

**Caracterización cualitativa y cuantitativa de sistemas de tratamiento de aguas grises
provenientes de la industria restaurantera, basada en revisión literaria.**

Elaborado por:

Brandon Danilo Arenas Guayazan

Luis David Gamba Castellanos

Wilson Miller Franco Castro

Universidad EAN

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Postgrado

Bogotá

25/05/2025

Resumen

Esta investigación caracteriza, mediante revisión documental y enfoque mixto, los sistemas de tratamiento de aguas grises aplicables al sector restaurantero. Se analizan tecnologías físicas, químicas y biológicas en función de su eficiencia, área requerida, mantenimiento y condiciones de implementación. Los resultados, sistematizados en una matriz comparativa, permiten identificar ventajas, limitaciones y niveles de aplicabilidad, ofreciendo una base técnica para decisiones informadas en contextos urbanos con alta demanda hídrica y requerimientos normativos.

Palabras clave: Tratamiento, aguas grises, industria restaurantera, gestión del agua.

Problema de Investigación

El cambio climático no solo ha traído sequías más largas y severas, sino que ha vuelto impredecible el acceso al agua en numerosas comunidades. Mientras tanto, nuestras ciudades siguen creciendo y con ellas, la sed de millones de personas que necesitan este recurso vital, podemos tomar como ejemplo el racionamiento de agua que inicio en abril del 2024 en la ciudad de Bogotá, Colombia y que duro más de 1 año.

Para restaurantes y negocios gastronómicos, la situación es especialmente crítica. Desde lavar los ingredientes hasta mantener impecables las instalaciones, el agua de calidad es simplemente indispensable. Sin ella, es imposible garantizar la seguridad de los alimentos que se sirven en nuestras mesas. También muchos otros comercios se ven afectados, ejemplo los lavaderos de carros o motos y aunque estos ya utilizan equipos para la reutilización de aguas residuales, en época de escases de agua sus clientes dejan de visitarlos con la misma frecuencia anterior.

En este contexto, una solución cada vez más prometedora está en aprovechar lo que antes desechábamos: las aguas grises. Esa agua que usamos para lavarnos las manos, ducharnos o limpiar los platos puede tener una segunda vida y existen diversos métodos para tratarla — físicos, químicos, biológicos o combinados— cada uno con sus ventajas e inconvenientes en términos de eficiencia, costo y complejidad.

El problema es que, a pesar de su potencial, aún no contamos con estudios comparativos actualizados que nos ayuden a tomar decisiones informadas. Lo que genera una necesidad de un análisis que vayan más allá del rendimiento técnico y consideren aspectos cruciales como el impacto ambiental, la viabilidad económica, la adaptabilidad a entornos urbanos y el

cumplimiento de normativas sanitarias. Sin esta información, muchos negocios gastronómicos y de otros sectores que podrían beneficiarse enormemente de estas tecnologías se quedan sin herramientas para avanzar hacia un futuro más sostenible.

En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las alternativas más eficientes y con una mayor conveniencia de implementación para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria restaurantera?

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar los sistemas de tratamiento de aguas grises utilizados en el sector restaurantero, mediante una revisión documental con análisis cualitativo y cuantitativo de los tipos de tecnologías reportados en la literatura.

Objetivos específicos

- ✓ Identificar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales que pueden ser empleadas dentro de la industria restaurantera, a partir de la revisión de literatura científica y técnica
- ✓ Describir las características de los diferentes sistemas empleadas para el tratamiento de aguas grises de la muestra seleccionada
- ✓ Analizar las diferentes variables cualitativas y cuantitativas de los sistemas de tratamiento de aguas grises descritos

- ✓ Comparar las ventajas, limitaciones y condiciones de aplicabilidad de cada tecnología en función del tipo de establecimiento gastronómico.

Justificación

El tratamiento de aguas residuales se presenta como un desafío exponencial en las diferentes industrias, entre las cuales se encuentra la industria restaurantera, la cual se caracteriza por la generación de un alto volumen de agua residual que presenta características contaminantes que afectan de forma considerable el medio en que se vierte.

El creciente consumo de servicios de restaurantes urbanos genera, volúmenes significativos de aguas residuales con cargas elevadas de materia orgánica, grasas, aceites y surfactantes, así como sólidos en suspensión y nutrientes. Estas características complejas hacen que el vertido directo a sistemas convencionales de alcantarillado no solo incremente la carga contaminante de las plantas de tratamiento de aguas negras, sino que también eleve los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura pública. En este contexto, identificar las alternativas más eficientes y de fácil implementación para el tratamiento en sitio de estas corrientes es fundamental tanto para optimizar recursos hídricos como para reducir presiones financieras y ambientales sobre los sistemas de abastecimiento y saneamiento.

Desde el punto de vista técnico, la eficiencia de un sistema de tratamiento se mide por su capacidad para reducir parámetros críticos —demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), turbidez y fracción lipídica— a niveles que permitan la reutilización

segura del agua en aplicaciones no potables (descarga de cisternas, limpieza de pisos, riego de áreas verdes). Al mismo tiempo, la conveniencia de implementación radica en factores como huella física, consumo energético, facilidad de operación y mantenimiento, tiempo de retorno de la inversión y cumplimiento normativo local. Un análisis comparativo de tecnologías permitirá evaluar no solo su eficacia depuradora, sino también su adaptabilidad a distintos tamaños de establecimiento, disponibilidad de espacio, y perfil de recursos humanos y económicos de cada empresa restaurantera.

De esta forma, la investigación de las alternativas más eficientes y con mayor conveniencia de implementación abre el camino hacia un modelo de restauración más sostenible, económico y alineado con las exigencias regulatorias y ambientales actuales.

Marco Teórico

Durante los últimos años se ha evidenciado un avance más rápido en los cambios en el medio ambiente debido a las dinámicas que la sociedad humana ejerce sobre su entorno, esto debido a la necesidad de satisfacer sus necesidades y adicional una falta de moderación en el gasto de sus recursos. El más importante de ellos, el recurso hídrico, está presentando la mayor presión de su demanda de los últimos tiempos, esto debido a su utilización en sectores económicos importantes, como el gastronómico o el industrial (Blokker et al., 2011).

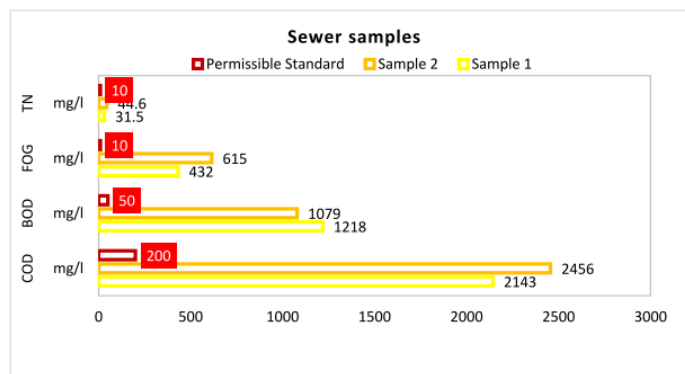
El creciente cambio climático ha alterado significativamente los patrones de precipitación, generando temporadas de sequía mucho más largas a lo que se estaba habituado, lo que dificulta la disponibilidad de agua dulce a nivel global, provocando fenómenos extremos como sequías prolongadas y estrés hídrico (IPCC, 2021). La escasez del recurso hídrico y su alta demanda, obliga a revalorizar la forma en que se gestiona el recurso hídrico, como el racionamiento de agua en Bogotá, y la reutilización de aguas grises, que son estas aguas residuales generadas de actividades domésticas o comerciales, excluyendo las aguas negras (World Bank Group, 2017). para usos no potables o usos específicos.

Las aguas residuales provienen del uso del recurso en las actividades cotidianas ya sea para consumo directo, preparación de alimentos, actividades de limpieza, fabricación de materiales, entre otras; durante su uso el recurso adquiere características que lo convierten en residuo líquido el cual debe ser desechado o en el mejor de los casos tratado, para que se le pueda dar de nuevo uso en las actividades en que se emplea. Las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están

conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas (Acosta et al., 2024).

Es de suma importancia tener en cuenta la composición de las aguas residuales que se generan a partir de la industria restaurantera, caracterización que evidencia la concentración de contaminantes que puede contener expresada en Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Grasas y Aceites (G&A), entre otros contaminantes principales que evidencian el estado del recurso hídrico. A continuación, se evidencia una caracterización de aguas residuales, tomada en la capital de Malasia Kuala Lumpur, en donde confluyen diferentes restaurantes de cafeterías, pequeños restaurantes y hoteles, incluyendo algunas grandes cadenas de restaurantes como Subway, Burger King, Pizza Hut, KFC, Old Town y Richiamo Coffee, obteniendo así una muestra compuesta (Ahmad et al., 2023):

Ilustración 1 Caracterización aguas grises



Fuente. (Ahmad et al., 2023)

Dentro del estudio se toman en cuenta dos (2) muestras, de diferentes parámetros, sin embargo, dentro de la gráfica se evidencia únicamente Nitrógeno Total (TN), Grasa y Aceites (FOG), Demanda Biológica de Oxígeno (BOD) y Demanda Química de Oxígeno (COD). De igual forma resaltado en color rojo se evidencia el límite máximo permisible de vertimiento por cada uno de los parámetros en la zona.

El aprovechamiento de las aguas grises ofrece múltiples beneficios (Gross et al., 2005), algunos son:

- Disminución en la carga sobre el sistema de alcantarillado.
- Reducción en la demanda de agua potable.
- Generación de ahorros económicos significativos.

Y también existen diversas formas de realizar el tratamiento de aguas grises, principalmente existen 3 grandes grupos, métodos físicos, métodos químicos y métodos biológicos.

1. Métodos Físicos

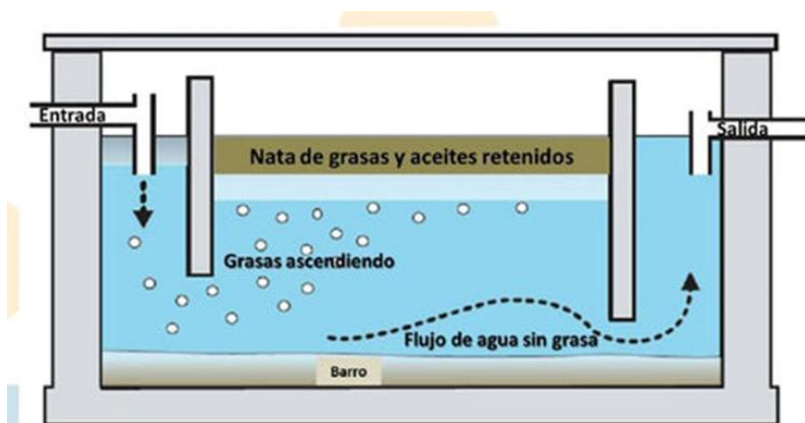
Consiste en mecanismos que implementan equipos que se instalan en los desagües y que logran remover contaminantes presentes en el agua residual, esto incluye tratamientos por filtración, sedimentación o separación por diferencia de densidades, entre otros. Estos métodos no son muy eficientes, para eliminar contaminantes biológicos o químicos de las aguas residuales.

Trampa de Grasas Convencional

La tecnología de separar las grasas recibe nombres por diferentes autores, organizaciones e instituciones, entre estos nombres tenemos interceptores de grasa o des engrasadores, siendo una

tecnología de pretratamiento. El más común en Centroamérica y Latinoamérica es el término trampas de grasas y aceites; una trampa de grasa es un dispositivo de metal, plástico o concreto utilizado en restaurantes, hoteles, comedores e incluso viviendas; tiene como función principal remover grasas, aceites y residuos orgánicos conocidos como “desperdicios de comida” antes de que sean vertidos al alcantarillado; ya que, al enfriarse las grasas y aceites cambian su viscosidad (Académico et al., 2021).

Ilustración 2 Diagrama Trampa de Grasa



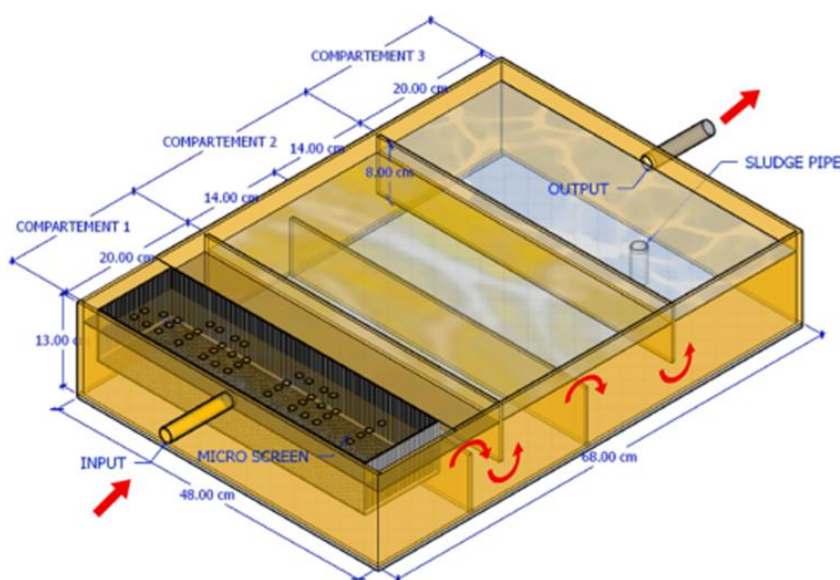
Fuente. (Académico et al., 2021)

Trampa de Grasa y Moringa Oleífera

En la ciudad de Surabaya ciudad perteneciente a Indonesia, cuenta con una serie de restaurantes los cuales generan un vertimiento constante de aguas residuales directamente al alcantarillado las cuales aportan contaminantes incrementando la contaminación en los cuerpos de agua presentes en la zona. Debido a la problemática ambiental presentada, se desarrolla una investigación en donde se hace la combinación de las trampas de grasa convencionales junto con semillas de Moringa, las cuales funcionan como material adsorbente de contaminantes

principalmente DBO, DQO, y Grasas y Aceites. De acuerdo con el estudio consultado, luego de implementar un sistema de separación de grasas finalizando con la implementación de la Moringa como tratamiento en la fase final del sistema, se logra evidenciar una remoción por encima del 80% de materia orgánica (DBO y DQO) con concentraciones de hasta 3,327 mg/l, adicional a una remoción de Grasas y Aceites con concentraciones de hasta 4,000 mg/l (Hendrasarie & Maria, 2021).

Ilustración 3 Trampa de Grasa con Moringa Oleifera



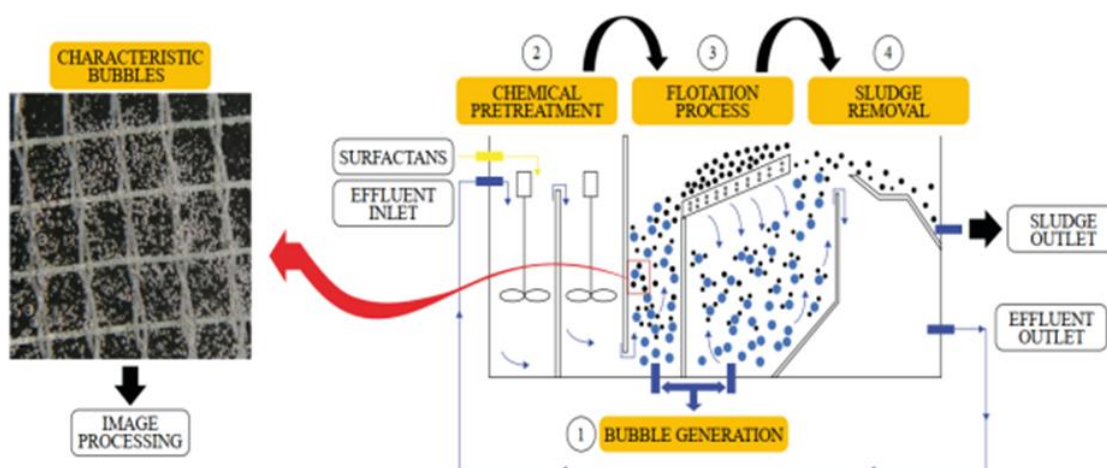
Fuente. (Hendrasarie & Maria, 2021).

Flotación por Aire Disuelto

El sistema de flotación por aire disuelto es un método empleado en el tratamiento de aguas residuales convencionales, en donde se emplea el aire comprimido (burbujas finas) en la parte inferior de la lámina de agua para que por diferencia de densidades vaya hacia la superficie, llevando consigo una serie de contaminantes inmersos dentro de la materia orgánica insoluble en

el agua residual. Este sistema puede emplearse únicamente de forma física o también puede ser combinado con química (coagulantes o floculantes), incrementando así su eficiencia de remoción ((Muñoz-Alegría et al., 2021) . El sistema DAF cuenta con especificaciones en cuanto al tiempo de retención que debe tener el tratamiento del agua y debe estar en un tiempo similar a 20 minutos, teniendo en cuenta la carga contaminante que este tenga, y un tamaño de partícula entre 40 y 70 micras (Chan, 2013).

Ilustración 4 Flotación por aire disuelto



Fuente. (Muñoz-Alegría et al., 2021).

2. Métodos Químicos y/o eléctricos

Este método involucra procesos de oxidación, precipitación de contaminantes, separación con el uso de coagulantes y floculantes en su mayoría, además del acompañamiento de métodos de sedimentación que incrementan eficiencias y complementan la aplicación de agentes químicos en el agua residual. Tienen una alta eficacia de remoción de contaminantes que se encuentran insolubles en el agua, sin embargo, requieren de una evaluación rigurosa para no generar subproductos no deseados o que se presenten sobrecostos operativos.

Electrocoagulación

El tratamiento de aguas mediante la electrocoagulación es una alternativa innovadora que busca implementar un sistema que tenga mantenimiento mínimo debido a la resistencia de sus materiales, asegurando altas eficiencias de remoción de los contaminantes, el autor explica el proceso en el cual se cuenta con dos placas metálicas, una cuenta con carga negativa y la otra con carga positiva; en el ánodo de carga positiva se liberan los iones Al^{3+} o Fe^{2+} buscando unirse a cargas negativas en el agua, como contaminantes o partículas. Por otro lado, en el cátodo se generan burbujas de hidrógeno y ayuda a que los contaminantes suban a la superficie o se agrupen (Muvel et al., 2024). Algunos de los aspectos a tener en cuenta con este tipo de tecnología es el siguiente:

- La eficiencia de remoción del sistema en cuanto a grasas y aceites es mayor al 94%
- El tiempo de retención del residuo líquido en el sistema es de 15 minutos
- La energía consumida durante la etapa de tratamiento es menor a 1,5 kWh/m³

Tomando en cuenta un estudio de electrocoagulación en China, se tiene contemplado que la eficiencia de remoción con un sistema de electrocoagulación enfocado en grasas y aceites principalmente puede alcanzar hasta un 99%, incrementando el tiempo de retención o tiempo de tratamiento de cada una de las partículas que contiene el agua residual a 34 minutos, teniendo un

requerimiento de espacio mayor, pero asegurando un mejor tratamiento del residuo líquido (Kadier et al., 2022).

Ilustración 5 Diagrama electrocoagulación



Fuente. (Muvel et al., 2024).

Oxidación

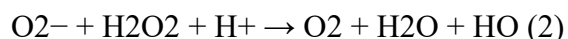
Los procesos avanzados de oxidación, los cuales se caracterizan por ser métodos eficientes de tratamiento de aguas residuales ya que poseen la capacidad de degradar químicamente los contaminantes orgánicos a través de especies oxidativas o radicales hidroxilos $OH\cdot$.

Los radicales hidroxilos son unas de las especies oxidantes con mayor potencial de oxidación, por todo lo anterior, el objetivo de todos los procesos es establecer la consecución de un elevado potencial oxidante. Las ecuaciones 1 y 2 representan el proceso oxidativo o de generación del radical hidroxilo ($OH\cdot$).

Ecuación 1. Procesos oxidativos



Ecuación 2. Procesos oxidativos



El radical hidroxilo (HO·) posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica en condiciones suaves de presión y temperatura, hasta la mineralización completa de estos contaminantes. Debido a la altísima reactividad de estas especies es posible eliminar tanto compuestos orgánicos como inorgánicos logrando así una reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT) y toxicidad en las aguas residuales tratadas (CUESTA, 2019).

3. Métodos Biológicos

En este método se aprovecha los microorganismos para la degradación de la materia orgánica, algunos ejemplos son sistemas de lodos activados, reactores anaerobios, así como la posibilidad de evidenciar humedales artificiales, los métodos biológicos son los más sostenibles, pero requieren de un control técnico más riguroso y en algunos casos mayor espacio para su implementación.

Tratamiento Biológico a partir de Microalgas

El tratamiento de aguas residuales mediante la degradación biológica tiene diferentes ventajas entre las cuales se puede encontrar la relación, Carbono/Nitrógeno/Fosforo, en donde se asegura una óptima interacción de los microorganismos que se encuentran presentes con las condiciones ideales para llevar a cabo la respectiva degradación. Uno de los tratamientos innovadores

evidenciados, consiste en el uso de microalgas de tipo *Chlorella Vulgaris* en Taiwan, el crecimiento de las microalgas libera oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis, lo que reduce la demanda de oxígeno del agua y, en consecuencia, logra el objetivo de disminuir la DBO y la DQO (Ahmad et al., 2025). Los resultados evidenciados dentro del estudio cuentan con las siguientes especificaciones:

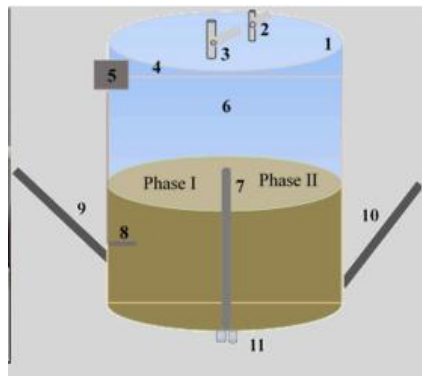
- Eficiencia de remoción de carga orgánica expresada en DQO y DBO > 98%
- Es de suma importancia tener en cuenta un sistema de malla antes de que el agua residual ingrese directamente al tratamiento de aguas por microalgas, dado que al ser más pequeño el tamaño de la partícula la degradación será más rápida y eficiente (Znad et al., 2018).
- El sistema requiere de aireación, control de temperatura, y control de población de microalgas.
- Una de las mayores desventajas con el tipo de tratamiento es el tiempo de oxidación de la materia orgánica, el cual es mayor a dos (2) días.

Biodigestor Anaerobio

La digestión anaerobia de los residuos orgánicos generados en los restaurantes suele ser una alternativa muy interesante además de innovadora, en donde no solo se realiza una depuración de los contaminantes y carga orgánica que contiene el agua residual, sino que también se generan subproductos que pueden ser de suma importancia como lo es el biogás y el compost, los cuales suelen ser empleados en otras actividades que se realicen ya sea para la generación de energía calorífica y/o el cultivo de alimentos (Granzotto et al., 2021). Dentro de este tipo de tratamiento se tiene las siguientes especificaciones:

- Remoción
 - DQO (Demanda Química de Oxígeno): > 95%
 - DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): >95%
 - SST (Solidos Suspendidos Totales): >53%
- Una de las condiciones es tener las partículas de residuos orgánicos con el menor diámetro posible para una mejor oxidación o degradación
- La descarga de las aguas residuales luego de tratadas al ambiente, deben ser controladas específicamente por la alta carga de nutrientes que contienen como nitrógeno y fosforo, pueden ser nocivas al medio (Atchala et al., 2025) .

Ilustración 6 Diagrama de Biodigestor



1 - biodigestor; 2 - válvula de muestreo de biogás; 3 - válvula de liberación de biogás; 4 - resistencia eléctrica; 5 - controlador de temperatura; 6 - espacio vacío del biodigestor; 7 - deflector interno; 8 - sensor de temperatura; 9 - entrada de sustrato; 10 - salida de digestato; 11 - válvula de vertido (Granzotto et al., 2021).

Marco Institucional

El óptimo tratamiento de aguas residuales que se genera en la industria restaurantera es de suma importancia tanto para el cuidado del medio ambiente como para la salud pública. Las aguas grises vertidas, se caracterizan por tener una alta concentración de grasas, aceites y carga orgánica, que puede generar malos olores, generación de vectores, y taponamiento de tuberías si no se da el respectivo tratamiento que se requiere.

- Normativa:

La normativa que aplica actualmente al tratamiento de aguas grises corresponde directamente a la misma que se aplica para las aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta la carga contaminante similar que caracteriza este tipo de residuos líquidos, a continuación, se comparte los límites máximos permisibles exigidos para la industria:

Tabla 1 Normativa de vertimiento

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS – ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 KG/ día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte

Fuente. (Ministerio de Medio Ambiente, 2015)

Metodología

Primer nivel

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque metodológico mixto, combinando herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo con el fin de caracterizar de manera integral

los sistemas de tratamiento de aguas grises documentados en la literatura científica y técnica. Se trata de una investigación que sigue un diseño **no experimental, transversal y descriptivo**, sustentada en la revisión y análisis de literatura científica, técnica y normativa publicada entre los años 2015 y 2025. El componente cualitativo se enfoca en el análisis conceptual, técnico y contextual de las tecnologías de tratamiento de aguas grises, mientras que el componente cuantitativo se centra en la sistematización de datos numéricos (eficiencias, costos, dimensiones, entre otros) reportados por diferentes estudios. El diseño permite no solo describir las tecnologías disponibles, sino también compararlas con base en sus parámetros de desempeño y aplicación contextual.

El propósito es identificar las tecnologías más empleadas, sus principios de funcionamiento, niveles de eficiencia reportados, ventajas, limitaciones y contexto de aplicación. Asimismo, se sistematizan datos cuantitativos disponibles en la literatura (eficiencias de remoción, costos, escalabilidad, entre otros), con el fin de establecer una base comparativa.

Este trabajo no incluye trabajo de campo ni recolección de datos primarios, y se limita a lo documentado en fuentes académicas y técnicas accesibles a través de bases de datos reconocidas. Tampoco se pretende validar experimentalmente las tecnologías, sino realizar un análisis crítico del conocimiento disponible hasta la fecha.

Definición de Variables

Al tratarse de un enfoque mixto se presentan divididas entre variables cualitativas y cuantitativas:

Tabla 2 Definición de variables cualitativas

VARIABLES CUALITATIVAS (Descriptivas)		
Variable	Definición operacional	Categorías esperadas
Tipo de sistema	Tecnología utilizada para el tratamiento de aguas grises.	Sistemas de tratamiento de físicos, químicos, electrocoagulación y biológicos.
Ventajas	Beneficios cualitativos destacados en la literatura.	Bajo costo, fácil mantenimiento, eficiencia, integración paisajística, etc.
Limitaciones o barreras	Obstáculos identificados para la implementación.	Espacio, costos, requerimientos técnicos, percepción del usuario, normativas.
Tipo de mantenimiento	Descripción del mantenimiento requerido.	Preventivo, correctivo, limpieza periódica de filtros, recambio de materiales.

Tabla 3 Definición de variables cuantitativas

VARIABLES CUANTITATIVAS (Numéricas)		
Variable*	Definición operacional	Unidad de medida esperada
Eficiencia de remoción de contaminantes	Porcentaje de reducción de parámetros como DBO, sólidos suspendidos, grasas, etc.	%
Área requerida para el sistema	Espacio físico necesario para instalar el sistema.	m ²
Costo estimado de implementación	Valor económico aproximado de instalar el sistema, según la fuente.	USD
Frecuencia de mantenimiento	Periodicidad con la que se debe realizar mantenimiento.	Días, semanas, meses
Número de casos documentados por tipo de sistema	Frecuencia con la que aparece cada tecnología en la literatura revisada.	Número de estudios

*Estas variables pueden ser susceptibles a cambio de acuerdo con la información recolectada en la literatura

Población y Muestra

Dado que es una revisión bibliográfica, la “población” será el conjunto de estudios y fuentes sobre tratamiento de aguas grises en el contexto de la industria restaurantera, con un tamaño estimado de **30 documentos**. Las fuentes incluyen artículos de revistas indexadas, tesis, informes técnicos y normativas aplicables al tratamiento de aguas grises publicados entre los años 2015 a 2025.

Las fuentes de información corresponden a bases de datos científicas y repositorios académicos, tales como:

- Scopus
- ScienceDirect
- SciELO
- Google Scholar
- RedALyC
- Repositorios universitarios

Se utilizará **Mendeley** como gestor bibliográfico.

La muestra estará constituida por los documentos que cumplan los siguientes criterios de inclusión:

- Que traten específicamente sobre sistemas de tratamiento de aguas grises aplicados en la industria restaurantera.

- Que describan o comparen tecnologías, principios de funcionamiento, ventajas, eficiencia, requerimientos de espacio o mantenimiento.
- Que sean artículos científicos, tesis, informes técnicos, guías o manuales con contenido verificable.

Se excluirán aquellos documentos que:

- No presenten información suficiente sobre los sistemas de tratamiento.
- Se centren en aguas negras o en contextos diferentes al uso en establecimientos gastronómicos.
- No estén disponibles en texto completo.

El proceso de búsqueda, preselección y selección final será sistematizado mediante una matriz de revisión documental, donde se registrarán las variables definidas para el análisis.

Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de Información

Dado que esta es una investigación de tipo documental, la recolección de información se realizará a partir de fuentes secundarias, empleando un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Para ello, Se utilizará una estrategia sistemática de búsqueda de información en las bases de datos académicas y técnicas mencionadas en el apartado anterior.

La búsqueda se realizará utilizando las palabras clave combinadas con operadores booleanos, por lo que se propone usar de base la siguiente ecuación de búsqueda:

Técnicas de análisis de datos

Dado el enfoque mixto de esta investigación, se aplicarán técnicas tanto cualitativas como cuantitativas para analizar los datos extraídos durante la revisión documental.

Análisis cualitativo

Se empleará la técnica de análisis de contenido temático, mediante la cual se identifican, organizan y categorizan los conceptos clave y patrones recurrentes encontrados en los documentos revisados. Esta técnica permitirá clasificar:

- Tipos de sistemas de tratamiento
- Principios de funcionamiento
- Ventajas y limitaciones
- Condiciones de aplicabilidad en el sector restaurantero

La información se sistematizará a través de matrices comparativas y fichas de resumen que faciliten la interpretación transversal de los datos cualitativos.

Análisis cuantitativo

Para los datos numéricos extraídos (por ejemplo, eficiencia de remoción, área requerida, frecuencia de mantenimiento), se aplicará una estadística descriptiva básica, utilizando:

- Medidas de tendencia central (media, mediana) para las variables de eficiencia de remoción de contaminantes, área requerida para el sistema y costo estimado de implementación.

- Tablas de frecuencia para determinar el número de casos documentados por tipo de sistema y la periodicidad de los mantenimientos
- Comparaciones cruzadas para establecer posibles relaciones entre los costos de implementación y la eficiencia de remoción de los diferentes sistemas

Este análisis permitirá identificar tecnologías más eficientes, sistemas que requieren menor espacio o mantenimiento, y su posible viabilidad en contextos gastronómicos específicos.

Análisis y discusión de resultados

La presente investigación, basada en un enfoque mixto, integró tanto herramientas cualitativas como cuantitativas para el análisis de los datos recolectados a través de una revisión documental sistemática de 30 documentos científicos y técnicos. La información fue estructurada y analizada mediante una matriz comparativa que permitió extraer patrones relevantes sobre los sistemas de tratamiento de aguas grises aplicables al sector restaurantero.

Análisis cualitativo

Para la parte cualitativa, se empleó la técnica de análisis de contenido temático, la cual permitió identificar, categorizar y organizar los conceptos recurrentes encontrados en los documentos revisados. Las unidades de análisis se agruparon en las siguientes categorías:

- Tipos de sistemas de tratamiento
- Principios de funcionamiento
- Ventajas y desventajas técnicas y operativas
- Condiciones de aplicabilidad en el contexto gastronómico

El análisis temático facilitó una interpretación transversal de la información cualitativa, permitiendo establecer tipologías tecnológicas, factores de adaptación y limitaciones técnicas en diversos entornos operacionales.

Análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo incluyó el procesamiento de los datos numéricos disponibles en la matriz, específicamente en variables como:

- Eficiencia de remoción de contaminantes (DQO, SST, aceites y grasas)
- Área requerida para el sistema (cuando fue reportada)

Se aplicaron medidas de tendencia central como la media y mediana, además de tablas de frecuencia para clasificar los tipos de sistemas más estudiados y su distribución según criterios de operación. También se exploraron relaciones cruzadas entre la eficiencia y el tipo de sistema, o entre el mantenimiento requerido y la aplicabilidad sectorial.

Tipos de sistemas de tratamiento y principios de funcionamiento

El análisis temático permitió clasificar los sistemas identificados en la literatura en función de sus principios de funcionamiento y nivel de intervención tecnológica. A partir de los 30 documentos revisados, se identificaron seis grandes categorías de sistemas de tratamiento de aguas grises:

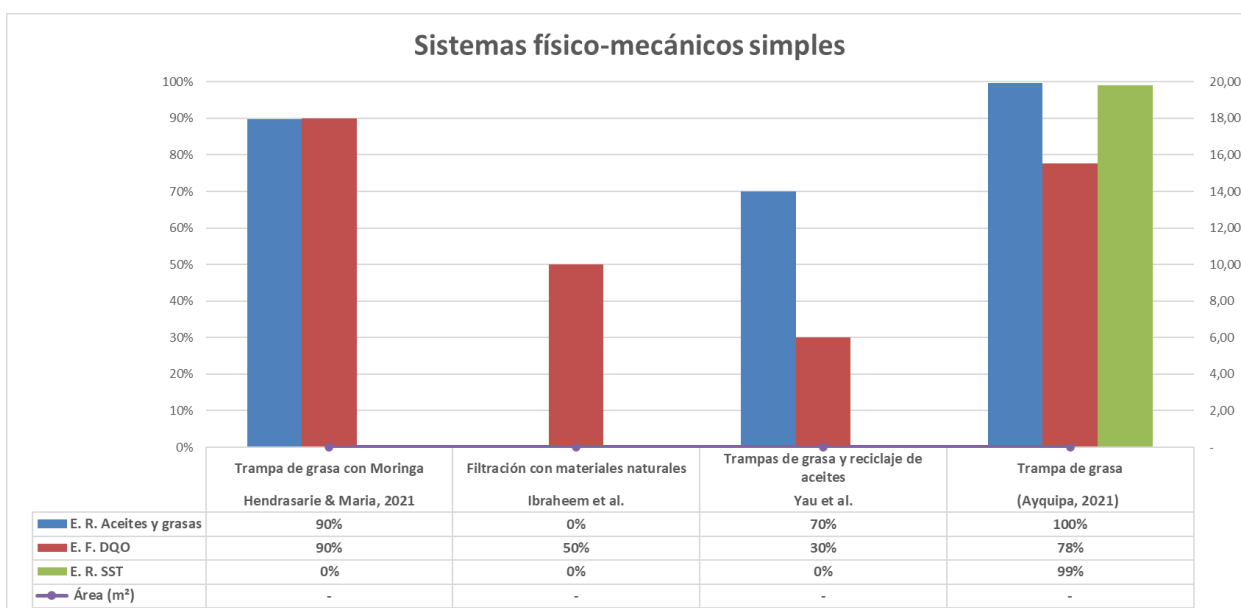
1. Sistemas físico-mecánicos simples

- Trampas de grasa
- Filtros con materiales naturales

- Separadores de sólidos por gravedad

Estos sistemas actúan como pretratamientos, especialmente eficaces en la remoción de aceites, grasas, sólidos gruesos y materia orgánica que no se encuentra disuelta en el agua residual. Son de bajo costo y fácil instalación, pero limitados en la remoción de materia orgánica disuelta o contaminantes químicos.

Ilustración 7 Comparación de sistemas físico-mecánicos simples



Para este sistema de tratamiento se observa que la trampa de grasa es la más eficiente teniendo en cuenta todos los parámetros a evaluar.

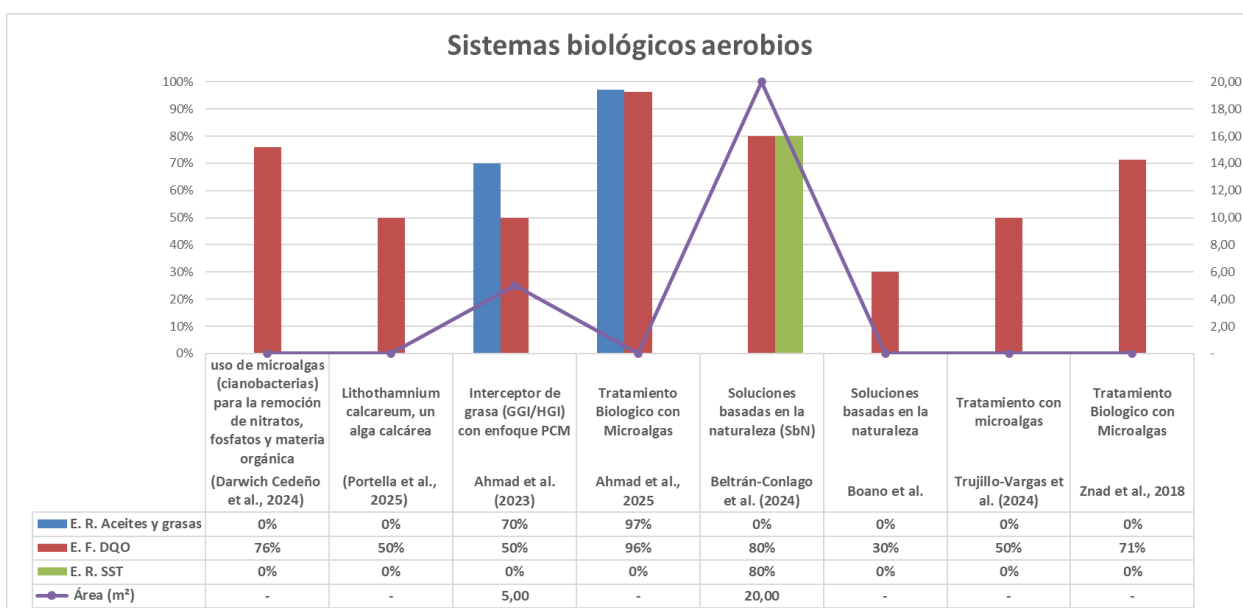
2. Sistemas biológicos aerobios

- Cultivo de microalgas
- Biofiltros
- Lechos bacterianos
- Filtros verdes o sistemas vegetados (fitotecnologías)

- Reactores compactos con aireación y reactores de lodos activados

Estos sistemas aprovechan organismos biológicos para la descomposición de materia orgánica y nutrientes. Requieren condiciones ambientales específicas (pH, luz, oxígeno) y suelen implicar un mantenimiento medio a alto. Tienen una alta eficiencia en la remoción de DQO y nutrientes, y en algunos casos generan biomasa aprovechable.

Ilustración 8 Comparación de sistemas biológicos aerobios



Respecto a los sistemas biológicos aerobios el tratamiento biológico con microalgas es el más eficiente.

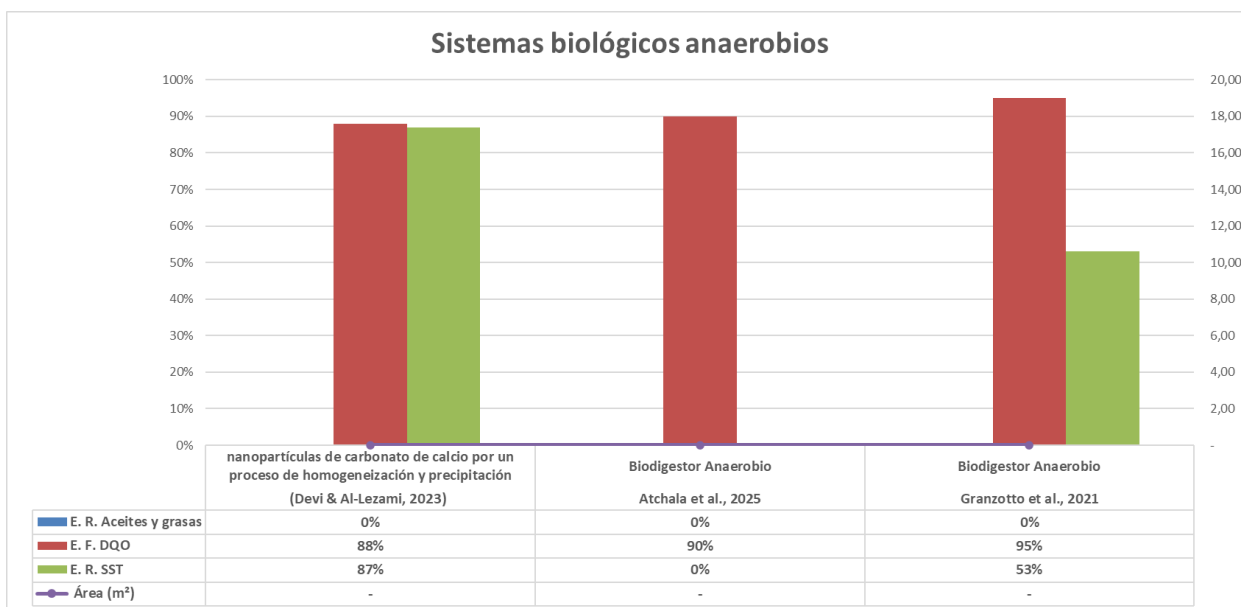
3. Sistemas biológicos anaerobios

- Biodigestores anaerobios

Operan sin oxígeno, generando biogás y material orgánico o lodo, que puede emplearse como compost como subproducto. Son adecuados para aguas residuales con alta carga orgánica, pero requieren tiempos de retención más prolongados y presentan mayor complejidad operativa.

Pueden emplearse en establecimientos que cuenten con el espacio respectivo en el cual se pueda realizar la respectiva operación del sistema.

Ilustración 9 Comparación de sistemas biológicos anaerobios



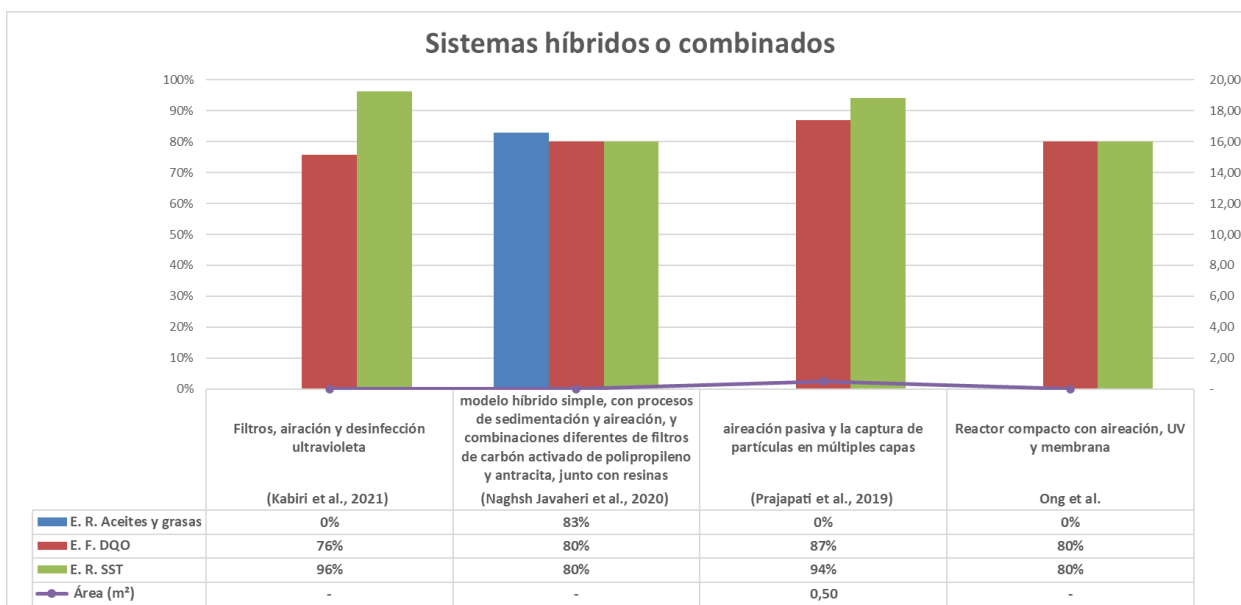
En el caso de los sistemas biológicos anaerobios se determinó que la mejor opción sería el sistema de nanopartículas de carbonato de calcio con un proceso de homogeneización y precipitación.

4. Sistemas híbridos o combinados

- Sistemas integrados con etapas biológicas y/o de membranas
- Ej.: sedimentación + biológico + desinfección, o fitotecnologías con UV

Estos combinan tecnologías para maximizar eficiencia y seguridad sanitaria. Son adecuados en contextos donde se requiere calidad del efluente apta para reúso (por ejemplo, riego o limpieza en cocina).

Ilustración 10 Comparación de sistemas híbridos o combinados



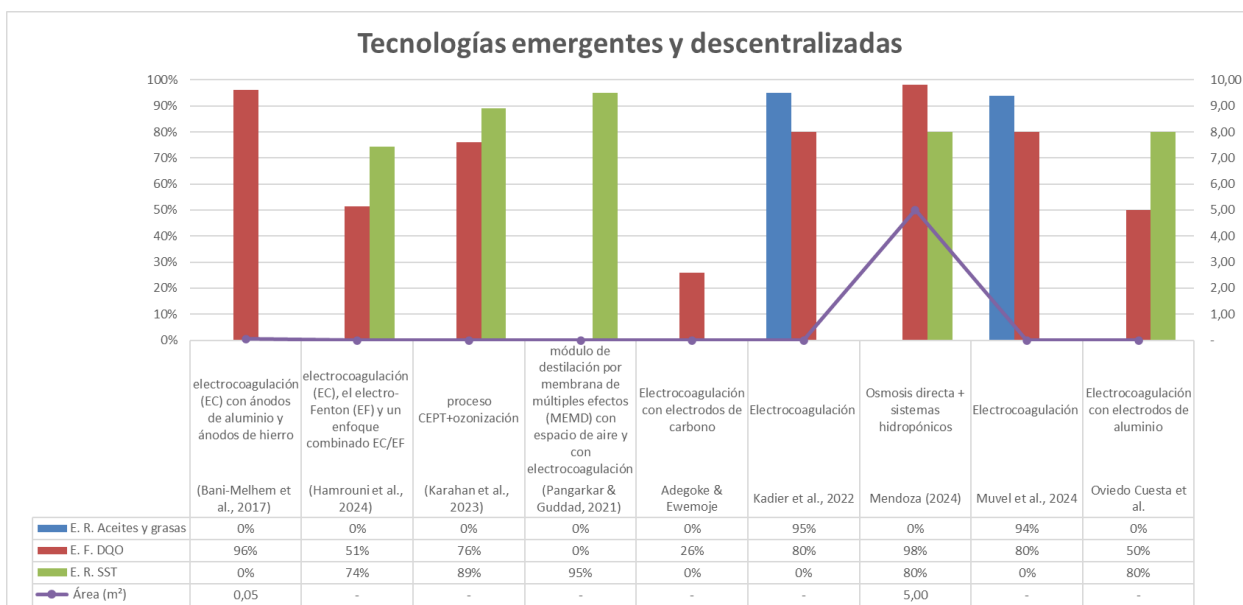
Por los sistemas híbridos o combinados, se concluye que el modelo híbrido simple, con procesos de sedimentación y aireación, y combinaciones diferentes de filtros de carbón activado de polipropileno y antracita, junto con resinas es el más eficiente.

5. Tecnologías emergentes y descentralizadas

- Osmosis directa acoplada a sistemas hidropónicos
- Reactores bioelectroquímicos
- Sistemas descentralizados modulares
- Sistemas de electrocoagulación
- Sistema de ozonización

Aunque aún en fase de validación o escala piloto, estas tecnologías ofrecen alto rendimiento en eficiencia de remoción, y permiten una mayor recuperación de recursos, como agua para riego o aseo, entre otras.

Ilustración 11 Comparación de sistemas emergentes y descentralizadas



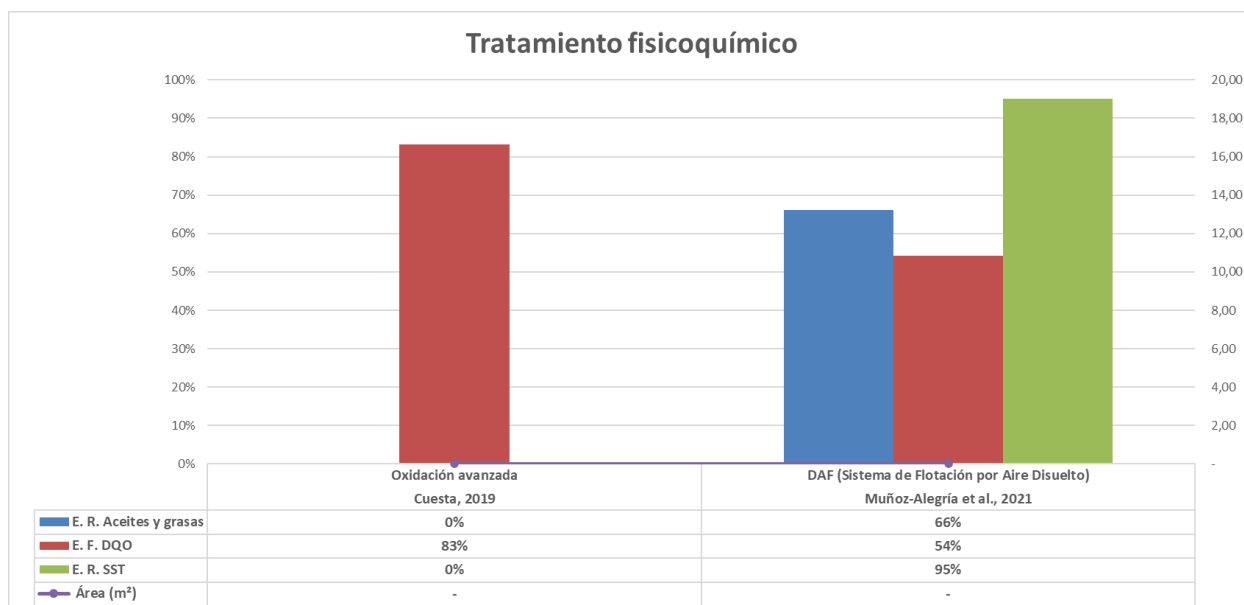
Para las tecnologías emergente y descentralizadas se determina que el sistema más eficiente es el de Osmosis directa + sistemas hidropónicos pero la electrocoagulación es un sistema muy eficiente también, ya dependería del enfoque que se necesite.

6. Tratamiento fisicoquímico

- Sistemas DAF (Sistema de Flotación por Aire Disuelto)
- Oxidación avanzada

Estos sistemas se encuentran enfocados en aguas residuales con alta carga de sólidos suspendidos, así como grasas y aceites. Se caracterizan por la aplicación de coagulantes y floculantes que aglomeran los sólidos, separándolos del agua, removiendo directamente la carga orgánica que no se encuentra disuelta en el agua.

Ilustración 12 Comparación de sistemas de tratamiento fisicoquímico

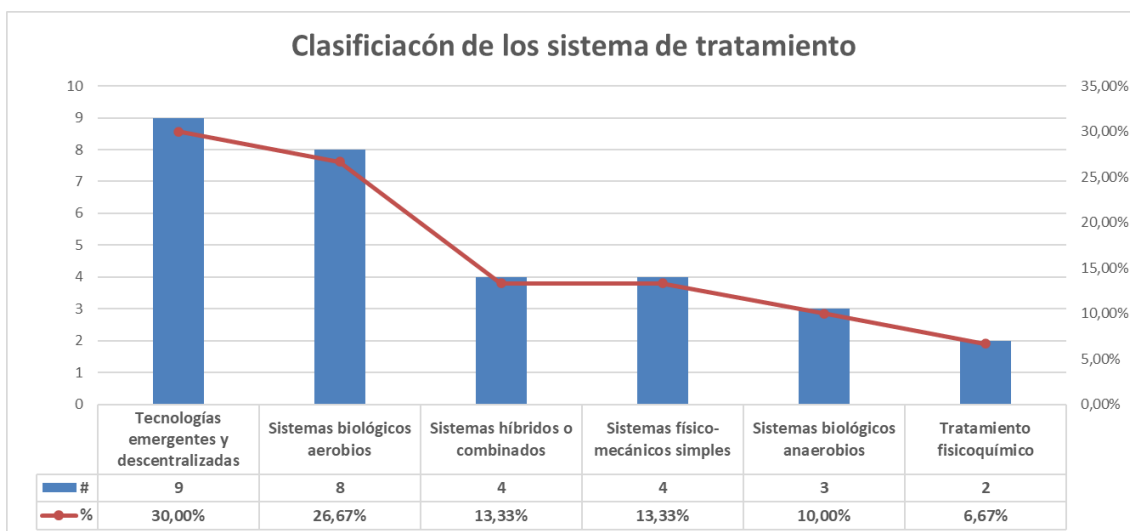


Para los sistemas de tratamiento fisicoquímicos se determina que el sistema más eficiente es el DAF (Sistema de Flotación por Aire Disuelto).

Tendencias observadas

La mayoría de los sistemas analizados utilizan procesos biológicos (más del 60%), lo que sugiere una preferencia por soluciones sostenibles y adaptables al contexto ambiental.

Ilustración 13 análisis de los diferentes tipos de sistemas



Las trampas de grasa siguen siendo una práctica ampliamente utilizada, especialmente en restaurantes, debido a su bajo costo, aunque limitadas en alcance.

Los sistemas híbridos y los descentralizados han ganado protagonismo en estudios recientes por su capacidad de adaptarse a escenarios urbanos con restricción de espacio y por ofrecer calidad de efluente adecuada para reutilización.

Eficiencia de remoción y desempeño comparativo

El análisis cuantitativo permitió comparar los sistemas de tratamiento documentados con base en tres parámetros clave: aceites y grasas, demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST). Esta comparación se realizó a partir de los valores reportados por los autores, expresados como porcentajes de remoción.

Remoción de aceites y grasas

Solo una fracción de los estudios ($\approx 30\%$) reporta valores cuantitativos para este parámetro, siendo las trampas de grasa los sistemas con mejor desempeño, con una remoción promedio superior al 95%, y valores máximos de hasta 99.76%. Sin embargo, su capacidad se limita a contaminantes insolubles, sin efecto sobre carga orgánica disuelta o nutrientes.

Otros sistemas, como las microalgas o los biodigestores, no reportan eficiencias específicas para grasas, lo que sugiere que no son su objetivo primario de tratamiento o que estos datos aún no están suficientemente documentados en la literatura.

Remoción de DQO

De los 30 estudios, aproximadamente 20 informaron eficiencias de remoción de DQO. Los sistemas anaerobios como los biodigestores mostraron eficiencias entre 90% y 95%, mientras que los sistemas con microalgas presentaron valores promedio de 95–96%.

La media general de remoción de DQO entre todos los sistemas fue de aproximadamente 85%, con una mediana de 90%, lo que sugiere un alto potencial de estos sistemas para la depuración de materia orgánica.

Remoción de SST

Los datos sobre remoción de sólidos suspendidos son escasos. Solo el 25% de los documentos reportaron este parámetro. La eficiencia promedio se sitúa en el rango de 50% a 99%, siendo los sistemas físicos y fisicoquímicos (como sistemas de flotación y trampas de grasa) los que muestran los mayores valores.

Por ejemplo, un estudio reporta una eficiencia de remoción de SST de 99.13% en trampas de grasa. En contraste, sistemas biológicos muestran valores más variables, especialmente cuando no incluyen etapas de clarificación o filtrado final.

Comparación transversal

Tabla 5 comparación de los sistemas de tratamiento

Tipo de sistema	Remoción aceites (%)	Remoción DQO (%)	Remoción SST (%)
Físico - mecánicos simples	95–99%	70–80%	>90%
Biológicos aerobios	90–97% (DQO)	>95%	No reporta
Biológicos anaerobios	N/R	90–95%	≤ 50–60%
Híbridos o combinados	Variables (altas)	85–98%	70–90%
Emergentes o descentralizadas	N/A	≥98% (OMP)	>80%
Físico - químicos	66%	70%	95%

N/R = No reportado. N/A = No aplica específicamente.

Esta comparación permite observar que los sistemas híbridos y avanzados ofrecen mayor eficiencia global, aunque pueden implicar mayores costos e infraestructura. Por su parte, los sistemas tradicionales, si bien son limitados, siguen siendo útiles como pretratamientos o soluciones de bajo costo.

Requerimientos de mantenimiento y sostenibilidad operativa

El análisis transversal de la matriz documental evidenció que todos los sistemas de tratamiento revisados implican cierto nivel de mantenimiento técnico o operativo, aunque con variaciones significativas en cuanto a frecuencia, complejidad y requerimientos asociados.

Frecuencia de mantenimiento

Del total de estudios, el 90% especifica algún nivel de frecuencia de mantenimiento. Los valores se clasificaron como:

- Alta frecuencia (diaria o semanal): común en trampas de grasa y sistemas con componentes expuestos a residuos sólidos o grasas acumuladas.
- Media frecuencia (quincenal o mensual): observada en biodigestores y sistemas biológicos simples.
- Baja frecuencia (trimestral o eventual): reportada en sistemas híbridos automatizados o de diseño robusto, aunque estos casos fueron escasos.

Los datos indican que la mayoría de los sistemas requieren mantenimiento semanal, lo cual implica una carga operativa constante, particularmente desafiante para establecimientos con baja disponibilidad de personal técnico.

Requerimientos técnicos del mantenimiento

Los requerimientos varían según el tipo de sistema:

- Sistemas físicos (trampas de grasa): requieren limpieza manual frecuente, y uso de productos químicos para evitar obstrucciones o proliferación bacteriana.

- Sistemas con microalgas: implican monitoreo de parámetros ambientales (pH, nutrientes, temperatura, luz), así como control del crecimiento y cosecha de biomasa.
- Biodigestores: requieren revisión de válvulas, presión y temperatura, así como manejo seguro del lodo generado.
- Sistemas híbridos: pueden implicar mantenimiento especializado de componentes eléctricos, sensores, membranas o unidades de filtración UV.

Estos requerimientos deben analizarse a la luz del contexto de aplicación. Por ejemplo, un restaurante pequeño con infraestructura básica difícilmente podrá implementar un sistema que demande monitoreo técnico intensivo, a menos que este venga acompañado de soporte institucional o externo.

Implicaciones operativas

El análisis cualitativo reveló que:

- Al menos 10 estudios mencionan que el sistema requiere operación técnica continua para garantizar su efectividad.
- En 10 estudios se identificó una frecuencia de mantenimiento alta como una desventaja explícita.
- En 8 documentos destacan como ventaja la facilidad de operación o la baja necesidad de intervención técnica.

En consecuencia, la sostenibilidad operativa aparece como una de las principales condiciones limitantes para la adopción de sistemas más complejos en el contexto gastronómico o restaurantero, especialmente en sectores informales o rurales.

Ventajas, desventajas y condiciones de aplicabilidad

El análisis temático permitió identificar y clasificar de forma transversal las ventajas y limitaciones reportadas en la literatura, así como sus implicaciones para la aplicabilidad práctica en el sector restaurantero y otros entornos relacionados.

Ventajas más frecuentes

De acuerdo con la codificación realizada en la matriz, las ventajas más reportadas en los documentos analizados fueron:

- Bajo consumo energético (presente en más del 50% de los sistemas analizados).
- Costos operativos reducidos, especialmente en sistemas pasivos como biodigestores y humedales artificiales.
- No requiere insumos químicos, lo que reduce el impacto ambiental y el costo operativo.
- Producción de subproductos reutilizables, como biogás (biodigestores) o biomasa (microalgas).
- Adaptabilidad a zonas rurales y urbanas, particularmente en sistemas descentralizados y modulares.

Estas ventajas posicionan a los sistemas biológicos y naturales como opciones viables para iniciativas sostenibles y modelos de economía circular dentro del sector gastronómico.

Desventajas críticas

Sin embargo, también se identificaron limitaciones clave que restringen la implementación de ciertos sistemas:

- Frecuencia alta de mantenimiento: reportada en más del 60% de los casos.
- Necesidad de operación técnica especializada: un factor limitante para pequeñas empresas o restaurantes familiares.
- Altos tiempos de retención hidráulica: principalmente en biodigestores y sistemas con tratamiento biológico extensivo.
- Sensibilidad a las condiciones ambientales: en sistemas con microalgas o humedales, donde la eficiencia puede variar por clima o estacionalidad.
- Falta de datos sobre área, costos o eficiencia integral en muchos estudios, lo que limita su replicabilidad.

En algunos casos, estas desventajas están asociadas a tecnologías emergentes, que si bien ofrecen alto potencial, requieren ajustes de diseño y validación a escala real.

Aplicabilidad en el sector restaurantero

A partir del análisis cruzado de tipo de sistema, mantenimiento y eficiencia, se definieron tres niveles de aplicabilidad:

1. Alta aplicabilidad: trampas de grasa, biodigestores simples, humedales pequeños. Requieren bajo mantenimiento y son compatibles con la infraestructura típica de restaurantes.
2. Aplicabilidad media: sistemas con microalgas o biofiltros, que ofrecen alta eficiencia pero exigen control técnico.

3. Aplicabilidad limitada: tecnologías avanzadas (ósmosis directa, reactores bioelectroquímicos), viables solo en contextos con soporte técnico y recursos financieros suficientes.

Por tanto, la elección del sistema debe considerar no solo la eficiencia técnica, sino también la factibilidad operativa y económica en función del tipo de restaurante, volumen de aguas grises generadas y nivel de compromiso ambiental de la organización.

Síntesis comparativa y lineamientos para la selección tecnológica

Con base en la integración de resultados cualitativos y cuantitativos, se construyó una síntesis comparativa que permite identificar patrones comunes y orientar la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas grises en el contexto del sector restaurantero y agroalimentario.

Tabla 6 Síntesis comparativa de tecnologías de tratamiento

Tipo de sistema	Mantenimiento	Energía	Aplicabilidad	Observaciones clave
Físico - mecánicos simples	Alta	Muy baja	Alta	Ideal como pretratamiento
Biológicos aerobios	Media/Alta	Media	Media	Requiere control ambiental
Biológicos anaerobios	Media	Baja	Alta	Produce biogás; retención prolongada
Híbridos o combinados	Alta	Alta	Media	Requieren operación técnica
Emergentes o descentralizadas	Alta	Media	Limitada	En evaluación piloto

Físico - químicos	Alto	Alto	Media	Requiere operación continua
----------------------	------	------	-------	--------------------------------

Criterios para la selección del sistema

A partir de este análisis, se proponen los siguientes criterios para la selección tecnológica contextualizada:

- Volumen diario de aguas grises: sistemas más complejos son justificables en restaurantes con gran generación de aguas residuales.
- Espacio disponible: sistemas biológicos requieren mayor área; trampas de grasa y sistemas modulares son más compactos, con menores tiempos de retención.
- Capacidad operativa: en establecimientos sin personal técnico, se recomienda evitar sistemas con alto requerimiento de monitoreo.
- Objetivos de reúso: si se busca reutilizar el agua para riego o sanitarios, es necesaria una mayor eficiencia y tratamiento terciario.
- Nivel de inversión disponible: los costos de instalación y mantenimiento deben ser compatibles con la realidad económica del establecimiento.

Potencial de integración tecnológica

El análisis también muestra que no hay un sistema universalmente superior, sino que muchos de ellos son complementarios. Por ejemplo:

- Una trampa de grasa + sistema biológico reduce la carga orgánica, y puede tener características de vertimiento sin que afecte el medio en que se realiza la descarga.

- Un biodigestor + filtración permite disminución de carga contaminante especialmente orgánica y un alto porcentaje de solidos suspendidos.
- La ósmosis directa + hidroponía puede ser viable siempre y cuando el agua residual tenga un pretratamiento previo, asegurando una carga de solidos baja, combinado con la hidroponía aprovechando la carga orgánica como nutrientes para las plantas.

La combinación estratégica de tecnologías permite equilibrar eficiencia, sostenibilidad y viabilidad operativa.

Conclusiones

El análisis documental de 30 estudios científicos permitió caracterizar, comparar y discutir una amplia gama de sistemas de tratamiento de aguas grises aplicables al sector restaurantero. Los resultados obtenidos a partir del enfoque mixto combinando análisis temático y estadística descriptiva aportan insumos relevantes para la toma de decisiones en contextos técnicos y operativos reales.

- Se identificaron distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales según su función. Los sistemas físicos remueven grasas, aceites y sólidos gruesos, mientras que los biológicos eliminan cargas orgánicas mediante procesos aerobios o anaerobios. Los sistemas híbridos combinan tecnologías para un tratamiento más completo y posible reúso del agua. Los fisicoquímicos mejoran la remoción de contaminantes insolubles con ayuda de productos químicos. Finalmente, las tecnologías avanzadas y descentralizadas ofrecen alta eficiencia, aunque con mayores costos y exigencias operativas.
- Se concluye que no existe una solución única aplicable a todos los casos. La elección del sistema de tratamiento debe basarse en una evaluación integral que considere el tipo de agua generada, la infraestructura disponible, los recursos humanos y económicos, así como los objetivos de reúso o disposición final del efluente.
- La eficiencia de remoción de materia orgánica (DQO) en la mayoría de los sistemas es elevada, con valores promedio superiores al 85%, lo que demuestra su potencial para alcanzar niveles adecuados de depuración, especialmente para reúso no potable, sin

embargo, las trampas de grasa siguen siendo las más efectivas en la remoción de aceites y grasas, mientras que los sistemas biológicos son más eficientes en la depuración de compuestos orgánicos disueltos.

- Se identificaron limitaciones comunes como la frecuencia de mantenimiento alta, la necesidad de operación técnica, y la escasa información sobre costos y área requerida, lo cual dificulta la replicabilidad y adaptación en muchos contextos, desde la perspectiva de la sostenibilidad operativa, los sistemas pasivos, de bajo consumo energético y con mantenimiento simple se perfilan como los más adecuados para restaurantes pequeños o campestres.
- Los sistemas híbridos y avanzados presentan altos niveles de eficiencia, pero su viabilidad depende de recursos técnicos y económicos disponibles, lo cual los posiciona como opciones para proyectos piloto.
- Este informe constituye un insumo base para guiar futuras investigaciones, estudios de caso o diseños tecnológicos ajustados a contextos específicos, contribuyendo así al desarrollo de estrategias sostenibles para la gestión de aguas grises en el sector gastronómico y afines.

Lista de referencias

- Adegoke A, & Ewemoje T. (2020). A preliminary study on the treatment of restaurant wastewater using electrocoagulation technique. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(2), 2029–2033. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.072.2029>
- Ahmad, I., Abdullah, N., Iwamoto, K., Yuzir, A., Kamyab, H., El-Sheekh, M., Chong, J. W. R., & Khoo, K. S. (2025). Efficient pollutant and nutrient removal from restaurant wastewater using *Chlorella vulgaris* in a bubble column photobioreactor. *Environmental Technology and Innovation*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104138>
- Ahmad, I., Abdullah, N., Koji, I., Yuzir, A., Ahmad, M. D., Rachmadona, N., Al-Dailami, A., Show, P. L., & Khoo, K. S. (2023). Micro and macro analysis of restaurant wastewater containing fat, oil, grease (FOG): An approach based on prevention, control, and sustainable management. *Chemosphere*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138236>
- Atchala, M. S. R., Rao, P. V., Pilli, S., Pawar, A., Ganiga, R., & Tyagi, R. D. (2025). Pre-treatment and post-treatment strategies for enhancing anaerobic digestion in poultry slaughterhouse wastewater management. In *Sustainable Chemistry for the Environment* (Vol. 9). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100199>
- Ayquipa, N. (2021). *Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa (interceptor de grasa hidromecánico) para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de*.
- Bani-Melhem, K., Al-Shannag, M., Alrousan, D., Al-Kofahi, S., Al-Qodah, Z., & Rasool Al-Kilani, M. (2017). Impact of soluble COD on grey water treatment by electrocoagulation technique. *Desalination and Water Treatment*, 89, 101–110. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21379>
- Beltrán-Conlago, A. C., Ledesma-Acosta, R. D., León-Fiallos, K. Z., & Paredes-Cepeda, E. R. (2024). Evaluación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Basados en Naturaleza: Potencial para Ciudades Sostenibles. *MQR Investigar*, 8(4), 1558–1578. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.4.2024.1558-1578>

- Blokker, E. J. M., Pieterse-Quirijns, E. J., Vreeburg, J. H. G., & van Dijk, J. C. (2011). Simulating Nonresidential Water Demand with a Stochastic End-Use Model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(6), 511–520. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000146](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000146)
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711, 134731. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134731>
- Chan, H. (2013). Separation of pollutants from restaurant effluents as animal feed, fertilizer and renewable energy to produce high water quality in a compact area. *Water Resources and Industry*, 3, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.09.001>
- Cuesta, H. (2019). *Procesos avanzados de oxidación aplicados al tratamiento de las aguas residuales de la industria petroquímica*.
- Darwich Cedeño, M., Montenegro Ruiz, L. C., Suarez Pulido, D. X., Torres Vargas, D. A., Gutierrez Jimenez, J. F., & Ramirez Tovar, D. H. (2024a). Capacidad de remoción de nutrientes en aguas residuales por porcínaza por Cyanobacterias Colombianas de alta montaña. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 26(1), 52–61. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v26n1.109101>
- Darwich Cedeño, M., Montenegro Ruiz, L. C., Suarez Pulido, D. X., Torres Vargas, D. A., Gutierrez Jimenez, J. F., & Ramirez Tovar, D. H. (2024b). Capacidad de remoción de nutrientes en aguas residuales por porcínaza por Cyanobacterias Colombianas de alta montaña. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 26(1), 52–61. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v26n1.109101>
- Delattibodier, M. (2024). *Diseño y validación de un biofiltro para el manejo de aguas grises de restaurantes en el Lago de Yojoa, Honduras*.
- Devi, G., & Al-Lezami, H. A. A. (2023). Green synthesis, characterization and application of calcium carbonate nanoparticles in the effective treatment of grey water for sustainable water management. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 20(6), 1417–1426. <https://doi.org/10.1007/s13738-023-02766-1>
- Granzotto, F., Aita, C., Silveira, D. D., Mayer, F. D., Pujol, S. B., Piñas, J. A. V., & Hoffmann, R. (2021). Use of anaerobic biodigester in the treatment of organic waste from a

- university restaurant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5).
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105795>
- Gross, A., Azulai, N., Oron, G., Ronen, Z., Arnold, M., & Nejdat, A. (2005). *Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study*.
<https://login.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/login?url=https://www-proquest-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/scholarly-journals/environmental-impact-health-risks-associated-with/docview/1943572527/se-2>
- Hamrouni, N., Sassi, W., Nafady, A., Hihn, J. Y., & Ammar, S. (2024). Combined Electrochemical Processes for Real Chemical Industrial Liquid Waste Treatment: Optimization and Kinetic Studies. *Arabian Journal for Science and Engineering*.
<https://doi.org/10.1007/s13369-024-09859-w>
- Hendrasarie, N., & Maria, S. H. (2021). Combining grease trap and Moringa Oleifera as adsorbent to treat wastewater restaurant. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.004>
- Ibraheem, B. H., Alshammari, M. H., & Alwan, H. H. (2020). Evaluation of gray water treatment with pilot filter for irrigation purposes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671(1), 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012090>
- IPCC. (2021). *Bases físicas Resumen para responsables de políticas*.
- Kabiri, M., Akbarpour, A., & Akbari, M. (2021). Evaluation of the efficiency of a gray water treatment system based on aeration and filtration. *Water Reuse*, 11(3), 361–372.
<https://doi.org/10.2166/wrd.2021.084>
- Kadier, A., Al-Qodah, Z., Akkaya, G. K., Song, D., Peralta-Hernández, J. M., Wang, J. Y., Phalakornkule, C., Bajpai, M., Niza, N. M., Gilhotra, V., Bote, M. E., Ma, Q., Obi, C. C., & Igwegbe, C. A. (2022). A state-of-the-art review on electrocoagulation (EC): An efficient, emerging, and green technology for oil elimination from oil and gas industrial wastewater streams. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100274>
- Karahan, B. N., Akdag, Y., Fakioglu, M., Korkut, S., Guven, H., Ersahin, M. E., & Ozgun, H. (2023). Coupling ozonation with hydrogen peroxide and chemically enhanced primary treatment for advanced treatment of grey water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110116>

- Mendoza, E. (2024). *Greywater reuse Decentralized treatment*.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2015). *Resolucion-631-de-2015*.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Muñoz-Alegría, J. A., Muñoz-España, E., & Flórez-Marulanda, J. F. (2021). Dissolved Air Flotation: A Review from the Perspective of System Parameters and Uses in Wastewater Treatment. *Tecnológicas*, 24(52), e2111.
<https://doi.org/10.22430/22565337.2111>
- Muvel, H., Jindal, M. K., Tewari, P. K., & Anand, V. (2024). Advancements in electrocoagulation for oily wastewater treatment: Mechanisms, efficiency, and applications. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 68). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106291>
- Naghsh Javaheri, M., Tishehzan, P., & Moazed, H. (2020). Development of a complete and straightforward hybrid model for gray water treatment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(8), 1745–1753. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01913-z>
- Nena Zaida Ayquipa Conde. (2021). *Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa (interceptor de grasa hidromecánico) para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de*.
- Ong, Z. C., Asadsangabifard, M., Ismail, Z., Tam, J. H., & Roushenas, P. (2019). Design of a compact and effective greywater treatment system in Malaysia. *Desalination and Water Treatment*, 146, 141–151. <https://doi.org/10.5004/DWT.2019.23631>
- Oviedo, L. (2023). *Tratamiento de aguas residuales en la industria de alimentos en Colombia mediante electrocoagulación*.
- Pangarkar, B., & Guddad, M. (2021). Gray water treatment by air-gap multi-effect membrane distillation with pre-treatment by electrocoagulation. *Water Practice and Technology*, 16(3), 772–781. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.041>
- Portella, A. R., Veneu, D. M., Silva, L. D. B. da, & Nascentes, A. L. (2025). New Perspectives For The Use of Lithothamnium Calcareum in The Post-Treatment of Domestic Sewage. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(2), e011187.
<https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n2-025>

- Prajapati, B., Jensen, M. B., Jørgensen, N. O. G., & Petersen, N. B. (2019). Grey water treatment in stacked multi-layer reactors with passive aeration and particle trapping. *Water Research*, 161, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.096>
- Robles, M. (2017). *Diseño de interceptor de sólidos y grasas para controlar el exceso de concentración de los valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales en el sistema de alcantarillado sanitario de los restaurantes de la ciudad de Huánuco.*
- Trujillo-Vargas, L. (2024). *Revisión sistemática de literatura sobre tratamientos de aguas residuales con microalgas para el reciclaje de nutrientes.*
<https://doi.org/10.55411/26652544.260>
- World Bank Group. (2017). *Wastewater: From Waste to Resource PHOTO 1. Aerial View of Atotonilco Waste Water Treatment Plant Reuse of Treated Wastewater for Agriculture, Energy Generation, and Transfer of Value to Stakeholders in the Valley of Mexico Context.*
<http://documents.worldbank.org/curated/en/922441521175520658>
- Yau, Y.-H., Rudolph, V., Chui-Man Lo, C., & Wu, K.-C. (2018). *Restaurant oil and grease management in Hong Kong.* <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2474-4/Published>
- Znad, H., Al Ketife, A. M. D., Judd, S., AlMamani, F., & Vuthaluru, H. B. (2018). Bioremediation and nutrient removal from wastewater by *Chlorella vulgaris*. *Ecological Engineering*, 110, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.10.008>