 Tabla de valoración de métodos de tratamiento de aguas residuales.....	50
Tabla 6	51

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema liernur.....	19
Figura 2. Filtros biológicos o biopelículas.....	20
Figura 3. Filtros biológicos.....	23
Figura 4. Tanque decantador	28
Figura 5. Funcionamiento de Fosa OneZero	34

Resumen

Colombia dispone de diferentes informes sobre la cantidad de municipios que disponen de PTAR'S, según el análisis de la UNICEF (Acuatecnica, 2017), se menciona que *“actualmente existen 562 plantas instaladas en diferentes municipios del país, pero se evidencia que solo el 10% de estos sistemas tienen un funcionamiento favorable”*, del mismo modo lo menciona la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios) indica que solo el 48,2% de los sitios en Colombia cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, lo que quiere decir, *“de 1.122 municipios registrados por el Dane, solo 541 tienen algún tipo de PTAR”* (Venegas, 2018), evidenciando de alguna manera el efecto de las enfermedades, como: El colera, poliomielitis, hepatitis infecciosa, anquilostomiasis, ascariasis, leptospirosis, giardiasis, entre otras; y todos los efectos ecosistémicos y ambientales, que este ha provocado a medida de su crecimiento en la contaminación.

Los sólidos disueltos cuentan con tamaños iguales o menores a 2 micrones y al tener un contenido apreciado dentro de la caracterización, se visualiza la importancia del tratamiento que se requiere, y cuál sería el método que funciona para depurarla.

Del mismo modo se sabe que el tratamiento necesita *“tres tipos de tratamiento (pretratamiento, biológico y proceso físico-químicos)”* (Spena, 2021), cada uno de ellos puede variar según a la cantidad y calidad del agua. Por lo tanto, se hace descripción del problema actual, como base fundamental para la elaboración crítica del beneficio ante los sistemas de tratamiento de aguas residuales respecto al segundo tipo de tratamiento (tratamiento Biológico), pues la tecnología ha desarrollado elementos innovadores para uso de estos procesos de limpieza, sin embargo, según a los sistemas de depuración de aguas residuales tienen ventajas y desventajas, por lo tanto, se analizará la información del tratamiento biológico desde el ángulo de los sólidos disueltos.

Palabras Clave: Sólidos disueltos, agua residual doméstica, tratamiento de aguas, PTAR, tratamiento biológico, calidad de agua.

Abstract

Colombia has different reports on the number of municipalities that have WWTPs, according to the UNICEF analysis (Acuatecnica, 2017), it is mentioned that "there are currently 562 plants installed in different municipalities of the country, but it is evident that only the 10% of these systems have a favorable operation", in the same way mentioned by the Superintendency of Home Public Services (Superservicios) indicates that only 48.2% of the sites in Colombia have Wastewater Treatment Plants, which wants That is, "of 1,122 municipalities registered by Dane, only 541 have some type of WWTP" (Venegas, 2018), evidencing in some way the effect of diseases, such as: Cholera, poliomyelitis, infectious hepatitis, hookworm, ascariasis, leptospirosis , giardiasis, among others; and all the ecosystem and environmental effects that it has caused as its growth in pollution.

The dissolved solids have sizes equal to or less than 2 microns and by having a content appreciated within the characterization, the importance of the treatment required is visualized, and what would be the method that works to purify it.

Likewise, it is known that the treatment requires "three types of treatment (pretreatment, biological and physical-chemical process)" (Spena, 2021), each of them can vary depending on the quantity and quality of the water. Therefore, a description of the current problem is made, as a fundamental basis for the critical elaboration of the benefit of wastewater treatment systems with respect to the second type of treatment (Biological treatment), since technology has developed innovative elements for the use of these Cleaning processes, however, according to wastewater purification systems have advantages and disadvantages, therefore, the information on biological treatment will be analyzed from the angle of dissolved solids..

Key Word- Dissolved solids, domestic wastewater, water treatment, WWTP, biological treatment, water quality.

Introducción

El uso constante y masivo del agua para las necesidades fundamentales del ser humano, ha contribuido a su contaminación y adquiere una condición no aprovechable, denominándose agua residual. Estas aguas contienen patógenos para la sociedad y el medio ambiente, generando multiplicidad de enfermedades y daños colaterales, presentando la problemática de la contaminación dada por las aguas residuales, y así mismo de depurarla, para devolverla al medio ambiente con propiedades medianamente favorables, reduciendo de manera notable el nivel de contaminación y la afectación global que esta ha tenido a lo largo de los años.

Las Naciones Unidas declaró el 2008 como “*el Año Internacional del Saneamiento, reconociendo el impacto en la salud pública, el desarrollo económico y social, así como ambiental y la reducción de la pobreza*”. (Carlos et ál, 2017).

Este trabajo consiste en la conclusión general de documentos que ayude en dejar claro la importancia de la limpieza de las aguas residuales y cuál sería el mejor método que ayude, por medio de perspectiva crítica, evaluando las desventajas y ventajas de cada uno de los métodos, dándoles un valor numérico, donde se proporciona la mención del mejor de ellos con el valor más alto en la etapa de tratamiento biológico o segunda etapa de tratamiento.

1. Formulación del problema

A lo largo del tiempo ha estado presente la contaminación de aguas residuales, afectando diferentes recursos del medio ambiente, como son: *“la degradación del ecosistema, la alteración agresiva al suelo”* por los diferentes implementos de limpieza (Contreebute, 2019), *“contaminación del aire, relacionada con la producción de malos olores, y, alteraciones de la calidad del agua”* (Ecologistas en accion, 2006). El agua residual, al no contar con un sistema de limpieza, traen como consecuencia, la disminución de servicios ecosistémicos de los ríos, aumento de plagas, migración de especies, etc.

Así mismo, representa una desvalorización de viviendas aledañas a los puntos de vertimiento, incremento en las enfermedades como el cólera, diarreas, la disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea, poliomielitis, ente otras. Siendo generadas por un mal proceso de tratamiento de agua potable o agua contaminada (Salud, 2022). Cada año disminuye porcentualmente la disponibilidad del agua potable, siendo un recurso escaso, problemática generada por desperdicio, disposición desigual y la contaminación; tema que las Naciones Unidas (2020), argumenta que *“7.000 millones de habitantes sufrirán de carencia de agua para el año 2050”*. Dado que las empresas están preocupadas en hacer llegar el servicio de agua potable, pero no en enseñar y concientizar su uso.

Este recurso, necesario para las actividades cotidianas y la supervivencia, no es renovable, Sin embargo, *“si es tratable y reutilizable”* (Díaz et ál, 2012) Para el tratamiento de aguas residuales hay tecnologías como *“los fangos activos, los lechos bacterianos, los lechos de turba, el lagunaje, los bio-discos, y los sistemas de filtración al suelo”* (Nuevo, 2022). Por lo tanto, se basará en el tratamiento biológico desde el punto de los sólidos disueltos, lo cual nos dirige a saber, ¿Cuál es el método de depuración de aguas residuales domésticas para sólidos disueltos con mayor viabilidad?

2. Justificación

A nivel nacional la mayoría de municipios, no cuenta con un proceso correcto en el vertimiento de aguas residuales, generando la mayor problemática dentro del ámbito ambiental y de sanidad, puesto que exactamente 541 de los municipios colombianos cuenta con un sistema PTAR (Venegas, 2018), a su vez la población no cuenta con la información para implementar estos sistemas de tratamiento, ya que cada método tiene su forma de trabajo y algunos pueden llegar a contar con más facilidad en cuanto a la manipulación y mantenimiento, por lo tanto, esto genera la inquietud de saber cuál es el que mejor se adapta al sitio (Reef resilience network, 2022), en vista de la falta de conocimiento respecto a los sistemas de depuración de aguas residuales, se acogen diferentes estrategias que a su vez llega a ser perjudicial, sin tener en cuenta las normas y regulaciones tanto ambientales como de diseño.

Los sistemas de este tipo, tienen sus etapas de tratamiento como lo está el pre tratamiento, tratamiento biológico y procesos fisicoquímicos. El enfoque principal es el análisis a tratamiento biológico, esto estrictamente enlazado con la problemática de los sólidos disueltos, del mismo modo como lo expresa Rojas(2010), los sólidos disueltos se han convertido en un gran reto para el tratamiento y futura disposición a ríos, lagos o mares, por lo tanto, se analizara y se evaluarán cada uno de los métodos para proponer desde una idea bibliográfica-personal, cuál de ellos cuenta con mayor viabilidad, a comparación de los otros manejados dentro del tratamiento biológico.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Analizar el tratamiento secundario en base en los sólidos disueltos en el sistema de depuración de aguas residuales.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar información del tratamiento secundario en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y sus avances.
- Evaluar los métodos de tratamiento de sólidos disueltos.
- Proponer desde la perspectiva bibliográfica el mejor de los métodos para la limpieza de estas aguas.

4. Estado del arte

4.1. Antecedentes

Para la reducción y eliminación total de sólidos disueltos en aguas residuales domésticas se necesitó saber y efectuar el tratamiento de las mismas, se necesita de suprimir esta materia con el tamaño de 2 micrones, este equivalente a 2 millones de un metro, seguido también a que Bauder (2012), habla de que *“la Agencia de Protección Ambiental de los EU (USEPA), recomienda el uso de los TDS (sólidos disueltos totales) en máximo 500 mg/L o PPM en agua potable”* y Carbotecnia (2021), nos presentan rangos permisibles del contenido de sólidos disueltos en el agua: *“0-30, 300-600, 600-900, 900-1200 o 1200-+; considerando así: excelente, nivel bueno, nivel aceptable, nivel pobre o no recomendable e inaceptable”*, respectivamente. Por lo tanto, se estima a que el rango del agua residual puede estar dentro de la no recomendable o inaceptable.

La búsqueda y consulta constante de nuevas tecnologías para la depuración de aguas residuales se ha marcado como fundamento para conocimiento y avance de las mismas, principalmente comprometiéndose por la contaminación de aguas residuales y sus efectos relacionados, ya que el enfoque es la mejora para aquellos sistemas existentes, para otorgar *“aumento del porcentaje de agua tratada para su vertimiento posterior, a ríos, lagos o mares”* (Barreto, 2020).

De la misma manera, se encuentra la realidad del incremento de este tipo de aguas, optando así por la búsqueda de estrategias de tratamiento de depuración autónomas, eficientes y económicamente viables, los cuales se encuentran: lagunajes, sistemas de filtración y humedales artificiales de cualquier tipo de sistema; produciendo así calidad del efluente, bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, añadiéndole la ventaja al no requerir personal altamente capacitado. *“Veinte años atrás desde 2003 se habla del aumento en el uso de humedales para la depuración de aguas residuales”* (Arias et ál, 2003). Por otro lado, la expectativa del tratamiento de aguas residuales es un proceso semejante al de una depuración natural, *“imitando procesos físicos, químicos y biológicos”* (Mena, 2009), así mismo, se espera de los métodos, equipos y técnicas, para la depuración de aguas residuales domésticas en base a los sólidos disueltos.

4.2. Marcos de referencia

4.3. Marco Teórico

Los sólidos disueltos son partículas microscópicas que se encuentran en el agua en forma de iones o moléculas, y su presencia puede tener un impacto significativo en la calidad del agua y, por consiguiente, en la eficacia de los sistemas de saneamiento (Fong et ál, 2015), presentándose en medidas menores a 2 micrómetros. Estas partículas son tan diminutas que no pueden ser filtradas por métodos convencionales, lo que las distingue de los sólidos suspendidos que se pueden observar fácilmente en el agua presentando un desafío en su detección y eliminación, lo que intensifica la importancia de su estudio y análisis factible de los sistemas de saneamiento.

Mientras que los sólidos suspendidos son partículas visibles que pueden ser separadas mediante métodos mecánicos, como la filtración, los sólidos disueltos requieren enfoques distintos debido a su tamaño microscópico. La comprensión de estas diferencias es decisivo para diseñar sistemas de tratamiento de aguas que *“aborden eficazmente cada tipo de sólido, asegurando así la eficiencia global de los procesos de saneamiento”* (Torres & Lozano, 2017).

Del mismo modo, las diferentes fuentes, concluyen de manera general, datos mínimos para el buen funcionamiento de los múltiples métodos (López A. et ál, 2020):

$$DBO = >95\%$$

$$PH = 4.6$$

$$DQO = 3.5-0.9$$

$$SST = 785.6$$

$$SSV = 750.6$$

$$\text{Nitrógeno y Fosforo Totales} = 11.0 \text{ y } 268.1$$

$$\text{Temperaturas} = 25^{\circ}\text{C}-35^{\circ}\text{C}$$

Estos datos son superficiales, no concluyentes para cada uno de los métodos de depuración, sin embargo, son base para futuras investigaciones avanzadas y de la misma manera, como apoyo fundamental para el avance de información y desarrollo en la ingeniería con sus diferentes ramas.

4.3.1 *Marco Conceptual*

4.2.2.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales. En Latinoamérica se reconoce el concepto de planta de tratamiento de aguas residuales o más conocido como PTAR, sin embargo, se han llegado a múltiples confusiones o alteraciones del concepto a rango social por el EDAR, mejor dicho, estación de depuración de aguas residuales, lo cual este tiene mayor uso en Europa.

Los sistemas de tratamiento tienen como función principal la eliminación, separación, disposición y reutilización de algunos elementos contaminantes, esto, con el fin de generar mayor calidad del agua, en el momento de disponerla finalmente en ríos, lagunas o mares, aportando favorablemente al ecosistema, en variedad de sus recursos. Así mismo, se analizan numerables ventajas al recurrir a una PTAR, como son: la eliminación de bacterias patógenas, estabilización de la materia y reducción de la contaminación, con el fin de tener un balance ecológico, proteger la biosfera y el medio ambiente, y procurar a un desarrollo social e industrial, Escalante (2021) describe las tres ventajas principales como:

- Elevar los ciclos de concentración, o para mayor entendimiento, el ahorro de recursos.
- Control microbiológico alto, por el uso de biocidas que impiden, eliminan, contrarrestar o neutralizar cualquier organismo nocivo.
- Certificación de las LEED (liderazgo en energía y diseño ambiental), lo cual verifica la calidad del agua en cuanto a la puntuación de los componentes como lo son: la plata (50-59), platino (80- más), oro (60-79) y como elemento final de calificación está el certificado (40-49); esta entidad tiene también la finalidad en calificar el aprovechamiento de los recursos, tratamiento adecuado, desecho adecuado, captación, reutilización y ahorro. (Escalante, 2021).

4.2.2.2. Principales sistemas de depuración. Introduciendo el concepto de sistema, en este caso se deben aclarar las fases o etapas que estas aguas deberían recorrer, lo cual son tres: tratamiento primario o pre tratamiento, tratamiento secundario o tratamiento biológico y tratamiento terciario o procesos fisicoquímicos.

Aclarando en sí, el tratamiento primario consiste en la eliminación de sólidos gruesos, reduciendo la carga contaminante de las aguas residuales, en este caso se puede usar: los sistemas de filtración(rejas fijas, filtros de canal, filtros rotatorios, filtros parabólicos y filtros por telas),

separadores por gravedad (unidades de sedimentación, transportador de tornillo para arenas, separadores de aceite y agua API / CPI / TPI, separadores de flujo cruzado, separadores en contra corriente, módulos PPA y hidrociclones), sistemas de flotación (por aire inducido IAF, por gas inducido IGF, por aire disuelto DAF y por gas disuelto DGF), sistemas de coagulación y floculación (floculador tubular, tanque de reacción, electrocoagulación, equipo de dosificación de químicos y equipo preparador de químicos). (Spena, 2021)

Del mismo modo, para el tratamiento secundario se cuenta con sistemas como:

“aeróbios (Bioctor (SBR, CONTINUOS, MBR, MBBR y N), Clarifiers y Clarifot), anaeróbios (Anoctor U-UASB y Anoctor E-EASB), y filtración (sedimentadores tubulares, media fija para trickling filters, rellenos estructurados para filtros percoladores y sistemas de dispersión *de aguas residuales de dos y cuatro brazos*)” (Spena, 2021).

En el tratamiento terciario se puede hablar de sistemas de reciclaje (filtros de arena, medios filtrantes, filtros de carbón activado, filtros de carbón activado aireado, desinfección y sistemas de membranas (MF, UF, y RO)) y sistemas de recuperación de productos valiosos (nitrógeno y fósforo, proteínas, almidón y aceites), esto con el fin de considerar la cantidad del agua recuperada después del uso humano (Spena, 2021).

5. Metodología

Se contempla el orden de fases, los cuales permiten el detalle del proceso a seguir para el análisis de sistemas de tratamiento de aguas residuales enfocado a los sólidos disueltos, siendo una investigación de carácter Cualitativa, de la siguiente forma:

- **Fase 1: Análisis de información**

Se obtuvo la información de trabajos académicos aportando información científica, desarrollando el concepto de manera concisa y clara, logrando así el uso de estos.

- Recopilación de información, por medio de bibliotecas virtuales, documentos digitales, con préstamo, compra o alquiler de libros académicos.
- Organización de información, con el termino adecuado se en listara los datos importantes para registrar en el documento.
- Análisis de información, con los párrafos, datos y conclusiones, ya dadas, se analizará para llegar al objetivo principal de este trabajo.

- **Fase 2: Evaluación de información**

A partir de la bibliografía obtenida, se realiza la símil de los diferentes métodos, equipos o técnicas, llegando a la conclusión de la que mayor nivel de limpieza obtenga.

- Descripción de los métodos, equipos y técnicas de tratamiento de solidos disueltos
- Análisis de los métodos, equipos y técnicas de tratamiento
- Análisis del método con mayor nivel de limpieza.

- **Fase 3: Recomendación**

A partir de los resultados de la fase dos se hace la recomendación, teniendo en cuenta la facilidad y nivel de limpieza que cada uno de los métodos, equipos o técnicas de tratamiento de aguas residuales en base a los sólidos disueltos, pues lo que se busca con la propuesta es dar a conocer según a la búsqueda literaria, el método, equipo o técnica, que genera facilidad y mayor nivel de limpieza.

- Análisis de la desventaja en común entre los sistemas de tratamiento de aguas residuales con solidos disueltos.
- Análisis de la mejora factible para todos los sistemas de depuración de aguas residuales.
- Propuesta de la mejora en relación a la desventaja en común de todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

6. Desarrollo.

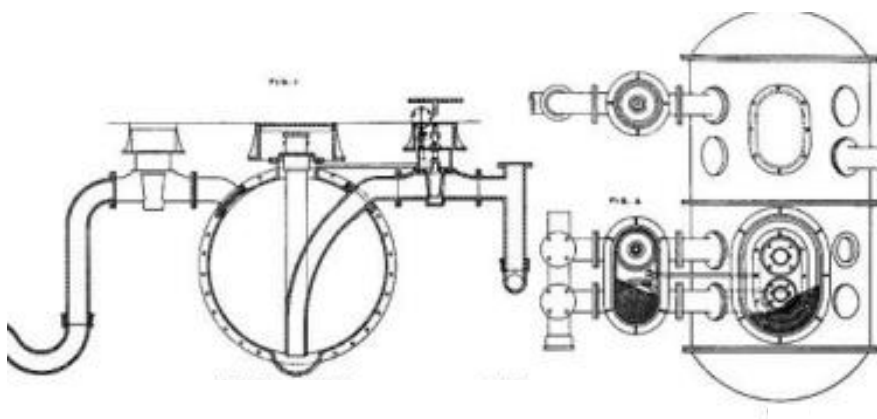
6.1. Degradación del ecosistema, enfermedades generadas y escasez.

La necesidad e importancia del alcantarillado, nació en la antigua Grecia entre los años 300 A.C y 500 D.C, con la creación de letrinas dirigiendo el flujo a los arroyos cercanos de la ciudad, sin embargo, en Roma para el año 100 D.C, después de haber terminado todo el sistema de alcantarillado subterráneo, se ideó sistema Liernur (M, Carlos et ál, 2017), como se muestra en

Figura 1 consistiendo en la recolección de aguas residuales (aguas de inodoro, grises y pluviales) y usarlas para la fertilización de los cultivos.

Figura 1.

Sistema liernur



Nota. Adaptado de (Germán, 2017)

Lo cual, al pasar de los años, este método se volvió “inútil”, ya que las ciudades se expandieron y la capacidad de las aguas no daba con la demanda para la fertilización, por lo tanto, para 1893, se implementó la primera forma de tratamiento con filtros biológicos o biopelículas como se puede evidenciar en

Figura 2 de este documento, sobre la base rocosa de los ríos, y más tarde tener la motivación de invertir en lodos activados (1913).

Figura 2.

Filtros biológicos o biopelículas



Nota. Adaptado de (Germán, 2017)

El diseño de los sistemas de alcantarillado se pensaron siempre con la intención de evacuar aguas que podrían provocar múltiples enfermedades (El colera, poliomielitis, hepatitis infecciosa, anquilostomiasis, ascariasis, leptospirosis, giardiasis, entre otras), adicionalmente la degradación al medio ambiente, pues al contener aguas residuales se da la producción de mosquitos para el aumento de virus como el dengue, zika, Chikunguña, o también enfermedades protozoarias como Chagas, tricomoniasis, malaria, amebiasis.

El aumento de virus y enfermedades interfiere de manera directa el confort y seguridad, tomando la iniciativa de no estar cerca a los arroyos, claramente dejando en solitario residencias, así mismo afectando la cultura y la economía. Queda claro que al no contar con una PTAR o tenerla en mal estado, haciendo que no cumpla con sus objetivos, afecta directamente a la sociedad, y más cuando la escasez de agua potable, año tras año disminuye, según Las Naciones Unidas (2020), para el año 2050, la escasez de agua sea mayor impactando gran cantidad de población a nivel mundial, directamente a más de 7.000 millones de personas habitadas en el planeta.

Se genera la gran inquietud de la escasez, pero más que una duda, es evidente el consumo innecesario del agua dentro de la población, sin haber conciencia. La población esta con un ideal de “sí mismo”, donde la estructura de compasión por el otro, se derrumba y se ahoga entre la necesidad, adicionalmente con el apoyo de las empresas donde su mayor interés, es el consumismo extremo, dejando detrás del telón, la contaminación y la escasez.

6.1.1 Tecnologías, técnicas y métodos de depuración secundaria en aguas residuales.

6.1.1.1 Método anaerobio. Este método permite la “*degradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno*” (Campos et ál, 2019), considerándose un método eficiente y económico, a comparación a otras tecnologías, además de ser uno de los más usados (Bluegold, 2020).

En este método, es la materia orgánica que funciona como aceptor de electrones, como este tiene ausencia de oxígeno, a medida del paso del tratamiento este libera otros gases como el metano o el CO₂. Según Sandra Crombet (2016), “*se hace la evaluacion del reactor UASB y laguna anaerobia, obteniendo una limpieza del 70% en DQO y disminucion del coliformes totales desde 72×10^5 NMP/100 ml hasta 16 NMP/100 ml*”. El reactor UASB, traducido es: reactor anaerobio de flujo ascendente de alta eficiencia, este en caso de que se necesite se puede hacer correccion del PH, y en la mayoria de los casos se debe agregar Fluor y Nitrogeno, nutrientes necesarios para enseguida hacer paso al manto de lodo, este se maneja de manera ascendente. Para el uso de este sistema debe haber limpieza del lodo con mucho cuidado para evitar alterar la flora bacteriana del tanque, del sistema de deshidratacion.

Del mismo modo, se presenta un proceso de limpieza o digestion de la materia organica, dividiendola en varias fases como lo son:

- Hidrolisis; proceso en la cual se rompen las cadenas de moleculas organicas complejas, liberando moleculas mas sencillas como azucares, grasas y aminoacidos, en seguida, los acidos organicos se producen durante el proceso de acido genesis y la acetogenesis
- Acidogenesis y acetogenesis; convierte los acidos en compuestos como el acetato, el hidrogeno y el dioxido de carbono.
- Metanogenesis; hace la conversion de los compuestos anteriormente mencionados en biogas, donde esta conformado principalmente por metano y dioxido de carbono.

El método anaerobio, nos presenta ventajas y desventajas organizadas en

Tabla 1 para poder dar selección del mismo en algunos de los casos, pues toca tener en cuenta lo recomendado por David Aguilar (2021) donde aclara que para poder dar un buen procedimiento de limpieza del agua los métodos “*dependen de las características del efluente y la idoneidad del método*”.

Tabla 1

Tabla de ventajas y desventajas del método anaerobio

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alta estabilidad del proceso	Baja remoción de nutrientes
Menos necesidad de nutrientes	Necesidad de un post tratamiento
No es limitada por transferencia de oxígeno	Aplicación limitada para algunos efluentes
Producto final: metano	Temperatura relativamente alta 30° a 35°
Baja demanda por área	Baja velocidad del crecimiento de las bacterias metalogénicas
Facilidad de mantenimiento	Mayor tiempo de detención hidráulico
Bajo consumo de energía	Baja velocidad en el ajuste a nuevos vertidos y variación de condiciones ambientales
Efluentes de alta calidad	Posibilidad de generación de malos olores y corrosión
Costos bajos	Eficiencia de alrededor de 65% en términos de remoción DBO
	Susceptibilidad a los cambios climáticos.
	Baja producción de lodo

Nota. Elaborado con base a la información a Claras (2023) y (Spena, 2021)

6.1.1.2. Funcionamiento.

A) Durante la hidrólisis, las moléculas orgánicas son descompuestas en moléculas más simples como azúcares, grasas y aminoácidos

B) En la fase de acidogénesis, los microorganismos descomponen los ácidos orgánicos.

C) La acetogénesis o acidogénesis, hace la conversión de los ácidos orgánicos en compuestos como el hidrógeno y el dióxido de carbono.

D) Se da la producción del biogás, en la fase de metanogénesis, en especial en metano y dióxido de carbono.

6.1.1.3. Tipos de reactores.

Reactor Anoxico U-UASB

Dentro de su acrónimo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) se puede traducir como Manto de lodo Anaerobio de Flujo Ascendente, así, Hernandez (1999) expone donde se hace uso de ultrasonido para mejorar la disgregación de la materia orgánica en el agua residual en el reactor UASB.

Dentro del reactor se da la separación de la materia orgánica, adicionalmente los microorganismos descomponen los sólidos suspendidos (Claras, 2023). Es común para la eliminación de contaminantes, el reactor U-UASB mejora este proceso mediante la aplicación de ultrasonido para aumentar la velocidad y la eficacia de la descomposición de la materia orgánica.

De la misma manera, este tipo de reactor tiene desventajas expuestas por (Tervahauta, 2014) donde nos hace pensar si realmente sería el método más idóneo en la elección del tratamiento, ya que este método necesita que haya “*un efluente previo al tratamiento de su ingreso al reactor*”, ya que es susceptible a la variación de cargas contaminantes y a la generación de gases y olores desagradables; (Marquez & Martinez, 2011)Exponen también la idea en que este tipo de método requiere de mucho espacio y aun así tiene su límite en la remoción de contaminantes.

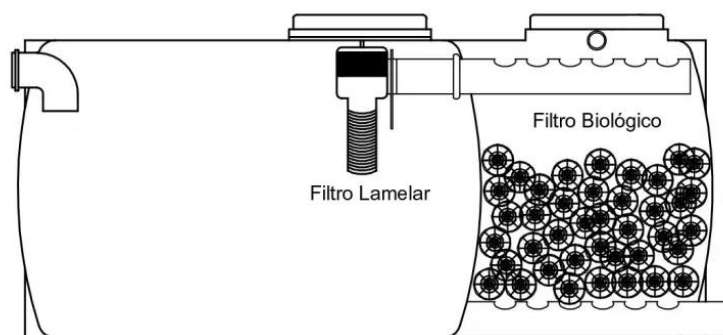
Biopelículas o Filtros Biológicos

Este tipo de proceso se compone de comunidades microscópicas que se adhieren a una superficie (Romero, 2005), encerrados en un “Exopolisacárido Matrix Tridimensional”, están protegidos de las defensas y de los antimicrobianos, viviendo en condiciones extremas.

Estas se pueden formarse en superficies, como puede ser usado en el MBBR, referido al lecho móvil de biofilm o el proceso IFAS, lo que quiere decir sistema de almacenamiento integrado de nitrógeno y fosforo. Por su naturaleza este puede ayudar a reducir la toxicidad de los contaminantes y mejorar el proceso de tratamiento (Pulido, 2005).

Figura 3.

Filtros biológicos



Nota. Adaptado de: (Draw, 2022)

Por otro lado, España Patente nº 2 466 090, (2014), expone que este sistema puede ser un problema, ya que puede producir obstrucciones en las tuberías y equipos de las plantas de tratamiento, adicionándole la aparición de olores. Además, la protección que los microorganismos, pueden hacer que algunos de los agentes, como los biocidas, sean menos efectivos.

Reactor Anóxico E-EASB

El reactor E-EASB, es una variante del anóxico U-UASB, donde su forma de trabajo se basa en el flujo ascendente del agua residual y el uso de fangos activos (Spena, 2021). Mientras hay ascenso del agua también se presenta como los microorganismos se adhieren a los sólidos suspendidos formando una biofilm, aquella se encarga de la eliminación de contaminantes orgánicos presentes en el agua residual.

Gomez Caceres (2019) describe que el reactor, se separa en dos etapas, *“la primera se compone del ascenso de agua a tratar por el manto anóxico E, para la conversión de compuestos orgánicos en gases, como el metano y CO₂”*; dentro de la segunda etapa argumentan Angie & Juan (2021), *“el agua residual se somete a un tratamiento de nitrificación y desnitrificación”*, usando procesos aerobios y anaerobios para eliminar los nutrientes que quedan en el agua.

“Este tipo de anóxico, requiere de alta demanda de energía para su buen funcionamiento (Spena, 2021), es susceptible a los cambios de carga contaminante, requiere de mucho espacio para su estructura y la producción de lodos es mayor a la de otros sistemas”. (Ordoñez & Rivas, 2021)

Reactores de membrana

Los reactores de membrana, se conocen como una tecnología avanzada que *“se ha extendido desde hace menos de 24 años”* (Zarzo, 2019), logrando ser conocido por su alta

eficiencia, ya que las membranas *“actúan como barrera física para los sólidos suspendidos y las partículas en suspensión”* (Fernandez et ál, 2006), hay variedad en los tipos de membrana, como lo son:

- Microfiltración
- Ultrafiltración
- Nanofiltración
- Ósmosis inversa

Los reactores de membrana permiten una mayor eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos, por la separación de solidos suspendidos de forma mecánica, permitiendo disminución notable de impurezas y partículas en suspensión, para lograr este objetivo, se dan a conocer dos tipos de flujo: circular y tangencial. En el caso del flujo tangencial, *“este circula de manera tangencial a la superficie de la membrana”* (Romero, 2005), generando una presión en pro de la retención de solidos suspendidos.

Del mismo modo, Implementacion de bioreactor de membranas para aguas industriales (2014), como describen que los reactores de membrana pueden resultar de alguna manera costosos a comparación de otros sistemas, como en *“instalación, operación y mantenimiento”* (Tavares, Rem, 2007), adicionalmente las membranas se pueden considerar frágiles y con mayor requerimiento de energía.

Reactores de lecho fluidizado

Este método se conoce como dispositivos para la conversión de una variedad de materiales a gases, aceites o líquidos (Alvarez et ál, 2008). En este reactor se hace pasar el gas por un lecho de partículas granulares, en un estado de fluidización por el gas, fluyendo desde el fondo del reactor hacia la superficie, esto permite mejor eficiencia en el traspaso de masa y calor, *“reduciendo el riesgo de combustión o sobrecalentamiento”* (Donev, 2017), ya que la energía térmica producida por las reacciones químicas se disipa a través del gas circundante.

Así mismo Carolina (2014) nos explica que este método *“es aplicado como en la separación de líquidos y sólidos, transformación de biomasa en combustibles, producción de productos químicos orgánicos, separación de gases, la desulfuración de gases y la eliminación de sustancias contaminantes”*. El reactor de lecho fluidizado se destaca la alta eficiencia en la traspaso

de calor, transferencia de masa y transferencia de momentum, y eliminación de contaminantes, concluyendo con un resultante de calidad eficiente (Moreno & Varnero, 2011).

De la misma manera, se encuentran diferentes tipos de reactores de lecho fluidizado, cada uno de ellos presenta características distintas y configuraciones adaptables a las necesidades del proceso, como los son:

- Circulación interna
- Circulación externa
- Circulación estacionaria
- Lecho burbujeante

Este tipo de método tiene una pérdida de catalizador por arrastre, puede llegar a ser complejo en la operación y mantenimiento, de la misma manera lo expone (Paula, 2003) y (Capítulo 2. sistemas de tratamiento, 2007), se requiere un mayor consumo energético y mayor producción de lodo.

Digestión termófila

Es un proceso biológico utilizado en la depuración de aguas residuales, usando altas temperaturas en ausencia de oxígeno (Moreno & Varnero, 2011), con este método los microorganismos productores de biogás son capaces de disgregar la materia orgánica y convertidas en biogás, fuente de energía renovable (Barrena, 2006). Del mismo modo, es una opción atractiva para el tratamiento de aguas residuales, ya que permite una mayor eficacia en la eliminación de compuestos orgánicos, reduciendo la producción de lodos en el proceso.

Al aumentar la temperatura, se aumenta la velocidad de reacción, acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica, destruyendo patógenos y reduciendo la cantidad de semillas de maleza en los lodos residuales, Joseph Usack (2012), indica que *“las temperaturas suelen ser entre los 35°C a 55°C”*, adicionalmente la sensibilidad a las fluctuaciones, su *“alta producción de lodos y lo complejo a la manipulación”* (Ministerio de vivienda, 2021) pueden ser una gran desventaja.

Hidrolisis termófila

Es un proceso en el que se utiliza un tratamiento térmico para descomponer los compuestos orgánicos en una solución en solutos más simples mediante la adición de agua (Salazar et ál , 2021),

es un proceso que se lleva a cabo de temperaturas elevadas en presencia de ácido para acelerar la reacción y a una liberación de compuestos orgánicos, adicionalmente ayuda a eliminar patógenos y reduce semillas de malezas.

Las bacterias termófilas son particularmente efectivas en la hidrólisis termófila ya que, en comparación con otros microorganismos, son capaces de sobrevivir a temperaturas más elevadas y son capaces de descomponer los compuestos orgánicos más eficientemente en estas condiciones, este método se utiliza a menudo en la conversión de biomasa en bioenergía y la producción de biocombustibles, como biogás y bioetanol (Moreno & Varnero, 2011).

Este método requiere de una inversión inicial notable y considerable, pues *“la operación y mantenimiento por el requerimiento del control de temperaturas lo hace ser complejo”* (Chiva et ál, 2018) y con alta producción de lodos, pero según Lopez Hernandez, Ramirez Higareda, Gomes Cabral, & Morgan-Sagastume (2017) las temperaturas pueden inhibir o dañar los microorganismos, y en esos casos se deberá tomar la decisión en invertir en medidas adicionales.

6.1.1.4. Casos de gran éxito. En el mundo se presenta la variedad de proyectos con el fin de darle limpieza al agua residual y sobre todo con el efecto «natural», del mismo modo Colombia en sus diferentes ciudades principales se presentan proyectos semejantes con su demostración en la eficiencia y calidad de limpieza, contribuyendo cada vez más con el medio ambiente, por lo tanto, Parra Huertas (2015) y Laura (2021), expondrán los principales proyectos exitosos que han sido utilizados con el metodo anaerobio y el porque de esa descripcion.

PTAR San Fernando

Este proyecto ubicado en Medellín, utiliza el método anaerobio, conociéndose como una planta eficiente en la limpieza y eliminación de contaminantes, pero adicionalmente por la contribución a la protección del medio ambiente.

PTAR Cañaveralejo

Proyecto ubicado en la ciudad de Cali, este proyecto con uso del método anaerobio ha logrado tratar con eficiencia las aguas residuales de la ciudad, contribuyendo con la calidad de agua en la región.

PTAR Salitre

Planta ubicada en la capital de Colombia, ciudad de Bogotá, es utilizada con el método anaerobio, este proyecto se conocer con gran éxito por los grandes volúmenes de aguas residuales de la ciudad, contribuyendo con la protección de los recursos hídricos.

6.1.2 Método aerobio

Este método permite la descomposición de la materia orgánica, gracias a la presencia del Oxígeno, mediante la acción de microorganismos aerobios, haciendo que las células tengan un alto rendimiento energético (Bluegold, 2020), generando los fangos; este método es uno de los más utilizados dentro del proceso de depuración tanto de aguas residuales domésticas como industriales.

El funcionamiento del método aerobio según (Aguilar et ál, 2021), se compone de biomasa granular en su primer ciclo y segundo ciclo, para el *“tercer ciclo encontramos un decantador a una velocidad mayor o igual a 1 m/h”*, y así mismo se hace recirculación con velocidades menores, para obtener el mejor producto al decantar.

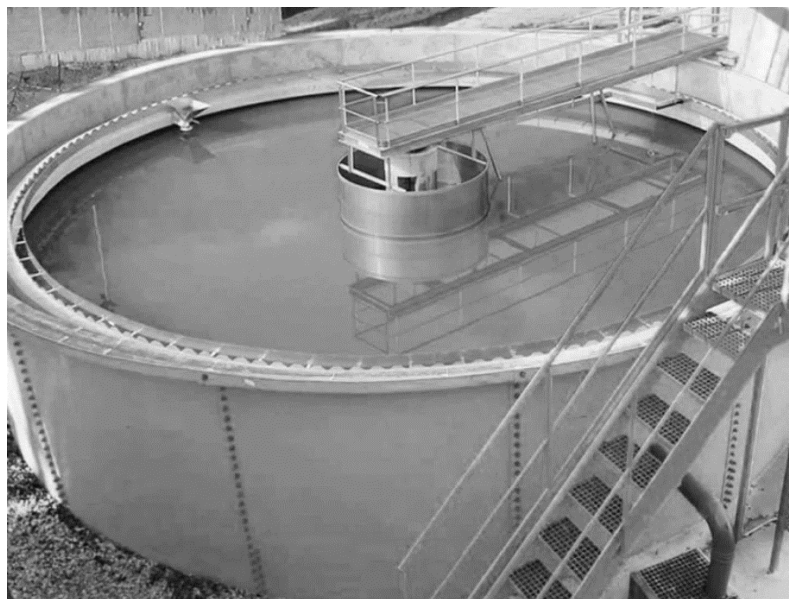
Este proceso es aquel en que los microorganismos aeróbicos se utilizan para eliminar los contaminantes orgánicos del agua (Acura, 2022), este se lleva a cabo en reactores aeróbicos, que proporcionan un ambiente óptimo para el crecimiento y la actividad bacteriana; los reactores aerobios suelen ser tanques grandes con agitación mecánica para asegurar que los microorganismos tengan suficiente oxígeno para la eliminación de materia orgánica.

Los microorganismos utilizados descomponen la materia orgánica presente en efluentes liberando dióxido de carbono, agua y biomasa (Ingenieria, 2021). Este reduce la cantidad de materia orgánica, nutrientes y otros contaminantes en el agua reduciendo el DBO.

Según Acura, (2022), el método aerobio, se considera un método efectivo y se usa de gran manera en las plantas de tratamiento a nivel mundial, ya que su operación y mantenimiento son fáciles, y así mismo su uso en pequeñas y grandes comunidades se hace popular.

Figura 4.

Tanque decantador fotografía descrita en



Nota. Adaptado de: (SYNERTECH, 2022)

El método aerobio presenta ventajas y desventajas con que se evidenciara su eficiencia en muchos términos, para recopilar mediante la información basada en la variedad de autores.

Tabla 2.

Ventajas y desventajas del método aerobio

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reducción de contaminantes orgánicos	alto consumo de energía
afluentes de alta calidad	solicitud de cantidad de agua alta
facilidad de mantenimiento	alta producción de lodos
Eliminación de partículas suspendidas	baja estabilidad del proceso
Reducción de patógenos	costos altos

Nota. Elaborado con base a (Ingeniería, 2021) y (Acura, 2022)

6.1.2.1. Funcionamiento.

A) El agua tratada en la primera etapa hace paso a la aireación, circulando por un lecho de lodos activados o a través de un filtro biológico.

B) Los microorganismos presentes consumen la materia orgánica saludable y solidos suspendidos restantes.

C) Se hace conversión a dióxido de carbono, agua y biomasa, por medio del paso anterior.

D) En el proceso de sedimentación secundario o flotación y el agua tratada restante pueden pasar a la tercera etapa de depuración, antes de ser descargada al medio ambiente.

6.1.2.2. Tipos de reactores.

Reactores de lodos activados convencionales

En este método, el agua residual se mezcla con microorganismos en un tanque de aireación, lo que permite la absorción de oxígeno y la degradación de los contaminantes (Acura, 2022). Luego, los resultantes se separan del agua y se pueden volver a utilizar como un lodo activo para ayudar a tratar nuevas aguas. Este sistema comúnmente es utilizado debido a su eficacia y bajo costo, en comparación con otros métodos (Ingenieria, 2021).

Por otro lado, Tavares (2006), argumenta que “*el tiempo de retención hidráulica y de lodos, podría a llegar ser una desventaja*”, al igual que en los gastos de los equipos para mantener la aireación, donde se hace costoso, este sistema solo trata de manera eficiente algunas aguas residuales, por ejemplo, aguas que contengan altamente tóxicos o sólidos suspendidos, son difíciles de tratar con este método.

Se debe dejar claro que el proceso de lodos activos se divide en dos etapas, aireación y sedimentación, por lo tanto, en la etapa de sedimentación, se permite que los sólidos suspendidos se asienten en el fondo, permitiendo la recirculación para la limpieza, pues “*se deben manejar a velocidades calculadas teniendo en cuenta el agua a tratar*”, para evitar que los “Flocs” producidos y sedimentados, no se suspendan de nuevo (Tavares, 2006).

Reactores biológicos secuenciales (SBR)

Este tipo de reactor opera mediante ciclos intermitentes de alimentación, aireación y sedimentación en un solo tanque, Tavares (2006) explica que el agua residual introducida “*se agita y se airea para la actividad microbiana aeróbica*”, al completarse la oxidación biológica de contaminantes, se suspende el suministro de aire, sedimentando el lodo al fondo del tanque, este sistema se realiza por lotes, permitiendo así mayor flexibilidad y control del proceso.

El SBR es “*ampliamente utilizado debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes cargas de contaminantes*” de las aguas residuales (Spena, 2021), contando con sus diferentes etapas de tratamiento con el fin de cumplir las características específicas de la calidad

de agua como lo es la eliminación de nutrientes, haciendo fácil su automatización y control, permitiendo la operación continua (Tavares, 2006).

Biofiltros

Payan (2012) expone que esta técnica *“es eficaz para la eliminación de contaminantes”*. Sistemas aeróbicos de filtración que utilizan una combinación de poblaciones de microorganismos adheridos a un medio poroso de soporte para tratar el agua residual (Luna, 2014), introduciéndola aun biofiltro para la eliminación de organismos disueltos, manejado por dos fases.

La primera fase es la exposición del medio de soporte para la *“adherencia de microorganismos, metabolizando los contaminantes organismos para la producción de biomasa y dióxido de carbono”*; en la segunda fase *“la biomasa y otros solidos sedimentan al fondo del biofiltro”*, mientras el agua limpia se desvía a la siguiente etapa (Comision nacional del agua, 2015).

Existe la variedad de biofiltros como (Payan, 2012):

- Biofiltros percoladores de piedra
- Biofiltros de lecho fluidizado
- Biofiltros de lecho fijo

Membranas de bio-reactor

Este método también conocido como MBR, combina un reactor de lodos activados con un sistema de membrana de microfiltración, ultrafiltración o nanofiltración, según Domingo (2019) *“es un método conocido y muy utilizado por su alta eficiencia y capacidad para producir efluentes de alta calidad”*, pudiendo así reutilizar.

Las aguas residuales son principalmente tratadas por un reactor biológico donde las bacterias y otros microorganismos se utilizan para degradar los contaminantes orgánicos (Ministerio de vivienda, 2021), enseguida se introduce en una cámara de filtración con membrana porosa reteniendo las partículas y microorganismos suspendidos (Zarzo, 2019), la cámara de filtración puede ser construida como un tanque de aireación, sirve para agitar el líquido y mantener las partículas en suspensión.

En base lo anterior nos lo expone (Vasquez et ál, 2018), el proceso de filtración se realiza en línea, permitiendo la eliminación de solidos suspendidos y evita la acumulación de lodazal en

el reactor. Al retener los microorganismos en la superficie de la membrana, se puede mantener una densidad de biomasa mucho más alta que la que se puede lograr en un reactor de lodos activados convencional, aportando mayor eficiencia, en algunos casos se pueden agregar químicos coagulantes antes de la filtración para mejorar la eficiencia de la separación.

Biolector continuo

Es un sistema de flujo continuo mediante un sistema de aireación y mezcla, Tavares (2006) explica que *“proporcionando oxígeno permite la actividad microbiana aeróbica con la disposición y consumo de sustancias orgánicas”*, también puede usarse en un lecho fijo o móvil de medios de soporte para la biomasa, permitiendo la adherencia y oxigenación de contaminantes (Spena, 2021).

Reactor MBBR y N

Revelando un poco el acrónimo querría decir: Moving Bed Biofilm Reactor, traduciendo: Reactor Biológico de Lecho Móvil con Biofilm; este tipo de reactor se utiliza especialmente cuando hay alta carga contaminante *“para reducir la carga orgánica y la concentración de sólidos suspendidos”* antes de que fluya al reactor de lodos activos (Tello et ál, 2016). Este proceso utiliza un soporte plástico poroso con alta superficie específica sobre el que se adhiere una película biológica, argumenta Sara Jade Goavia (2014) que es como una superficie de crecimiento para microorganismos que degradan los contaminantes.

En el caso de la N se refiere a *“la nitrificación o desnitrificación necesaria para la eliminación de compuestos nitrogenados”* (Goavia et ál, 2014), la comunidad de microorganismos oxida el amonio, a nitrito y luego nitrato, para enseguida reducir el nitrato a nitrógeno gaseoso.

La combinación de estas dos técnicas permite la *“eliminación efectiva de carga orgánica, sólidos suspendidos y compuestos nitrogenados”* expone Spena (2021), tomándose como un método efectivo a nivel tecnológico y sostenible para el medio ambiente, generando su uso a nivel mundial (Goavia et ál, 2014).

Clarifiers

Este mejor conocido en el idioma nativo como clarificadores, para agua (2015) es un *“método común para la eliminación de sólidos suspendidos y los sedimentos restantes”*, funcionan mediante la gravedad y sedimentación dejándolos en el fondo del tanque y el agua clara

depositándola en la superficie como método de recolección de la misma. Este método se divide en varias etapas, con la diferencia de velocidad y agitación (Castanares, 2021).

A) El agua entra en el clarificador con una corriente ascendente de agua limpia, con el tiempo los sólidos suspendidos se separan y se sedimentan, y el agua limpia queda en la parte superior (Comision nacional del agua, 2015).

B) Eliminación de solidos sedimentados mediante el uso de “*un equipo de raspado, recogiendo y depositando en un contenedor*” para su eliminación (Castanares, 2021), algunos tanques clarificadores “*contienen bombas de recirculación*” para remover los lodos para luego enviarlos a la primera etapa de tratamiento (Comision nacional del agua, 2015).

Lagunas Aireadas

Este es un método sencillo, mediante la aireación, por lo general, son grandes depósitos que pueden usarse para tratar aguas residuales municipales e industriales de alta carga, existen dos tipos: aireadas mecánicamente y las aireadas naturalmente, en las primeras se obliga el uso de oxígeno mientras en el otro se usa el viento natural de la superficie, las dos formas provocan el crecimiento de microorganismos aerobios y ayudan a eliminar la carga orgánica. Este sistema puede ser una herramienta efectiva y de bajo costo para tratar (Rollm, 1999).

Tabla 3.

Ventajas y desventajas de las lagunas aireadas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Facilidad de mantenimiento	Necesidad de equipamiento
Alta estabilidad del proceso	alta producción de lodos
Ausencia de olores	Transporte de muchos solidos
Alta síntesis celular	alta demanda de área
Alta producción de lodos	costos altos
Eliminación de partículas suspendidas	
Reducción de contaminantes orgánicos	
Reducción de patógenos	

Nota. Elaborado con base a la información de Nájera

6.1.2.3. Casos de gran éxito. Algunos de los proyectos con gran éxito haciendo uso del método aerobio expresados y explicados por Pilar Tello (2016) y Gobierno Peruano (2009), dando

una eficiente limpieza de contaminantes y microorganismos, contribuyendo en el control del medio ambiente y la calidad de agua.

PTAR Salitre

Proyecto con el uso del método aerobio para la depuración de aguas residuales de la ciudad de Bogotá, además de conocerse como de las más grandes también es considerada como una planta moderna a nivel Latinoamérica, con la capacidad de tratar 14 metros cúbicos por segundo.

PTAR Bello

Ubicada en Antioquia, conocida como de las mejores en Colombia contribuyendo con el mejoramiento de calidad de agua residual en la región.

PTAR Bucaramanga

Planta de tratamiento ubicada en Santander, es destacada por su eficiencia y por su contribución en la protección del río de Oro, uno de los recursos de agua de la región.

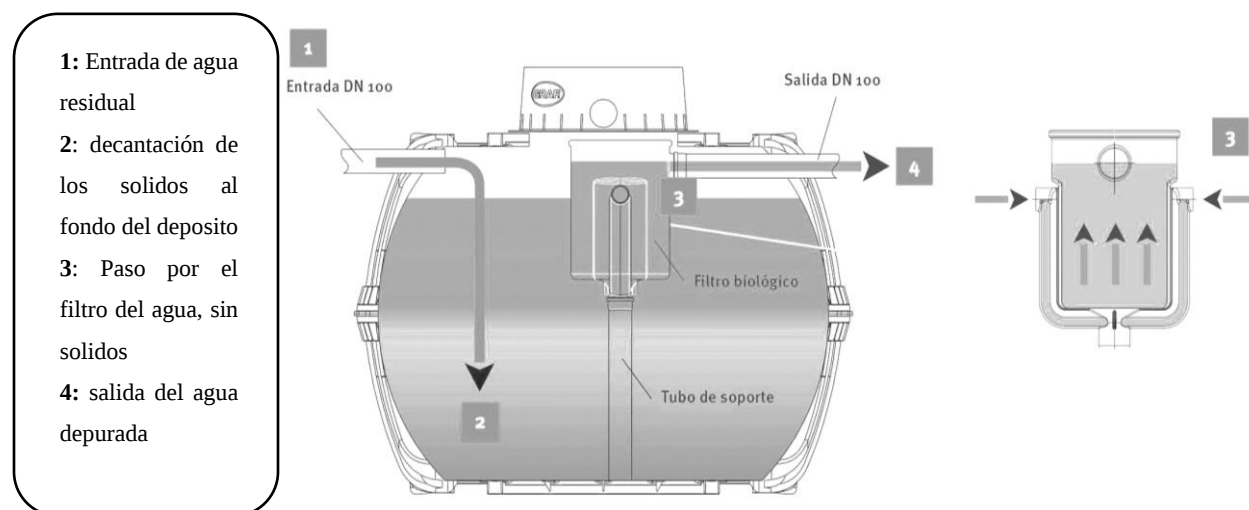
6.1.3 Filtración

Este método es especialmente utilizado para la eliminación de sólidos suspendidos y microorganismos (Delgado, 2023), con el paso de agua en la combinación de arena, carbón activado, grava y otros materiales filtrantes, permitiendo la retención de partículas y microorganismos, dejando el paso de agua tratada en el interior del filtro, para Delgado (2023) estas unidades “*se llevan a cabo de filtros biológicos o biodiscos, con su debida rotación o lechos de medios filtrantes*” para adherencia de microorganismos degradadores, convirtiendo los compuestos orgánicos a “*compuestos simples como pueden llegar a ser el CO₂ y/o H₂O*” (salud O. p., 2021).

Durante la filtración también puede presentar “*la remoción de nitrógeno y el fósforo*” (Caceres, 2022), compuestos al no ser tratados antes de su liberación al medio ambiente presenta gran riesgo. Para lograr una buena calidad de agua tratada, se recomienda el trabajo conjunto de sedimentadores, tanques de aireación y desinfección (Troconis, 2010).

Figura 5.

Funcionamiento de Fosa OneZero con descripción explícita



Nota. Tomado en GRAF, 2019

La búsqueda de un método efectivo va de la mano a las “*ventajas y desventajas que el producto presente*” (Bluegold, 2020), en este caso para el método de filtración presentamos las ventajas y desventajas en la Tabla 4.

Ventajas y desventajas del método de filtración en la segunda etapa de tratamiento de aguas

Tabla 4.

Ventajas y desventajas del método de filtración en la segunda etapa de tratamiento de aguas residuales

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Eliminación de partículas suspendidas	Costos altos
Reducción de contaminantes orgánicos	Complicación de mantenimiento
Reducción de patógenos	Baja eliminación de químicos

Nota. Elaborado con base Genesis water Technologies, 2019

6.1.3.1. Tipos de filtros.

Filtro de arena

Este tipo de filtro es común para la eliminación de partículas sólidas y otros contaminantes del agua residual, es una capa gruesa de arena, dicen el Dr. Heike Hoffmann (2011) que se genera “*goteo y paso del fluido con la retención de particular gruesas*”, y adherencia de partículas más pequeñas en los granos de arena, ayudando a purificar el agua y reducir la carga de contaminantes. Se recomienda “*la combinación de procesos como la coagulación y floculación, para la creación de flocs o flóculos*”, para la retención más efectiva en el filtro de arena (Agency, 2013); después

de este proceso el agua es sometida a la desinfección con cloro o ultravioleta, dejando el cuerpo de agua libre de patógenos, dejándola segura para su descarga o reusó (Hoffmann et ál, 2011).

Filtro de medios granulares

Los filtros de medios granulares, son constantemente utilizados para remover partículas suspendidas y sustancias químicas disueltas, por lo tanto Noyola Adalberto (2000) nos dice que consiste en “capas de arena, grava o antracita, para el paso lento del agua residual, para su debida adherencia de partículas a los granos de arena o a la grava, pudiendo absorber sustancias químicas disueltas”, ya que las propiedades de los materiales granulares adhieren y retienen contaminantes produciendo combinación de procesos físicos y químicos. Este proceso ayuda a la “reducción de carga orgánica notable y mejoramiento en la claridad” (OMS, 2018), sin embargo, no dan la eliminación completa de contaminantes, por lo tanto, se recomienda la combinación de otros métodos de tratamiento (Comision nacional del agua, 2015).

Filtro de membrana

Este tipo de tecnología es eficaz y semipermeable para la retención de “*partículas suspendidas, microorganismos, sustancias químicas*” y otros contaminantes presentes en el agua (Agency, 2013), la membrana tiene poros de tamaños definidos que permiten el paso del agua, pero en especial las más grandes, así como vivienda (2021) aclara que puede ser “*realizando microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración u osmosis inversa*”, lo cual se definirá dependiendo el tamaño de partículas que se quiere remover y la calidad que se desea el agua tratada.

Uno de los beneficios clave de los filtros de membrana es la capacidad de proporcionar una alta calidad de agua tratada, “*pudiendo eliminar partículas suspendidas, bacterias, virus, sustancias orgánicas y química, colorantes, metales pesados y compuestos tóxicos*” (Troconis, 2010). Por lo tanto, cuenta con etapas típicas como lo son:

- Pretratamiento
- Limpieza de la membrana

Filtro de cartucho

Es un filtro con materiales porosos, como son el papel, tela o fibra sintética; así mismo se da el proceso de “*retención física, atrapando particular suspendidas y los sedimentos*” (Tello et ál, 2016), se basa en el proceso de retención física dejando las partículas más grandes atrapadas,

evitando la mezcla con el agua tratada, así mismo el cartucho tendrá eficiencia cuando se da la elección correcta del tamaño de los poros para su determinada retención, también depende de la calidad del agua a tratar, sin embargo, David Aguilar (2021) aclara que no son eficaces para la eliminación de sólidos disueltos, así como nos lo describe vivienda (2021) que son los compuestos químicos y microorganismos.

Cuando se da uso de este sistema, se utilizan varios de estos cartuchos en serie, ubicándolos de mayor a menor (poros), adicionalmente, es importante saber que este sistema necesita de un mantenimiento regular para garantizar su eficiencia, por lo tanto, implica “*el cambio periódico de los cartuchos saturados y la limpieza adecuada*” del equipo para evitar la acumulación excesiva de partículas (Acura, 2022).

6.1.3.2. Casos de gran éxito. En lo general dentro del proceso de limpieza por filtración se debe complementar con otros métodos, por lo tanto, Pilar Tello (2016) y Gobierno Peruano (2009) nos presentan casos de proyectos exitosos con el uso de método de filtración demostrando éxito en Colombia.

Proyecto Aguas

Proyecto ubicado en la ciudad capitalina, liderado por la empresa de servicios públicos enfocada en la construcción y operación de la PTAR Salitre, trabaja con el método Aerobio y filtración, logrando mejorar de manera notable la calidad del agua que se vierte al río Bogotá.

PTAR Bello

Esta planta utiliza tecnología avanzada de lodos activados y procesos de aireación para el tratamiento de aguas residuales del municipio, reduciendo la carga contaminante, mejorando la calidad de agua tratada.

PTAR Cartagena

Planta ubicada en la ciudad de Cartagena usando el método aerobio eliminando la carga contaminante en las aguas negras, mejorando la calidad que se vierte al mar caribe, es considerada una de las más modernas y eficientes de América Latina.

6.1.4 *Métodos naturales y amigables con el ambiente*

En el mundo con la cantidad de contaminación, se deben generar ideas amigables con el medio ambiente, por lo tanto, se debe conocer las nuevas estrategias, pues se conoce que en muchos puntos, se dificulta hallar materiales de construcción, generando dificultad, de la misma manera para el tratamiento, transporte del agua, generación de proceso seminatural, por lo tanto, se presentan dos métodos que ayudan en el tratamiento biológico:

6.1.4.1. Filtros verdes. Es un método natural y efectivo para la depuración del agua residual y el control de erosión del suelo, este método *“utiliza plantas y suelos para filtrar y limpiar el agua residual a medida que fluye entre capas de suelo y material orgánico”* (Agency, 2013), pueden instalarse en zonas urbanas, zonas rurales, en orillas de ríos y en cualquier sitio en el que se requiera *“llevar el control de la erosión”* (Tello et ál, 2016).

Según Nuevo, (2022), este método trabaja en cuatro etapas:

- Sedimentación
- Filtración
- Adsorción y absorción
- Transformación

En la etapa de sedimentación lo que se logra es el asentamiento de material pesado, en la etapa de filtración, el objetivo es el paso de agua por medio de las capas de suelo que puede ser combinación de plantas, tierra, grava y arena, lo cual produce una actividad o proceso biológico que descompone los contaminantes presentes, de la misma manera pasa a la etapa de adsorción y absorción, donde Pilar Tello (2016) nos explica que se usan sales y químicos naturales como la zeolita, para la reducción y eliminación de contaminantes restantes y metales pesados. Por último, en la etapa de transformación, lo que se consigue se utilizan plantas y microorganismos para transformar los contaminantes restantes en nutrientes para las plantas.

Este tipo de sistemas tiene varias ventajas sobre otros métodos, pero así mismo, Agency (2013), declara que aun teniendo variedad de ventajas tambien se cuenta con desventajas notables en el momento de tomarlo como una opcion, asi lo podemos evidenciar en

Tabla 5.

Ventajas y desventajas del método de filtros verdes en la segunda etapa de tratamiento enfatizadas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo costo	alta demanda de área
Facilidad de mantenimiento	Susceptibilidad a los cambios climáticos.
Capacidad de integrarse	
Mejorar calidad de aire	
Reducción de temperatura	
Regulación del clima	

Nota. Elaborado con base a información de Agency, 2013

6.1.4.2. Limpieza ultra violeta (UV). Este tipo de sistema se usa exclusivamente para la desinfección y eliminación de microorganismos y contaminantes presentes en las aguas residuales, se inicia con el proceso de desinfección, usando lámparas especiales que emiten radiación ultravioleta en el rango germicida generalmente en ondas cortas(UV-C), con *“la capacidad de dañar el ADN de los microorganismos presentes en el agua, impidiendo su reproducción y causando la muerte”* (Díaz et al, 2012), desactivando a los mismos, también a virus, algas y bacterias.

La efectividad de este método en la inactivación de *“bacterias, virus y protozoos, es alta al punto de evitar diarrea, hepatitis y la giardiasis”* (Michael PhD, 2012), enfermedades destacadas por el consumo de agua mal tratada como se evidencia en la página 11 de este documento, adicionalmente se debe tener en cuenta cada parámetro de calidad ya que está directamente relacionado con la dosis de aplicación en UV-C y la efectividad de limpieza, la OMS (2018) añade *“pues están constantemente monitoreadas y en mantenimiento”*, esto incluye la limpieza de las lámparas, calibración de equipos, llegando a resultar como desventaja de este método lo explica así (Díaz et al, 2012),sin embargo Michael PhD (2012), aclara que la gran ventaja del uso ultravioleta, es que no se necesita del uso de químicos, lo cual favorece para no dejar residuos, olores o sabores extraños.

6.1.4.3. Humedales Artificiales

Este sistema de tratamiento para la limpieza de aguas residuales es la imitación de los procesos naturales para la depuración de aguas, considerando el método como efectivo y sostenible para el medio ambiente, teniendo el objetivo de reducir la carga de contaminantes como contaminantes orgánicos, nitrógeno, fosforo, uno que otro contaminante inorgánico, dejando claro que no se hace uso de productos químicos para mejoramiento de calidad y protección del sistema ambiental, gestionándolo en dos tipos de humedales:

Humedales de flujo subsuperficial

La depuración consiste en el flujo del agua debajo de la superficial del suelo, distribuyendo en el lecho de grava o arena, produciendo procesos biológicos y físico-químicos, por la retención tardía generando mayor contacto con los microorganismos y degradación. Así mismo, por las especies elegidas con cautela y su función de limpieza se proporciona oxígeno y nutrientes, favoreciendo la actividad biológica y eliminación de contaminantes.

Humedales de flujo superficial

Del mismo modo como el tipo de humedal anterior, se usan especies de plantas equipadas para la depuración de aguas residuales, y especialmente debe ser un lecho acuático, produciendo filtración, absorción y reducción de carga contaminante.

6.2. Parámetros de medida de calidad del agua

6.2.1 Demanda Bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es un parámetro importante de la cantidad de materia orgánica presente en aguas residuales y de la cantidad de microorganismos para degradar. Se refiere a la porción de oxígeno necesaria para que los microorganismos aeróbicos puedan degradar sustancias orgánicas presentes en un litro de agua residual, durante un periodo de tiempo, en lo general en 5 días a una temperatura de 20 °C. El DBO se usa para evaluar la eficacia de los sistemas en la remoción de materia orgánica.

Al tener un alto nivel de DBO, indica que las aguas residuales no han sido lo suficientemente tratadas generando así un efecto adverso en el medio ambiente, dejando en claro que la DBO, no es aquel parámetro que mide el total de materia orgánica presente en el agua residual, sino solo la cantidad que puede ser degradada, por lo tanto, es una muestra clara que la DBO, no es un método de limpieza, si no un indicador.

6.2.2 Eutrofización

Este proceso natural que se produce en los cuerpos de agua cuando se acumulan nutrientes, como ejemplo el fosforo y nitrógeno, se da el crecimiento de plantas y otros organismos (Lozano, 2016), sin embargo, la revista Plaza (2023), argumenta que cuando estos son demasiado altos se da el crecimiento excesivo de algas y de organismos, desequilibrando de manera ecológica y de calidad de agua, dejándola en una posición nada favorable.

Los desechos orgánicos, los fertilizantes, los detergentes y entre otros, son fuentes de estos nutrientes, cuando estas son vertidas al agua, desencadenan reacciones químicas y biológicas que cambian las condiciones del agua, como puede ser la temperatura y el PH.

La eutrofización puede tener graves consecuencias para la vida que depende del agua; el crecimiento masivo de algas y otras especies puede reducir la cantidad de oxígeno en el agua, causando así la muerte de los peces y otras criaturas. Adicionalmente la proliferación de los microorganismos puede crear una capa densa que impide la entrada de luz, lo que resulta en la muerte de las plantas acuáticas y el desequilibrio ecológico (Miranda Rosales y García Miranda, 2018).

La prevención de esta causa, implica en la eliminación de los nutrientes, antes de que entren en el cuerpo de agua, esto se puede lograr atreves de la implementación de sistemas de tratamiento adecuados, que puede reducir los niveles de nutrientes en el agua tratada antes de que sea degradada en los ríos o en el mar. Además de la instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados, tomando las medidas necesarias para que la producción de estos nutrientes se limite para evitar que contribuyan en la eutrofización.

6.2.3 PH

La acidez o alcalinidad de una sustancia se estudia con el pH, dentro de las aguas residuales domésticas este valor puede cambiar a razón de factores químicos utilizados en los hogares, la presencia de compuestos orgánicos y la actividad bacteriana.

Según Agency, (2013), *“se considera un pH neutro cuando se obtiene un valor de 7, valores menores indican acidez y del mismo modo cuando son valores mayores son sustancias con alcalinidad”*, este se mide de 0 a 14. Las aguas residuales domésticas varían entre 6 y 8 haciéndolas ligeramente ácidas o ligeramente alcalinas, en caso de que sean extremadamente ácidas o alcalinas puede inhibir la actividad de los microorganismos que descomponen los contaminantes presentes, lo que, para Pilar Tello, (2016) sería ineficiente en el tratamiento *“afectando directamente al medio ambiente”* en el momento de liberarlas.

Además, también puede influir en la solubilidad de ciertos compuestos y la formación de precipitados, en el caso de un PH elevado puede favorecer la formación de *“depósitos de carbonato de calcio, obstruyendo las tuberías y equipos”* de tratamiento (Cárdenas & Sánchez, 2013). Así mismo, es importante tenerle control y ajustar el pH durante el tratamiento, adicionando químicos, como el ácido clorhídrico para reducir el pH y el hidróxido de sodio para aumentarlo.

6.2.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

Este parámetro valoriza la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por químicos disueltos o en suspensión de una proporción líquida, por lo tanto, esta *“para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l).”* (Nardo & Nardo, 2000)

Puede verse afectada por la presencia de materias inorgánicas capaces de ser oxidadas, como sulfuros, sulfitos o yoduros, esta práctica se hace preferiblemente en recipientes de vidrio, ya que podría ser contaminado con materiales de recipientes plásticos.

Es importante analizar la muestra rápidamente después de su recolección, para los profesionales encargados de la página Induanálisis, (2019) asegurándose de que *“la muestra sea representativa y este homogenizada es necesario, adicionalmente, antes de ser analizada el agua”*

es tamizada y decantada en un cono especial durante 2 horas para eliminar los sólidos en suspensión”.

Este parámetro se suele confundir con el DBO, que quiere decir demanda biológica de oxígeno, y este mide la cantidad de oxígeno suministrado por los microorganismos durante la degradación biológica de la materia orgánica, cabe resaltar que estos dos parámetros si están relacionados ya que *“la DQO suele ser mayor a la DBO”*, porque también mide la oxidación de sustancias no biodegradables (Hassamu & Nishi ku, 2015).

6.2.5 Grasas y aceites (FOGs)

Las grasas y aceites (FOGs) en aguas residuales domésticas son contaminantes que se generan principalmente por la cocina y el lavado de platos y utensilios en los hogares, cuando se vierten grasas y aceites por el desagüe, tienden a solidificarse y acumularse en las tuberías, causando obstrucciones y bloqueos. Esto puede provocar problemas de flujo y funcionamiento en el sistema de alcantarillado, lo que a su vez puede resultar en desbordamientos de aguas residuales.

Además, las grasas y aceites también pueden afectar negativamente el proceso de tratamiento en las plantas. Pintor Linamaria, (2016) evidencia de que los contaminantes pueden *“formar una capa flotante en la superficie de los tanques de sedimentación, dificultando la eliminación de otros contaminantes y reduciendo la eficiencia del tratamiento”*, es importante destacar que las grasas y aceites en las aguas residuales domésticas no son fácilmente biodegradables. Esto significa que no se descomponen rápidamente de forma natural en el medio ambiente. Por lo tanto, es fundamental tomar medidas para prevenir su liberación y minimizar su impacto en el sistema de alcantarillado y las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Algunas medidas que se pueden tomar son:

- Evitar verter grasas y aceites por el desagüe. En su lugar, se pueden recoger en recipientes y desecharlos adecuadamente, como en la basura.
- Limpiar los platos y utensilios antes de lavarlos para eliminar la mayor cantidad de grasa y aceite posible.
- Utilizar trampas de grasa en los sistemas de alcantarillado doméstico. Estas trampas capturan las grasas y aceites antes de que ingresen al sistema de alcantarillado, evitando obstrucciones y acumulaciones.

- Promover la conciencia y educación sobre la importancia de no verter grasas y aceites por el desagüe, tanto en los hogares como en la comunidad en general.

Al tomar estas medidas, “se puede reducir la presencia de grasas y aceites en las aguas residuales domésticas, contribuyendo a un sistema de alcantarillado más eficiente y a un mejor funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales” (Universidad, 2023).

6.2.6 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales (SST) en aguas residuales se refieren a las partículas sólidas que se encuentran en suspensión en el agua residual. Estos sólidos pueden incluir materia orgánica, sedimentos, partículas de alimentos, productos químicos, entre otros.

Los SST son un parámetro importante para evaluar la calidad del agua residual, ya que su presencia en altas concentraciones puede indicar la presencia de contaminantes y la falta de eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

La medición de los SST se realiza mediante la filtración de una muestra de agua residual a través de un filtro con un tamaño de poro específico, generalmente 0.45 micras. Después de la filtración, los sólidos retenidos en el filtro se secan y se pesan para determinar su concentración.

El control de los SST en las aguas residuales es importante para prevenir obstrucciones en las tuberías y sistemas de alcantarillado, así como para asegurar un tratamiento adecuado en las plantas de tratamiento de aguas residuales. La implementación de procesos de tratamiento adecuados, como la sedimentación y la filtración, puede ayudar a reducir los niveles de SST en las aguas residuales.

Es importante destacar que los SST no deben confundirse con los sólidos disueltos totales (SDT), que son las sustancias que están disueltas en el agua en forma molecular o iónica y no se pueden separar por filtración. Los SDT se miden mediante otros métodos, como la evaporación y la medición de la conductividad eléctrica.

6.2.7 Sólidos suspendidos fijos (SSF)

Son una fracción de los sólidos totales en el agua residual que se disuelve ni se volatiliza durante un proceso de calcinación. Estos son aquellos que permanecen en el agua después de

someterla a una temperatura de calcinación de 550 °C, durante un periodo de tiempo determinado (Chauchina, s.f.), por lo mismo se debe hacer análisis completa de los componentes de aguas residuales, para la información de la cantidad de solidos no volátiles presentes en el agua, estos pueden contener partículas inorgánicas como arena, arcilla, óxidos metálicos, entre otros.

Así mismo, Chauchina granada indica que para la medición se realiza por extracción y filtración de una muestra, al ser calcinada se somete al proceso de calcinación generalmente a una temperatura específica, después se pesan y se determinan su concentración en relación con el volumen de agua residual analizada, en el caso de altos contenidos contaminantes inorgánicos en el agua, lo que puede dar a la obstrucción de tuberías y sistemas de alcantarillado, pudiendo garantizar un tratamiento adecuado en las plantas de tratamiento, en el caso de analizar correctamente.

6.2.8 Nitrógeno y fosforo total

Parámetros importantes que se analizan para *“la calidad del agua y el impacto ambiental”*, cada uno de ellos se refieren a la concentración total de compuestos de nitrógeno, incluyendo nitritos, amonio y compuestos orgánicos de nitrógeno (Estados Unidos Mexicanos, 2013). Se ha mencionado con claridad que el nitrógeno es un compuesto esencial para el crecimiento de plantas y organismos acuáticos, sin embargo, al tener altos contenidos del compuesto puede causar problemas ambientales como la eutrofización y disminución del oxígeno disponible para otros organismos acuáticos.

Del mismo modo, (Teixeira et ál, 2013) *“el fosforo total es necesario para el crecimiento de plantas y otros organismos, pero al igual que el nitrógeno, al tener altos contenidos de fosforo puede causar eutrofización y afectar negativamente la calidad del agua”*. El estudio de estos parámetros según Soya Mauricio, (1998) es regulado *“por normativas y regulaciones ambientales para controlar la calidad del agua y garantizar en tratamiento”* adecuado de las aguas residuales.

6.2.9 Metales pesados

Los metales pesados son conocidos como elementos químicos que tienen una densidad mayor a 5 g/cm³ según OMS, (2023), pueden estar presentes como contaminantes debido a diversas actividades cotidianas, como la industria, la agricultura y el uso de productos químicos en el hogar.

Los metales pesados más comunes encontrados en las aguas residuales domésticas incluyen el plomo, el mercurio, el cadmio, el cromo, el níquel y el cobre. Estos metales pueden provenir de diferentes fuentes, como *“las tuberías de plomo en las viviendas antiguas, los productos de limpieza y cosméticos que contienen metales pesados, los desechos industriales y los fertilizantes agrícolas”* (Gobierno de España, 2013). La presencia de metales pesados en las aguas residuales domésticas puede ser preocupante debido a sus propiedades tóxicas y su capacidad de acumularse en los organismos vivos a lo largo del tiempo. Estos metales pueden causar daños en el sistema nervioso, los riñones, el hígado y otros órganos, así como también tener efectos adversos en el medio ambiente acuático.

Para tratarlas, se utilizan diferentes métodos de tratamiento. Algunas opciones incluyen la coagulación y floculación, que ayudan a eliminar los metales pesados mediante la formación de partículas más grandes que pueden ser separadas del agua. También se utilizan procesos de adsorción, intercambio iónico y precipitación química para remover estos contaminantes del agua.

“Es importante destacar que el tratamiento de los metales pesados en las aguas residuales domésticas es crucial para proteger la salud humana y el medio ambiente. Además, es fundamental promover prácticas de reducción y reciclaje de metales pesados en la industria y en los hogares, así como también hacer un uso responsable de productos químicos que contienen estos metales para minimizar su liberación al agua residual.” (OMS, 2023).

6.2.10 Microbiológicos

Coliformes fecales

Este tipo de bacterias son comunes en seres de sangre caliente, como los humanos. *“Este grupo de bacterias son indicadores para evaluar la calidad del agua y la presencia de contaminación fecal en aguas, ya que pueden identificar organismos patógenos causantes de enfermedades”* (Swistock et ál, 2023), para su respectivo análisis se hacen pruebas de laboratorio para conocer el crecimiento de cultivos específicos.

Cuando las aguas residuales domésticas se descargan sin un tratamiento adecuado, según Diaz, (2003) *“los coliformes fecales pueden llegar a cuerpos de agua como ríos, lagos y acuíferos,*

y representar un riesgo para la humanidad y el ecosistema”. Por lo tanto, es fundamental tratar adecuadamente las aguas residuales domésticas antes de su liberación para reducir la carga de coliformes fecales y otros contaminantes.

“Para el tratamiento de aguas residuales domésticas se usa el cloro, filtración y sedimentación, reduciéndolos niveles de coliformes y garantizando la seguridad del agua. Es importante fomentar y motivar al buen manejo de aguas residuales en los hogares, usando los sistemas de tubería de manera adecuada incluyendo el mantenimiento.” (Microlab industrial, 2017).

E-coli

La *Escherichia coli* (*E. coli*) según ” (Swistock et ál, 2023) es una bacteria que se encuentra comúnmente en los intestinos de los animales de sangre caliente, la presencia de *E. coli* en las aguas residuales domésticas puede indicar la contaminación por desechos humanos o animales, cuando las aguas residuales domésticas no se tratan adecuadamente, la *E. coli* puede llegar a cuerpos de agua como ríos, lagos y acuíferos, representando “*un riesgo para la salud humana y el medio ambiente presentando una poderosa toxina, provocando enfermedades gastrointestinales*” graves (Conagua, 2013).

Por lo tanto, es fundamental tratar adecuadamente las aguas residuales antes de su liberación para reducir la carga de *E. coli* y otros contaminantes, para (Cisneros et ál, 2018) los métodos de tratamiento de las aguas residuales, como la “*desinfección con cloro, la filtración y la sedimentación, pueden contribuir a reducir los niveles de E. coli*” y garantizar la seguridad del agua. Además, es importante promover prácticas adecuadas de manejo de aguas residuales en los hogares, como el uso de sistemas de alcantarillado adecuados y el mantenimiento regular de los sistemas sépticos, para prevenir la contaminación fecal y la propagación de *E. coli*.

6.3. Análisis de eficiencia en los métodos de limpieza de la segunda etapa de tratamiento

6.3.1 Ciclo del agua

Dentro del contexto del saneamiento ambiental, el ciclo del agua y los sólidos disueltos presentes en este ciclo, influyen directamente en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos (Márquez, 2020). La comprensión detallada de estos procesos es esencial para diseñar sistemas de

saneamiento que se integren de manera armoniosa en el entorno natural, como lo es el ecosistema y la humanidad.

Los sólidos disueltos juegan un papel significativo en el ciclo del agua residual, durante la fase de infiltración y percolación en el suelo, los sólidos disueltos pueden interactuar con las capas geológicas y afectar la calidad del agua subterránea. La presencia de estos sólidos en las fuentes de agua puede influir en la formación de depósitos minerales y afectar la movilidad de ciertos contaminantes. Comprender cómo los sólidos disueltos participan en el ciclo del agua servida es esencial para anticipar y abordar los desafíos asociados con su presencia en los sistemas de saneamiento.

6.3.2 *Impacto ambiental*

Los sólidos disueltos pueden tener un efecto adverso la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos de diversas maneras. Estos pueden contribuir a la eutrofización, lo que resulta en la disminución del oxígeno libre para otras formas de vida. Además, algunos sólidos disueltos pueden contener sustancias tóxicas que representan una amenaza para la fauna y flora acuáticas, impactando la biodiversidad y la salud de los ecosistemas acuáticos, terrestres y aéreos.

Sin embargo, en la aplicación de los métodos de limpieza, se analizan las disminuciones de sustancias tóxicas, indicando una eficacia considerable en la eliminación de contaminantes. Así mismo, los cambios en la caracterización del agua servida cambian, generando subproductos que pueden tener implicaciones para la salud de los ecosistemas acuáticos, y su presencia destaca la importancia de un monitoreo continuo para comprender completamente el alcance del impacto ambiental.

6.3.3 *Tratamiento de sólidos disueltos*

El tratamiento de sólidos disueltos constituye un desafío significativo en el ámbito del saneamiento ambiental. La efectiva eliminación de estos sólidos implica la aplicación de diversas tecnologías y procesos diseñados para adaptarse a la complejidad de la composición presente en el agua residual. Entre estas tecnologías se incluyen métodos como la coagulación, floculación,

adsorción, precipitación y filtración, que pueden emplearse de manera individual o combinada (IDEAM, 2021), dejando como evidencia la mayor efectividad, de la combinación de los mismos.

La superación de desafíos implica la búsqueda constante de soluciones innovadoras y la mejora continua de las tecnologías existentes (Méndez et ál, 2021). La capacidad de las tecnologías para manejar diferentes tipos de sólidos disueltos y su eficiencia bajo diversas condiciones críticas. Este enfoque dinámico y adaptable es esencial para desarrollar estrategias de tratamiento de sólidos disueltos que sean efectivas y sostenibles a largo plazo.

6.3.4 Avances tecnológicos

En el ámbito del tratamiento de sólidos disueltos, las innovaciones y avances tecnológicos juegan un papel crucial para renovar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos. La investigación continua y los desarrollos recientes han proporcionado nuevas perspectivas y soluciones para abordar los retos asociados con la eliminación de sólidos disueltos (UNAL, 2023).

En términos de investigaciones recientes, la exploración de nuevas tecnologías de tratamiento ha sido un área de enfoque destacada. La aplicación de métodos basados en inteligencia artificial para el monitoreo y control de procesos, ha generado avance, permitiendo una gestión más precisa y eficiente de los sistemas de tratamiento de agua. Así mismo, la nanotecnología ha emergido como una herramienta prometedora para la eliminación selectiva de sólidos disueltos, brindando mayores posibilidades de personalización y eficacia en comparación con métodos convencionales (Vega, 2022).

6.3.5 Análisis General

El análisis de la eficacia de las tecnologías y procesos aplicados en el tratamiento de sólidos disueltos es esencial para comprender el impacto de dichas estrategias en el sistema de tratamiento de aguas residuales. se implementan diversos tipos de métodos con el uso de tecnologías, como coagulación, floculación, adsorción y filtración, de hecho, con la mezcla de estos, con el objetivo de lograr una eliminación eficiente de los sólidos disueltos presentes.

Sin embargo, durante el análisis de los resultados, se identifica variabilidad en la eficiencia de eliminación en diferentes condiciones operativas atribuyéndose a factores como la composición

inicial del agua, las fluctuaciones en las condiciones ambientales y las características específicas de los sólidos disueltos presentes.

De forma crítica, la realización de métodos alternativos, que pueden llegar a verse “eficaces”, la posibilidad de crear la **Tabla 6**. métodos vs parámetros de evaluación, fue la opción viable, a una visión abierta para lograr el objetivo del trabajo.

La discusión de estas variables resalta la importancia de la complejidad inherente a la diversidad de fuentes de agua y sus características únicas, por lo tanto, cada parámetro semejante y de vital importancia que tenga el método se evalúa como una licitación en vida real; 0 (Malo), 50 (Regular) y 100 (Bueno). Con el mismo enfoque, se reconocerá cada método y se evidenciará que ninguno es excelente, se denominará malo, aquel parámetro que necesite más esfuerzo o incluso que no cuente con ese proceso; el regular, aquel que siempre dependa de las condiciones de calidad y cantidad del agua: y el bueno, aquel que no necesite de tanto esfuerzo para dejar el mejor resultado posible.

Tabla 6

Tabla de valoración de métodos de tratamiento de aguas residuales

	METODO	METODO ANAEROBIO			METODO AEROBIO			LAGUNAS AIREADAS		
	PUNTUACION	0	50	100	0	50	100	0	50	100
PARAMETROS DE EVALUACION	ESTABILIDAD	0			0					100
	NECESIDAD DE NUTRIENTES	0					100		50	
	EFLUENTES DE CALIDAD		50				100			100
	COSTOS		50		0			0		
	POST TRATAMIENTO		50				100	0		
	TEMPERATURA		50			50			50	
	CREACION DE BACTERIAS			100		50			50	
	TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA			100		50		0		
	OLORES			100		50				100
	COLOR		50			50			50	
	REMOCION DE DBO		50			50			50	
	CAMBIOS CLIMATICOS	0					100		50	
	PRODUCCION DE LODOS		50		0				50	
	CANT. CONTAMINANTES ORGANICOS			100			100			100
	MANTENIMIENTO			100			100		50	
	CANT. PARTICULAS SUSPENDIDAS	0					100			100
	CANT. PATOGENOS		50				100			100

ENERGIA			100	0					100
SOLICITUD DE VOLUMEN		50		0			0		
SINTESIS CELULAR	0			0					100
USO DE EQUIPAMIENTOS			100			100	0		
AREA			100			100	0		
CANT. DE COMPUESTOS QUIMICOS			100			100		50	
INTEGRACION	0					100		50	
CALIDAD DE AIRE		50			50				100
LIMITACION POR OXIGENO			100			100		50	
CREACION DE METANO		50		0					100
TOTAL	0	550	1000	0	350	1300	0	550	1000
PUNTUACION FINAL		1550			1650			1550	

Tabla 7

	METODO	FILTRACION			FILTROS VERDES		
		0	50	100	0	50	100
PARAMETROS DE EVALUACION	ESTABILIDAD	0					100
	NECESIDAD DE NUTRIENTES			100			100
	EFLUENTES DE CALIDAD		50				100
	COSTOS	0					100
	POST TRATAMIENTO	0			0		
	TEMPERATURA		50			50	
	CREACION DE BACTERIAS	0					100
	TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA			100		50	
	OLORES		50			50	
	COLOR			100		50	
	REMOCION DE DBO		50				100
	CAMBIOS CLIMATICOS	0			0		
	PRODUCCION DE LODOS		50			50	
	CANT. CONTAMINANTES ORGANICOS			100	0		
	MANTENIMIENTO	0			0		
	CANT. PARTICULAS SUSPENDIDAS			100			100
	CANT. PATOGENOS			100	0		
	ENERGIA		50				100
	SOLICITUD DE VOLUMEN			100			100
	SINTESIS CELULAR			100	0		
	USO DE EQUIPAMIENTOS	0					100
	AREA	0			0		
	CANT. DE COMPUESTOS QUIMICOS	0			0		
	INTEGRACION			100			100

	CALIDAD DE AIRE	0					100
	LIMITACION POR OXIGENO	0					100
	CREACION DE METANO	0					100
	TOTAL	0	300	900	0	250	1300
	PUNTUACION FINAL	1200			1550		

Se realizó valoración de cada parámetro según su manejo en cada método, con el fin de que el método que obtuviera mayor puntaje se reconociera como el más viable a nivel general, como se puede ver, el método aerobio consigna 1650 puntos a diferencia de los demás métodos evaluados, obteniendo 1550 y 1200 puntos, reconociendo que la puntuación puede variar dependiendo de actuales y futuros estudios de plantas de tratamiento, ya que todo varia, de acuerdo a altimetría, clima, área de construcción, mantenimiento, etc.

Conclusiones

Se exploró desde el punto bibliográfico, los sólidos disueltos en sistemas de saneamiento desde una perspectiva predominantemente investigativa. Aunque no ha sido directamente práctico, los resultados y análisis proporcionados ofrecen una base sólida para comprender la complejidad de este fenómeno y sus implicaciones en el ámbito del tratamiento de aguas.

La evaluación de diversas tecnologías y procesos de tratamiento ha revelado una eficacia destacada en la eliminación de sólidos disueltos. La comprensión de la variabilidad en la eficiencia y la adaptabilidad de estas estrategias proporciona conocimientos esenciales para futuras implementaciones prácticas. La mejora en la calidad del agua tratada y la revitalización de los ecosistemas acuáticos resaltan la relevancia y la positiva dirección que podrían tomar futuras aplicaciones prácticas.

La identificación de desafíos y limitaciones proporciona valiosas lecciones sobre la complejidad inherente de los sólidos disueltos en diferentes contextos, estos desafíos se convierten en puntos de partida para futuras investigaciones prácticas y ajustes en estrategias de tratamiento.

El enfoque investigativo destaca áreas específicas que requieren más atención y estudio, sugiriendo para investigaciones futuras, la adaptabilidad de las estrategias a condiciones ambientales variables, el desarrollo de técnicas analíticas más precisas y la exploración de tecnologías emergentes.

Se abarca de manera clara la terminología en base a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, trabajando desde el enfoque: sólidos disueltos, esto más conocido como tratamiento secundario o tratamiento biológico, puesto que se busca minimizar los materiales contaminantes en tamaños pequeños o en lo posible, microscópicos, por lo tanto, se analiza la eficiencia de los métodos que se presentan y se concluye que el método aerobio ayuda a reducir la mayor cantidad de microorganismos contaminantes, pues se analiza que todos sus métodos tienen ventajas y desventajas semejantes, sin embargo, por su alto rendimiento al no necesitar obligatoriamente un post tratamiento, al no tener afectaciones grandes a los cambios climáticos, a comparación de otros métodos, y entre otros parámetros, este presenta una diferencia de puntaje en un rango de 100-450 puntos, según el análisis por autoría en la **Tabla 6**.

Referencias bibliográficas

- Acuatecnica. (17, septiembre de 2017). *¿Cuántas plantas de tratamiento de aguas residuales hay en colombia?:* acuatecnica.com <https://acuatecnica.com/Cuantas-Plantas-Tratamiento-Aguas-Residuales-Colombia/>
- Acura, G. (25, enero de 2022) *lodos activados: qué son y en qué consiste este proceso:* grupoacura.com <https://grupoacura.com/es/blog/lodos-activados/>
- Aldariz, I. F. (24 De 10 De 2022). *La eutrofización: qué es, causas, consecuencias y soluciones.* greenteach.es <https://www.greenteach.es/Eutrofizacion/>
- Agency Enviromental. Protection (EPA). (2013). *Introduccion a la ley de agua limpia* cfpub.epa.gov.
https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Aqua_Limpia.pdf
- Aguilar, D., Ruballos, R., Caballero, V., & Lopez, R. (21 De 04 De 2021). *Plantas de tratamiento de aguas residuales.* Aguilar Solid Waste And Water Engineering.
<https://aguilar.engineering/Plantas-De-Tratamiento-De-Aguas-Residuales/>
- Arias I., C. A., & Brix, H. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.* Ciencia E Ingeniería Neogranadina. (13). 17-24.
<https://www.redalyc.org/pdf/911/91101302.pdf>
- Alvarez, A., & Garcia, D. R. (2008). *Reactores de lecho fluidizado.* rua.ua.es.
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/15296/6/Tema6_rlf_RUA.pdf
- Barrena Gómez, R. (2006). *Compostaje de residuos solidos organicos.* Barrena, r. (2006). *Compostaje de residuos solidos organicos.* Barcelona: departament d` enginyeria. *Seguimiento del proceso.* [Tesis doctoral, Univrsitat Autònoma de Barcelona]. Repositorio Institucional. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>.
- Barreto Caldas, E. (2020). *Vertimiento de aguas residuales y su influencia en la contaminación del río Huallaga – Huánuco 2019.* [Tesis de Maestría , Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Insticional.
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6451>

- Bluegold. (25 De 09 De 2020). *El papel de las bacterias dentro del tratamiento biologico de aguas residuales*. bluegold.es <https://www.bluegold.es/es/el-papel-de-las-bacterias-dentro-del-tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>
- Caceres, P. (2022). *Filtros verdes: la naturaleza se cura a sí misma* En. Agua y sostenibilidad, 1.
- Campos, J; Cofré C; Valenzuela, D; Pavissich, J; Pedroudo, A; Carrera, P; Val del Rio, A. Mosquera, A. (2019). *Método de tratamiento de aguas residuales con materia orgánica en flujo continuo con biomasa granular aerobia*. Oficina Internacional. <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2019173930>
- Cardenas, G. & Sanchez, I. (2013). *Aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. Universidad y Salud. 15(1). 72-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf>.
- Carolina, R. G. (2014). *Deteerminacion de las condiciones de operacion necesarias para la obtencion de lecho fluidizado en un reactor pirolitico mediante experimentacion en un modelo enfrio transparente*. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio. <http://hdl.handle.net/1992/16991>
- Fabregas, J. (2021). *Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtidos*. sigmadafclarifiers.com. <https://sigmadafclarifiers.com/tratamiento-de-aguas-de-curtiembres/>
- Chauchina, G. (S.F.). *Gedar, gestion de aguas y residuos*: gedar.es. <https://www.gedar.es/clasificacion-de-los-solidos-del-agua-residual/>
- Chiva Vicent, S., Berlanga Clavijo, J. G., Martinez Cuenca, R., & Climent Agustina, J. (2018). *Depuracion de aguas residuales: digestion anaerobia*. Publicacions de la Universitat Jaume I. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva_2018_Depuracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cisneros, O; Guzmán, L. & Marka, L. (2018). *Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/429934/guia_reuso_aguas_residuales.pdf

- Claras, A. (2023). *Reactor uasb sepa que es y como funciona*. aguasclarasengenharia.com.br. <https://aguasclarasengenharia.com.br/reactor-uasb-sepa-que-es-y-como-funciona/>
- Conagua. (2015). *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- Conagua. (2013). *Normas Oficiales Mexicanas*. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de Mexico. <https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>
- Contreebute. (2019). *¿Cuáles Son Los Factores Que Más Están Alterando La Naturaleza?:* contreebute.com. <https://www.contreebute.com/Blog/Cuales-Son-Los-Factores-Que-Mas-Estan-Alterando-La-Naturaleza>
- CBR Ingeniería (2021). *Tratamientos de aguas. Tratamiento de aguas residuales con lodos activos:* [Blog]. CBR-Ingenieria. <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/tratamiento-de-aguas-residuales-con-lodos-activados>
- Delgado, I. (2023). *Los procesos básicos del tratamiento de las aguas residuales:* aerzen.com. <https://www.aerzen.com/es/aplicaciones/agua-y-tratamiento-de-aguas-residuales/asesoramiento-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/procesos-del-tratamiento-de-las-aguas-residuales.html>
- Díaz Cuenca, E; Alavarado Granados, A. & Camacho Calzada, K. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: El Caso. Quivera*. 14(1) 1-21. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Díaz, D. (2003). *Indicadores de contaminación fecal En Aguas*. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
- Donev, J. (2017). *Enriquecimiento del uranio*. Enciclopedia de energia. https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Enriquecimiento_del_uranio
- Draw. (2022). *¿Vas a comprar una fosa septica con filtro biologico? Lee esto antes*. Revista Ven America. https://revistavenamerica.com/vas-a-comprar-una-fosa-septica-con-filtro-biologico-lee-esto-antes/#google_vignette

- Ecologistas En Accion. (2006). Causas de la contaminación del aire: [ecologistasenaccion.org. https://www.ecologistasenaccion.org/5681/causas-de-la-contaminacion-del-aire/#:~:text=fr-las%20principales%20causas%20de%20la%20contaminaci%3b%20del%20aire%20est%3a1n%20relacionadas,del%20transporte%20por%20carretera%2c%20principalmente.](https://www.ecologistasenaccion.org/5681/causas-de-la-contaminacion-del-aire/#:~:text=fr-las%20principales%20causas%20de%20la%20contaminaci%3b%20del%20aire%20est%3a1n%20relacionadas,del%20transporte%20por%20carretera%2c%20principalmente.)
- Estados Unidos Mexicanos. (2013). Analisis de aguas-determinacion de fosforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Secretaria de economia DGM. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166773/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2003). *Tecnologia de control de contaminantes del aire*. epa.gov. <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/fsetlngs.pdf>
- Fernandez, A.;Garcia, P.; Garcia, R.; Valiño, M.;Fernandez, S.;Garcia, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. [madrimasd.org/. https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf](https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
- Fong, W., Colpas, F., & Severiche, A. (2015). *Evaluacion de la precisión y exactitud para la determinación gravimetrica de solidos disueltos totales* En. Aguas. [madrimasd.org/. https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf](https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
- Genesis Water Technologies. (2019). *Pros y contras de los metodos de tratamiento de aguas residuales: coagulacion y desinfeccion:* [es.genesiswatertech.com. https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/pros-y-contras-de-los-m%3a9todos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-desinfecci%3b%20de-la-coagulaci%3b%20](https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/pros-y-contras-de-los-m%3a9todos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-desinfecci%3b%20de-la-coagulaci%3b%20)
- Goavia, S., Jean, I., Luthi, C., & Kraemer, P. (2014). *Compendio de sistemas y tecnologias de saneamiento para la region del gran caribe*. BID, ONU, GEF, GIZ y OEA. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2022-es-compendium-of-sanitation.pdf>
- Gobierno De España. (2013). De lodos de depuración de aguas residuales: [.miteco.gob.es . https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/lodos-depuradora.html](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/lodos-depuradora.html)

- Gobierno Peruano. (2009). *Tratamiento y reúso de las aguas residuales*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento., Grupo Banco Mundial. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/\\$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf)
- Gomez, R. A. (2019). *Plan de mejoramiento con seguimiento a los filtros de lavado y capacitacion a operarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria marcel-france*. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25936/GomezCaceresRicardoAlfonso2019.%20PDF..pdf?sequence=1>
- Graf. (2019). *Funcionamiento filtro onezero, tratamiento de aguas residuales con filtro biologico*: graf.info. https://www.graf.info/fileadmin/media/catalogo_depuradoras_espana_y_portugal.pdf
- Hassamu; Nishi Ku. (2015). *DBO y DQO Para Caracterizar Aguas Residuales*: nihonkasetu.com. <https://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>
- Gonzalez, J. (2018). *Evaluacion de la planata de tratamientos de aguas residuales del centro de rehabilitación e inclusion social de Veracruz (crisver)*, [Trabajo de grado, Universidad Veracruz]. Repositorio. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/52887/GonzalezHernandezJose%20%281%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & Von Muench, E. (2011). *Technology review of constructed wetlands subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment*. GIZ, Federal ministry for Economic Cooperation and Development. https://www.susana.org/_resources/documents/default/2-930-giz2011-en-technology-review-constructed-wetlands.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). *Sólidos suspendidos totales en agua secados A 103 – 105 °c*. Ideam. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/s%c3%b3lidos+suspendidos+totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- Induanalisis. Laboratorios Ambientales- (2019). *DBO y DQO*: induanalisis.com. https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31

- Laverde, O. (2023). Para 2030 *La innovación científica y tecnológica en colombia aumentaría en un 20 %*. Periódico UNAL. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/para-2030-la-innovacion-cientifica-y-tecnologica-en-colombia-aumentaria-en-un-20->
- Lopez, A.; Soto, M. & Chavez, M. (2020). *Tratamiento de un agua residual industrial a temperatura psicrófila con un reactor UASB*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 35(4). 905-915. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n4/0188-4999-rica-35-04-905.pdf>
- Lopez, C.; Buitron, G.; Garcia, F. & Cervantes, F. (2017). Factores mundiales para el saneamiento. Tratamiento biológico de aguas principios, modelación y diseño. [Trabajo de Grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano]. Repositorio. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/18136?show=full>
- Lopez, J., Ramirez, B., Gomes, C., & Morgan, J. (2017). *Guia tecnica para el manejo y aprovechamiento de biogas En. Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Internationale Zusammenarbeit GIZ GMBH. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/265430/Guia_lodos_2017.pdf
- Luna, M. (2014). Estudio del tratamiento de aireación prolongada para aguas residuales utilizando como matriz agua de mar. [Trabajo de grado, Universidad Cideteq]. Repositorio. https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/216/1/Estudio%20de%20tratamiento%20de%20aireaci%C3%B3n%20prolongada%20para%20aguas%20residuales%20utilizando%20como%20matriz%20agua%20de%20mar_rees.pdf
- Márquez, C. & Bach, J. (2020). *Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua..* Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 15(3) 280-286 https://www.researchgate.net/publication/28253350_Una_propuesta_de_analisis_de_las_representaciones_de_los_alumnos_sobre_el_ciclo_del_agua
- Marquez, M., & Martinez, S. (2011). Reactores anaerobios de flujo ascendente. (RAFA's o UASB) Antología. Centro Tecnológico. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/M%C3%81RQUEZ%20y%20MART%C3%8DNEZ%202011%20Reactores%20Anaerobios.pdf
- Méndez, E., & Arias, D. (2021). *Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros*. Tecnología y Ciencias del Agua 5(3) 115-123. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n3/v5n3a8.pdf>

- Michael Phd, J. M. (2012). *Guidelines for safe work practices in human and animal medical diagnostic laboratories*. Centers For Disease Control And Prevention, 61 3-53. <https://www.cdc.gov/mmwr/pdf/other/su6101.pdf>
- Microlab Industrial. (2017). *Coliformes fecales*, microlabindustrial.com . <https://www.microlabindustrial.com/parametros/patogenos/182/coliformes-fecales>
- Ministerio De Vivienda. (2021). *Reglamento tecnico de agua y saneamiento basico-RAS Titulo E*. minvivienda.gov.co. <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- Miranda Rosales, V. & García Miranda, F. (2018). *Eutrofización: una amenaza para el recurso hídrico*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C. http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf
- Miranda, F. G. (2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico*. Universidad Autónoma del Estado de México. 2(2) 1-15. https://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf
- Moral, F.; Gallego, L.; Roman, I. (2009). *Depuración De Aguas Residuales*. Congreso nacional del medio ambiente. Universidad de Jaén
- Moreno, M., & Varnero, T. (2011). *Manual de biogas*. fao.org. <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Nájera, R. P. (S.F.). *Lagunas aireadas ventajas y desventajas*. es.scribd.com. <https://es.scribd.com/document/647958603/lagunas-aireadas-ventajas-y-desventajas#>
- Nardo, O. & Nardo, H. (2000). *¿que es la demanda quimica de oxigeno?:* [Blog]. Hanna Colombia. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/587/que-es-la-demanda-quimica-oxigeno>
- Netjet. (2020). *¿Como funciona un filtro biologico aguas residuales?* netjet.es. <https://www.netjet.es/como-funciona-un-filtro-biologico-aguas-residuales/>
- Noyola Robles, V; Vega González, E; Ramos Hernández, J. & Calderón Mólora, C. (2000). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/NOYOLA%20et%20al%202000.%20Alternativas%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales._0.pdf

- Nuevo, D. (2022). *Los procesos de depuración de aguas residuales*: tecpa.es. .
<https://www.tecpa.es/tratamientos-procesos-depuracion-aguas-residuales/#:~:text=los%20tratamientos%20basados%20en%20estos,sistemas%20de%20filtraci%3%b3n%20al%20suelo.>
- Ordoñez, A., & Rivas, J. (2021). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas urbanas servidas del municipio de Guayabetal, Cundinamarca*. [Trabajo de Grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35032?show=full>
- Organización Mundial de la Salud (OMS).. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. who.int. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). *Metales pesados en el agua*. carbotecnia.info.
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/los-metales-pesados-en-el-agua/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Agua para consumo humano*: who.int.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=el%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomieltis.>
- Organización de las Naciones Unidas, (ONU). (2020). *De daño y pérdida de biodiversidad*: cepal.org. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2021). *Guía para el análisis y la cuantificación del SARS*. iris.paho.org. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/54698>
- Organización de las Naciones Unidas, (ONU). (2020). *De daño y pérdida de biodiversidad*: cepal.org. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- Parra, R. A. (11 De Diciembre De 2015). *Digestion anaeribica: mecanismos biotecnologicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicacion en la insdustria alimentaria*: Producción + Limpia. 10(2) 142-159.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1909-04552015000200014
- Payan, S. (2012). *Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia organica para el tratamiento de agua*. Centro de investigacion en materiales avanzados. [Trabajo de Doctorado, Centro de investigación en materiales avanzados]. Repositorio.

- <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/583/1/Tesis%20Sergio%20Arturo%20Pay%C3%A1n%20G%C3%B3mez.pdf>
- Perevochtchikova, M. (2023). *La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales*. Gestión y política pública. 22(2) 283-312. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1405-10792013000200001
- Pintor Escobar, L. (2016). *Aislamiento de hongos con potencial para sintetizar polihidroxialcanoatos (phas) a partir de grasas y aceites en aguas residuales*. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio. <http://hdl.handle.net/1992/18514>
- Plaza, M. (2023). "Las aguas residuales son el principal riesgo de eutrofización del mar menor". murciaplaza.com. <https://murciaplaza.com/las-aguas-residuales-son-el-principal-riesgo-de-eutrofizacion-del-mar-menor>
- Pulido, M. C. (2005). *Biopelículas en alcantarillados - efecto de medios de soporte sobre la capacidad hidráulica*. [Trabajo de Grado, Universidad de los Andes]. Repositorio. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/776e1dda-31c7-4932-81cc-dc76050c6b41/content>
- Reef Resilience Network. (2022). *Desafíos y sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes*: reefresilience.Org. <https://reefresilience.org/es/management-strategies/wastewater-pollution/existing-treatment-systems/>
- Romero, E. (2005). *Depuración Biológica De Las Aguas Residuales Urbanas*. Pscript5. Capítulo 3. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf;sequence=8>
- Rolim, I. S. (1999). *Lagunas Aireadas Mecanicamente*. Organización Panamericana de la Salud (OPS). <http://www.ingenieroambiental.com/4014/lagunameca.pdf>
- Salazar, L., Hinojoza, M., Acosta, M., Escobar, A., & Scrich, A. (2021). *Caracterización, clasificación y usos de las enzimas lipasas en la producción industrial*. Revista cubana de Investigaciones Biomédicas. 39(4). <https://revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/620/982>
- Sandra, A. A. (2016). *Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales*. Revista Colombiana de Biotecnología. 18 (1) 49-56. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v18n1/v18n1a05.pdf>

- Soya, M. (1998). *Evaluación del requerimiento de nitrógeno y Fósforo en Sistemas de Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales*. Ciencia e ingeniería neogranadina, 6, 65–75. <https://doi.org/10.18359/rcin.1523>
- Spena Gruop. (2021). *Tipos de tratamiento de aguas Residuales*. spenagroup.Com. <https://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/>
- Synertch. (2022). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales para centros comerciales*: nyfdecolombia.com. <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/decantadores-de-aguas-residuales>
- Swistock, B; Clemens,S; Sharpe,W . (2023). *Pennstate extension*. extension.psu.edu. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Tavares, R. (2006). *Reactores biológicos secuenciales (SBR): una tecnología versátil para el tratamiento de aguas residuales industriales*: [blogs]. Madrimasd . <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>
- Tavares,R. (2007). *Reactores biologiccos de membrana, una alternativa de tratamiento para la reutilizacion del agua*. madrimasd.org. <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2007/04/12/63351>
- Tello, P., Mijailova, P., & Chamy, R. (2016). *Uso seguro del agua para el reuso*. Editorial Aidis. https://climatesmartwater.org/wp-content/uploads/sites/2/2018/09/aidis-uso_seguro_del_agua_26_sep.pdf
- Tervahauta, T. (2014). *Improved Energy Recovery By Anaerobic Grey Water Sludge Treatment With Black Water*. 6(8). 2436-2448. https://www.researchgate.net/publication/266327234_improved_energy_recovery_by_anaerobic_grey_water_sludge_treatment_with_black_water
- Teixeira,G.; Sánchez, I.; Gebara, D.; Dall'aglio, M.; Matsumoto,T. (2013). *Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna*. Revista Facultad De Ingenieria Universidad De Antioquia. (67) 172-182. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n67/n67a15.pdf>
- Torres, G., & Lozano, E. (2017). *Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación*. Ra Ximhai. 13 (3) 393-404. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46154070023.pdf>
- Troconis, A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Belzona https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

- Universidad Ags. (2023). Limpieza de trampas de grasa: acegrease.Com.
<https://acegrease.com/es/grease-trap-cleaning/>
- Usack, J.; Spirito, C.; Angenent, L. (2012). *Continuamente agitado digestor anaerobio para convertir los desechos organicos* En. biogas: configuracion del sistema y funcionamiento basico. [Blog]. Jove. <https://app.jove.com/t/3978?language=Spanish>
- USON. (2007). Capitulo 2. *Sistemas De Tratamiento*. uson.
- Valencia, W. A. (2022). *Los estudios de impacto ambiental y su implicancia en las inversiones de los proyectos*. Industrial Data 15(2) 17-20.
<https://www.redalyc.org/pdf/816/81629470003.pdf>
- Vasquez, E., Arturo, T., & Prats, D. (2018). *Eliminacion de pesticidas mediante un biorreactor de membrana y dos tiempos diferente de retencion celular*. Tecnologia y ciencias del aguas, 9(5) 198-217. <https://scielo.org.mx/pdf/tca/v9n5/2007-2422-tca-9-05-198.pdf>
- Vasquez, E. (2015). *Estudio de biorreactor de membrana para el tratamiento de aguas residuales urbanas*. [Trabajo de Maestria, Escuela Politecnica Superior]. Repositorio. <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm09/tfm09-edgardo-vasquez-rodriguez.pdf>
- Vázquez, J.; Fernández, R.; Campos, J.; & Mosquera, A. (2014). *Patente N° 2 466 090*. biogroup.usc.es. <https://biogroup.usc.es/research-program/patents>
- Vega, M. A. (2022). *Aspectos y avances en ciencia, tecnología e innovación*. Polis (Santiago). 11(33) 451-470. <https://www.scielo.cl/pdf/polis/v11n33/art22.pdf>
- Venegas, A. (2018). *Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales*. Revista La Republica. <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-48-2-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>