

REVISIÓN DE MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
LA INDUSTRIA COSMÉTICA

JUAN CAMILO MULFORD LÓPEZ

Proyecto integral de grado para optar el título de
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Director

DIANA CAROLINA GARZÓN

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del director

Firma del director

Nombre

Firma del presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. agosto de 2023

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luisa Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieta

Directora Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificaciones y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Pregunta de Investigación	10
1.2. Antecedentes	10
1.3. Justificación	12
1.4. Objetivo General	12
1.5. Objetivos Específicos	13
2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA COSMÉTICA Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	14
2.1. Industria Cosmética	14
2.2. Sector Cosmético en el Mundo	14
2.3. Sector Cosmético en Colombia	15
2.4. Tratamiento de Aguas Residuales	15
2.5. Contextualización Industria Cosmética Envapress CÍA. Ltda.	17
2.6. Caracterización del Agua Residual de la Industria Envapress CÍA. Ltda.	17
2.7. Métodos para el Tratamiento del Agua Residual de la empresa Envapress Cía. Ltda.	18
2.7.1. <i>Pretratamiento</i>	18
2.7.2. <i>Tratamiento Primario</i>	21
2.7.3. <i>Tratamiento Secundario</i>	22
3. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS	27
3.1 Matriz de selección	27
3.1.1. <i>Costo</i>	27
3.1.2. <i>Viabilidad</i>	27
3.1.3. <i>Eficiencia</i>	27
4. SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS	29
4.1. Metodologías seleccionadas	29
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
6. CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	32

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Trampa de grasas	20
Figura 2. Separador automático	21
Figura 3. Lodos activados	23
Figura 4. Filtro verde	24
Figura 5. Lecho bacteriano	25
Figura 6. Digestor anaeróbico	26
Figura 7. Tren de tratamiento	29

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caracterización de las aguas residuales de la empresa Envapress Cía. Ltda.	17
Tabla 2. Calificaciones de evaluación de los criterios de selección	27
Tabla 3. Evaluación de los criterios de selección	28

RESUMEN

La disposición de las aguas residuales es considerada como uno de los problemas de contaminación más frecuente para el medio ambiente desde el sector cosmético por la gran cantidad de contaminantes presentes en está, por esta razón, es importante resaltar que debe haber un buen tratamiento de aguas residuales, el cual puede tener diferentes vías y dependerá de las condiciones de cada empresa.

Para lograrlo, en este proyecto se propone la comparación de diferentes metodologías para el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética, el cual permita cumplir con la normativa vigente y disminuir de la cantidad de ciertos contaminantes. Estas metodologías servirán como guía y se podrán adaptar a las diferentes condiciones o situaciones que presenten las empresas, con el fin de mejorar su proceso de tratamiento de aguas o generar un valor agregado cambiando alguna etapa de su proceso de tratamiento.

Palabras clave: Tratamiento de agua, Cosméticos, Aguas residuales, Disminución de contaminantes, PTAR.

INTRODUCCIÓN

El sector cosmético día a día va cambiando por su constante crecimiento y por todos los aspectos ambientales, políticos, económicos y técnicos que están en él (Statista, 2022). Sin embargo, el crecimiento trae consigo preocupaciones ambientales pues el deficiente tratamiento y disposición de las aguas residuales son el problema de muchos cuerpos de agua.

El objetivo de esta monografía es dar a conocer y comparar diferentes metodologías en el pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, las cuales permitan tratar las aguas residuales retirando las grasas y aceites, los sólidos suspendidos y disueltos, así como disminuir la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) las cuales son parámetros que si no se controlan a la hora de disponer las aguas en cuerpos acuíferos ocasionarían la muerte de la vida acuática por asfixia (del Angel Sanchez, 1994), esto con la caracterización tomada como ejemplo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las transformaciones que sufren los diferentes sectores industriales los cuales buscan disminuir cualquier acción que produzcan contaminación se han incrementado en los últimos años, donde uno de los principales problemas es el mal tratamiento y la errónea disposición de las aguas residuales de los procesos industriales.

La industria cosmética no es la excepción, a medida que aumenta la producción a nivel nacional o internacional, también aumenta la generación de aguas residuales, las cuales se caracterizan por tener un alto contenido de sólidos suspendidos, así como la presencia de aceites, grasas y detergentes, colorantes, etc. Estas aguas a su vez cuentan con la presencia de metales pesados como el plomo, cadmio y arsénico los cuales son un problema de impacto medioambiental elevado, ya que usualmente están presentes en productos cosméticos y su vez presentes en las aguas residuales que terminan en una disposición final incorrecta, lo que genera una contaminación al medioambiente.

Por otro lado, la alta demanda química de oxígeno (DQO) es un problema para tener en cuenta, principalmente por la disminución del oxígeno disuelto en el agua ya que al provenir de las aguas de la industria cosmética que no han sido tratadas de la manera correcta, a la hora de ser descargadas contaminan los cuerpos de agua receptores.

Por último, todos los métodos de tratamientos de aguas deben estar sujetos a la normativa de los países, sin embargo, para este caso tomaremos como referencia la normativa vigente de la unión europea para al final confirmar si los métodos más comunes cumplen con lo solicita.

1.1. Pregunta de Investigación

¿Cuál de los métodos utilizados para el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética es el óptimo? [OBJ]

1.2. Antecedentes

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se consideran como sistemas de depuración de agua proveniente de los distintos procesos industriales (Valencia Lopez, 2013).

Un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales consta de estrategias operacionales e instalaciones para que los afluentes sean canalizados hacia una planta de tratamiento de aguas residuales, éstas son la combinación de métodos de tratamiento según la composición y concentración de contaminantes. Los procesos de tratamiento se deben diseñar

en base a un estudio específico e individual al agua residual que se debe tratar. La capacidad y la eficiencia de una planta de tratamiento dependen del diseño basado en los datos de la caracterización del agua residual (Valencia Lopez, 2013).

El aporte de este trabajo se relaciona con la monografía en curso, ya que muestra los conceptos e ideas generales para el tratamiento de aguas residuales, así como debería de realizarse un estudio para cada agua residual a tratar.

Un segundo estudio propone el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales que se ajuste eficientemente a las características y necesidades de Envapress Cía. Ltda (Salvador Mosquera, 2017).

Las aguas residuales de la industria de cosméticos constituyen una problemática ambiental, económica y social. La investigación se enmarca en un proyecto factible, debido a que la empresa, con el fin de cumplir el marco regulatorio, debe contratar mensualmente un proveedor para el tratamiento de este efluente. El gasto que involucra el tratamiento del agua residual de Envapress Cía. Ltda., representa un elevado precio que actualmente está sumándose a los costos de producción. Sin embargo, con el objetivo de reducir los gastos y mantenerse dentro de los aspectos legales, la empresa evalúa la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes (Salvador Mosquera, 2017).

Este trabajo aporta a la monografía en curso, ya que propone un material conceptual e ideal del diseño de una planta de tratamiento de agua residuales para una empresa de la industria cosmética, con el fin de disminuir estos impactos ambientales, económicos y sociales negativos.

En Colombia la industria cosmética ha experimentado un crecimiento debido a las nuevas generaciones y es aquí donde se han generado necesidades de plantear nuevos criterios para el desarrollo sostenible de la producción y medio ambiente, ya que al crecer el mercado también crece el daño a la naturaleza, tanto la extracción de las materias primas como la fabricación de los cosméticos (Méndez Ochoa & Sosa Hernández, 2019).

En las últimas décadas se han desarrollado una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de aguas residuales. Cada uno de ellos se caracteriza por una serie de limitaciones relativas a su nivel de aplicabilidad, eficiencia y costes económicos. Por lo cual se describen los procesos y diagnósticos de la planta, antes y después de la propuesta, mostrando la mejor alternativa llevada a cabo para la planta de cosméticos,

con el fin de disminuir el daño e impacto ambiental generados por el agua vertida por la empresa (Méndez Ochoa & Sosa Hernández, 2019).

Esta investigación nos ayuda con la monografía en curso, ya que se describen y comparan los procesos y diagnósticos de la planta de cosméticos antes y después de haber mostrado la mejor alternativa.

Por último, un cuarto estudio (Chaves Tenorio, 2021) recopila los resultados y el análisis de los tratamientos implementados en la eliminación de diferentes contaminantes del agua residual de la industria cosmética y la aplicabilidad del proceso de electrocoagulación a escala laboratorio en este tipo de agua residual.

1.3. Justificación

La industria cosmética es una industria importante y en crecimiento en todo el mundo, con una amplia gama de productos que satisfacen las necesidades de belleza y cuidado personal de los consumidores, la industria cuenta con una amplia gama de productos, que incluyen el cuidado de la piel, cuidado del cabello, maquillaje, fragancias, etc. Esta juega un papel crucial en la economía global y tiene un impacto positivo en la vida de millones de personas en todo el mundo, pero a su vez un impacto negativo en el medio ambiente (Chaves Tenorio, 2021).

Este impacto se encuentra en toda la cadena de producción, desde la extracción, el procesamiento de las materias primas, el empaque, el transporte y la gestión de residuos o desechos ya que la industria presenta dependencia a recursos naturales.

Como se mencionó en el párrafo anterior la industria cosmética evidencia problemáticas medioambientales que generalmente afectan a los cuerpos de agua y a las comunidades cercanas a estos, debido a que un punto crítico es el mal tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

Se identificó la necesidad de revisar los diferentes y más comunes métodos para tratar estas aguas residuales para dar a conocer y así evitar los impactos ambientales negativos originados por la industria (Chaves Tenorio, 2021).

1.4. Objetivo General

Analizar la metodología más viable según la comparación y evaluación de las metodologías más comunes.

1.5. Objetivos Específicos

- Identificar las metodologías más comunes para el tratamiento de aguas residuales en la industria cosmética.
- Comparar estas metodologías según estudios previos.
- Seleccionar la metodología más apropiada para el tratamiento de aguas en la industria cosmética.

2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA COSMÉTICA Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.1. Industria Cosmética

La industria cosmética se puede definir como el sector que fabrica y comercializa productos para el cuidado personal del día a día o cómo lo define la CAN (Comisión de la comunidad Andina, 2002), *“Se entenderá por producto cosmético toda sustancia o formulación de aplicación local a ser usada en las diversas partes superficiales del cuerpo humano: epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos o en los dientes y las mucosas bucales, con el fin de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y protegerlos o mantenerlos en buen estado y prevenir o corregir los olores corporales”*.

Según esta misma Decisión de la CAN, nos enuncian un listado de categorías de productos cosméticos:

- Cosméticos para niños
- Cosméticos para el área de los ojos
- Cosméticos para la piel
- Cosméticos para los labios
- Cosméticos para el aseo e higiene corporal
- Desodorantes y antitranspirantes
- Cosméticos capilares
- Cosméticos para las uñas
- Cosméticos de perfumería
- Productos para higiene bucal y dental
- Productos para y después del afeitado
- Productos para el bronceado, protección solar y autobronceadores
- Depilatorios
- Productos para el blanqueo de la piel

2.2. Sector Cosmético en el Mundo

El sector cosmético a nivel global es uno de los que tiene mayor crecimiento año tras año, este sector lleva siglos siendo parte de la sociedad, han ido evolucionando a medida que lo hacían las necesidades de los consumidores potenciales. Así hoy en día, hay una inmensa variedad, que van desde aquellos para el cuidado de la piel y el cabello hasta maquillaje, perfumes y otros artículos de tocador. Esta amplia oferta unida a la ruptura de ciertos

estereotipos y al cada vez mayor peso de las redes sociales ha impulsado el crecimiento de la industria cosmética mundial (Statista, 2022).

El tamaño del mercado cosmético mundial factura alrededor de 262.210 millones USD, siendo el mercado del norte asiático el de mayor peso en la industria cosmética global con un 32%, seguido por Norteamérica y Europa con un 28% y 22%, respectivamente, y por último América Latina con un 8% (Statista, 2022).

Por último, el subsector de productos para el cuidado de la piel ha sido y será la línea de negocio más rentable del sector, con una cuota de mercado superior al 35%, según la Cámara de Comercio de Bogotá en 2021.

2.3. Sector Cosmético en Colombia

En Colombia los productos cosméticos se han hecho parte de los hogares colombianos, desde lo más básico como un champú, crema de dientes y cremas corporales, hasta productos para el cuidado facial en hombres y mujeres, por lo que no se queda atrás, es uno de los principales en el mercado de América Latina y el valor en su territorio supera los 9.400 millones COP (Statista, 2023).

El auge del sector cosmético en Colombia se debe al constante crecimiento mundial, pero también al constante crecimiento del mercado online después del año 2020, esto ha permitido que el comercio electrónico creciera exponencialmente a causa de la pandemia por COVID-19. Colombia se posiciona como el segundo país de América Latina con más gasto per cápita en productos de belleza, únicamente superado por Argentina (Statista, 2023), pues en 2022 según el último reporte entregado por la Cámara de Cosmética y Aseo de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI), los hogares de Colombia gastaron 17.77 billones en productos de cuidado personal y 12.34 billones en productos de limpieza. Además, se prevé que en 2023 aumente el gasto en 12.1% y el PIB crezca un 1% (Portafolio, 2023).

Por último, las compañías y empresas que más facturan en el país son: Colgate Palmolive Compañía con 1.6 billones COP, Bel Star S.A. con 1.3 billones COP y Johnson & Johnson con 1.1 billones COP (Statista, 2023).

2.4. Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales ha cobrado importancia a lo largo de los años debido a la necesidad creciente de recuperar el agua utilizada en los procesos industriales y posteriormente devolverla al ciclo del agua en condiciones tales que no deteriore el medio

ambiente, generalmente con el fin de reutilizarla y disminuir los problemas relacionados con la disposición de desechos líquidos. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) están dedicadas a la depuración de estas, eliminando sustancias contaminantes que se encuentren en este recurso natural escaso e indispensable después de su uso (Pérez Royero, 2013).

La industria cosmética no es la excepción en cuanto a requerimientos para tratar el agua resultante de los procesos de fabricación de sus múltiples productos, y debido a esto, muchas de las empresas dedicadas a este tipo de actividades llevan a cabo una serie de tratamientos para retirar la composición de materia orgánica que generalmente está compuesta de grasas (Pérez Royero, 2013).

Estos tratamientos pueden ser resumidos a grandes rasgos de la siguiente forma:

- Pretratamiento: Se realiza con el fin de remover componentes sólidos del agua para facilitar el funcionamiento de los tratamientos posteriores, generalmente son utilizadas rejillas con diferentes distancias entre sí para retirar sólidos de tamaño grande y mediano, también se usan trampas de grasas para separar partículas con tamaños mayores a 0,2 mm de diámetro, y se obtienen lodos en forma de fluidos densos con alto porcentaje de humedad (Méndez Ochoa & Sosa Hernández, 2019).
- Tratamiento primario: Su objetivo es la remoción por medios físicos o mecánicos de la mayor parte posible del material sedimentable, entre la cual encontramos una importante carga orgánica. Los lodos obtenidos en esta etapa se caracterizan por contener una gran cantidad de materia orgánica acumulada (Rubiano López, 2019).
- Tratamiento secundario: Principalmente se centra en procesos biológicos para reducir o convertir la materia orgánica disuelta en sólidos sedimentables que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Algunos de los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores, y varían en muchas formas gracias a modificaciones con respecto a los requerimientos específicos de cada tratamiento (Rubiano López, 2019).
- Tratamiento terciario: Es una etapa un poco avanzada que tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente mencionados para lograr efluentes más puros removiendo fosfatos, nitratos, parásitos, sustancias tensoactivas, algas, bacterias y virus, todo mediante agentes químicos, físicos, mecánicos o radioactivos, y utilizarlos, por

ejemplo, en la recarga de acuíferos, actividades de recreación, agua industrial, entre otros (Rubiano López, 2019).

2.5. Contextualización Industria Cosmética Envapress CÍA. Ltda.

Envapress Cía. Ltda., es una empresa ecuatoriana con 25 años de experiencia, que ofrecen a los clientes eficiencia e innovación para la creación y desarrollo de productos que satisfacen las necesidades de cada miembro del hogar en las categorías de: cuidado personal, cuidado del hogar, aerosoles, wipes, cuidado automotriz y cuidado de mascotas.

2.6. Caracterización del Agua Residual de la Industria Envapress CÍA. Ltda.

Para este caso se toma como referencia la caracterización de las aguas residuales de la empresa Envapress Cía. Ltda., realizada por Gustavo Salvador y la cual se presenta a continuación:

Tabla 1. Caracterización de las aguas residuales de la empresa Envapress Cía. Ltda.

Parámetros	Unit	Límite Máximo	AR	AR0	AR0	AR0	AR0	AR0	AR0
			01	2	3	4	5	6	7
Alcantarillado									
Aceites y grasas	mg/L	50	763	195	62	86	142	234	355
Demanda Química (DQO)	mg/L	350	281	1243	1237	4600	2505	6707	1464
Oxígeno Demanda (DBO ₅)	mg/L	170	175	9384	9129	2800	1836	3547	900
Sólidos Suspendidos	mg/L	100	800	330	174	633	211	105	1030
Zinc	mg/L	2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.3

Como se puede evidenciar en la **Tabla 1** las aguas residuales resultantes del proceso industrial de la empresa Envapress Cía. Ltda., se reportaron mediante siete muestras las cuales se compararon frente a un valor de referencia según la norma vigente el cual observamos en color azul. Por otro lado, los valores tomados se encuentran en color rojo o negro y se evidencia un valor comparado con la norma, donde podemos observar altas trazas de aceites, grasas, fenoles, sólidos suspendidos, así como un valor muy por encima del permitido de DQO y DBO5. Con esto en cuenta se procede a identificar los métodos para el tratamiento del agua residual.

2.7. Métodos para el Tratamiento del Agua Residual de la empresa Envapress Cía. Ltda.

Teniendo en cuenta la caracterización de la empresa se procede a mostrar las etapas de una PTAR y a explicar las diferentes alternativas de tratamiento con base en los parámetros presentados en la tabla, sólidos suspendidos, grasas y aceites, DQO, DBO y fenoles del agua residual saliente de la empresa.

2.7.1. Pretratamiento

2.7.1.a. Cribado. El cribado es la etapa preliminar y se encuentra al inicio de la PTAR, consiste en la remoción de objetos grandes presentes en el agua residual que puedan interferir más adelante en el funcionamiento adecuado de los equipos o en el proceso mismo, esta etapa no cuenta con alternativas considerables pues al ser tan sencilla, los parámetros a tener en cuenta como el tipo de cribado, la configuración de las rejillas, el material, el método de limpieza, número de canales, velocidades de aproximación, entre otros, son parámetros que diferenciaran un proceso de otro.

La eficiencia del cribado es cercana al 95%, puesto que se logran retirar los sólidos de tamaño grande y mediano que pueden estar presentes en el agua residual, sin embargo, puede pasar algunos a etapas posteriores.

2.7.1.b. Desarenador. El desarenador es una estructura posterior a la unidad de cribado que permite retener los sólidos como arenas, arcillas, gravas finas y cualquier material orgánico que deba ser retirado para evitar el mal funcionamiento e intervención de los equipos o las etapas posteriores, esta operación al igual que la operación de cribado no cuenta con una alternativa directa, pues los parámetros de diseño ya son suficientes para diferenciar un desarenador de otro, ya que se debe definir el tipo de desarenador, las dimensiones, temperatura

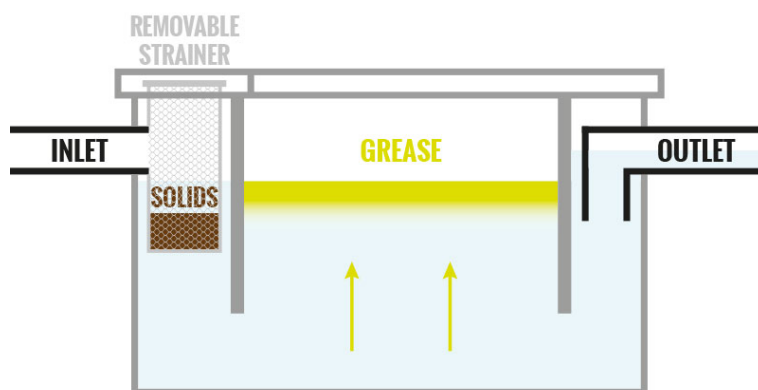
y viscosidad del agua, tamaño de partículas presentes en las aguas residuales, velocidad de sedimentación, el porcentaje de remoción deseado, entre otros.

2.7.1.c. Trampa de grasas. La trampa de grasas es la encargada de retirar estas grasas y aceites presentes en el agua, así como algunos sólidos sedimentables mediante un equipo que cuenta con un separador de aceite que utiliza una variedad de cámaras deflectoras para retirar estas de las aguas residuales a medida que pasa por esta unidad, eso permite que las grasas y aceites queden por encima del agua por diferencia de densidad.

El proceso inicia con la entrada del agua al equipo donde se encuentra una rejilla la cual se encarga de retirar posibles sólidos que estén presentes en el agua residual, luego el agua sigue su recorrido donde se topa con la cámara que está delimitada por deflectores, estos pueden ser más o menos y pueden tener una distribución diferente, dependiendo de las necesidades de la trampa de grasas, en este punto como el agua presenta una velocidad de flujo lenta y las sustancias son heterogéneas, los aceites ascienden y quedan en la superficie del agua por diferencia de densidad, los sólidos restantes que no fueron separados por la rejilla asientan en el fondo y el agua clara separada sigue el recorrido hasta dejar la cámara deflectora y posteriormente la unidad. Periódicamente se debe revisar la trampa de grasas para limpiarla para evitar la acumulación y posible escape de los sólidos o grasas con el agua.

La trampa de grasas cuenta con una eficiencia de remoción entre 97-99% de las aceites y grasas según diversos estudios (Malacatus & Chamorro, 2016), también se encargan de retirar los posibles sólidos que pasaron de la etapa del cribado, esto.

Figura 1. *Trampa de grasas*

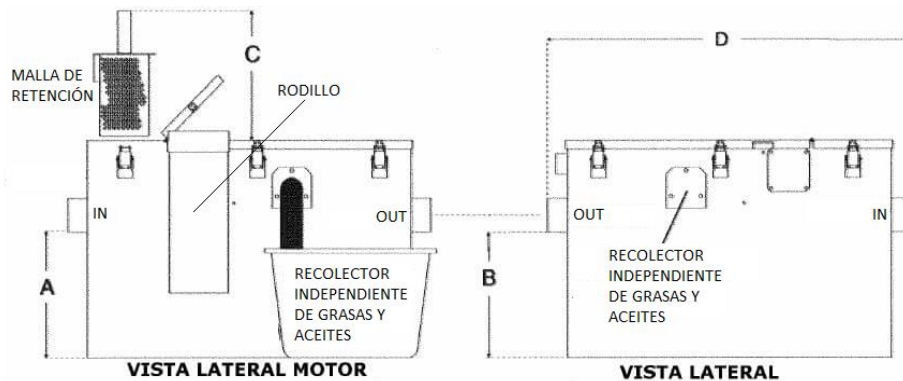


Nota. La imagen representa como es una trampa de grasas por dentro, con su entrada, rejilla de remoción, cámara deflectora y salida. Tomado de *Aquacure*, por *Aqua Cure Ltd.*

2.7.1.d. Separador automático. El separador automático es una unidad similar a la trampa de grasas, pero con un funcionamiento y lógica diferente pues este es un equipo en el cual entra el agua residual e inicialmente se topa con una malla destinada a retener los sólidos gruesos, posteriormente el agua ingresa a la cámara uno donde es calentada con el fin de formar una película de grasa que será retirada por un rodillo de alta adherencia y la cual será depositada en un recolector independiente de grasa y aceite, el agua sale al final de la unidad con trazas mínimas de aceites y sólidos.

La eficiencia del separador automático varía según el modelo, sin embargo, un valor promedio ronda el 95-98% según la ficha técnica por (AlmAqua, s.f.) fabricantes y vendedores de separadores automáticos.

Figura 2. *Separador automático*



Nota. La imagen representa como es un separador de grasas automático, con su entrada, malla de retención, cámara con cilindro adhesivo, recolector independiente y salida. Tomado de *AlmAqua*, por *AlmAqua – Environmental Technologies*.

2.7.2. Tratamiento Primario

2.7.2.a. Coagulación y floculación. La coagulación es el proceso en el cual se desestabilizan las partículas y coloides con el fin de formar partículas más grandes. Esto se logra mediante coagulantes, los cuales se agregan al agua a tratar y este funciona neutralizando las cargas superficiales de las partículas promoviendo su aglomeración, los coagulantes más comunes son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio [$Al_2(SO_4)_3$], aluminato de sodio [$NaAlO_2$], sulfato ferroso [$FeSO_4$], sulfato férrico [$Fe_2(SO_4)_3$] y cloruro férrico [$FeCl_3$].

La floculación es el proceso que le sigue a la coagulación y consiste en agitar o mezclar el agua para promover la colisión y adhesión de las partículas desestabilizadas y coaguladas con el fin de formar partículas más grandes y pesadas conocidas como flóculos.

Por último, para que el proceso sea eficiente se debe terminar con una sedimentación el cual es un proceso por el cual se remueven las partículas más pesadas por acción de la gravedad mediante un tiempo de retención adecuado.

El proceso de coagulación-floculación según diversos estudios implica un 99,99% de eficiencia como único tratamiento, sin embargo, esta disminuye cuando se habla de un tren de tratamiento por lo que ese valor baja a 95-97% (Véliz, Llanes Ocaña, Fernández García, & Bataller Venta).

2.7.2.b. Electrocoagulación y electro-flotación. La electrocoagulación cuenta con el mismo principio que la coagulación, aglomerar las partículas para ser retiradas, pero en este se emplea electricidad para eliminar los contaminantes suspendidos, disueltos o emulsificados en el agua, el proceso se basa en inducir corriente eléctrica en el agua residual por medio de placas metálicas logrando que estas por la fuerza electromotriz provocada se desestabilicen, aglomeren, precipiten o floten y sean retiradas.

Por otro lado, la electro-flotación es un proceso que se realiza posterior a la electrocoagulación para remover efectivamente las partículas floculadas, éste consiste en el uso de aire para inducir la formación de pequeñas burbujas, con el fin de adherir los contaminantes sobre las burbujas generadas de hidrogeno y oxigeno gaseosos a partir de la electrolisis del agua.

Los reactores de electrocoagulación y electro-flotación generan una eficiencia en la remoción de contaminantes del 93-96% para el DQO, SST, etc. (Apráez Aragón & García Garay, 2015).

2.7.3. Tratamiento Secundario

2.7.3.a. Aeróbicos. Los métodos aeróbicos son realizados en presencia de oxígeno, por lo que se debe garantizar un suministro constante y adecuado a los equipos de tratamiento, debido a que se usan microorganismos, en esta etapa sucederá la degradación de la materia orgánica y la eliminación de compuestos nitrogenados, así mismo se disminuirá el valor de DQO y DBO presente en el agua residual.

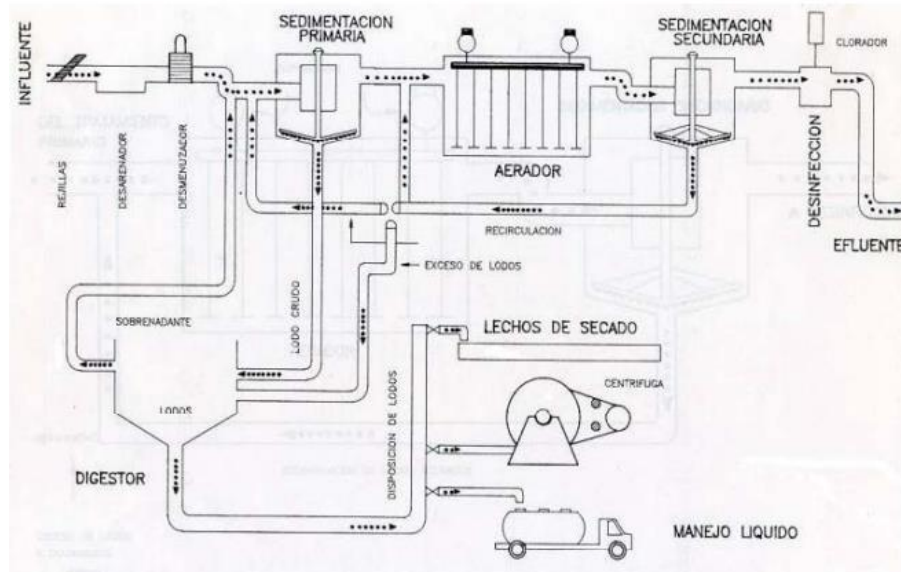
2.7.3.a.i. Lodos activados. El proceso de lodos activados inicia con la entrada del agua residual al primer reactor donde se encuentran los microorganismos, las cuales normalmente son bacterias y son las encargadas de realizar las reacciones degradando la materia orgánica, adicionalmente ingresa un suministro de aire, mediante sistemas de difusión, esto para garantizar las condiciones óptimas de las bacterias y así evitar el estrés o el fallecimiento de estas.

Después del tiempo de retención estimado basándose en la caracterización y parámetros, el agua mezclada con los microorganismos pasa a un segundo tanque de sedimentación en el cual se separará un porcentaje del agua tratada con el fin de disponerla según decisión de la empresa. Por otro lado, el porcentaje de biomasa sedimentada presentará dos situaciones, primero una parte será recirculada con el fin de garantizar una concentración

deseada de sólidos suspendidos volátiles siempre en el sistema y el restante será retirado del sistema como desecho.

La eficiencia de remoción de los lodos activados depende de la contaminación del agua, por lo que no hay valores exactos, sin embargo, el porcentaje de remoción está entre 70-95% según (Alpírez, y otros, 2017).

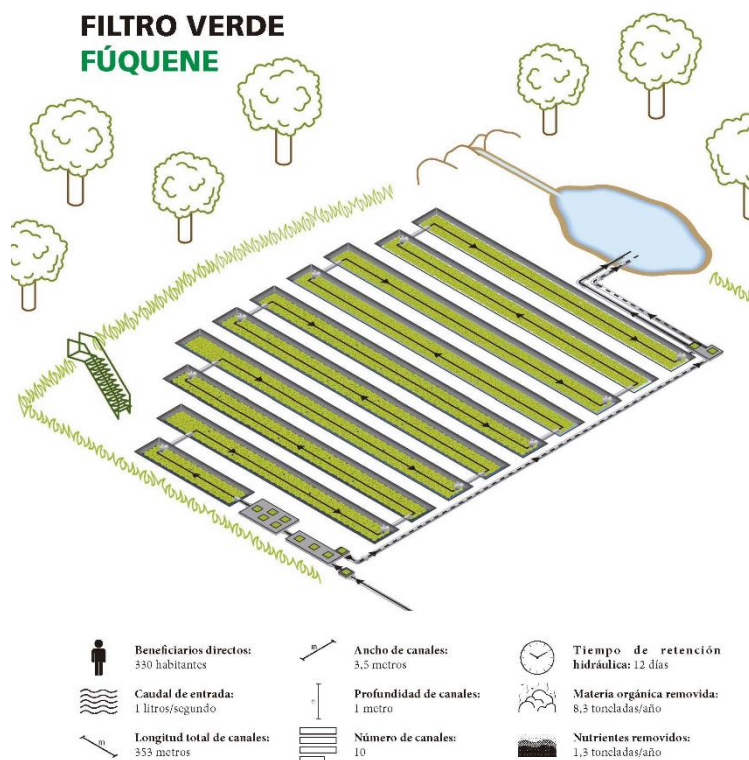
Figura 3. *Lodos activados*



Nota. La imagen representa el esquema general del proceso de lodos activados con todas sus unidades y corrientes. Tomado de *Fundamentos del proceso de lodos activados*, por *Esperanza Ramírez Camperos, Ideam*.

2.7.3.a.ii. *Filtros verdes.* Los filtros verdes son humedales artificiales ya que se recrea las condiciones necesarias para la degradación de la materia orgánica, esto se logra mediante el empleo de plantas acuáticas y microorganismos. Se puede ver como una zanja de gran tamaño en la tierra con varios canales en los cuales el agua va a una velocidad reducida a la salida del tratamiento primario con el fin de asegurar el tiempo de retención necesario para que las plantas acuáticas y microorganismos degraden la materia orgánica. Su eficiencia ronda entre el 80% y el 95% (Escallón, 2018)

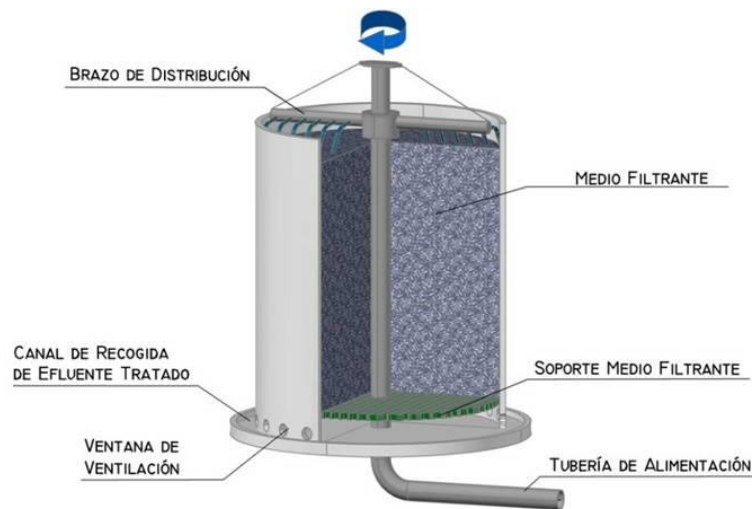
Figura 4. Filtro verde



Nota. La imagen representa una unidad de filtros verdes como tratamiento secundario. Tomado de *Filtro Verde Fúquene* por *Fundación Humedales*.

2.7.3.a.iii. *Lechos bacterianos.* Los lechos bacterianos es una metodología y su funcionamiento se basa en producir una oxidación al hacer circular el agua residual y aire en contra corriente a través de un medio poroso, el agua ingresa por la parte superior y el aire ingresa por la parte inferior de la unidad. Las aguas tratadas (efluente) deja la unidad por la parte inferior y pasa a una etapa final de decantación para garantizar la separación del agua clarificada y los posibles fragmentos de masa bacteriana. Su eficiencia ronda valores entre 90%-96% (Universidad de Salamanca).

Figura 5. Lecho bacteriano



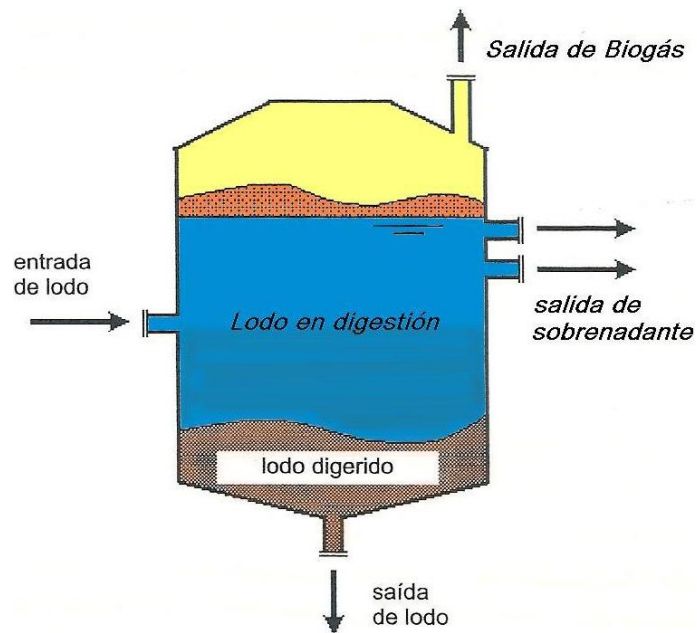
Nota. La imagen representa una unidad de lecho bacteriano como tratamiento secundario. Tomado de *Iagua* por *Jau José Salas*.

2.7.3.b. Anaeróbicos. A diferencia de los métodos aeróbicos, los anaeróbicos se realizan en ausencia de oxígeno, pero son similares por contar con presencia de microorganismos que buscan degradar la materia orgánica y transformarla en energía, dióxido de carbono y metano. Y así mismo como pasa en los métodos aeróbicos en este también se disminuye el valor de DQO y DBO.

2.7.3.b.i. *Digestión anaeróbica.* La digestión anaeróbica es una opción de tratamiento secundario en ausencia de oxígeno en el cual se da lugar a una mezcla de gases (metano y CO₂) conocida como “biogás” y a una suspensión acuosa conocida como “lodo” que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. Dentro de los parámetros del digestor existen varios tipos que varían según el caso y condiciones de las aguas a tratar, pues se encuentra el digestor convencional el cual no hace uso de agitación o control de temperatura, a diferencia de un digestor de alta tasa, el cual sí hace uso de estas herramientas.

Al igual que en un proceso aerobio se debe garantizar la ausencia de oxígeno y condiciones para garantizar la vida y eficiencia de los microorganismos. Por último, su eficiencia ronda por encima del 90% con valores cercanos al 99% según sea el caso (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu).

Figura 6. Digestor anaeróbico



Nota. La imagen representa un digestor anaeróbico convencional sin agitación y sin control de temperatura como tratamiento secundario. Tomado de *Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados* por Pedro Ortiz.

3. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS

En el presente capítulo se hará la comparación de las alternativas presentadas en el capítulo anterior, las cuales serán evaluadas de manera cualitativa y con base en el contexto presentado a lo largo del capítulo uno.

3.1 Matriz de selección

La selección de la alternativa se realizará mediante una matriz en la que se tendrán en cuenta los siguientes criterios de selección costo, viabilidad y eficiencia, dándole a cada criterio una valoración que nos facilitará la selección de esta.

3.1.1. Costo

El costo será evaluado con base en referencias bibliográficas, en costo de equipos, costo de operación, costo de mantenimiento y podría tener un sesgo en la actualidad o no ser de todo real por falta de información pública.

3.1.2. Viabilidad

La viabilidad se evaluará basándose en la facilidad de implementar la alternativa dentro de un proceso de tratamiento de aguas residuales y así mismo que cuente con un sistema de operación relativamente sencillo y que no sea necesario el conocimiento de un experto para operarlo.

3.1.3. Eficiencia

La eficiencia será evaluada con base en bibliografía y que tanto estas metodologías son usadas hoy en día alrededor del mundo, como han evolucionado a través de los años y cuál es su panorama a futuro.

Tabla 2. *Calificaciones de evaluación de los criterios de selección*

ESTÁNDAR	VALORACIÓN
Muy adecuado	4 a 5
Adecuado	2 a 3
Poco adecuado	1

Nota. La **Tabla 2** muestra las diferentes calificaciones para evaluar cada criterio de selección con base en datos bibliográficos y el trabajo desarrollado.

Tabla 3. Evaluación de los criterios de selección

CRITERIO	ETAPA							
	PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO SECUNDARIO			
	Trampa de grasas	Separador automático	Coagulación y floculación	Electrocoagulación y electroflotación	Aeróbico		Anaeróbico	
				Lodos activados	Filtros verdes	Lechos bacterianos	Digestor anaeróbico	
Costo	4,5	4,5	4,5	4	4	4,5	4	4
Viabilidad	5	3	4	4,5	4,5	3	4,5	5
Eficiencia	4	4	4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Promedio	4,5	3,8	4,2	4,3	4,3	4	4,3	4,5

Nota. La **Tabla 3** muestra las diferentes alternativas en cada etapa del tratamiento de aguas residuales presentada en el capítulo uno y que son calificadas según los parámetros presentados en el inciso 3.1.

4. SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS

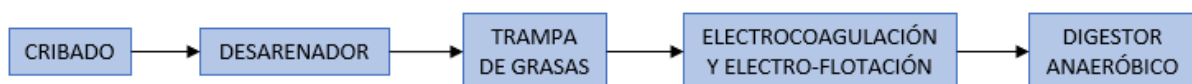
4.1. Metodologías seleccionadas

Como se observó en la **Tabla 3**, se dio una valoración a cada criterio de acuerdo con la bibliografía revisada y el trabajo desarrollado con la caracterización de la empresa. El pretratamiento es el punto de partida en toda PTAR por lo que es una etapa a tener en cuenta en todo momento pues es el más importante ya que define lo que sucederá de aquí en adelante, por eso se prefiere la trampa de grasas frente al separador automático, ya que, al tener un costo similar y una eficiencia parecida por contar con el mismo principio, el criterio que los diferencia es la eficiencia la cual es mejor en la trampa de grasas ya que cuenta con más mercado actual y es una tecnología vieja por lo que las modificaciones o cambios que toque hacer son más fáciles de implementar.

El tratamiento primario es otra etapa que dependiendo de la metodología seleccionada tendrá un menor o mayor impacto, en este caso la electrocoagulación con electro-flotación desarrollado a la par es la más óptima, pues tiene un costo más elevado que se ve compensado por su fácil manejo e implementación, así como su alta eficiencia ya que no solo permite retirar sólidos suspendidos, si no también otros compuestos como los fenoles, ya que se cuenta con una oxidación.

Por último, en el tratamiento secundario se compararon cuatro alternativas, tres de carácter aeróbico y una de carácter anaeróbico donde podemos observar que la óptima es el digestor anaeróbico ya que aparte de los costos similares o que es una metodología común para tratar los sólidos disueltos, está nos ofrece la generación de biogás el cual es un plus para cualquier empresa ya que este nos sirve para suplir parte de la energía o venderlo para asumir costos del proceso.

Figura 7. *Tren de tratamiento*



Nota. La **Figura 7** muestra el tren de tratamiento propuesto según la evaluación de las mejores metodologías para el tratamiento del agua residual según la caracterización tomada, donde operaciones como el cribado y desarenador se encargan de retirar los sólidos, la trampa de grasas las grasas y aceites, y el tratamiento primario (electrocoagulación y electro-flotación) con el tratamiento secundario (digestor anaeróbico) se encargan de disminuir el DQO y DBO.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tren de tratamiento planteado para las aguas residuales de la empresa Envapress Cía. Ltda quedaría de la siguiente manera: cribado, desarenador, trampa de grasas, electrocoagulación con electro-flotación, digestor anaeróbico, estas permitirían tratar las grandes cantidades de grasas y aceites, solidos suspendidos, DQO y DBO, cumpliendo la normativa legal vigente, esto según las diferentes bibliografías consultadas como el caso de (Boroski, y otros, 2009) que nos explica la metodología de la electrocoagulación con electro-flotación en una planta de tratamiento de efluentes de la industria cosmética la cual nos permite elegir está a sobre el proceso de coagulación tradicional por la eficiencia que es mayor y su viabilidad en el caso específico de la empresa Envapress Cía. Ltda.

Por otro lado, como menciona el equipo de trabajo de (Friha, Karray, Feki, Jlaiel, & Sayadi, 2014), un tratamiento secundario aeróbico o anaeróbico son metodologías optimas y eficientes para tratar el agua residual de la industria cosmética, sin embargo, el punto de inflexión está en los beneficios adicionales que este pueda aportar, se opta por la digestión anaeróbica por el aporte de biogás que generaría, ya que se podría suplir parte del consumo energético o como un producto para la venta.

Por último, cualquiera de las metodologías explicadas sirve dependiendo del agua a tratar y a su vez otras metodologías se podrían adaptar a este proceso, por lo que no es estrictamente necesario el uso de estas para los casos similares y tampoco se debe cerrar a la posibilidad de tener una PTAR con diferentes unidades que hagan lo mismo. Cada proceso es diferente y al pasar el tiempo esté puede cambiar por lo que la implementación de una metodología común ayuda a que las modificaciones necesarias que se deban hacer sean más sencillas de realizar.

6. CONCLUSIONES

A partir de las diferentes metodologías presentadas se puede observar que existen diversas metodologías dependiendo de las necesidades de la empresa, el proceso productivo y las condiciones del agua a tratar, estas metodologías pueden cambiar ya sea usando las más comunes o usando otras no tan comunes pero que se adapten al proceso.

La comparación cualitativa de las metodologías permitió diferenciar diferentes los aspectos fuertes y débiles de cada una, es importante realizar este proceso ya que permite descartar opciones que no se acomoden al proceso o que se salgan dentro de las posibilidades de la empresa.

El tren de separación planteado con cribado, desarenador, trampa de grasas, tratamiento primario con electrocoagulación y electro-flotación y tratamiento secundario con un digestor anaeróbico son las unidades óptimas para garantizar la remoción de grasas, aceites, sólidos suspendidos y disueltos, así como disminuir el valor de DQO y DBO.

BIBLIOGRAFÍA

- AlmAqua. (s.f.). *Separador de grasas automático Guardian*. Obtenido de AlmAqua:
<https://almaqua.com/es/portfolio/separador-de-gorduras-automatico-grease-guardian/>
- Alpírez, J., Aviles, K., Castillo, H., Pinzón, I., Poveda, R. M., & Vallester, E. (2017). Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio. *Journal of Undergraduate Research*,
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/1697/2433/#:~:text=El%20sistema%20de%20lodos%20activados%20alcanz%C3%B3un%20valor%20promedio%20de,remoci%C3%B3n%20de%20DQO%20de%2054%25>.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Documento técnico. Planta de Tratamiento de Agua Sedapal, Lima*.
- Apréaz Aragón, S. C., & García Garay, J. S. (2015). *Universidad la Salle*. Obtenido de
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=ing_ambiental_sanitaria
- AquaCure. (2023). *What are Grease Traps and How Do They Work?* Obtenido de AquaCure:
<https://www.aquacure.co.uk/knowledge-base/what-are-grease-traps-how-do-they-work>
- Arango Ruiz, Á. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 49-56.
- Boroski, M., Rodrigues, A., Garcia, J., Sampaio, L., Nozaki, J., & Hioka, N. (2009). Combined electrocoagulation and TiO₂ photoassisted treatment applied to wastewater effluents from pharmaceutical and cosmetic industries. *Journal of Hazardous Materials*, 448-454.
- Bratby, J. (2013). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. London: IWA Publishing.
- Butler, E., Hung, Y.-T., Yeh, R. Y.-L., & Al Ahmad, M. S. (6 de Abril de 2011). *MDPI*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2073-4441/3/2/495>
- CAR. (2011). *CAR*. Obtenido de CAR:
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5aeb722d53187.pdf>

- Chaves Tenorio, J. E. (2021). *Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante electro-coagulación*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81130>
- Cogollo Flórez, J. M. (2010). *Revistas Unal*. Obtenido de Universidad Nacional: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133#:~:text=Los%20coagulantes%20m%C3%A1s%20comunes%20que,y%20cloruro%20f%C3%A9rrico%20%5B6%5D>
- Comisión de la comunidad Andina. (2002). *Decisión 516 de 2002*. Obtenido de Secretaria de Salud: <http://www.saludcapital.gov.co/SectorBelleza/Galeria%20de%20Descargas/Normatividad/Decisiones/Decisi%C3%B3n%20516%20de%202002%20-%20CAN%20-%20Armonizacion%20legislacion%20cosmeticos.pdf>
- Comisión Estatal de Agua de Jalisco. (2014). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*. Obtenido de CEA Jalisco: <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-con-el-proceso-de-lodos-activados-tomo-i>
- Congreso de Colombia. (1979). *Ley 9 de 1979*. Obtenido de Minsalud: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf
- del Angel Sanchez, M. M. (Junio de 1994). *Universidad Autónoma de Nuevo León*. Obtenido de Universidad Autónoma de Nuevo León: <http://eprints.uanl.mx/7204/1/1020091184.PDF>
- Dias de Melo, E., Mounteer, A. H., de Souza Leao, L. H., Barros Bahia, R. C., & Ferreira Campos, I. M. (2013). Toxicity identification evaluation of cosmetics industry wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 329-334.
- Duis, K., Junker, T., & Coors, A. (2021). Environmental fate and effects of water-soluble synthetic organic polymers used in cosmetic products. *Environmental Sciences Europe*, 20.

- Escalante Estrada, V., Ramírez Camperos, E., Pozo Román, F., Cardoso Vigueros, L., Tomasini Ortiz, C., & Moeller Chávez, G. (s.f.). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados*. Obtenido de <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1657>
- Escallón, F. V. (2018). *Diario la Economía*. Obtenido de Diario la Economía: <https://diariolaeconomia.com/notas-de-actualidad/item/3678-filtros-verdes-la-solucion-al-agua-de-calidad-en-colombia.html#:~:text=El%20rango%20de%20eficiencia%20de,libre%20de%20bacterias%20y%20enfermedades>.
- Friha, I., Karray, F., Feki, F., Jlaiel, L., & Sayadi, S. (2014). Treatment of cosmetic industry wastewater by submerged membrane bioreactor with consideration of microbial community dynamics. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 125-133.
- Gobierno de Colombia. (1998). *Decreto Número 219 de 1998*. Obtenido de Minsalud: https://www.invima.gov.co/documents/20143/448427/decreto_219_1998.pdf/9fac6f26-bc66-126f-e5b9-ae0af0b94f76
- IAgua. (s.f.). *IAgua*. Obtenido de IAgua: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lechobacterianos-tecnologia-robusta-pero-tanto-olvidada>
- IDEAM. (s.f.). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/1Fundamentosdelprocesodelodosactivados.pdf>
- Li, Y., Zhang, M., Guo, J., Wang, D., Zhang, Y., Wang, L., & Zhang, L. (2022). The performance of electrode ultrafiltration membrane bioreactor in treating cosmetics wastewater and its anti-fouling properties. *Environmental Research*.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (s.f.). La digestión anaerobia. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 35-48.
- Malacatus, P., & Chamorro, E. (16 de Diciembre de 2016). *Universidad Central de Ecuador*. Obtenido de UCE: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/download/888/899/3402>

- Méndez Ochoa, L. V., & Sosa Hernández, L. J. (2019). *Propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de una empresa del sector cosmético*. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7595>
- Ovuoraye, P. E., Ugonabo, V. I., & Nwokocha, G. F. (2021). Optimization studies on turbidity removal from cosmetics wastewater using aluminum sulfate and blends of fishbone. *SN Applied Sciences*, 14.
- Patidar, R., & Srivastava, V. C. (2022). Ultrasound-assisted electrochemical treatment of cosmetic industry wastewater: Mechanistic and detoxification analysis. *Journal of Hazardous Materials*.
- Pereira Lima, J. P., Dias Melo, E., & Aguiar, A. (2022). Characteristics and ways of treating cosmetic wastewater generated by Brazilian industries: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 601 - 612.
- Pérez Royero, J. M. (2013). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de Unad: <https://1library.co/document/yjdd2k5y-ambiente-desarrollo-sostenible-complejo-carbonifero-cerrejon-municipio-barrancas.html>
- Pradilla, F. (1994). *Clarificación de aguas. Documento técnico. Química Nalco de Colombia S.A.*
- Quintana R. (2000). *Coca Cola de Colombia*. Obtenido de Coca Cola de Colombia.
- Rhaiany Ribeiro, M., Moraes Guimaraes, Y. d., & Fernandes Silva, I. (2021). Synthesis of value-added materials from the sewage sludge of cosmetics industry effluent treatment plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Rubiano López, C. F. (2019). *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Obtenido de Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3674/Aprovechamiento_biosolidos.pdf;jsessionid=7D3B23442D87418F613DDCD1920E93D7?sequence=1
- S, G., H, A., M, H., & A, A. (650 - 656). Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *Journal of Hazardous Materials*, 2008.
- Salvador Mosquera, G. I. (2017). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria cosmética Envapress CIA. LTDA, a través de la caracterización de*

los efluentes para el cumplimiento ambiental de la normativa vigente. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2373>

Sillanpää, M., & Shestakova, M. (2017). *Electrochemical Water Treatment Methods: Fundamentals, Methods and Full Scale Applications.* Elsevier Science.

Statista. (2022). *Statista.* Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/temas/9391/cosmetica-y-cuidado-personal-en-el-mundo/#topicOverview>

Statista. (2023). *Statista.* Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/temas/9760/la-industria-de-los-cosmeticos-en-colombia/#topicOverview>

Stevanya, H. M., & Novirina, H. (2021). Combining grease trap and Moringa Oleifera as adsorbent to treat wastewater restaurant. *South African Journal of Chemical Engineering*, 196-205.

Suarez, J. (1987). *Memorias Curso de Operadores de Plantas de Potabilización.* 136 - 167.

Uçaroğlu, S., & Alkan, U. (2016). Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 295.

Unión Europea. (2009). *Reglamento N° 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo.* Obtenido de EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1223-20150416&from=ES>

Universidad de La Salle. (2017). *Universidad de La Salle.* Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1479&context=ing_ambiental_sanitaria

Universidad de Salamanca. (s.f.). *Universidad de Salamanca.* Obtenido de Universidad de Salamanca: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/lechoshernan.PDF>

Valencia Lopez, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo.* Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>

Véliz, L., Llanes Ocaña, J. G., Fernández García, L., & Bataller Venta, M. (s.f.). Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de

laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46-56.

Wagner, H. J. (2007). *Energy: The Worlds Race for Resources in the 21st Century*. *Haus Publishing*.

Zhana Solutions. (2023). *Zhana Solutions*. Obtenido de Zhana Solutions:
<https://zhanasolutions.com/servicio>

ANEXO 1

RECOMENDACIONES

Se debe revisar bien los costos a la hora de diseñar e implementar cualquier unidad a una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que de esto depende una buena construcción y un buen funcionamiento.

El mantenimiento programado debe ser realizado en los tiempos establecidos ya que de esto depende el buen funcionamiento de los equipos, su vida útil y la calidad del efluente a la salida de toda la PTAR.

Finalmente hay etapas que fueron omitidas pero que podrían ser consideradas como es el caso de una desinfección en un tratamiento terciario.