



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular

**Artículo de Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en
Mecánica Automotriz**

**Tratamiento de residuos en una lavadora de vehículos para
descontaminar el agua y reutilizarla en el ciclo de lavado**

AUTOR:

Michael Jossué Cruz Osorio

TUTOR:

Ingeniero Pablo Ante

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Ingeniero Pablo Fernando Ante Sánchez, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Tratamiento de residuos en una lavadora de vehículos para descontaminar el agua y reutilizarla en el ciclo de lavado realizado por Michael Jossué Cruz Osorio ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Ingeniero Pablo Fernando Ante Sánchez

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Michael Jossué Cruz Osorio declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.



Autor: Michael Jossué Cruz Osorio

C.I.: 17502814

Dedicatoria

Dedico este triunfo, primeramente, a Dios, por guiar mis pasos en este camino, por brindarme fortaleza en los momentos difíciles y mantener mi bienestar.

Este logro está dedicado con profundo amor a mi familia. A mis padres, por heredarme la voluntad inquebrantable de salir adelante y la convicción de nunca mirar atrás; gracias por su inmenso cariño. A mis hermanos, por su compañía constante en aquellas madrugadas de estudio y por impulsarme a creer en mis capacidades.

Con especial cariño y respeto, dedico este fruto de mi esfuerzo a mis bisabuelitos, Consuelo y José, que en paz descansen. Sé que me cuidan y me guían desde el cielo por el camino del bien; siempre los llevaré en mi corazón y en mi memoria.

Por último, dedico este peldaño alcanzado a mi pareja. Gracias por estar siempre a mi lado, por ser mi apoyo, mi guía y mi motivación para alcanzar este objetivo. Te amo profundamente.

Para finalizar, comparto con todos ustedes la certeza de que este es solo el comienzo de muchos éxitos más.

Agradecimiento

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida, por bendecirme con un día más y por cada una de las enseñanzas que me brinda cotidianamente.

A mis padres, mi gratitud eterna por su apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera formativa. De igual manera, agradezco a mis hermanos, quienes me acompañaron y respaldaron en todo momento. A mi familia en general, gracias por creer en mí, por impulsarme a no rendirme y por recordarme siempre que era capaz de alcanzar esta meta.

Así mismo, quiero agradecer de manera especial a mi pareja. Gracias por tu apoyo incondicional día tras día; me has enseñado que las grandes metas no se construyen en soledad y que, tarde o temprano, la vida nos premia con la persona indicada.

Expreso también mi gratitud a la familia Hernández por sus valiosos consejos, por su confianza depositada en mí y por ser un ejemplo constante para seguir. Agradezco sinceramente a mi tutor Ingeniero Pablo Ante por compartir sus conocimientos a lo largo de mi trayectoria académica; siempre recordaré sus consejos, su guía y su calidad humana.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos. Gracias por su acompañamiento en todo momento, por estar presentes en cada etapa de este proceso y por brindarme su apoyo incondicional; su amistad ha sido un pilar fundamental en este camino.

Sin más que añadir, mi más sincero agradecimiento a todos.

Contenido

Certificación o acuerdo de Confidencialidad.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
RESUMEN	8
ABSTRACT	8
Introducción.....	9
Marco teórico.....	12
Contaminación de agua.....	12
Fuentes y tipos de residuos en el lavado de autos.....	12
Aceites usados.....	12
Combustibles.....	12
Impacto ambiental del uso excesivo de agua en el sector automotriz.....	13
Métodos de tratamiento de aguas residuales	13
Filtración física	13
Sedimentación.....	13
Tratamiento químico.....	14
Tratamiento biológico	14
Tecnologías de reutilización de agua tratada	15
Normativas ambientales y de calidad del agua	15
Ventajas del uso de agua reciclada en el lavado de autos	16
Métodos y procedimientos.....	16
Enfoque y tipo de investigación.....	16
Población y unidad de análisis.....	17
Caracterización del agua	18
Diseño del sistema de tratamiento	19
Dimensionamiento del desarenador.....	20
Dimensionamiento de la trampa de grasa	20
Dimensionamiento del sedimentador.....	20
Sistema de filtración	20
Análisis de datos	26
Resultados y discusión.....	27

Análisis de costos y viabilidad técnica.....	33
Conclusiones	37
Bibliografía	39

TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN UNA LAVADORA DE VEHÍCULOS PARA DESCONTAMINAR EL AGUA Y REUTILIZARLA EN EL CICLO DE LAVADO

Ing. Pablo Ante¹, Michael Cruz.²

¹ *Magister Advanced manufacturing technology and Systems management- The university of Manchester, @uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

² *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, @uide.edu.ec, Quito - Ecuador*

RESUMEN

El incremento de centros de lavado vehicular ha generado un aumento en el consumo de agua potable y en la generación de efluentes con alta carga contaminante, lo que plantea la necesidad de implementar sistemas de tratamiento y reutilización. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para una lavadora de vehículos livianos, orientado a la reducción del impacto ambiental y la optimización del recurso hídrico. El dimensionamiento del sistema se realizó mediante criterios técnico-hidráulicos, considerando un caudal de diseño de 0,375 m³/día y la aplicación de tiempos de retención hidráulica en cada unidad de tratamiento. Los resultados estimados indican que el sistema, compuesto por procesos de sedimentación, separación de grasas e hidrocarburos, filtración y pulimiento, alcanza eficiencias de remoción cercanas al 90% en parámetros como sólidos suspendidos, DQO, aceites y grasas. Así mismo, se determinó un potencial de reutilización del 69,3% del agua tratada y un costo aproximado de implementación de 600 USD. Se concluye que el sistema propuesto constituye una alternativa técnicamente viable para la reutilización de aguas residuales en lavadoras de vehículos, contribuyendo a la reducción del consumo de agua potable y al mejoramiento de la gestión ambiental en este tipo de actividades.

Palabras clave: Ciclo de lavado, Dimensionamiento, Sistema de filtración, Tecnologías de descontaminación

ABSTRACT

The growth of vehicle washing centers has led to increased potable water consumption and the generation of wastewater with high pollutant loads, highlighting the need for treatment and reuse systems. In this context, this study aims to design a wastewater treatment system for a light-duty vehicle washing facility, focused on reducing environmental impact and optimizing water use. The system was dimensioned using technical-hydraulic criteria, considering a design flow rate of 0.375 m³/day and hydraulic retention times for each treatment unit. The estimated results indicate that the proposed system, which includes sedimentation, oil and grease separation, filtration, and activated carbon polishing, achieves removal efficiencies close

to 90% for parameters such as total suspended solids, chemical oxygen demand, oils and grease. Additionally, a water reuse potential of 69.3% was determined, along with an estimated implementation cost of 600 USD. It is concluded that the proposed system represents a technically viable alternative for wastewater reuse in vehicle washing facilities, contributing to the reduction of potable water consumption and improving environmental management in this sector.

Keywords: Decontamination technologies, Filtration system, Sizing, Washing cycle

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo general diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para una lavadora de vehículos livianos, basado en criterios técnico-hidráulicos y parámetros fisicoquímicos, que permita evaluar su viabilidad para la reutilización del agua dentro del proceso de lavado, para una lavadora de vehículos livianos que circulan en el norte del Distrito Metropolitano de Quito. Como objetivo específico, se plantea caracterizar el efluente generado en el proceso de lavado vehicular mediante la recopilación de parámetros fisicoquímicos reportados. Además, de estimar el costo de implementación del sistema propuesto y su viabilidad técnica.

En la actualidad, al norte de la ciudad de Quito, se enfrentan una problemática estructural relacionada con la gestión eficiente del recurso hídrico en contextos urbanos densamente poblados. Esta situación no responde únicamente al crecimiento del parque automotor, sino también al incremento de actividades económicas intensivas en el uso de agua potable, la expansión urbana, las limitaciones en infraestructura de abastecimiento, la variabilidad climática y los patrones de consumo poco eficientes. En este escenario, el servicio de lavado de vehículos constituye una actividad con incidencia directa en la demanda de agua potable y en la generación de efluentes contaminantes dentro del Distrito Metropolitano del norte de Quito.

En varias zonas de la ciudad el acceso a agua de calidad sigue siendo limitado, por lo que incorporar sistemas de tratamiento y reutilización en los centros de lavado automotriz representa una medida fundamental para promover la sostenibilidad hídrica. A nivel nacional, Solorzano (2020) evidenció que es técnicamente posible implementar procesos de depuración y recirculación de aguas residuales en este tipo de establecimientos, lo que permite disminuir el uso de agua potable y, al mismo tiempo, cumplir con las regulaciones

locales. Además, Jiménez Tamayo et al. (2024) analizaron la viabilidad de sistemas de tratamiento in situ, resaltando que la reutilización del agua en el mismo ciclo de lavado puede reducir hasta 1.000 litros el consumo diario de agua potable durante una jornada operativa promedio, siempre que se cumpla estándares de calidad para evitar daños en la carrocería de los vehículos.

La gestión del agua del norte de Quito es un desafío permanente; por ejemplo, el consumo de agua potable en la ciudad por parte de los centros de lavado de vehículos es en promedio de 50 litros por vehículo, sin embargo, en Quito se presenta picos diarios que superan ampliamente valores promedio, por ejemplo 100 litros por unidad lo que presiona los sistemas de abastecimiento de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) a reponer mayor cantidad de agua en circulación para las zonas con estos servicios (QuitoInforma, 2026).

El parque automotor en la ciudad capital se ha mantenido en un constante crecimiento en los últimos años. Según datos de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en 2025 se registraron más de 600.000 vehículos matriculados según la Revisión Técnica Vehicular, predominando los automóviles de uso particular (INEC, 2025).

Este incremento progresivo no solo incide en la movilidad urbana, sino que también genera una mayor demanda de los servicios complementario entre ellos el lavado de vehículos livianos que es una actividad considerable en Quito que consume agua potable y genera aguas residuales con presencia de contaminantes típicos de este tipo de actividad, tales como hidrocarburos, detergentes, grasas y sólidos suspendidos. En el contexto urbano, las prácticas de uso indebido del agua para lavado de vehículos han motivado operativos de control tales como: permisos de control ambiental o sitios clandestinos donde no cumplen con los requisitos para su funcionamiento por parte de autoridades municipales para evitar el desperdicio y la contaminación de los recursos hídricos (QuitoInforma, 2026).

Diversas tecnologías han sido evaluadas para el tratamiento de efluentes de lavado vehicular, incluyendo electrocoagulación, membranas cerámicas y biorreactores de membrana (MBR), las cuales pueden alcanzar eficiencias de remoción superiores al 85–95 % en DQO y aceites, con porcentajes de reutilización que superan el 80 %; sin

embargo, estos sistemas presentan mayores costos de inversión y consumo energético (Torkashvand et al., 2022), (Sarmadi et al., 2020).

En contraste, los sistemas físico-fisicoquímicos convencionales basados en pretratamiento, coagulación-floculación, sedimentación y filtración multimedia reportan eficiencias de remoción de sólidos suspendidos entre 70–90 %, reducciones de DQO del 60–85 % y recuperación de agua en rangos del 60–75 %, con menor complejidad operativa y requerimientos energéticos moderados (Canales et al., 2021), (Elgaali & Akram, 2021).

Como resultado del análisis técnico preliminar, se determinó que un sistema integrado por pretratamiento (retención de sólidos y desarenado), separación de grasas e hidrocarburos, coagulación-floculación, sedimentación, filtración multimedia y desinfección puede generar un efluente con características adecuadas para su recirculación en el proceso de lavado. Para una lavadora con capacidad promedio de 25 vehículos por día y un consumo estimado entre 15 y 20 litros por unidad, el caudal de diseño se sitúa en un rango aproximado de 0,3 a 0,6 m³/día, volumen que resulta técnicamente manejable mediante un sistema compacto de tratamiento físico-fisicoquímico con recirculación interna, permitiendo reducir la descarga de contaminantes al alcantarillado y optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico.

Marco teórico

Contaminación de agua

La contaminación del agua generada en lavadoras de vehículos es consecuencia directa del arrastre de contaminantes presentes en la superficie de los automotores durante el proceso de limpieza. El efluente resultante contiene una mezcla compleja de sólidos suspendidos, detergentes, aceites, grasas, hidrocarburos, metales pesados y compuestos orgánicos, los cuales alteran significativamente los parámetros físico-químicos del agua, tales como pH, turbidez, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) (Torrens et al., 2025).

Fuentes y tipos de residuos en el lavado de autos

Durante el lavado de vehículos se generan diversos tipos de residuos cuya procedencia está asociada tanto al entorno externo como al propio funcionamiento mecánico del automotor. Entre las principales fuentes se encuentran el polvo atmosférico, lodos, arenas, restos de asfalto, partículas metálicas provenientes del desgaste de frenos y neumáticos, así como residuos de mantenimiento como aceites lubricantes y combustibles (García, 2021).

Aceites usados

Los aceites minerales, tras haber sido sometidos a condiciones operativas prolongadas, experimentan una pérdida progresiva de sus propiedades funcionales, lo que los convierte en materiales no aptos para seguir cumpliendo su función original. Dentro de esta categoría se incluyen los lubricantes utilizados en motores de vehículos y maquinaria industrial, así como los fluidos empleados en sistemas hidráulicos y de transmisión. También forman parte de este grupo los aceites de corte, los utilizados para la transferencia térmica, y los dieléctricos que provienen de equipos eléctricos como transformadores y condensadores (Solorzano, 2020).

Combustibles

Se entiende por combustible a toda sustancia que, bajo condiciones específicas, libera energía susceptible de transformarse en trabajo útil. Esta liberación puede producirse mediante procesos de combustión controlada, donde predomina la energía química, o a través de reacciones nucleares, en las que se aprovecha la energía nuclear. En términos generales, un combustible es cualquier material capaz de arder cuando se encuentra en

presencia de un comburente y recibe la energía de activación necesaria para iniciar la reacción (Solorzano, 2020).

Impacto ambiental del uso excesivo de agua en el sector automotriz

El lavado de automóviles requiere grandes volúmenes de agua potable, lo que presiona las fuentes hídricas locales, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas. Estudios han demostrado que la reutilización de agua tratada permite reducir el consumo total de agua y la presión sobre los recursos hídricos, contribuyendo a la sostenibilidad del sector (Kazembeigi et al., 2023).

El consumo de agua en los lavaderos de vehículos por cada uno es de 10-15 L y la mayoría de los casos se mantiene entre 10-20L. Por lo tanto, en función del volumen de consumo de agua y el número de automóviles en el mundo los lavaderos de autos se pueden considerar como uno de los consumidores más importantes del agua (Torkashvand et al., 2022).

Métodos de tratamiento de aguas residuales

Filtración física

La filtración física es una de las primeras barreras para la eliminación de sólidos suspendidos, arenas finas y partículas coloidales presentes en el efluente. Generalmente se utilizan filtros multimedia compuestos por capas de grava, arena y antracita, así como filtros de carbón activado para la remoción adicional de compuestos orgánicos y surfactante (Elgaali & Akram, 2021).

La filtración reduce significativamente la turbidez y mejora la eficiencia de los procesos posteriores, evitando el colapso de membranas o la saturación de reactores químicos. Además, el uso de carbón activado permite adsorber compuestos orgánicos disueltos, mejorando el olor, color y estabilidad del agua tratada. En sistemas de reutilización, la filtración actúa como una etapa de pulido que asegura que el agua no genere incrustaciones ni daños en bombas, boquillas o superficies del vehículo durante el lavado (Elgaali & Akram, 2021).

Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación de partículas sólidas mediante la acción de la gravedad, permitiendo que arenas, lodos y materiales pesados se depositen en el fondo de

los tanques. Esta etapa se implementa comúnmente mediante decantadores o cámaras de sedimentación.

Según Elgaali & Akram (2021), una correcta etapa de sedimentación puede remover una fracción importante de sólidos sedimentables, reduciendo la carga contaminante que ingresa a las etapas químicas o de membranas. Esto incrementa la vida útil de los equipos y disminuye los costos de mantenimiento. En lavadoras de vehículos, la sedimentación se complementa con trampas de grasa y separadores de hidrocarburos que permiten retirar aceites libres antes de la filtración, evitando la formación de emulsiones difíciles de tratar.

Tratamiento químico

El tratamiento químico se basa principalmente en procesos de coagulación y floculación, cuyo objetivo es desestabilizar partículas coloidales y emulsiones aceite-agua. Mediante la adición de coagulantes como sales de aluminio o hierro se neutralizan cargas eléctricas Hoseinzadeh et al. (2024), formando flóculos de mayor tamaño que pueden ser removidos por sedimentación o filtración. reporta que la coagulación-floculación puede lograr altas eficiencias en la remoción de turbidez, DQO y aceites, permitiendo que el efluente alcance condiciones adecuadas para la reutilización. Así mismo, este proceso reduce la concentración de detergentes y compuestos orgánicos disueltos.

Tratamiento biológico

El tratamiento biológico utiliza microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Aunque las aguas de lavadoras no presentan la misma carga que las domésticas, este proceso resulta útil como etapa complementaria para eliminar compuestos orgánicos disueltos.

Los biorreactores de membrana (MBR) combinan procesos biológicos con separación por membranas, logrando una elevada calidad del efluente. Además, estos sistemas mejoran la estabilidad del proceso y permiten obtener agua reutilizable con bajos niveles de DBO y sólidos suspendidos. La integración del tratamiento biológico reduce la dependencia exclusiva de procesos químicos, contribuyendo a un sistema más sostenible y con menor impacto ambiental. (Canales et al., 2021)

Tecnologías de reutilización de agua tratada

Las tecnologías de reutilización permiten reincorporar el agua tratada al proceso de lavado, disminuyendo el consumo de agua potable. Estas tecnologías incluyen sistemas de recirculación con filtros multimedia, membranas cerámicas, unidades MBR y humedales artificiales. De acuerdo con Torrens et al. (2025), quienes demostraron que las soluciones basadas en procesos naturales y membranas permiten obtener efluentes con calidad suficiente para ser reutilizados sin afectar la carrocería ni los sistemas del vehículo. La reutilización puede alcanzar porcentajes superiores al 60 %, dependiendo del nivel de tratamiento aplicado (Canales et al., 2021).

Normativas ambientales y de calidad del agua

El agua utilizada en procesos industriales se convierte en un medio de transporte de contaminantes disueltos, suspendidos o emulsionados que requieren tratamiento antes de su descarga. Por ello, la normativa ambiental establece límites máximos de sustancias en aguas residuales para proteger la salud humana y los ecosistemas.

En Ecuador, el Plan Nacional para el Buen Vivir (2013–2017) ya señalaba la necesidad de garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano, destacando la prevención y control de la contaminación hídrica como eje para la sostenibilidad.

La Ley de Recursos Hídricos (2014) establece las directrices para el uso y aprovechamiento del agua en el país, priorizando su conservación y prohibiendo el vertido directo de aguas residuales sin un tratamiento previo. Entre sus artículos más relevantes (22, 79 y 80) se destacan la protección del recurso, la prevención de su deterioro y la obligación de implementar procesos de depuración (LORHUyA, 2014).

Por su parte, el Texto Unificado de Legislación Secundaria (2015) refuerza estas disposiciones mediante normas específicas relacionadas con la descarga de efluentes, la prevención de la contaminación del suelo y la gestión de desechos peligrosos, definiendo criterios y principios básicos para las descargas en sistemas de alcantarillado (Ministerio del Ambiente, 2015).

Finalmente, la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266 regula el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos, exigiendo que las empresas dispongan de procedimientos formales que garanticen la seguridad en todas las fases, desde el embalaje y etiquetado hasta la disposición final y la descontaminación, en

concordancia con la normativa nacional e internacional (Instituto Ecuatoriano de Normalización 2266, 2013).

Ventajas del uso de agua reciclada en el lavado de autos

El aprovechamiento de agua reciclada en los lavaderos de vehículos contribuye a disminuir el consumo de agua potable, generar ahorros en los costos de operación y reducir los impactos ambientales. La implementación de sistemas de recirculación permite un uso más eficiente del recurso hídrico, siempre que el tratamiento se gestione de manera adecuada, sin comprometer la calidad del servicio. Además, la reutilización del agua disminuye la carga contaminante que se descarga en los sistemas municipales y fortalece la responsabilidad ambiental de los establecimientos automotrices, alineándolos con prácticas de producción más limpia. Diversos estudios reportan que la implementación de sistemas de reutilización puede generar ahorros de agua superiores al 70 %, fortaleciendo la gestión sostenible del sector automotriz (Silva, 2023).

Métodos y procedimientos

Enfoque y tipo de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo aplicado con un diseño experimental descriptivo, orientado a la evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de una lavadora de vehículos livianos. El diseño del sistema se realizó a partir de parámetros representativos del efluente, tales como sólidos suspendidos, aceites y grasas, detergentes y demanda química de oxígeno, utilizando valores reportados en estudios previos. Estos datos permitieron establecer condiciones base para el dimensionamiento y evaluación del sistema de tratamiento.

Así mismo, el estudio incorpora un análisis técnico del desempeño esperado del sistema, basado en eficiencias de remoción reportadas, lo que permite estimar su viabilidad para la reutilización del agua dentro del mismo proceso de lavado. El estudio se desarrolló en un establecimiento dedicado al lavado de vehículos ubicado en la parroquia San Carlos en el sector norte del Distrito Metropolitano de Quito, zona caracterizada por una elevada actividad urbana y una creciente demanda de servicios automotrices. Este tipo de establecimientos genera aguas residuales con presencia de sólidos suspendidos, detergentes, aceites e hidrocarburos, lo que convierte al sector en un punto crítico para la gestión sostenible del recurso hídrico.

Población y unidad de análisis

En este contexto, la población de análisis se relaciona con el volumen de agua residual generado por las actividades de lavado de vehículos en establecimientos ubicados en la parroquia San Carlos, considerando que estos procesos utilizan cantidades significativas de agua potable y generan efluentes con presencia de detergentes, aceites, hidrocarburos y sólidos suspendidos. Por lo que se evidencia que entre el 80% y el 90% del agua utilizada en el proceso de lavado se convierte en agua residual ya que el porcentaje restante se evapora o queda adherida a la superficie del vehículo.

La unidad de análisis estuvo constituida por las muestras de agua residual generadas durante el proceso de lavado de vehículos livianos en el establecimiento de estudio. Dichas muestras las cuales se muestran en la tabla 1 fueron evaluadas mediante parámetros fisicoquímicos que permiten determinar el nivel de contaminación del efluente y su potencial de tratamiento y reutilización mediante el sistema propuesto.

Tabla 1.

Parámetros de residuos de una lavadora

Parámetro	Unidad	Rango típico/día
Sólidos suspendidos totales	mg/l	200-1200
Aceites y grasas	mg/l	50-300
Detergentes (tensioactivos)	mg/l	10-100
Demanda química de oxígeno	mg/l	300-1500
Hidrocarburos totales	mg/l	20-200
pH	-	6-9

Fuente: Propia

La tabla 1 presenta los rangos típicos de contaminantes encontrados en aguas residuales generadas por lavadoras de vehículos. Se incluyen sólidos suspendidos, aceites y grasas, detergentes, demanda química de oxígeno (DQO), hidrocarburos totales y pH. Estos valores permiten caracterizar la composición del efluente y sirven como base para el diseño del sistema de tratamiento, evidenciando la alta carga contaminante que requiere procesos físicos-fisicoquímicos para su depuración

El caudal de agua residual generado en el establecimiento presenta variaciones en función de la demanda diaria del servicio, estimándose un rango operativo entre 0,3 y 0,6 m³/día.

Para efectos de diseño del sistema de tratamiento, se adoptó un caudal promedio de 0,375 m³/día, correspondiente a una condición representativa de operación (50 vehículos/día con un consumo de 15 L por vehículo).

Tabla 2.

Tabla de consumo

Tipo de vehículo	Tiempo nominal(min)	Tiempo efectivo(min)	Consumo estimado(l/vehículo)
Automóvil liviano	7	5-10	10-12
Camioneta liviana	10	10-13	12-15

Fuente: Propia

La tabla 2 muestra el tiempo nominal y efectivo de lavado, junto con el consumo estimado de agua por vehículo liviano y camioneta. Los valores oscilan entre 10 y 15 litros por unidad, lo que permite calcular el caudal diario de operación del establecimiento. Esta información es fundamental para dimensionar las unidades de tratamiento y estimar la capacidad de recirculación del sistema propuesto.

Caracterización del agua

Para el desarrollo del diseño del sistema de tratamiento, se establecieron parámetros de referencia para la calidad del agua en tres etapas: agua de entrada (potable), agua residual generada en el proceso de lavado y agua tratada posterior al sistema propuesto. Estos valores fueron obtenidos a partir de la revisión de literatura científica especializada en efluentes de lavadoras de vehículos. Los parámetros considerados incluyen pH, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas (AyG), hidrocarburos totales del petróleo (HTP), detergentes (SAAM), demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez, los cuales son fundamentales para el dimensionamiento y evaluación del sistema de tratamiento.

Tabla 3.

Caracterización del agua antes, durante y después del tratamiento por vehículo.

Parámetro	Unidad	Inicio del proceso	Después del Lavado	Después de Tratamiento	Agua en reposo(reutilización vehicular)
pH	-	6,5-7,5	7,82	7,17	7,25
SST	mg/L	-	100%	20%	10%
AyG	mg/L	-	100%	0,6%	0,6%
HTP	mg/L	-	100%	<50%	40%

SAAM	mg/L	<0,5	100%	<16,7%	3,3%
DQO	mg/L	<5	100%	5,8%	5,5%
Turbidez	NTU	<5	100%	1,5%	1,3%

Fuente: Propia

En la Tabla 3 se presentan valores referenciales de la caracterización del agua antes del proceso de lavado, posterior al lavado y después del tratamiento, obtenidos a partir de la revisión de estudios recientes sobre efluentes de lavadoras de vehículos. Los rangos presentados corresponden a valores típicos reportados en la literatura para sistemas físico-físicoquímicos aplicados a este tipo de efluentes. Además, se estableció como referencia el estado posterior al lavado (100%), debido a que corresponde al punto de mayor carga contaminante. A partir de este valor se expresan los porcentajes de reducción alcanzados en las etapas de tratamiento y recirculación, permitiendo evaluar la eficiencia del sistema propuesto.

Los resultados obtenidos evidencian que el agua tratada presenta un pH de 7,17 inmediatamente después del tratamiento y de 7,25 tras el periodo de reposo para reutilización vehicular. Estos valores se encuentran dentro del rango de neutralidad (pH 6,5–8,5), considerado seguro para superficies pintadas y recubrimientos automotrices. Un agua excesivamente ácida puede favorecer fenómenos de corrosión y deterioro de la capa protectora del vehículo, mientras que valores excesivamente alcalinos pueden afectar el brillo y la estabilidad química de las pinturas. Por tanto, el pH obtenido no representa un riesgo para la integridad de la pintura automotriz. Así mismo, la turbidez residual alcanzó valores equivalentes al 1,3 % de la concentración inicial, lo que indica una remoción superior al 98 % de las partículas suspendidas responsables de generar abrasión mecánica durante las operaciones de lavado. La baja presencia de sólidos finos reduce significativamente la posibilidad de micro-rayaduras sobre el barniz y las capas superficiales de pintura, contribuyendo a preservar el acabado estético del vehículo.

Diseño del sistema de tratamiento

Con base en la revisión bibliográfica y en las características del efluente generado en lavadoras de vehículos, El dimensionamiento del sistema de tratamiento se desarrolló a partir del caudal real de operación del establecimiento, considerando una capacidad promedio de atención de 50 vehículos por día y un consumo estimado de 15 L por vehículo.

En función de estos valores, se determinó el caudal diario de diseño:

$$Q = 50 \times 15 = 375 \text{ L/día} = 0,375 \text{ m}^3/\text{día}$$

Este caudal constituye la base para el diseño hidráulico de todas las unidades del sistema, permitiendo establecer volúmenes, tiempos de retención y capacidad de tratamiento. El dimensionamiento volumétrico de cada unidad se realizó en función del caudal de diseño y los tiempos de retención hidráulica establecidos, mediante la relación $V = Q \times t$.

Para el dimensionamiento se consideraron los siguientes criterios técnicos de operación en flujo continuo, baja carga hidráulica, remoción progresiva de contaminantes compatible con sistemas de recirculación

Dimensionamiento del desarenador

El desarenador se diseñó para remover partículas gruesas mediante sedimentación por gravedad. Se consideró un tiempo de retención hidráulica de 2 a 5 minutos.

Dimensionamiento de la trampa de grasa

La trampa de grasas se dimensionó para permitir la separación de aceites y grasas mediante diferencia de densidades. Se estableció un tiempo de retención de 20 a 30 minutos para asegurar la eficiencia del proceso.

Dimensionamiento del sedimentador

El tanque de sedimentación se diseñó considerando un tiempo de retención de 2 a 4 horas, permitiendo la remoción de sólidos suspendidos finos generados durante el proceso de lavado.

Sistema de filtración

El sistema de filtración se compone de filtros multimedia y carbón activado, cuya función es reducir la turbidez y remover compuestos orgánicos disueltos, mejorando la calidad del agua para su reutilización.



Este sistema se consideró en base al caudal diario generado por el establecimiento y la necesidad de alcanzar niveles de calidad del agua que permitan su reutilización en el proceso de lavado sin afectar la superficie de los vehículos ni el funcionamiento de los equipos.

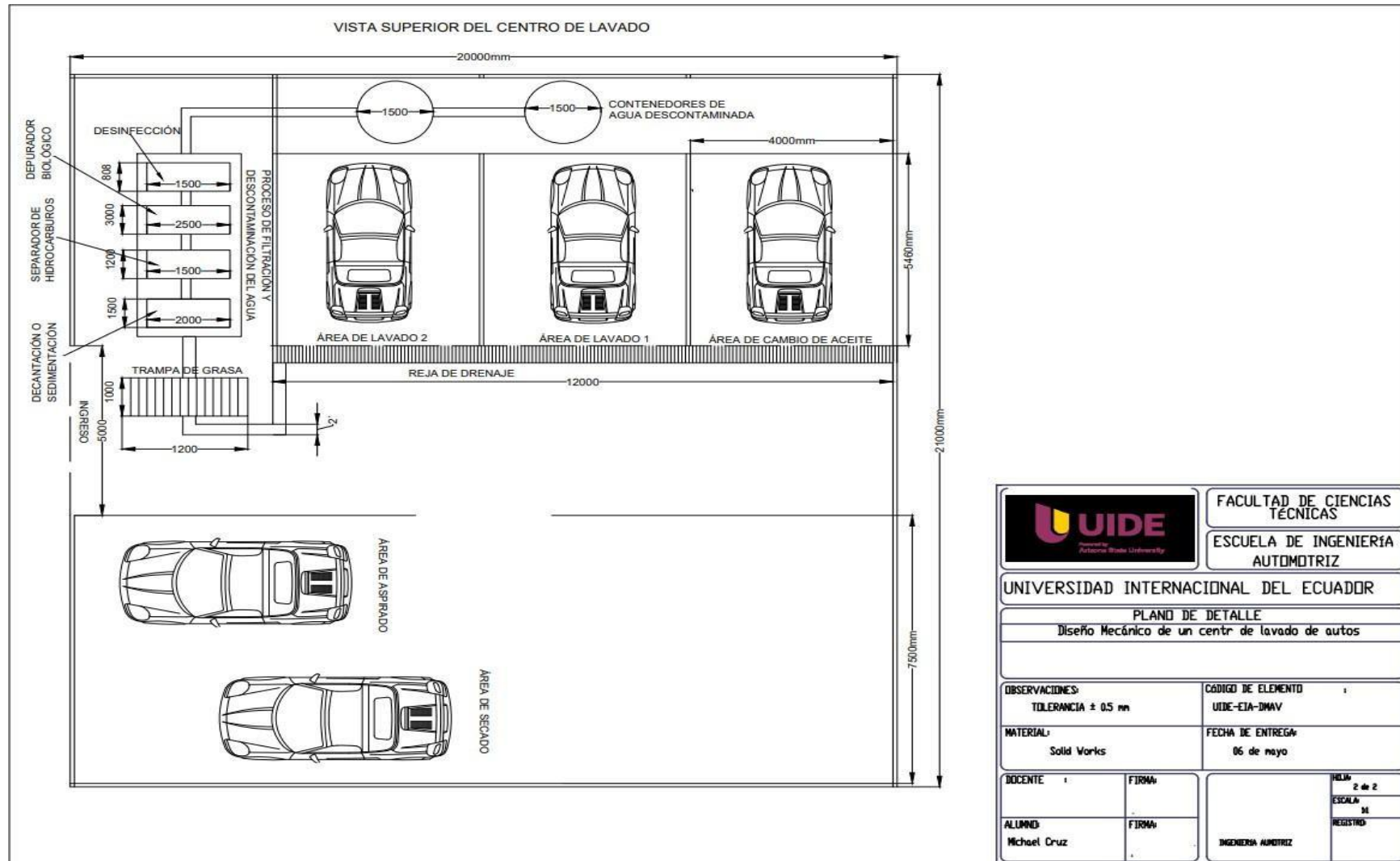
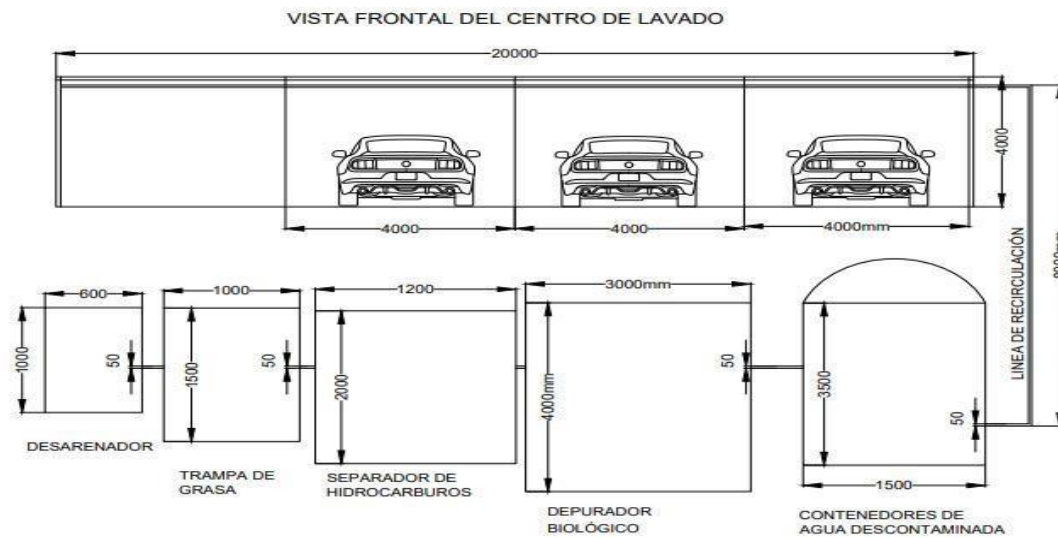


Figura 1. Distribución del centro de lavado vista desde el plano superior.



		FACULTAD DE TÉCNICA
		ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR		
PLANO DE DETALLE		
Diseño Mecánico de un centro de lavado de autos		
OBSERVACIONES: TOLERANCIA $\pm 0.5 \text{ mm}$		CÓDIGO DE ELEMENTO UIDE-EIA-IMAV
MATERIAL: Solid Works		FECHA DE ENTREGA: 06 de mayo
DOCENTE: Michael Cruz	FIRMA: [Signature]	INGENIERA ALUMETREZ
ALUMNO: Michael Cruz	FIRMA: [Signature]	

Figura 2. Vista frontal del centro de lavado con sus respectivas plazas.

Recolección de datos

Se realizó la toma de muestras de aguas residuales generadas durante el proceso de lavado vehicular, con el fin de caracterizar el efluente en diferentes etapas del sistema de tratamiento. Para ello, se establecieron tres puntos de muestreo representativos:

Punto 1: Agua residual cruda (antes del tratamiento)

Punto 2: Agua después del proceso de sedimentación y separación de grasas

Punto 3: Agua tratada final (posterior al sistema de filtración)

Las muestras fueron recolectadas en recipientes limpios y conservadas en condiciones adecuadas para su análisis, siguiendo procedimientos estándar de muestreo de aguas residuales.

Se consideraron los principales parámetros fisicoquímicos asociados a este tipo de efluentes, tales como:

- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Aceites y grasas
- Turbidez
- Hidrocarburos totales

Estos parámetros fueron seleccionados en función de su relevancia en la evaluación de la calidad del agua y su impacto en procesos de reutilización.

Se efectuó la toma de muestras de agua residual durante la operación normal del establecimiento de lavado y los valores se muestra en la tabla 4.

Tabla 4.

Valores encontrados.

Parámetros	Unidad	Rango representativo	Resultado medido
pH	-	6.5- 9.0	7.5
Turbidez	NTU	150-800	400
SST	mg/l	200-1200	600

DQO	mg/l	300-1500	800
AyG	mg/l	50-300	150
SAAM	mg/l	10-100	50

Fuente: Propia

Mantenimiento del sistema

La tabla 5 presenta un plan de mantenimiento preventivo basado en la carga operativa del sistema de tratamiento de agua del centro de lavado de vehículos, entonces, esta tabla evidencia la cantidad de vehículos atendidos y su equivalente en horas. Este enfoque permite relacionar la acumulación de contaminantes en todo el proceso de limpieza y purificación del agua con la frecuencia de intervención requerida en cada proceso.

Tabla 5.

Ciclos de mantenimiento.

Descripción	10 vehículos / 3h	20 vehículos / 6 horas	40 vehículos / 12h
Rejilla de retención de sólidos	L	*	-
Cámara desarenadora	*	L	—
Trampa de grasa	L	L	-
Separador de hidrocarburos	*	L	-
Tanque de coagulación	*	*	L
Tanque de sedimentación	*	L	-
Filtro de carbón activado	*	*	-

Sistema de desinfección		*	*	-
Tanque de almacenamiento		*	L	-
Sistema de bombeo		*	*	-

Fuente: Propia

Donde:

* es la **revisión** la cual consiste en la inspección operativa

- es el **cambio**, es decir la sustitución del material o componente

L es la **Limpieza**, la remoción de sólido, lodos, grasa o lavado interno.

El mantenimiento se estructura en tres niveles los cuales se describen a continuación:

- **El ciclo corto** que consiste en cuando se realiza el lavado de 10 vehículos. En esta etapa se prioriza las actividades de limpieza en las unidades pretratamiento tales como: rejillas y trampas de grasas debido a la rápida acumulación de sólidos gruesos y grasas.

- **Ciclo medio** consiste cuando el centro de lavado atiende a más de 20 vehículos, en esta etapa se promueve la limpieza y la revisión en unidades de separación y filtración, es donde ocurre la mayor carga contaminante acumulada.

- **Ciclo largo** este se lleva a cabo cuando el centro de lavado ya acumula más de 40 vehículos atendidos. Por lo que, se programan actividades de mantenimiento de mayor magnitud, este incluye los cambios de medios filtrantes y la limpieza profunda de tanques para evitar la pérdida de eficiencia en el sistema de tratado.

Análisis de datos

Los datos utilizados en el análisis corresponden a valores obtenidos mediante la experimentación, los cuales fueron evaluados mediante estadística descriptiva para estimar el comportamiento del sistema propuesto. Además, se realizó una evaluación técnica del desempeño del sistema, considerando las eficiencias de remoción reportadas en la literatura científica para procesos físico-fisicoquímicos aplicados al tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras de vehículos.

Finalmente, se estimó el porcentaje de reutilización de agua alcanzable mediante el sistema propuesto, el cual se sitúa en un rango aproximado entre 60 % y 80 %, contribuyendo a reducir el consumo de agua potable y la descarga de contaminantes al sistema de alcantarillado.

Los resultados obtenidos en el estudio corresponden a valores reportados acordes a partir de la aplicación de criterios de diseño y eficiencias de remoción que permiten evaluar la viabilidad técnica del sistema propuesto.

Resultados y discusión

La presente sección expone el análisis integral del desempeño del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para una lavadora de vehículos, considerando un escenario de operación representativo bajo condiciones reales de funcionamiento. A partir de los parámetros definidos en la fase metodológica, se desarrolló una evaluación cuantitativa del comportamiento del sistema.

El análisis se fundamenta en la caracterización fisicoquímica del efluente en distintas etapas del proceso agua residual, agua tratada y agua reutilizada con el propósito de determinar la eficiencia de remoción de contaminantes y la viabilidad de recirculación dentro del ciclo de lavado. Así mismo, se incorporó la evaluación del régimen hidráulico del sistema, el cual opera bajo un esquema semiautomático con flujo continuo y bajos caudales instantáneos, condición que influye directamente en el rendimiento de las unidades de tratamiento.

Actualmente el sistema del centro de lavado cuenta con la capacidad promedio de 50 vehículos por día, esta cifra se puede superar fácilmente, entonces, el consumo promedio es de 15L por vehículo por lo que el caudal que se tiene es de $0.375\text{m}^3/\text{día}$. El establecimiento funciona constantemente las 11 horas en horario de 7am a 18pm. A partir de estos datos se evalúa el desempeño del sistema físico-fisicoquímico bajo condiciones continuas de operación.

Por lo tanto, los pasos para la toma de muestras se describen a continuación:

Paso 1: Selección de puntos de muestreo

- Entrada del sistema (agua residual)
- Salida del sedimentador

- Salida del filtro
- Tanque de almacenamiento

Paso 2: Frecuencia de muestreo 3 veces al día:

- Inicio de jornada
- Media operación
- Final de jornada

Paso 3: Toma de muestras

- Recipientes de 1 L (polietileno)
- Enjuague previo con agua de muestra

Conservación a 4°C



Figura 3. Muestras por cada frecuencia de muestreo.

Paso 4: Parámetros a medir

- pH → potenciómetro
- SST → método gravimétrico
- DQO → digestión química
- AyG → extracción con solvente
- Turbidez → turbidímetro

Paso 5: Control de
calidad

- Triplicados por muestra
- Promedio estadístico
- Eliminación de valores atípicos

Para los ensayos se utilizó la norma ASTM D1889 y la ASTM 1293 que determinan parámetros para efectuar los análisis requeridos de color, turbidez, pH, entre otros.

Entonces para la evaluación del pH se utiliza un medidor de pH que cuenta con una sonda

para la medición del valor del pH y la temperatura. De la misma forma para medir la Turbidez se utiliza un turbidímetro portátil de la marca Hach 2100Q que mide en un rango de 20 a 800 NTU, este procedimiento se realiza en cada una de las muestras realizando una limpieza previa a sensor que toma los datos con agua destilada.

Además, para determinar la DQO se utiliza reactivos ácido sulfúrico. Hidrogenofterato de potasio estándar, agua destilada, potasio dicromato, estos se utilizan en mezclas controladas que se utilizan para determinar la cantidad de DQO contenida en el líquido. De la misma forma para determinar la concentración de aceites y grasas se utiliza reactivos como el ácido hidroclorhídrico o ácido sulfúrico, N-hexano, suspensión auxiliar de filtración de sílice de diatomeas, agua destilada.

Además, se implementó filtros que complementan la recirculación del agua tratada con la finalidad de reforzar la inocuidad del líquido. Estos filtros constan de filtro de carbón granular activado, filtro de sedimentos y un filtro de bloque de carbón activado. Las Figuras 3 a la 6 presentan una instalación real de sistemas de filtración y tratamiento de agua utilizada como referencia técnica para el desarrollo del diseño propuesto. Estas configuraciones permiten evidenciar la disposición física de los equipos, así como los componentes principales involucrados en la etapa de pulimiento del agua tratada.

En particular, se observa la implementación de filtros de sedimentos y carbón activado, los cuales cumplen una función fundamental en la remoción de partículas finas, compuestos orgánicos disueltos y trazas de hidrocarburos que no son completamente eliminados en las etapas previas del tratamiento físico-fisicoquímico.

La inclusión de estas unidades dentro del sistema propuesto responde a la necesidad de mejorar la calidad final del agua, especialmente en términos de turbidez, color y contenido orgánico residual, garantizando condiciones adecuadas para su reutilización en el proceso de lavado vehicular sin afectar la integridad de las superficies ni el desempeño de los equipos.

Además, para determinar la DQO se utiliza reactivos ácido sulfúrico. Hidrogenofteralato de potasio estándar, agua destilada, potasio dicromato, estos se utilizan en mezclas controladas que se utilizan para determinar la cantidad de DQO contenida en el líquido. De la misma forma para determinar la concentración de aceites y grasas se utiliza reactivos como el ácido hidróclorico o ácido sulfúrico, N-hexano, suspensión auxiliar de filtración de sílice de diatomeas, agua destilada.

Además, se implementó filtros que complementan la recirculación del agua tratada con la finalidad de reforzar la inocuidad del líquido. Estos filtros constan de filtro de carbón granular activado, filtro de sedimentos y un filtro de bloque de carbón activado. Las Figuras 3 a la 6 presentan una instalación real de sistemas de filtración y tratamiento de agua utilizada como referencia técnica para el desarrollo del diseño propuesto. Estas configuraciones permiten evidenciar la disposición física de los equipos, así como los componentes principales involucrados en la etapa de pulimento del agua tratada.

En particular, se observa la implementación de filtros de sedimentos y carbón activado, los cuales cumplen una función fundamental en la remoción de partículas finas, compuestos orgánicos disueltos y trazas de hidrocarburos que no son completamente eliminados en las etapas previas del tratamiento físico-fisicoquímico.

La inclusión de estas unidades dentro del sistema propuesto responde a la necesidad de mejorar la calidad final del agua, especialmente en términos de turbidez, color y contenido orgánico residual, garantizando condiciones adecuadas para su reutilización en el proceso de lavado vehicular sin afectar la integridad de las superficies ni el desempeño de los equipos.



Figura 4. Sistema de filtración implementado como referencia para el diseño propuesto

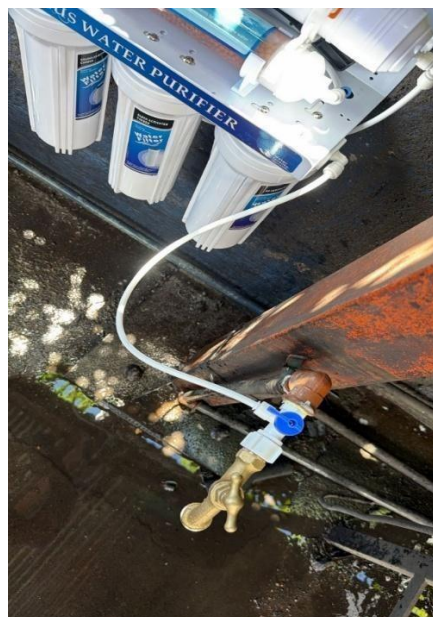


Figura 5. Sistema de filtros complementarios.

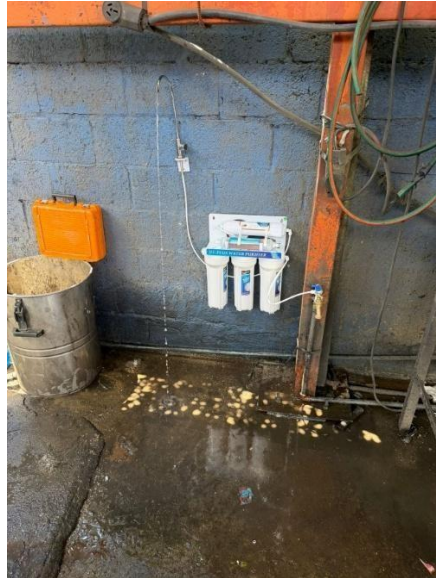


Figura 6. Vista general de los filtros



Figura 7. Detalle de los filtros complementarios.

Los valores de entrada fueron definidos a partir de rangos típicos de contaminación, mientras que los valores de salida fueron calculados aplicando eficiencias de remoción representativas para cada proceso unitario del sistema.

Entonces, en la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos del análisis de las muestras tomadas con la finalidad de medir la eficiencia del sistema

Tabla 6.

Resultados de mediciones

Parámetro	Unidad	Agua residual	Agua tratada	Agua reutilizada	% de remoción
-----------	--------	---------------	--------------	------------------	---------------

pH	-	7.8	7.2	7.3	-
SST	mg/L	650	85	60	90.7%
DQO	mg/L	820	95	80	88.4%
AyG	mg/L	160	8	8	95.0%
HTP	mg/L	120	35	5	90.9%
SAAM	mg/L	55	10	5	90.9%
Turbidez	NTU	420	25	18	94.0%

Fuente: Propia

Los resultados muestran que el sistema alcanza altas eficiencias de remoción de las cuales se destaca el de aceites y grasa en un 95% esto es debido a la trampa de grasa más la separación de hidrocarburos, SST con un 91% por la sedimentación y filtración, DQO con un 88% a causa del efecto combinado de coagulación-floculación y finalmente la turbidez del sistema es mayor al 90% donde interviene la filtración multimedia y el carbón activado. Entonces, estos resultados confirman que el sistema es técnicamente viable para la reutilización del agua.

La reutilización del agua se determinó mediante un balance hídrico:

$$Reutilización = \frac{\text{agua tratada recuperada}}{\text{agua total utilizada}} * 100$$

Por tanto, los resultados obtenidos:

- Agua recuperada: 0.26m³/día
- Agua total: 0.375m³/día

En consideración la reutilización del agua fue del 69.3%, además de que el agua a reutilizarse presenta características adecuadas las cuales no afectan a la calidad del lavado, la integridad de las superficies vehiculares y el buen funcionamiento de los equipos. Estos resultados se encuentran en el rango alto de eficiencia, este sistema presenta un desempeño similar a tecnologías más complejas, pero con menor costo, menor consumo energético y mayor facilidad operativa.

Adicionalmente, se realizó un análisis de costo del sistema propuesto con el fin de evaluar su viabilidad técnica en condiciones reales de implementación.

Análisis de costos y viabilidad técnica

El análisis de costo del sistema de tratamiento propuesto se realizó a partir de la estimación de los principales componentes requeridos para su implementación, considerando valores referenciales reportados en la literatura y precios aproximados del mercado local. Entre los elementos considerados se incluyen unidades de pretratamiento, tanque de sedimentación, trampa de grasas, sistema de filtración, almacenamiento y accesorios hidráulicos.

En función de estos componentes, se estimó un costo total de implementación de aproximadamente 450 USD, correspondiente a un sistema de pequeña escala diseñado para el tratamiento de aguas residuales generadas en lavadoras de vehículos livianos.

Desde el punto de vista técnico, este valor se considera accesible dentro del contexto de sistemas de tratamiento convencionales, especialmente considerando que el diseño propuesto no requiere tecnologías avanzadas ni automatización compleja, lo que reduce significativamente los costos de operación y mantenimiento. Cabe añadir que, el sistema permite una reutilización del 69,3% del agua tratada, lo que se traduce en una reducción directa del consumo de agua potable y, por tanto, en un beneficio económico a mediano plazo. Este aspecto refuerza la viabilidad del sistema no solo desde una perspectiva técnica, sino también operativa y ambiental.

Discusión

Los resultados evidencian que el sistema de tratamiento propuesto presenta un desempeño consistente con tecnologías físico-fisicoquímicas aplicadas a efluentes de lavadoras de vehículos, particularmente bajo condiciones de operación de bajo caudal y régimen continuo. La eficiencia global de remoción, comprendida entre el 85% y 95% para la mayoría de los parámetros evaluados, indican que la configuración adoptada es adecuada para la reducción de carga contaminante sin necesidad de incorporar procesos de mayor complejidad tecnológica. Además, estos resultados sugieren que la combinación de procesos físicos-fisicoquímicos es suficiente para alcanzar niveles de reutilización sin necesidad de tecnologías avanzadas (MBR o membranas).

En términos de remoción de materia orgánica, representada por la DQO, el sistema alcanza una eficiencia del 88,4%, lo cual puede atribuirse a la adecuada integración de procesos de coagulación-floculación seguidos de filtración. Este resultado resulta consistente para sistemas físico-fisicoquímicos, lo que sugiere que la integración de procesos de coagulación-floculación y filtración permite una reducción significativa de la carga orgánica.

La remoción de aceites y grasas (95%) constituye uno de los resultados más significativos del estudio, debido a que estos compuestos representan el principal contaminante en efluentes de lavado vehicular. La eficiencia alcanzada confirma la efectividad de las unidades de separación implementadas, especialmente la trampa de grasas y el separador de hidrocarburos. Sin embargo, la remoción de hidrocarburos totales cercanos al 90% muestra una eficiencia inferior, lo que evidencia la presencia de compuestos emulsificados o disueltos que no son completamente capturados por procesos convencionales. Este comportamiento coincide con estudios previos, donde se reporta la necesidad de tratamientos avanzados para alcanzar niveles de remoción superiores en este tipo de contaminantes.

En cuanto a la reutilización del agua, el sistema alcanza un valor de 69,3%, lo que indica su viabilidad desde una perspectiva de sostenibilidad hídrica. Este resultado es particularmente relevante en contextos donde el acceso al agua potable es limitado o donde se busca optimizar el consumo de recursos. La reutilización obtenida se encuentra dentro del rango reportado en la literatura (60–75%), lo que valida la coherencia del diseño propuesto y su aplicabilidad en condiciones reales. Es importante considerar su impacto sobre la integridad de las superficies vehiculares.

La eficiencia del sistema depende principalmente de la correcta dosificación de coagulantes, mantenimiento de filtros y control de carga hidráulica. Además, se indica que el sistema permite una reducción aproximada del 70% en el consumo de agua potable

y disminuye la descarga de contaminantes al sistema de alcantarillado, contribuyendo al cumplimiento de criterios de sostenibilidad hídrica urbana.

Las ventajas del sistema incluyen la reducción significativa de contaminantes críticos, el cumplimiento de parámetros para reutilización, el bajo requerimiento energético y una operación sencilla sin necesidad de alta automatización.

El adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento depende directamente de la implementación de un plan de mantenimiento periódico, que incluya la limpieza de unidades de pretratamiento, remoción de lodos acumulados en el sedimentador y reemplazo de los medios filtrantes. La falta de mantenimiento puede reducir significativamente la eficiencia del sistema, afectando la calidad del agua tratada y su potencial de reutilización.

Como resultado del proceso de tratamiento, se generan residuos secundarios, principalmente en forma de lodos sedimentados y grasas separadas, los cuales deben ser gestionados adecuadamente para evitar impactos ambientales. Estos residuos requieren una disposición final controlada, de acuerdo con la normativa vigente, lo que constituye un aspecto importante a considerar dentro de la operación integral del sistema.

Estos residuos deben ser retirados periódicamente durante las labores de mantenimiento del sistema y almacenados temporalmente en recipientes herméticos, resistentes a la corrosión y debidamente etiquetados, ubicados en un área techada, impermeabilizada, con acceso restringido y sistema de contención para prevenir derrames o infiltraciones al suelo. Posteriormente, deben ser entregados a gestores ambientales autorizados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) para su transporte. En el caso del Distrito Metropolitano de Quito, esta actividad puede ser realizada por empresas gestoras autorizadas para el manejo de residuos contaminados con hidrocarburos, aceites usados y lodos industriales, las cuales aplican procesos de valorización, recuperación energética, estabilización o disposición final controlada según las características del residuo. Adicionalmente, se recomienda efectuar inspecciones periódicas de las unidades de tratamiento y programar la extracción de lodos y grasas cuando la acumulación alcance entre el 25 % y 30 % de la capacidad útil de almacenamiento, con el fin de mantener la eficiencia del sistema, evitar el arrastre de contaminantes hacia las etapas posteriores del tratamiento y garantizar un manejo ambientalmente seguro de los residuos generados.

A largo plazo, la implementación de sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales en centros de lavado vehicular puede contribuir significativamente a la reducción del consumo de agua potable y a la disminución de la carga contaminante vertida al sistema de alcantarillado. Este tipo de soluciones se alinea con estrategias de gestión sostenible del recurso hídrico en entornos urbanos, promoviendo prácticas más eficientes y responsables en el uso del agua.

Desde una perspectiva de largo plazo, la durabilidad de los componentes también constituye un factor determinante para la sostenibilidad del sistema. Se estima que los medios filtrantes minerales, como la grava y la arena, pueden mantener un funcionamiento adecuado durante 3 a 5 años, mientras que la antracita presenta una vida útil aproximada de 2 a 4 años y el carbón activado requiere reemplazos más frecuentes, generalmente entre 6 y 12 meses. Así mismo, las bombas de impulsión y recirculación pueden operar entre 5 y 10 años bajo condiciones normales de mantenimiento; no obstante, la exposición continua a sólidos abrasivos y la falta de limpieza preventiva pueden acelerar el desgaste de sellos, impulsores y rodamientos. Estos aspectos evidencian que la eficiencia del tratamiento no depende únicamente del diseño inicial, sino también de una adecuada gestión operativa que garantice el mantenimiento periódico de todos los componentes del sistema.

En conjunto, los resultados permiten inferir que el sistema propuesto constituye una alternativa técnicamente viable para la reducción del consumo de agua potable en centros de lavado vehicular. No obstante, su desempeño real dependerá de factores operativos como la variabilidad del caudal, la carga contaminante y el mantenimiento de las unidades de tratamiento, aspectos que deberán ser considerados en futuras validaciones experimentales.

El lodo y las arenas finas generados en el lavado de vehículos se acumulan inicialmente en los tanques de sedimentación o desarenadores, donde las partículas sólidas se depositan en el fondo. Posteriormente, estos residuos se extraen periódicamente y se almacenan temporalmente en fundas rojas, recipientes o contenedores impermeables, resistentes y debidamente identificados, ubicados en un área cubierta para evitar derrames y la infiltración de agua lluvia. Debido a que contienen sedimentos, aceites y otros contaminantes, no deben mezclarse con residuos reciclables ni ser descargados al

alcantarillado. Finalmente, deben ser entregados a un gestor ambiental autorizado o transportados a un sitio de disposición final autorizado por el Municipio de Quito, manteniendo registros de su recolección y disposición para garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Estos residuos se consideran desechos especiales debido a la presencia de aceites, grasas e hidrocarburos.

El proceso que normalmente se sigue es:

1. Recolección y almacenamiento temporal en recipientes impermeables y etiquetados.
2. Retiro por un gestor ambiental autorizado, quien transporta los residuos cumpliendo las normas ambientales.
3. Tratamiento o disposición final, que puede incluir:
 - Deshidratación y secado del lodo.
 - Separación de contaminantes, como aceites e hidrocarburos.
 - Disposición en un relleno sanitario autorizado o en instalaciones de tratamiento especial, según las características del residuo.

Para eliminar los aceites que se encuentran en las arenas filtradas se utilizan diversos procesos como el lavado a contracorriente, inyección de aire, uso de aditivos que desprenden este producto de la arena para evitar alguna contaminación del suelo.

- **Lavado a contracorriente:** es un proceso que consiste en la inmersión del flujo de agua para fluidificar los lechos de arena y desprender las partículas de aceite retenidas (Copersa, 2024)

- **El lavado asistido por aire:** consiste en inyectar aire a presión durante el lavado a contracorriente para generar turbulencia esto facilita el desprendimiento de hidrocarburos pesados (Meabe, 2024).

- **Tratamiento químico:** los tratamientos químicos adicionan surfactantes, sosa cáustica (NaOH) o algún polímero des emulsionante para romper la tensión superficial entre el aceite adherido a los granos de arena (Tatá et al., 2021)

- **Tratamientos térmicos:** es un proceso industrial intensivo en la cual la arena

contaminada se calienta en hornos que alcanzan alrededor de 500° centígrados para evaporar y quemar el aceite residual (Tatá et al., 2021)

- **Extracción por solventes:** es un proceso de lavado de la arena con solventes químicos (hexano), que disuelve los aceites y los separe en arena solida (onecpm, 2025)

Limitaciones

Las limitaciones del estudio incluyen la menor eficiencia en la remoción de hidrocarburos disueltos, la dependencia del mantenimiento del sistema y la variabilidad en la carga contaminante diaria del efluente.

Conclusiones

El sistema de tratamiento propuesto, basado en la integración de unidades físicas y fisicoquímicas (retención de sólidos, sedimentación, separación de grasas e hidrocarburos, filtración y pulimento con carbón activado), presenta un desempeño esperado alto en la remoción de contaminantes típicos de aguas residuales provenientes del lavado vehicular. Las eficiencias indican reducciones cercanas al 90% en parámetros como sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno, aceites y grasas y turbidez, lo que sugiere la pertinencia del tren de tratamiento dimensionado para procesos de reutilización de agua.

Se concluye que el sistema de tratamiento diseñado para las aguas residuales de la lavadora de vehículos constituye una alternativa técnicamente viable para la reducción de contaminantes y la reutilización del recurso hídrico, permitiendo mejorar la calidad del efluente mediante la disminución de sólidos suspendidos, aceites, grasas, hidrocarburos y turbidez. No obstante, la permanencia de estos niveles de eficiencia a lo largo del tiempo depende del cumplimiento de un programa de mantenimiento preventivo que incluya la limpieza periódica de las unidades de sedimentación y la sustitución programada de los medios filtrantes, garantizando así la continuidad operativa, la calidad del agua tratada y la vida útil de los componentes del sistema.

La implementación de tecnologías de tratamiento basadas en procesos físico-fisicoquímicos permite alcanzar niveles adecuados de calidad del agua para su reutilización sin requerir infraestructura compleja ni sistemas altamente automatizados. Esto lo convierte en una alternativa técnicamente accesible y replicable para centros de lavado de vehículos livianos hasta de 3.5 toneladas, especialmente en contextos donde se busca optimizar la inversión inicial y los costos de operación.

El sistema permite una reutilización estimada de hasta el 69,3% del volumen tratado, lo que contribuye significativamente a la reducción del consumo de agua potable, disminuyendo la demanda diaria desde 0,375 m³/día hasta aproximadamente 0,115 m³/día. Este resultado evidencia el potencial del sistema como estrategia de optimización del recurso hídrico, alineándose con criterios de sostenibilidad en entornos urbanos como el Distrito Metropolitano de Quito.

El diseño del sistema de tratamiento de agua consta de trampa de grasa con dimensiones de (1*1.5*1.2) m, desarenador con dimensiones de (0.6*1*2) m, el separador de

hidrocarburos con dimensiones de (1.2*2*1.5) y depurador biológico que consta de (3*4*2.5) m. Además, dispone de dos reservorios de agua de 1.5m de alto con un diámetro de 1.5m para el almacenamiento del agua a recircular. Todo esto está contemplado para un establecimiento de 420m² que incluye 3 zonas de lavado que activamente atienden a en promedio un total de 50 vehículos por día.

La caracterización del efluente tratado sugiere que, aunque se logran altas eficiencias de remoción en la mayoría de los parámetros evaluados, persisten concentraciones residuales de contaminantes disueltos, particularmente hidrocarburos totales, lo que pone en evidencia la limitación inherente de los sistemas convencionales frente a compuestos de difícil separación. Este aspecto sugiere la necesidad de considerar, en futuras mejoras del sistema, la incorporación de tecnologías complementarias que permitan optimizar la calidad del agua en escenarios donde se requieran estándares más estrictos.

Bibliografía

- Canales, F. A., Plata-Solano, D., Cantero-Rodelo, R., Pereira, Y. Á., Díaz-Martínez, K., Carpintero, J., Kaźmierczak, B., & Tavera-Quiroz, H. (2021). Assessment of carwash wastewater reclamation potential based on household water treatment technologies. *Water Resources and Industry*, 26(November). <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100164>
- Elgaali, E., & Akram, M. (2021). Recycling and Reuse of Wastewater Generated in Car-Washing Facilities. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 6(2), 521–525. <https://doi.org/10.25046/aj060259>
- García, G. (2021). Afectaciones ambientales generadas por las actividades de lavadoras y lubricadoras de vehículos a los cuerpos hídricos de la ciudad de babahoyo. año 2012. plan de manejo ambiental. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*.
- Ghaly, A. E., Mahmoud, N. S., Mostafa, E. A., Abdelrahman, E. N., Emam, R. H., Kassem, M. A., & Hatem, M. H. (2021). Water Use, Wastewater Characteristics, Best Management Practices and Reclaimed Water Criteria in the Carwash Industry: A Review. *International Journal of Bioprocess & Biotechnological Advancements IJBBA*, 7(1), 240–261. www.scitcentral.com
- Guamanquispe, S. J. (2017). Diseño de una planta de tratamiento de agua proveniente del lavado de autos en la lavadora “La Unión” en el sector La Joya. *Universidad Tecnica De Mabato*, 1–171. [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26496/1/Tesis_1162 - Guamanquispe Tigse Santiago Javier.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26496/1/Tesis_1162_Guamanquispe_Tigse_Santiago_Javier.pdf)
- Hoseinzadeh, E., Gholi-fam, A., & Faramarzi, M. (2024). Treatment of real carwash wastewater using high-efficiency and energy-saving electrocoagulation technique. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 41(May), 101688. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101688>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización 2266. (2013). Transporte, Almacenamiento y Manejo De Materiales Peligrosos. Requisitos. *Nte Inen*, 22, 1–161. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/NTE->

INEN-2266-Transporte-almacenamiento-y-manejo-de-materiales-peligrosos.pdf

Jiménez Tamayo, F. M., Moreno López, J. A., Encalada Zumba, M. C., & Vargas Peralvo, E. A. (2024). Análisis de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión bibliográfica. *La Técnica. Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 14(2), 103–117. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i2.6467>

Kazembeigi, F., Bayad, S., Yousefi Nasab, A., Doraghi, M., & Parseh, I. (2023a). Techno-environmental study on the consequences of carwash wastewater and its management methods. *Heliyon*, 9(9), e19764. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19764>

Kazembeigi, F., Bayad, S., Yousefi Nasab, A., Doraghi, M., & Parseh, I. (2023b). Techno-environmental study on the consequences of carwash wastewater and its management methods. *Heliyon*, 9(9), e19764. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19764>

LORHUyA. (2014). Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago.-2014. *Registro Oficial Suplemento N° 305*, 43. www.lexis.com.ec

Ministerio del ambiente. (2015). anexo 4 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión libro vi anexo 4. *registro oficial*, 387(097), 17–18.

Ochoa, M. O. (2014). *Elaboración de un modelo de gestión de prácticas de responsabilidad social empresarial RSE, aplicada al área operativa de la Empresa Automotores Rocar*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21592>

Plata, D. (2020). Diseño y análisis de un sistema de recuperación de aguas residuales de lavadora de autos. *CUC*, 21(1), 1–9.

Quinaluisa, R. (2017). *Análisis de cenizas vegetales como filtro en el tratameinto de agua residules provenientes de la lavadora de autos “reian del cisne” ubicada en el cantón pillaro*.

Sarmadi, M., Foroughi, M., Najafi Saleh, H., Sanaei, D., Zarei, A. A., Ghahrchi, M., & Bazrafshan, E. (2020). Efficient technologies for carwash wastewater

- treatment: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34823–34839. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09741-w>
- Silva, J. A. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151410940>
- Solorzano, J. (2020). *Diseño De Un Sistema De Tratamiento Y Recirculación De Aguaresidual Generada En La Lavadora de Automóviles dimas Vera, Del Cantón El Carmen*.
- Torkashvand, J., Pasalari, H., Gholami, M., Younesi, S., Oskoei, V., & Farzadkia, M. (2022). On-site carwash wastewater treatment and reuse: a systematic review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(15), 3613–3627. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1772773>
- Torrens, A., Sepúlveda-Ruiz, P., Aulinas, M., & Folch, M. (2025). Innovative Carwash Wastewater Treatment and Reuse Through Nature-Based Solutions. *Clean Technologies*, 7(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol7010012>
- Copersa. (2024). Filtro de arena. <https://riegos.copersa.com/wp-content/uploads/2022/07/Copersa-%C2%B7-Filtros-de-arena-Odis-serie-4000-060525.pdf>
- Meabe, E. (2024). Filtración cerámica para el tratamiento. Tecnoaqua.
- onecpm. (2025). a guía completa para el procesamiento del aceite de canola: de la semilla al aceite. <https://onecpm.com/es/success-story/the-complete-guide-to-canola-oil-processing-from-seed-to-oil>
- Tatá, Y., Salazar, F., & Forgiarini, A. (2021). Revisión sobre películas de asfaltenos en las interfases aire – agua y aceite – agua. *Ingeniería*, 25(2). <https://www.redalyc.org/journal/707/70757669002/html/>