

**ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS AGUAS  
RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS EN LOS LAVADEROS DE  
CARROS**

**JENNY LORENA TAFUR GARZÓN**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C  
2017**

**ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS AGUAS  
RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS EN LOS LAVADEROS DE  
CARROS**

**JENNY LORENA TAFUR GARZÓN**

**Monografía para optar por el título de Especialista en  
Gestión Ambiental**

**ASESOR  
JIMMY EDGARD ALVAREZ DÍAZ  
Biólogo Doctor**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C  
2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Firma director especialización

---

Firma Calificador

Bogotá, D.C., 26 octubre de 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Francisco Archer Narvaez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documentos. Estos corresponden únicamente al autor.

## DEDICATORIA

En primer lugar, le dedico este proyecto a Dios quien es mi luz y me ha dado la fuerza para alcanzar cada meta en mi vida.

A mis padres por su infinito amor. Por todos los principios y valores que me inculcaron para ser una mujer de bien. Por ser mis guías y apoyarme en mis decisiones, porque gracias a ellos alcanzo este nuevo triunfo.

A mi compañero y colega Carlos Guzmán, por compartir mis triunfos y derrotas. Por motivarme en todo momento. Por apoyarme y por estar presente en cada paso que he dado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, por su apoyo y amor incondicional.

Agradezco a Jimmy Álvarez, asesor y director del trabajo de grado, quien se encargó de orientarme y motivarme durante este proceso para poder culminarlo satisfactoriamente.

Finalmente agradezco a Carlos Escamilla por su apoyo, disposición y colaboración para permitirme llevar a cabo este proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	18
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	18
1.1.1 Normatividad Aplicable	19
1.2 HUELLA HÍDRICA	22
1.2.1 Categorías de la Huella Hídrica	22
1.2.2 Cálculo de la Huella Hídrica	23
1.2.3 Definiciones ISO 14046	23
1.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO	24
1.3.1 Implementación de Coagulación-Floculación	24
1.3.2 Implementación de Filtración por Membranas	27
1.3.3 Implementación de la Oxidación Avanzada	28
2. METODOLOGÍA	30
2.1. ANALISIS DEL INVENTARIO	31
2.1.1. Visualización del Proceso Industrial	31
2.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA HUELLA DEL AGUA	32
2.3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO	32
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL	33
3.1. DIAGRAMA DE FLUJO	34
3.2. COMPARACIÓN ENTRE ENTRADAS Y SALIDAS	36
4. CÁLCULO HUELLA HÍDRICA	37
4.1. DEFINICIÓN DEL ALCANCE	37
4.2. CUANTIFICACIÓN	37
4.2.1. Recolección de Datos	38
4.2.2. Cálculo de la Huella Hídrica	38
4.3. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD	39
5. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO	40
5.1. PRE-TRATAMIENTO	41
5.2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	42
5.3. OXIDACIÓN QUÍMICA	43
5.4. MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN	44
5.5. SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO	45

6. CONCLUSIONES	47
7. RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	53

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Cantidad de insumos y materias primas	35
Tabla 2. Comparación de parámetros	36
Tabla 3. Consumo bimestral de agua	38
Tabla 4. Cálculo del tren de tratamiento propuesto	46

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Entradas y salidas en las etapas de lavado de automóviles	19
Cuadro 2. Reacciones de POA	28
Cuadro 3. Principales tecnologías de procesos de oxidación avanzada	29
Cuadro 4. Fuente de información de la huella hídrica azul	38

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Categorías huella hídrica	22
Figura 2. Puente de flóculos	26
Figura 3. Tecnologías de membrana	27

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>pág.</b>
Imágen 1. Rejillas típicas	41
Imagen 2. Funcionamiento de trampa de grasas	42
Imagen 3. Sistema de coagulación-floculación	43
Imágen 4. Sistema de oxidación química	44
Imágen 5. Membranas de filtración	45

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Diagrama de bloques del proceso de lavado de autos basado en la ISO:14044	34
Gráfica 2. Tren de tratamiento propuesto	41

## RESUMEN

Se realizó una investigación en cuanto a la industria de lavaderos de autos en el país, para así conocer cómo operan, cuáles son los insumos y materias más usadas. Seguidamente se procedió a determinar en cuáles etapas se compromete más el recurso hídrico, reconociendo sus mayores contaminantes.

Por otra parte, se hizo una búsqueda digital a nivel global para tener un aproximado del consumo de agua de un lavadero, asimismo se contactó a un lavadero de autos que opera en la ciudad de Bogotá, el cual muy generosamente compartió algunos archivos en donde se encontraban datos de caracterización de vertimientos, consumo de aguas a través de sus recibos de cobro por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP). Posteriormente con esta información se llevó a cabo el cálculo de la huella hídrica para el correspondiente establecimiento, basándose en un documento presentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en donde se indicaba una fórmula para calcular la huella hídrica azul para el sector industrial.

Además de esto, se propuso un sistema de tratamiento para el efluente del lavadero de autos basándose en la caracterización de vertimientos; para ello se investigó cuáles son las tecnologías más eficientes y rentables actualmente, de las cuales se seleccionaron las que más se ajustaban a los parámetros. Se aplicaron pre-tratamientos, tratamientos primarios y terciarios. Para el cálculo se empleó una hoja en Excel en donde se utilizaba la eficiencia de cada equipo para ir determinando el porcentaje de remoción de carga contaminante. Una vez se tuvo el resultado del último equipo, se procedió a compararlo con la resolución 0631 del 2015, para corroborar que se cumpliera con la normatividad de vertimientos.

**Palabras claves:** Aguas residuales industriales, Huella hídrica, Cogulación-floculación, Membranas de filtración, Oxidación química.

## INTRODUCCIÓN

*“Olvidamos que el ciclo del agua y el de la vida son uno”*  
**Jaques Cousteau**

El presente trabajo pretende exponer la importancia del buen uso del recurso hídrico, que la industria del lavado de autos debe realizar para cumplir con las metas del desarrollo sostenible. En el 2015, de acuerdo a la ONU se plantearon 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en la agenda 2030<sup>1</sup>, los cuales pretenden garantizar que todos los habitantes del planeta cuenten con una mejor calidad de vida. El sexto de estos objetivos que permite “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, se adecua a este estudio puesto que la industria del lavado de autos tiene una gran responsabilidad en la gestión sostenible del recurso hídrico. Asimismo, las metas planteadas para este objetivo, que conciernen a esta monografía, son las 6.3 y 6.4, que hacen referencia a la minimización de la carga contaminante de las aguas residuales y la aplicación de estrategias que aumenten el uso eficiente del recurso hídrico, para así mejorar la calidad del agua. Nuevamente, ambas metas se ajustan al presente trabajo, pues el sector del lavado de autos tiene un elevado consumo de agua dulce; por lo tanto, el proceso productivo debe incorporar medidas que permitan una disminución del volumen de agua captado y de los vertimientos realizados.

Para determinar las estrategias de minimización de impactos en este sector económico, primero se debe conocer cómo opera la industria de lavado de autos en el país. Posteriormente, se deben determinar los impactos ambientales asociados a esta operación mediante el cálculo de la huella hídrica total del proceso basándose en las normas NTC-ISO 14046: Huella de agua y la NTC-ISO 14044: Análisis de ciclo de vida. Una vez caracterizados los impactos se procede a determinar los proyectos definidos en la ley 373 de 1997, que pueden ser aplicados para implementar un programa de uso eficiente y ahorro del agua y otro para el tratamiento del efluente. Cabe resaltar que la búsqueda de información se ve bastante limitada debido a que, en el país no se realizan estudios sobre el tema ni tampoco existe normatividad que esté netamente dirigida a esta industria. De la misma forma, en Bogotá se publicó en el 2010, una Guía para la gestión y manejo Integral de residuos: Servicio de Lavado de vehículos, que se constituye en el único documento que rige este servicio en la ciudad de Bogotá, sin haber encontrado información más reciente.

---

<sup>1</sup> PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO -PNUD-. Agua limpia y saneamiento. [Sitio Web]. Sec. Objetivos de calidad. [Consultado 13, Octubre, 2017]. Disponible en: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer alternativas para el tratamiento de las aguas residuales industriales (ARI) generadas en los lavaderos de carros, teniendo en cuenta la capacidad operativa del establecimiento y las etapas del proceso de lavado

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Describir el proceso industrial desarrollado en los lavaderos de carros en la ciudad de Bogotá.
- Determinar la huella hídrica a partir de la capacidad operativa de un lavadero de carros.
- Seleccionar las mejores tecnologías para el adecuado tratamiento del agua residual industrial (ARI) generada en los lavaderos de carros.

# 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Colombia es un país en el cual adquirir un vehículo es una posibilidad asequible para muchos de sus habitantes. Según el DANE<sup>2</sup>, para el año 2014, se vendieron un total de 66.988 unidades de vehículos automotores. Por lo anterior surge la necesidad de mercado de crear establecimientos que brinden el servicio de mantenimiento de los automotores. De acuerdo a la cámara de comercio de Bogotá:

esta actividad económica se clasifica con el código CIIU: 4520 que responde al “*mantenimiento y reparación de vehículo automotores*”, la cual incluye sub-actividades, como: mantenimiento y reparación de vehículos automotores (ej. reparaciones mecánicas, reparaciones eléctricas, reparaciones de los sistemas de inyección electrónica, servicios corrientes de mantenimiento, reparación de la carrocería, reparación de partes y piezas de vehículos automotores, lavado, encerada, montaje y despinchado de llantas, entre otros; metalización y pintura, reparación de parabrisas y ventanas, reparación de asientos, reparación, colocación y reemplazo de llantas y neumáticos, tratamiento anticorrosivo, instalación de partes y accesorios que no hace parte del proceso de fabricación, remolque, asistencia en la carretera, entre otros). Generalmente estas actividades son realizadas en los mismos establecimientos, aunque en diferentes combinaciones<sup>3</sup>.

Como lo señala la Secretaría Distrital de Ambiente<sup>4</sup> el lavado de un automóvil, consta de una serie de operaciones que pueden variar dependiendo de los requerimientos del cliente, como de las condiciones en las que llegue el vehículo; es por esto que de las siguientes actividades; no todas se llevan a cabo en cada vehículo.

De acuerdo a la Municipalidad de Rosario<sup>5</sup>, todas estas actividades generan un impacto negativo para el medio ambiente de la ciudad, pues se generan vertimientos, residuos sólidos peligrosos y se hace un alto consumo energético al igual que del recurso hídrico. En el cuadro 1, se puede observar cada una de las

---

<sup>2</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA -DANE- Boletín De Prensa: Comercio De Vehículos Automotores. [Sitio web]. Colombia. Sec. Estadística por tema. [Consultado 18, mayo, 2017]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/vehiculos/bol\\_veh\\_ltrim14.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/vehiculos/bol_veh_ltrim14.pdf)

<sup>3</sup> CÁMARA DE COMERCIO. Descripción CIIU. [Sitio web]. Colombia. Bogotá D.C. Sec. Servicios en línea. [Consultado 22, Julio, 2017]. Disponible en: <http://linea.ccb.org.co/descripcionciiu/>

<sup>4</sup> BOGOTÁ D.C. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Guía Ambiental Para La Gestión y Manejo Integral De Residuos. Servicio De Lavado De Vehículos. (Diciembre). Bogotá D.C., 2010. no. 978-958-9387-72-6p. 1-104

<sup>5</sup> MUNICIPALIDAD DE ROSARIO. Buenas Prácticas Ambientales En Lavaderos De Automotores, Talleres Mecánicos y Lubricentros. [Sitio web]). Argentina [Consultado el 022, Julio2,017/]. Disponible en: [https://www.rosario.gov.ar/web/sites/default/files/buenas\\_practicas\\_talleres.pdf](https://www.rosario.gov.ar/web/sites/default/files/buenas_practicas_talleres.pdf)

etapas ya mencionadas con sus entradas y salidas correspondientes, además se mencionan cuales se hacen ocasionalmente o de manera habitual.

Cuadro 1. Entradas y salidas en las etapas de lavado de automóviles

<b>ETAPA</b>	<b>ENTRADA</b>	<b>SALIDA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
<i>Lavado chasis</i>	Agua Champús (detergentes) Cepillo Desengrasante	Aguas residuales (con tensoactivos, solidos suspendidos, hidrocarburos)	Habitual
<i>Lavado de carrocería</i>	Agua Champús (detergentes) Trapo Desengrasante	Aguas residuales (con tensoactivos, solidos suspendidos, hidrocarburos)	Habitual
<i>Lavado de motores</i>	Agua Aceite ACPM Detergente biodegradable	Aguas residuales (con tensoactivos, solidos suspendidos, hidrocarburos)	Ocasional
<i>Lavado de tapicería</i>	Agua Detergente	Aguas residuales (con tensoactivos, solidos suspendidos)	Habitual
<i>Encerado polichado</i>	o Cera Trapo	Toallas sucias	Ocasional
<i>Grafitado petrolizado</i>	o Cera Silicona Toalla	Toallas sucias	Ocasional

### 1.1.1 Normatividad Aplicable

Todo propietario de un establecimiento de lavado de autos debe expedir un permiso de vertimientos, bajo el decreto 3930 del 2010.

Este decreto tiene como objetivo establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. Basándose en el artículo 42 del presente decreto, quien esté interesado en tramitar un permiso de vertimientos debe presentar ante la autoridad correspondiente una solicitud que contenga la siguiente información:

1. Nombre, dirección e identificación del solicitante y razón social si se trata de una persona jurídica.

2. Poder debidamente otorgado, cuando se actúe mediante apoderado.
3. Certificado de existencia y representación legal para el caso de persona jurídica.
4. Autorización del propietario o poseedor cuando el solicitante sea mero tenedor.
5. Certificado actualizado del Registrador de Instrumentos Públicos y Privados sobre la propiedad del inmueble, o la prueba idónea de la posesión o tenencia.
6. Nombre y localización del predio, proyecto, obra o actividad.
7. Costo del proyecto, obra o actividad.
8. Fuente de abastecimiento de agua indicando la cuenca hidrográfica a la cual pertenece.
9. Características de las actividades que generan el vertimiento.
10. Plano donde se identifique origen, cantidad y localización georreferenciada de las descargas al cuerpo de agua o al suelo.
11. Nombre de la fuente receptora del vertimiento indicando la cuenca hidrográfica a la que pertenece.
12. Caudal de la descarga expresada en litros por segundo.
13. Frecuencia de la descarga expresada en días por mes.
14. Tiempo de la descarga expresada en horas por día.
15. Tipo de flujo de la descarga indicando si es continuo o intermitente.
16. Caracterización actual del vertimiento existente o estado final previsto para el vertimiento proyectado de conformidad con la norma de vertimientos vigente.
17. Ubicación, descripción de la operación del sistema, memorias técnicas y diseños de ingeniería conceptual y básica, planos de detalle del sistema de tratamiento y condiciones de eficiencia del sistema de tratamiento que se adoptará.
18. Concepto sobre el uso del suelo expedido por la autoridad municipal competente.
19. Evaluación ambiental del vertimiento.
20. Plan de gestión del riesgo para el manejo del vertimiento.
21. Plan de contingencia para la prevención y control de derrames, cuando a ello hubiere lugar.
22. Constancia de pago para la prestación del servicio de evaluación del permiso de vertimiento.
23. Los demás aspectos que la autoridad ambiental competente consideré necesarios para el otorgamiento del permiso<sup>6</sup>.

Por otra parte, se encuentra la resolución 0631 del 2015, que de acuerdo al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<sup>7</sup>, “se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas

---

<sup>6</sup> COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. (25 de octubre 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 47837. 2010. Art 42

<sup>7</sup> COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631. (17 de Marzo 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. Diario Oficial 49.486. 2016

superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”. Esta resolución va dirigida a todos aquellos que realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Teniendo en cuenta al artículo 15, se especifican los valores máximos permisibles para la industria de lavado de autos, debido a que no se contempla en ninguna de las demás actividades industriales.

## 1.2 HUELLA HÍDRICA

El agua es uno de los recursos más utilizados por los seres vivos ya sea para beber, cocinar, lavar, etc. Asimismo, es indispensable para la producción de bienes, como papel, algodón y para el caso que atañe a este estudio, el lavado de automóviles. Para calcular cuánta agua es utilizada de manera directa o indirecta, se sugiere el empleo de la huella hídrica; este es un indicador que permite calcular el volumen de agua dulce que consume un habitante o una comunidad o ya sea una industria en la fabricación de un producto.

Este concepto fue introducido por primera vez en el año 2002 por el profesor Arjen Hoekstra quien lo define, como un indicador alternativo del uso del agua. Para el año 2014, se publicó la norma ISO: 14046 (Gestión ambiental- Huella hídrica- Principios, requisitos y directrices), norma va dirigida a industrias que quieran implementar el cálculo de la huella hídrica en sus procesos o productos. En esta norma se aplica un ciclo de vida en el cual se tienen en cuenta todos los impactos medioambientales.

### 1.2.1 Categorías de la Huella Hídrica

En la figura 1, se puede observar de manera ilustrativa las clasificaciones que tiene la huella hídrica con su correspondiente explicación para la categoría verde, azul y gris.

Figura 1. Categorías huella hídrica



## 1.2.2 Cálculo de la Huella Hídrica

Para determinar la huella hídrica de la industria del lavado de autos, se examina el protocolo diseñado por un lavadero de carros de la ciudad de Bogotá, basándose en el documento llamado “evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia” presentado en el ENA (estudio nacional del agua).

## 1.2.3 Definiciones ISO 14046

Basándose en las definiciones de la ISO 14046, se toman algunas definiciones.

- **Agua dulce:** Agua que contiene una concentración baja de sólidos disueltos. El agua dulce comúnmente contiene menos de 1000 miligramos por litro de sólidos disueltos y generalmente se acepta como adecuada para su extracción y tratamiento convencional para producir agua potable.
- **Agua salobre:** Agua que contiene sólidos disueltos en una concentración menor que la del agua de mar, pero en cantidades exceden las normas generalmente aceptables para usos municipales, domésticos y de irrigación. La concentración de sólidos disueltos en aguas salobres puede variar de 1.000 a 30.000 miligramos por litro.
- **Agua superficial:** Agua sobre el suelo que fluye y se almacena, tales como ríos y lagos, excluyendo el agua de mar.
- **Agua de mar:** Agua en el mar o en el océano. El agua de mar tiene una concentración de sólidos disueltos mayor o igual a 30.000 miligramos por litro.
- **Cuerpo de agua:** Entidad de agua con características hidrológicas, hidrogeomorfológicas, físicas, químicas y biológicas definidas en un área de geografía dada.
- **Flujo elemental de agua:** Agua que entra al sistema bajo estudio, que ha sido extraída del medio ambiente; o agua que sale del sistema bajo estudio que es liberada al medio ambiente.
- **Calidad del agua:** Características físicas (por ejemplo, termales), químicas y biológicas del agua con respecto a su aptitud para el uso previsto por los humanos o los ecosistemas.
- **Huella de agua:** Métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua. En el caso de que los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua no hayan sido evaluados integralmente el término “huella de agua” solamente puede utilizarse si está acompañado por un calificativo. Un calificativo es una o varias palabras adicionales utilizadas en el conjunto con el término “huella de agua” para describir la categoría o las categorías del impacto estudiadas.

en la evaluación de la huella de agua, por ejemplo: huella de agua por escasez, huella de agua por eutrofización “huella de agua no integral”<sup>8</sup>.

Sin embargo, para poder aplicar la ISO: 14046 es necesario tener en cuenta los conceptos de ciclo de vida y análisis de ciclo de vida que la ISO: 14044<sup>9</sup> los definen como:

- **“Ciclo de vida:** Etapas consecutivas a interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.
- **Análisis de ciclo de vida:** Recopilación y evaluación de las entradas las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida”.

### 1.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

Como bien se sabe, la industria de los lavaderos de autos, impactan negativamente sobre el medio ambiente. El recurso natural que más se ve afectado es el hídrico, esto se debe a dos factores: el alto consumo y la cantidad de agua contaminada al finalizar el proceso.

Sin embargo, se han desarrollado diferentes tecnologías que permiten tratar el efluente que viene contaminado con residuos sólidos que se han desprendido de cualquier parte del auto (chasis, carrocería, motor, cojinería); así, no se afecta los cuerpos hídricos y a la vez parte del agua tratada puede ser reutilizada en el proceso de lavado. Para poder lograr et separación, es necesario implementar un tren de tratado, en el cual se tiene en cuenta más de una tecnología con el fin de garantizar la eficiencia del tratamiento.

Antes de aplicar cualquier tratamiento es importante resaltar que se debe realizar un pre-tratamiento, pues hay una alta carga contaminante de arenas y solidos sedimentables que deben ser removidos previamente para así prolongar la vida útil de los equipos que son utilizados posteriormente.

#### 1.3.1 Implementación de Coagulación-Floculación

Para el tratamiento de aguas residuales, una de las técnicas más empleadas es la coagulación-floculación; esto se debe a que presenta varias ventajas, por ejemplo,

---

<sup>8</sup> Comité Europeo de Normalización -CEN- Gestión ambiental, huella de agua, principios, requisitos y directrices. ISO 14046: 2014. España. CEN, 2014. P. 10-12

<sup>9</sup> Comité Europeo de Normalización -CEN- Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida, requisitos y directrices. ISO 14044: 2006. España. CEN, 2006. P. 10

se adapta a las características del efluente y tiene una menor sensibilización a las variaciones del caudal y composición.

Las aguas residuales contienen diferentes impurezas, las cuales varían de acuerdo al tamaño, pues hay un rango que oscila entre  $10^{-8}$  cm para sustancias solubles y  $10^{-2}$  cm para la materia en suspensión. Para separar estas impurezas del agua se puede recurrir al proceso de la sedimentación, según Maldonado<sup>10</sup> este es un proceso físico que se basa en el principio de gravedad, pues todas las partículas en suspensión que tengan una densidad mayor a la del fluido de sedimentarán luego de transcurrido un determinado tiempo y así se dará el clarificado del agua. Mientras que todas aquellas partículas que tienen una densidad cercana a la del fluido no sedimentarán por sí solas, pues tienen una estabilidad coloidal, es decir que tienden a mantenerse en suspensión. Es por esto que se tiene que recurrir a técnicas más avanzadas. La primera de estas es la coagulación, Aguilar<sup>11</sup> lo define como un proceso mediante el cual se aglomeran todas las partículas para formar un floculo con un tamaño mayor, que se logra al utilizar un agente coagulante.

Los coagulantes que más se utilizan son los de tipo inorgánicos, dentro de los cuales se encuentran tres grupos: 1) las sales de aluminio, como por ejemplo el sulfato de alúmina, 2) sales de hierro como el sulfato férrico; y 3) la cal.

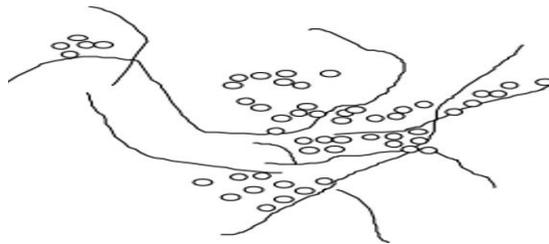
Por otra parte, está el proceso de floculación, el cual se aplica posterior e inmediatamente después a la coagulación; este consiste en agitar la masa coagulada con la finalidad de aumentar el crecimiento y aglomeración de los floculos para así formar una masa de mayor peso que va a sedimentar con mayor velocidad. Este último proceso se aplica debido a que los floculos generados por la coagulación, no sedimentan a la velocidad deseada. Al aplicar el proceso de floculación se tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar floculos más grandes y más fácilmente sedimentables, como se puede observar en la figura 2.

---

<sup>10</sup> MALDONADO, Victor; DE VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano. [Google académico]:2 tomo. Lima: Editorial CEPIS, 2004. P 4-6. ISBN 04.109 [Consultado 22 de julio 2017]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual1/tomol/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual1/tomol/ma1_tomo1_indice.pdf).

<sup>11</sup> AGUILAR, M., I, *et al.* Tratamiento Físico-Químico De Aguas Residuales: Coagulación-Floculación. [Google Académico]:ed. España: Editorial Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones, 2002. P.35. ISBN 84-8371-308-X. [Consultado 25 de Julio 2017]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Figura 2. Puente de flóculos



**Fuente:** GÓMEZ, Néstor. Remoción De Materia Orgánica Por Coagulación-Floculación. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Ingeniero químico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura. Manizales, 2005. P.56-113. [Consultado 30, Julio, 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>

La floculación se favorece cuando la velocidad del proceso es lenta, pues una velocidad demasiado alta puede romper los puentes ya formados. De acuerdo a Richter<sup>12</sup> existen dos (2) tipos de floculación:

- **“Floculación peri cinética:** se basa en la formación de flóculos debido al movimiento de las moléculas y por la energía térmica. A este movimiento se le conoce como *movimiento Browniano*.
- **Floculación orto cinética:** se basa en la formación de aglomerados debido al movimiento del fluido. Este movimiento es inducido por una energía exterior al de las moléculas; puede ser de origen mecánico o hidráulico”.

Por otra parte, Andía<sup>13</sup> dice que la floculación se caracteriza por los siguientes parámetros:

- **Floculación Orto cinética:** se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica.
- **Gradiente de Velocidad:** energía necesaria para producir la mezcla.
- **Número de colisiones:** choque entre microflóculos.

---

<sup>12</sup> RICHTER, C. y CÁNEPA DE VARGAS, L. Criterios de diseño para floculadores y decantadores Floculación. En: OPS. Sec. Fuentes de información. 1992. P. 79-80. [Consultado 28 de Julio 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-02.pdf>

<sup>13</sup> ANDÍA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. En: SEDAPAL. Lima. Perú 2000. P.34. [Consultado 30 de Julio 2017]. Disponible en [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

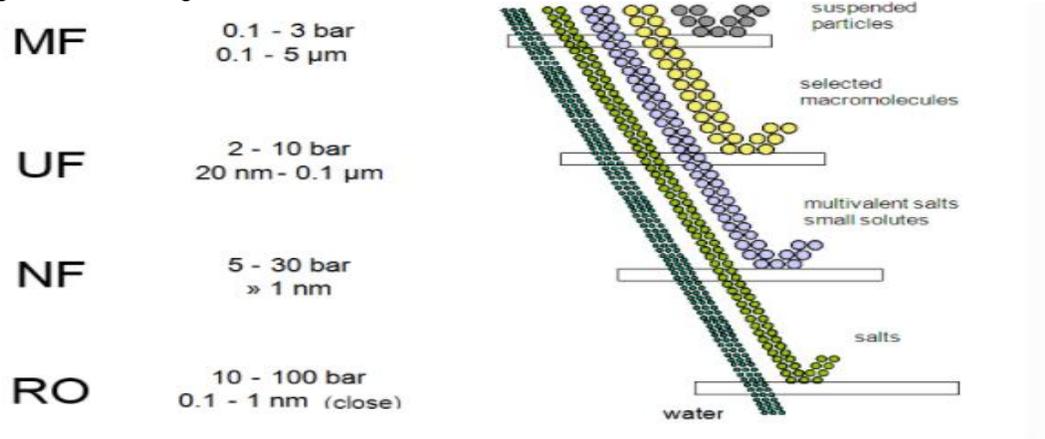
- **Tiempo de retención:** tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación.
- **Volumen de lodos:** los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación.

### 1.3.2 Implementación de Filtración por Membranas

En diferentes industrias se ha comenzado a implementar la tecnología de filtración por membrana debido a su versatilidad y ha ido adquiriendo rápidamente una aceptación mundial. Como Calvo<sup>14</sup> lo menciona, esta tecnología está basada en la presión, en la cual el tamaño de los poros varía de 100 a 5 micras, permitiendo separar las especies contaminantes de acuerdo a su tamaño molecular e iónico. Además de esto, no requieren trabajar a una determinada temperatura, las cuales pueden ser bajas o iguales a las ambientales.

Existen distintos tipos de tecnologías de membranas, en las cuales se incluyen: osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración. En la figura 3, se observa la capacidad de filtración de cada una de estas tecnologías de membrana.

Figura 3. Tecnologías de membrana



**Fuente:** energie in milieu informatiesysteem voor hey Vlaamse Gewest -EMIS- Wass. Microfiltration. [Sitio web]. Bélgica. Sec Tools. [Consultado 22 de Julio de 2017]. Disponible en: <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/microfiltration>

<sup>14</sup> CALVO, Gustavo, et al. Aplicación de la tecnología de membranas en el tratamiento de algunos líquidos altamente peligrosos. En: Tecnología en marcha. [Google Académico]. Costa Rica. Vol. 23. No 1. 2009. P. 94-106. [Consultado 03 de Agosto 2017]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/519/Informe%20final%2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### 1.3.3 Implementación de la Oxidación Avanzada

Los procesos de oxidación avanzada (POA), son aquellos procesos fisicoquímicos que implican la formación de radicales hidroxilos (OH), que son altamente reactivos pues su potencial de oxidación es ( $E^\circ = 2.8 \text{ V}$ ). Así se introducen cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Esta técnica es especialmente utilizada para oxidar compuestos orgánicos que no son biodegradables, por medio de la abstracción de hidrogeno (reacción 1); es decir, se generan radicales orgánicos libres los cuales pueden reaccionar con oxígeno molecular para formar peroxiradicales (reacción 2). Según Garcés<sup>15</sup>, se pueden iniciarse reacciones de oxidación en serie que pueden conducir a la mineralización completa de los compuestos orgánicos

Cuadro 2. Reacciones de POA

$\text{OH}^\circ + \text{RH}$	$\rightarrow$	$\text{R}^\circ + \text{H}_2\text{O}$	<b>Reacción 1</b>
$\text{R}^\circ + \text{O}_2$	$\rightarrow$	$\text{RO}_2^\circ$	$\rightarrow$
		productos + $\text{CO}_2$	<b>Reacción 2</b>

**Fuente:** GARCÉS, Luis; FRANCO, Edwin y SANTAMARÍA, Jorge. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: REVISATA LASALLISATA DE INVESTIGACIÓN. [Google Académico]. Colombia. vol. 1. No 1. 2004. P. 84. [Consultado 15 de Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92%20La%20fotocat%C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>

Forero<sup>16</sup>, describe las distintas tecnologías de oxidación avanzada; ver cuadro 3, algunas son aplicadas a escala laboratorio o piloto.

<sup>15</sup> GARCÉS, Luis; FRANCO, Edwin y SANTAMARÍA, Jorge. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: REVISATA LASALLISATA DE INVESTIGACIÓN. [Google Académico]. Colombia. vol. 1. No 1. 2004. P. 83-92. [Consultado 15 de Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92%20La%20fotocat%C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>

<sup>16</sup> FORERO, Jorge; ORTIZ, Olga y RIOS, Fabian. Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. En: CT&F - CIENCIA, TECNOLOGÍA y FUTURO. [Scielo]. Bucaramanga. Diciembre. Vol. 3. No. 1. P. 97-109. [Consultado 18 de Agosto 2017]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0122-53832005000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-53832005000100008&lng=es&nrm=iso)

Cuadro 3. Principales tecnologías de procesos de oxidación avanzada

Ozonización	Oxidación en agua sub/supercrítica
Ozono/peróxido de hidrógeno	Fotólisis ultravioleta de vacío (UVV)
Procesos fenton	Ultravioleta/peróxido de hidrógeno
Oxidación electroquímica	Ultravioleta/ozono
Plasma no térmico	Fotólisis/fenton
Ultrasonido	Foto catálisis heterogénea

**Fuente:** FORERO,Jorge; ORTIZ,Olga y RIOS,Fabian. Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. En: CT&F - CIENCIA, TECNOLOGÍA y FUTURO. [Scielo]. Bucaramanga. Diciembre. Vol. 3. No. 1. P. 97-109. [Consultado 18 de Agosto 2017]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0122-53832005000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-53832005000100008&lng=es&nrm=iso)

## 2. METODOLOGÍA

Desde principios del siglo XXI la escasez del agua ha sido una de las problemáticas más grandes. Esto se debe a que se ha hecho un uso irracional del recurso. Es así como surge la necesidad de dar una correcta gestión para el agua, tanto a nivel industrial como doméstico. Para ello es indispensable tener herramientas que permitan calcular la degradación del agua una vez ha sido utilizada.

Una de estas herramientas es la de la huella hídrica, para su cálculo existen distintas metodologías en la actualidad, que enfatizan en diferentes aspectos relacionados con el agua. Por lo tanto, es necesario asegurarse de la coherencia para la evaluación e informe de huellas del agua.

La norma ISO 14046 espera que beneficie a organizaciones, gobiernos y otras partes interesadas en todo el mundo al proporcionar transparencia, coherencia, reproducibilidad y credibilidad para la evaluación e informe de las huellas del agua de productos, procesos u organizaciones<sup>17</sup>.

A continuación, se enumeran los pasos para desarrollar el cálculo de la huella hídrica en el proceso de lavado de automóviles.

---

<sup>17</sup> Comité Europeo de Normalización -CEN- ISO 14046:2014. Op. Cit.,P. 8

## **2.1. ANALISIS DEL INVENTARIO**

Para realizar el inventario se procede a identificar las materias primas e insumos utilizados durante el lavado de automóviles. Este inventario se especifica para cada una de las etapas del proceso que se obtiene a través de la aplicación de la metodología de los flujos de entrada y salidas o eco-balance definido en la ISO 14044 y en la ISO 14044 cuando se establecen los aspectos ambientales de un proceso industrial.

Como resultado se obtendrá un diagrama de flujo de entradas y salidas para todo el ciclo de vida del proyecto, lo cual representa las diferentes etapas del proceso de lavado.

Para realizar el análisis del ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos se utiliza la metodología que presenta la ISO 14044

### **2.1.1. Visualización del Proceso Industrial**

De acuerdo a la ISO 14044 en su numeral 4.3, para el análisis de inventario se deben recopilar datos, los cuales pueden ser cuantitativos o cualitativos; para su validación se debe hacer uso de distintas herramientas que permitan representarlos, en este caso se emplea un diagrama de flujo para dar una visualización del proceso.

Se tienen en cuenta distintas medidas; por ejemplo, que en cada etapa del proceso se definan sus entradas y salidas, en las cuales se deben mencionar la energía requerida, productos, co-productos, insumos, materias primas, emisiones al aire, vertimientos; entre otros.

### **2.1.2. Caracterización del vertimiento**

Uno de los mayores problemas ambientales de los lavaderos de carros es la contaminación del agua al final del proceso. Para poder comprenderlo, es necesario validar datos cuantitativos los cuales son obtenidos al realizarle la caracterización al agua residual. Estos datos se recopilan en una tabla en donde se mencionan los parámetros más importantes, la información es tomada de la empresa Casa Toro.

## **2.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA HUELLA DEL AGUA**

### **2.2.1. Cuantificación de los parámetros de entradas y salidas del agua**

La fórmula a aplicar requiere algunos datos como los caudales de captación del agua involucrados netamente en el proceso industrial al igual que los caudales de vertimiento.

### **2.2.2. Calculo de la huella hídrica**

Una vez validados los datos cuantitativos se procede a calcular la huella hídrica azul que es la correspondiente al sector industrial

## **2.3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO**

Para poder disminuir la carga contaminante de las aguas residuales de los lavaderos de autos, es necesario aplicar distintos tratamientos; es por ello que se deben considerar distintas técnicas para tratar los efluentes.

De acuerdo a los estudios experimentales que se han llevado a cabo en diferentes países, existen técnicas que sobre salen para aplicar en aguas residuales provenientes de lavaderos de autos: rejillas, trampa de grasas, coagulación-floculación, oxidación química, filtración por membranas.

### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO INDUSTRIAL

El lavado de un auto requiere de distintas etapas, las cuales en su mayoría utilizan como materia prima al agua; a continuación, se describirán cada una de las fases que se realizan en los lavaderos de autos convencionales:

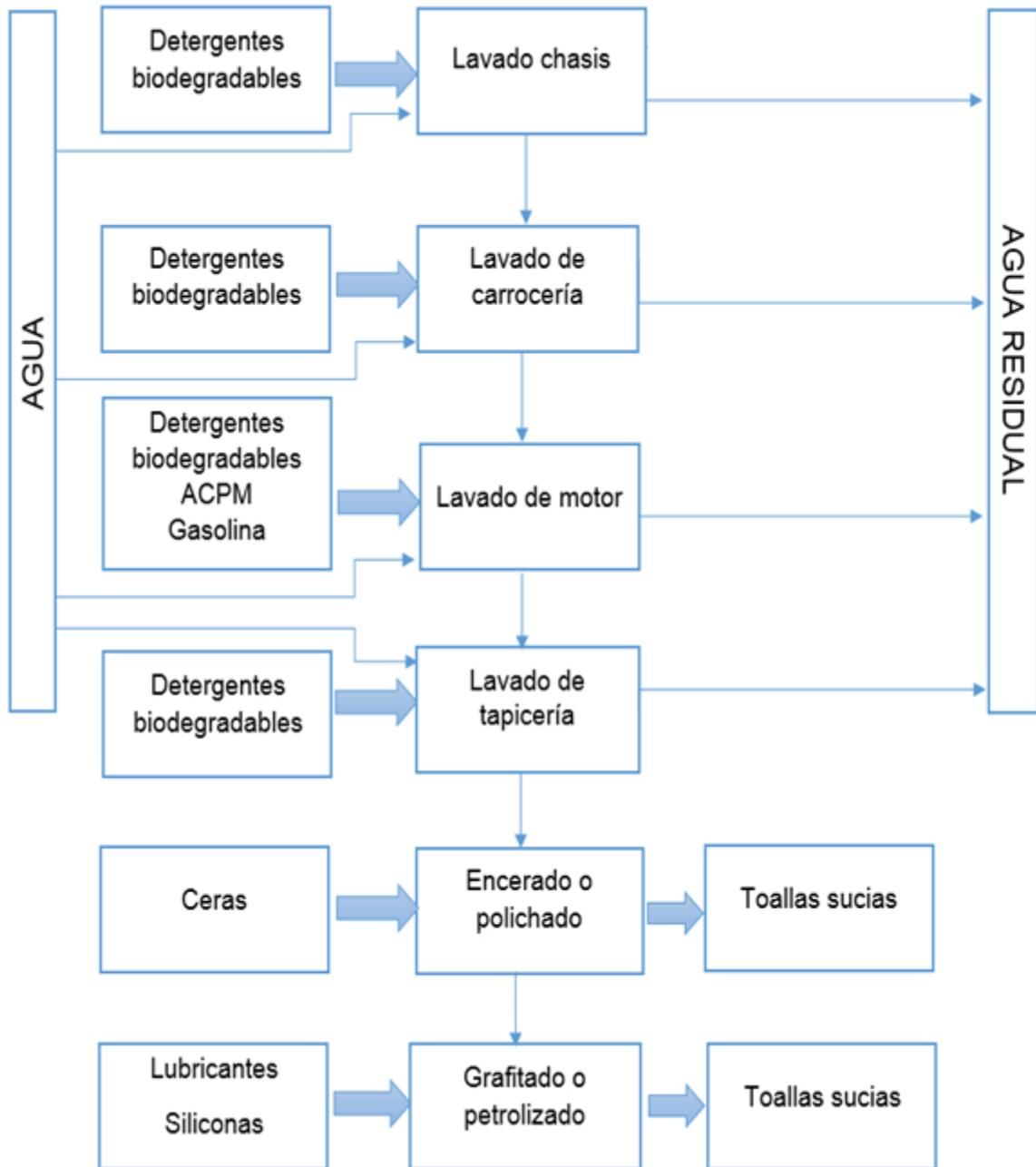
- **Lavado de chasis:** se lava la parte inferior del vehículo, para ello se tiene que utilizar un cárcamo que permite elevar el auto. Con la ayuda de una manguera se riega el agua y seguidamente se utilizan champús y cepillos para remover la suciedad.
- **Lavado de carrocería:** al igual que el procedimiento anterior, como materias primas se emplean agua y champús es importante que estos tengan una baja concentración de desengrasante y no dejarlos por mucho tiempo ya que se puede dañar la pintura. A diferencia del lavado de chasis, en esta etapa no se utilizan cepillos sino trapos o esponjas para así mantener en óptimas condiciones la carrocería.
- **Lavado de motores:** se lleva a cabo en la parte interna del compartimiento del motor y se utiliza una mezcla de aceite combustible para motores (ACPM), gasolina y jabón o detergentes biodegradables.
- **Lavado de tapicería:** esta operación depende del tipo de tapicería que se tenga, por ejemplo, cuero, paño o interpaño. De acuerdo al estado de los tapetes, se procede a lavarlo o simplemente a aspirarlos asimismo con la cojinería del vehículo.
- **Encerado o polichado:** consiste en remover partículas de polvo adheridas y las capas de oxidación de la pintura creando una capa protectora, la cera utilizada en esta actividad se aplica manualmente con toalla o bayetilla, se deja secar y luego se remueve con un paño seco.
- **Grafitado o petrolizado:** se realiza con el fin de recubrir y proteger de la corrosión, así como de partículas que se puedan adherir a las partes metálicas internas del vehículo; Para la casa editorial El Tiempo<sup>18</sup> se aplica una capa de grasa en la parte inferior del vehículo. Es importante que no se realice con gasolina, ya se puede dañar el caucho.

---

<sup>18</sup> EL TIEMPO. Paso a paso, el buen lavado de un vehículo. [Sitio web]. Colombia. Sec. Búsqueda. [Consultado 15, Agosto, 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-109915>

### 3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

Gráfica 1. Diagrama de bloques del proceso de lavado de autos basado en la ISO:14044



Se puede observar que, del anterior diagrama las únicas etapas en las cuales el presente trabajo se basa son; lavado del: chasis, carrocería, motor y tapicería; debido a que son las fases en donde se usa gran cantidad de agua

De acuerdo a la ISO 14044, es necesario definir las cantidades de los insumos y materias primas que se utilizan en cada una de las etapas del diagrama de flujo anterior, en la tabla 2, se hace una descripción de estos.

Los datos son tomados de Ecotouch.net, en donde se basan a partir de estudios para desarrollar una calculadora que permite suponer un aproximado del agua empleada en todas las etapas del proceso en las cuales esta se utiliza, al igual que la cantidad de ACPM, surfactantes, mientras que las ceras y siliconas los datos son tomados de la información suministrada por un lavadero de la ciudad de Bogotá.

Tabla 1. Cantidad de insumos y materias primas

INSUMO/ MATERIA PRIMA	UNIDAD	VALOR
<b>AGUA</b>	Galones	197,6
<b>DETERGENTE COMÚN O BIODEGRADABLE</b>	Libras (lb)	0,042919
<b>ACPM</b>	Galones	0,00306

**Fuente:** Eco touch premium car care. Calculate your car wash footprint. [Sitio web]. Estados Unidos. Sec. Sustainability. [Consultado 15, Agosto, 2017]. Disponible en: <http://www.ecotouch.net/pages/Calculate-Your-Car-Wash-Footprint.html>

A partir de la tabla 2, se puede determinar que el consumo de agua en lavado de 1 automóvil es de 197.6 gal/carro, además de esto se observa que la relación de agua con respecto al ACPM es de  $1:1.5485 \times 10^{-5}$ , mientras que con los detergentes ya sean comunes o biodegradables es de  $1:0.000217$ .

### 3.2. COMPARACION ENTRE ENTRADAS Y SALIDAS

Para poder comprender el impacto ambiental asociado al lavado de autos, es necesario comparar el valor obtenido en el laboratorio con el valor de la resolución 0631 de 2015 de la cual se tiene en cuenta el artículo 15, la cual hace referencia a “ Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas ARnD para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VL con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales” (RESOLUCIÓN 631 DEL 2015).

Tabla 2. Comparación de parámetros

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REAL	VALOR NORMATIVIDAD	CARGA CONTAMINANTE (kg/día)
<b>DBO5</b>	mg/L	360	75	13,9968
<b>DQO</b>	mg/L	1360	225	52,8768
<b>SST</b>	mg/L	850	75	33,048
<b>GRASAS Y ACEITES</b>	mg/L	120	15	4,6656
<b>Caudal</b>	L/s	0,45	N.A	-
<b>Fenoles</b>	mg/L	0,4	0,2	0,015552
<b>Hidrocarburos totales</b>	mg/L	50	10	1,944
<b>Tensoactivos</b>	mg/L	30	Análisis y reporte	1,1664
<b>pH</b>	Unidades	6,98-7,50	6,0-9,0	-
<b>Sólidos sedimentables</b>	mg/L	10	1	0,3888

Es claro que, si no se aplica ningún pre-tratamiento o tratamientos primarios y secundarios, el vertimiento no cumple con ninguno de los parámetros exigidos por normatividad. Incurriendo así en multas y distintos tipos de sanciones además de impactar negativamente en el recurso hídrico.

## 4. CÁLCULO HUELLA HÍDRICA

### 4.1. DEFINICIÓN DEL ALCANCE

El presente trabajo tiene como objetivo cuantificar la huella hídrica azul para la industria de los lavaderos de autos. Este cálculo se le aplicará a un lavadero de autos ubicado en la ciudad de Bogotá, basándose en el consumo anual de agua. Todo esto con la finalidad de determinar cuánto es el volumen de agua requerido en esta industria.

El cálculo de la huella hídrica se propone para: el consumo total de agua proveniente del acueducto sin diferenciar los consumos parciales realizados para las actividades del proceso del lavado de un automóvil. Esto significa que no se van a identificar impactos específicos para cada proceso, sino en su lugar se obtendrá una huella hídrica total para todo el lavadero de autos.

### 4.2. CUANTIFICACIÓN

De acuerdo a la Evaluación Multisectorial de La Huella Hídrica en Colombia<sup>19</sup>, se determina que para el cálculo de la huella hídrica azul se hace mediante la siguiente ecuación :

$$HHAi = VolAE - VolAS$$

Ecuación 1. Cálculo de la huella hídrica azul para el sector industrial

Donde:

- HHAi: Huella hídrica azul por establecimiento (m<sup>3</sup>/año).
- VolAE: Volumen total de agua utilizada por establecimiento (m<sup>3</sup>/año).
- VolAS: Volumen total de agua residual generada por establecimiento (m<sup>3</sup>/año).

Es importante resaltar que ha habido información reportada para algunos casos en los cuales el resultado del cálculo les da un valor negativo, lo que indica que algún dato fue tomado de manera incorrecta por lo cual se deben asumir los siguientes supuestos:

- Asumir que la HHA es de un 10% del volumen captado cuando no se tuvieron datos de vertimiento o cuando el vertimiento era igual al volumen de agua utilizado.

---

<sup>19</sup> CTA; GSI-LAC. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia: resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. [Sitio web]. Medellín, Colombia. 2015. P. 41. [Consultado 24, Agosto, 2017]. Disponible en: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH\\_ENA2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH_ENA2014.pdf)

- Asumir que la HHA es un 10% del volumen vertido cuando no se tuvieron datos del volumen de agua utilizado.
- Comparar los datos con otras fuentes de información o estudios específicos de las empresas.
- Ajustar los indicadores de HHA ( $m^3$  /kg producido) con otros estudios.
- Calcular el indicador de HHA ( $m^3$  /kg producido) para establecimientos con la misma actividad económica, para implementarlo en empresas sin información de volumen utilizado y vertido, pero con registros de producción

#### 4.2.1. Recolección de Datos

Es la etapa que más tiempo requiere, como se ha mencionado anteriormente el cálculo se hará únicamente para la huella hídrica azul, por lo tanto, en el cuadro 4, se describe la forma en que se recoge la información:

Cuadro 4. Fuente de información de la huella hídrica azul

Huella hídrica	Información	Fuente	Forma de estimación	de
<b>Azul</b>	Facturación mensual en metros cúbicos	Facturas por parte de la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá E.S.P	Consumo de automóvil	por

#### 4.2.2. Cálculo de la Huella Hídrica

En la tabla 4, se observan los datos que son requeridos para el cálculo de la huella hídrica azul aplicando la ecuación 1. La información fue obtenida a través de los recibos de agua de un lavadero de autos que opera en la ciudad de Bogotá. Además de esto hay que tener en cuenta que tiene un caudal de descarga de 0.25 L/s y un tiempo de descarga de 4 horas al día durante 21 días al mes.

Tabla 3. Consumo bimestral de agua

Meses	Consumo bimestral $m^3$
<b>Diciembre-febrero</b>	100
<b>Febrero-Abril</b>	48
<b>Abril-Junio</b>	104
<b>Junio-Agosto</b>	74
<b>Agosto-October</b>	71
<b>October-Diciembre</b>	94
<b>Promedio</b>	78,2

**Fuente:** Lavadero la sucursal. Recibos de agua. (Documentos con orden de restricción). Bogotá D.C.CO. 28 Agosto 2017

Para determinar la cantidad de agua residual generada por el establecimiento se emplea el siguiente cálculo

$$\text{VolAS} = 0.25 \frac{L}{s} \frac{14400 S}{1 \text{ día}} 21 \text{ día} \frac{1m^3}{1000L} = 75.6 \text{ m}^3$$

Reemplazando en la ecuación 1:

$$\text{HHAi} = 78.2 \text{ m}^3 - 75.6 \text{ m}^3 = 2.6 \text{ m}^3$$

### 4.3. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD

Tal como se mencionó en el alcance de la huella hídrica, no se calcularán huellas hídricas para cada actividad sino una total para todo el proceso. Esto significa que las estrategias de sostenibilidad propuestas no se basan en los impactos cuantificados, sino en la guía de planeación del programa de uso eficiente y ahorro del agua para el sector productivo<sup>20</sup>.

De acuerdo al cálculo de la huella hídrica para el proceso completo del lavadero de autos, se seleccionan las mayores huellas hídricas calculadas para proponer estrategias de minimización de gasto de agua a través de programas de sostenibilidad.

Estos programas se diseñan a priori o se basa en la guía de planeación del PUEAA para el sector productivo de la CAR. En esta guía se revisan las estrategias diseñadas y a criterio del investigador se escogen las que más pertinencia tienen para este proyecto. Los criterios escogidos para esta revisión son:

- Uso de aguas lluvia y reúso del agua
- Medición
- Reducción de pérdidas
- Tecnologías de bajo consumo

Para realizar una estrategia se debe proponer el objetivo y la meta que se quiere alcanzar con la implementación del programa. Para ello también se deben proponer las actividades que deben desarrollarse para cumplir el objetivo. Una vez concluidas las actividades, se establecen los indicadores para monitorear en un mes específico el cumplimiento o apropiación de la estrategia. En los anexos A, se encuentran los indicadores que se van a medir para cada proyecto.

---

<sup>20</sup> Corporación autónoma regional de Cundinamarca –CAR-. Guía De Planeación Del Programa De Uso Eficiente y Ahorro Del Agua PUEAA Sector Productivo. [Sitio web]. Colombia. Sec. Servicio de información al ciudadano. [Consultado 02, Septiembre, 2017. Disponible en: [https://www.car.gov.co/pueaa/cartillas\\_PUEAA/plantilla\\_sector\\_productivo.pdf](https://www.car.gov.co/pueaa/cartillas_PUEAA/plantilla_sector_productivo.pdf)

## 5. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

Toda industria debe tener en cuenta dentro de su organización al componente de la gestión ambiental, para así demostrar su compromiso con el medio ambiente. Los procesos productivos generalmente necesitan de algún porcentaje de agua, la cual queda contaminada, se le conoce como agua residual no doméstica y debe ser tratada. Para el caso de la industria automotriz, en los lavaderos de autos, el agua es el principal insumo, al final del proceso de lavado, esta queda con concentraciones de distintos contaminantes que alteran sus parámetros como el pH, turbidez, DBO, DQO, sólidos sedimentables, entre otros.

Por todo lo anterior, surge la necesidad de implementar tratamientos que permitan la depuración del agua residual. Existen distintos tipos de tratamientos los cuales se aplican de acuerdo al grado de purificación del agua deseado, a continuación, se describe cada uno de ellos:

- **Preliminar:** Según el grupo Analiza Calidad<sup>21</sup>, Cuando el efluente pasa por una rejilla, un desarenador, filtros y tamices, entre otros. Tiene la finalidad de retener materiales de mayor tamaño. Todo esto con el fin de cuidar los equipos de las posteriores etapas.
- **Primario:** Se aplica para remover los sólidos gruesos y también los suspendidos es decir aquellos que tienen una densidad similar a la del medio acuoso. Se puede hacer aplicando un proceso físico en el cual se dejan sedimentar los sólidos o mediante un proceso físico-químico en el cual se agregan sustancias coagulantes y floculantes que aceleran el proceso de sedimentación.
- **Secundario:** Mediante es tratamiento se remueva la carga orgánica contaminante, a través de procesos que generalmente son de tipo biológico utilizando microorganismos que se alimentan la materia orgánica presente en el efluente.
- **Terciario:** Se aplica para remover todos los contaminantes que no se eliminaron en las etapas preliminares, son más costosos que los demás tratamientos, pero garantizan una gran efectividad.

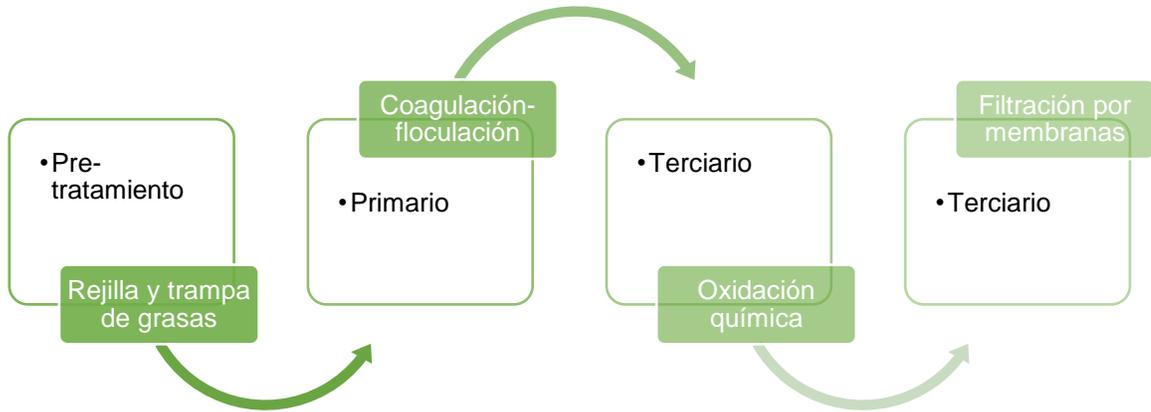
Los tratamientos que se proponen para tratar las aguas residuales son una rejilla manual, trampa de grasas, tanque de coagulación-floculación, filtración por

---

<sup>21</sup> Grupo Analiza Calidad. Tratamiento de aguas residuales industriales. En: Virtual Pro. [Virtual Pro] Marzo Vol. 03. No. 1. 2009. P.2-4.[Consultado 06, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/buscar?q=Efluentes;%20Aguas%20residuales;%20Biodegradaci%20de%20aguas%20residuales;%20Conservaci%20del%20agua;%20Calidad%20del%20agua;%20Tratamiento%20del%20agua>

membranas y oxidación química, en la gráfica NANANS, se indica el tren de tratamiento propuesto

Gráfica 2. Tren de tratamiento propuesto



## 5.1. PRE-TRATAMIENTO

Hernández<sup>22</sup> dice que las rejillas ayudan a retener y separar los cuerpos voluminosos, en suspensión y flotantes. Se utilizan para evitar obstrucciones en los canales. Dinámica y Saneamiento de Caudales DYSAC<sup>23</sup> muestran que estos elementos pueden tener un desbaste fino (3 a 10 mm), medio (15 a 50 mm) y grueso (50 a 100 mm o mayores).

Imagen 1. Rejillas típicas

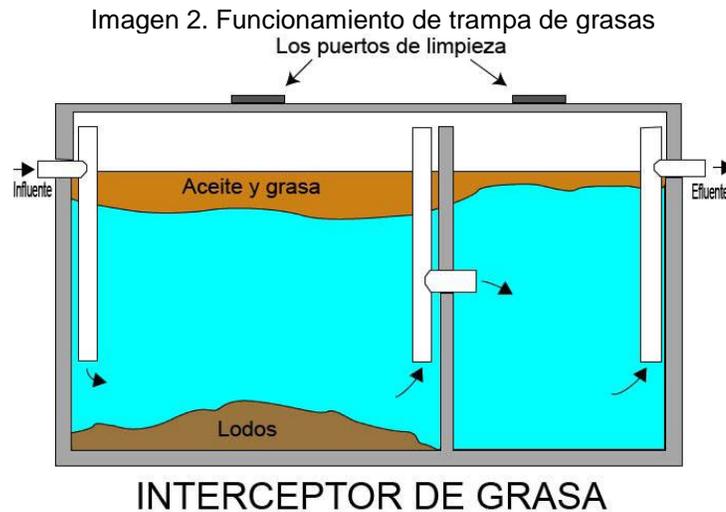


**Fuente:** Maderplast. Catálogo Rejillas. [Sitio web]. Sec. Home. [Consultado el 26, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.maderplast.com/25-rejillas-industriales-rejillas-peatonales-rejillas-plasticas-0-0.html>

<sup>22</sup> HERNÁNDEZ, A. y GALÁN, P. Pretratamiento. En: Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua -CIDTA-. [Sitio Web]. España. P. 1. [Consultado 10, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/pretratamiento.pdf>

<sup>23</sup> Dinámica y saneamiento de caudales -dysac-. Rejillas Autolimpiables. [Sitio web]. México. Sec. Productos. [Consultado el 15, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.dysac.com/rejillas.htm>

Según la Pontificia Universidad Javeriana<sup>24</sup> una trampa de grasas es un dispositivo que no sólo ayuda a retener las grasas y aceites, sino que también algunos sólidos. Ambos sistemas tanto las rejillas como las trampas tienen la función de proteger los demás equipos.



Fuente: Biodyne. Tratamientos Para Trampas. [Sitio web]. Chía, Cundinamarca. Sec. Aplicaciones. [Consultado el 21, Septiembre, 2017]. Disponible en: [http://www.biodyne-bogota.com/agr\\_trampas\\_de\\_grasa.html](http://www.biodyne-bogota.com/agr_trampas_de_grasa.html)

## 5.2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Diferentes estudios indican que al aplicar esta técnica a aguas residuales de lavaderos de autos permite reducir la DQO, ajustar el pH, remoción de SS y de aceites y grasas.

Como se ha dicho anteriormente en este proceso se requiere de agentes coagulantes y floculantes. Los más usados para la coagulación son el cloruro férrico, sulfato de alúmina y sulfato férrico mientras para que para la floculación son oxidantes, sílice activa y absorbentes.

Se estima que el porcentaje de eficiencia de un equipo de coagulación-floculación es de 30% tantos para la DBO, DQO y A&O mientras que para los SST es del 70%.

<sup>24</sup> PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Procedimiento: Programa De Residuos Líquidos-Servicios De Alimentación. [Sitio Web]. Colombia. Sec. Búsqueda. [Consultado 15, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/documents/17504/4127291/IF-P20-PR06+Procedimiento+Programa+de+residuos+I%C3%ADquidos+-+Servicios+de+Alimentaci%C3%B3n/3c1e22b4-b39d-40c7-b849-9873ccbd266c?version=1.1>

Es por esto que se aconseja aplicar esta técnica, además, que en cuanto a costos no tiene una inversión tan elevada como otros procesos.

Imagen 3. Sistema de coagulación-floculación



**Fuente:** CASTILLO, Juberzay y GÓMEZ, Gilceria. Procesos de tratamientos de aguas coagulación y floculación. En: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. [Sitio Web]. Santa Ana de Coro, Venezuela. Sec. Publicaciones. 2011. [Consultado el 15, Septiembre, 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>

### 5.3. OXIDACIÓN QUÍMICA

Los procesos de oxidación avanzada (POA) constituyen a futuro, una de las tecnologías más utilizadas en el tratamiento de las aguas contaminadas con productos orgánicos recalcitrantes provenientes de industrias (químicas, agroquímicas, textiles, de pinturas, etc.). Como lo dice Garcés en estos procesos, los de mayor perspectiva son los de la foto-oxidación en sus dos variantes: fotólisis y fotocatalisis. Los POA pueden definirse como procesos que implican la formación de radicales hidroxilo ( $\text{OH}^\bullet$ ) altamente reactivos, ya que presentan un elevado potencial de oxidación ( $E^\circ = 2.8 \text{ V}$ ), característica que los hace de gran efectividad para el proceso de oxidación de compuestos orgánicos, principalmente por abstracción de hidrógeno. Es decir, se generan radicales orgánicos libres (reacción 1), los cuales pueden reaccionar con oxígeno molecular para formar peroxiradicales (reacción 2). Incluso pueden iniciarse reacciones de oxidación en serie, que pueden conducir a la mineralización completa de los compuestos orgánicos.<sup>25</sup>



<sup>25</sup> GARCÉS, Luis; MEJÍA, Edwin y SANTAMARÍA, Jorge., Op.Cit., p. 82-93

El porcentaje de efectividad de esta técnica es aproximadamente 30% para la DBO, DQO, y A&O mientras que para SST es del 50%.

Imágen 4. Sistema de oxidación química



**Fuente:** POLCARO, A; MASCIA, M; PALMAS, S y VACCA, A. Case studies in the electrochemical treatment of wastewater containing organic pollutants using bdd. En: Comninellis Electrochemistry for the Environment. [Google Académico]. 2010. P. 205-227.

#### 5.4. MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN

Es un proceso mediante el cual se remueven fragmentos de materia aún más pequeños. Su presión de trabajo está entre 4-8 atmosferas. Estas membranas poseen una estructura asimétrica. De acuerdo a Galvis<sup>26</sup>, están compuestas de un soporte macroporoso y de una o varias capas según el tipo de membrana; la última capa, llamada capa activa, presenta una estructura mesoporosa. El porcentaje de efectividad está dado de la siguiente manera: 80% para la DBO y DQO, 60% para A&O y SST.

---

<sup>26</sup> GALVIS, Martha. Estado del arte biorreactores de membrana. Trabajo de grado. Maestría en ingeniería civil con énfasis en ingeniería ambiental. [Repositorio Digital]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2014 P. 16-17 [Consultado 20, Septiembre, 2017]. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/123/1/DOCUMENTO%20BIOREACTOR%20MEMBRANA%20%20FINAL%20%281%29.pdf>

Imágen 5. Membranas de filtración



Fuente: Puritek: purificación total. Sistemas De Ultrafiltración a Presión. [Sitio Web]. Ecuador. Sec. Catálogo. [Consultado el 23, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.puritekecuador.com/sistemas-de-ultrafiltracion-a-presion/>

## 5.5. SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO

Para poder tratar las aguas residuales de un lavadero de autos común, se propone implementar una serie de procesos por los cuales se garantice el cumplimiento del artículo 16 de la resolución 631/2015.

Para comprobar la efectividad de la propuesta se empleó como herramienta Excel, a continuación, en la tabla 5, se muestra cuáles fueron los parámetros a evaluar, con qué concentraciones se trabajó y la eficiencia, para calcular la nueva concentración es decir la salida de cada etapa se aplicó la siguiente fórmula:

$$C_f = C_i - C_i \cdot E$$

Donde:

$C_f$ : Concentración final

$C_i$ : Concentración inicial

E: Eficiencia

Tabla 4. Cálculo del tren de tratamiento propuesto

<b>REJILLAS MANUALES</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Concentración inicial mg/L</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>Concentración final mg/L</b>
DBO5	360	0	420
DQO	1360	0	900
SS	850	0	1200
GRASAS Y ACEITES	120	0	90
Caudal	146	0	146
<b>TRAMPA DE GRASAS</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Concentración inicial mg/L</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>Concentración final mg/L</b>
DBO5	420	0,02	411,6
DQO	900	0,02	882
SS	1200	0,05	1140
GRASAS Y ACEITES	90	0,3	63
Caudal	146	0	146
<b>COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Concentración inicial mg/L</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>Concentración final mg/L</b>
DBO5	411,6	0,3	288,12
DQO	882	0,3	617,4
SS	1140	0,7	342
GRASAS Y ACEITES	63	0,3	44,1
Caudal	146	0	146
<b>OXIDACIÓN QUÍMICA</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Concentración inicial mg/L</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>Concentración final mg/L</b>
DBO5	288,12	0,3	201,684
DQO	617,4	0,3	432,18
SS	342	0,5	171
GRASAS Y ACEITES	44,1	0,3	30,87
Caudal	146	0	146
<b>MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Concentración inicial mg/L</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>Concentración final mg/L</b>
DBO5	201,684	0,8	40,3368
DQO	432,18	0,8	86,436
SS	171	0,6	68,4
GRASAS Y ACEITES	30,87	0,6	12,348
Caudal	146	0	146

## **6. CONCLUSIONES**

- Se consultó el proceso industrial que se lleva a cabo en los lavaderos de carros asimismo se hizo una descripción de cada una de las etapas, reconociendo los insumos implicados en cada una de ellas.
- Se determinó la huella hídrica, basándose en los datos tomados del recibo de agua de un lavadero de autos, dando como resultado que si todos los establecimientos que pertenecen a este sector ponen en práctica la recirculación de agua, no se presenta un riesgo significativo en la demanda de este recurso.
- Se seleccionó un tren de tratamiento para las aguas residuales de un lavadero de autos, en donde se incorporaron las tecnologías que más sobresalen en la actualidad tanto por su eficiencia como por su costo, dando como resultado un agua que cumple con la normatividad.

## 7. RECOMENDACIONES

- El buen aprovechamiento del recurso hídrico en el sector de los lavaderos de autos, debe ser obligatorio para todos los establecimientos; promoviendo el uso de tecnologías de bajo consumo, recirculación del agua y aplicación de tratamientos para la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales no domésticas.
- Poner en práctica el tren de tratamiento propuesto, ya que se logró demostrar que al utilizar cada una de las tecnologías en conjunto se remueve más del 80% de la carga contaminante, haciendo que el efluente se pueda descargar a cuerpos de aguas superficiales o al sistema de alcantarillado sin infringir con los valores máximos permisibles de vertimiento establecidos.
- Las autoridades deberían poner en conocimiento público el total de lavaderos de autos que existen en la ciudad para que de esta manera se pueda medir la huella hídrica de este sector de una manera mucho más precisa y que el resultado no tenga una desviación más restringida.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR,M.,I, et al. Tratamiento Fisico-Quimico De Aguas Residuales: Coagulación-Floculación. [Google Académico]:ed. España: Editorial Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones, 2002. P.35. ISBN 84-8371-308-X. [Consultado 25 de Julio 2017]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

ANDÍA, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. En: SEDAPAL. Lima. Perú 2000. P.34. [Consultado 30 de Julio 2017]. Disponible en [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

Biodyne. Tratamientos Para Trampas. [Sitio web]. Chía, Cundinamarca. Sec. Aplicaciones. [Consultado el 21, Septiembre, 2017]. Disponible en: [http://www.biodyne-bogota.com/agr\\_trampas\\_de\\_grasa.html](http://www.biodyne-bogota.com/agr_trampas_de_grasa.html)

BOGOTÁ D.C. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Guía Ambiental Para La Gestión y Manejo Integral De Residuos. Servicio De Lavado De Vehículos. (Diciembre). Bogotá D.C., 2010. no. 978-958-9387-72-6p. 1-104

CALVO,Gustavo, et al. Aplicación de la tecnología de membranas en el tratamiento de algunos líquidos altamente peligrosos. En: Tecnología en marcha. [Google Académico]. Costa Rica. Vol. 23. No 1. 2009. P. 94-106. [Consultado 03 de Agosto 2017]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/519/Informe%20final%2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CÁMARA DE COMERCIO. Descripción CIU. [Sitio web]. Colombia. Bogotá D.C. Sec. Servicios en línea. [Consultado 22, Julio, 2017]. Disponible en: <http://linea.ccb.org.co/descripcionciuu/>

CASTILLO,Juberzay y GÓMEZ,Gilceria. Procesos de tratamientos de aguas coagulación y floculación. En: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. [Sitio Web]. Santa Ana de Coro, Venezuela. Sec. Publicaciones. 2011. [Consultado el 15, Septiembre, 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>

Corporación autónoma regional de Cundinamarca –CAR-. Guía De Planeación Del Programa De Uso Eficiente y Ahorro Del Agua PUEAA Sector Productivo. [Sitio web]. Colombia. Sec. Servicio de información al ciudadano. [Consultado 02, Septiembre, 2017]. Disponible en: [https://www.car.gov.co/pueaa/cartillas\\_PUEAA/plantilla\\_sector\\_productivo.pdf](https://www.car.gov.co/pueaa/cartillas_PUEAA/plantilla_sector_productivo.pdf)

COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. (25 de octubre 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI- Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 47837. 2010. Art 42

COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631. (17 de Marzo 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. Diario Oficial 49.486. 2016

Comité Europeo de Normalización -CEN- Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida, requisitos y directrices. ISO 14044: 2006. España. CEN, 2006. P. 10

Comité Europeo de Normalización -CEN- Gestión ambiental, huella de agua, principios, requisitos y directrices. ISO 14046: 2014. España. CEN, 2014. P. 10-12

CTA; GSI-LAC. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia: resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. [Sitio web]. Medellín, Colombia. 2015. P. 41. [Consultado 24, Agosto, 2017]. Disponible en:

[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH\\_ENA2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH_ENA2014.pdf)

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA -DANE- Boletín De Prensa: Comercio De Vehículos Automotores. [Sitio web]. Colombia. Sec. Estadística por tema. [Consultado 18, mayo, 2017]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/vehiculos/bol\\_veh\\_ltrim14.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/vehiculos/bol_veh_ltrim14.pdf)

Dinámica y saneamiento de caudales -dysac-. Rejillas Autolimpiables. [Sitio web]. México. Sec. Productos. [Consultado el 15, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.dysac.com/rejillas.htm>

Eco touch premium car care. Calculate your car wash footprint. [Sitio web]. Estados Unidos. Sec. Sustainability. [Consultado 15, Agosto, 2017]. Disponible en: <http://www.ecotouch.net/pages/Calculate-Your-Car-Wash-Footprint.html>

EL TIEMPO. Paso a paso, el buen lavado de un vehículo. [Sitio web]. Colombia. Sec. Búsqueda. [Consultado 15, Agosto, 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-109915>

FORERO, Jorge; ORTIZ, Olga y RIOS, Fabian. Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería.

En: CT&F - CIENCIA, TECNOLOGÍA y FUTURO. [Scielo]. Bucaramanga. Diciembre. Vol. 3. No. 1. P. 97-109. [Consultado 18 de Agosto 2017]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0122-53832005000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-53832005000100008&lng=es&nrm=iso)

GALVIS, Martha. Estado del arte biorreactores de membrana. Trabajo de grado. Maestría en ingeniería civil con énfasis en ingeniería ambiental. [Repositorio Digital]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2014 P. 16-17 [Consultado 20, Septiembre, 2017]. Disponible en:

GARCÉS,Luis; FRANCO,Edwin y SANTAMARÍA,Jorge. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: REVISATA LASALLISATA DE INVESTIGACIÓN. [Google Académico]. Colombia. vol. 1. No 1. 2004. P. 83-92. [Consultado 15 de Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92%20La%20fotocat%C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/123/1/DOCUMENTO%20BIORACTOR%20MEMBRANA%20%20FINAL%20%281%29.pdf>

GÓMEZ, Néstor. Remoción De Materia Orgánica Por Coagulación-Floculación. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Ingeniero químico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura. Manizales, 2005. P.56-113. [Consultado 30, Julio, 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>

Grupo Analiza Calidad. Tratamiento de aguas residuales industriales. En: Virtual Pro. [Virtual Pro] Marzo Vol. 03. No. 1. 2009. P.2-4.[Consultado 06, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/buscar?q=Efluentes;%20Aguas%20residuales;%20Biodegradaci?n%20de%20aguas%20residuales;%20Conservaci?n%20del%20agua;%20Calidad%20del%20agua;%20Tratamiento%20del%20agua>

HERNÁNDEZ,A. y GALÁN,P. Pretratamiento. En: Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua -CIDTA-.[Sitio Web]. España. P. 1. [Consultado 10, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/pretratamiento.pdf>

MALDONADO, Victor; DE VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano. [Google académico]:2 tomo. Lima: Editorial CEPIS, 2004. P 4-6. ISBN 04.109 [Consultado 22 de julio 2017]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1_tomo1_indice.pdf).

MUNICIPALIDAD DE ROSARIO. Buenas Prácticas Ambientales En Lavaderos De Automotores, Talleres Mecánicos y Lubricentros. [Sitio web)]. Argentina [Consultado el 022, Julio2,017/]. Disponible en: [https://www.rosario.gov.ar/web/sites/default/files/buenas\\_practicas\\_talleres.pdf](https://www.rosario.gov.ar/web/sites/default/files/buenas_practicas_talleres.pdf)

POLCARO, A; MASCIA, M; PALMAS, S y VACCA, A. Case studies in the electrochemical treatment of wastewater containing organic pollutants using bdd. En: Comninellis Electrochemistry for the Environment. [Google Académico]. 2010. P. 205-227.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Procedimiento: Programa De Residuos Líquidos-Servicios De Alimentación. [Sitio Web]. Colombia. Sec. Búsqueda. [Consultado 15, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/documents/17504/4127291/IF-P20-PR06+Procedimiento+Programa+de+residuos+l%C3%ADquidos+-+Servicios+de+Alimentaci%C3%B3n/3c1e22b4-b39d-40c7-b849-9873ccbd266c?version=1.1>

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO -PNUD-. Agua limpia y saneamiento. [Sitio Web]. Sec. Objetivos de calidad. [Consultado 13, Octubre, 2017]. Disponible en: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>

Puritek: purificación total. Sistemas De Ultrafiltración a Presión. [Sitio Web]. Ecuador. Sec. Catálogo. [Consultado el 23, Septiembre, 2017]. Disponible en: <http://www.puritekecuador.com/sistemas-de-ultrafiltracion-a-presion/>

RICHTER,C. y CÁNEPA DE VARGAS,L. Criterios de diseño para floculadores y decantadores Floculación. En: OPS. Sec. Fuentes de información. 1992. P. 79-80. [Consultado 28 de Julio 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-02.pd>

## ANEXOS

## ANEXO A

### Indicadores para los proyectos del programa del uso eficiente y ahorro de agua

NOMBRE DEL INDICADOR	TIPO DE INDICADOR	EXPLICACIÓN Y SIGNIFICADO		FÓRMULA DE CÁLCULO
Indicador general de gestión del proyecto de incentivos tributarios y/o sanciones	Gestión	IGG mide el avance porcentual de las metas anuales propuestas. Cada proyecto tiene una sigla para identificar el avance en la gestión: PRPe_IGG: Proyecto de reducción de pérdidas		Promedio simple= $\frac{\%AvanceMeta1 + \%AvanceMeta2 + AvanceMeta3_n}{n}$ Promedio ponderado= $\frac{Peso1x \%AvanceMeta_1 + Peso_n x \%AvanceMeta_n}{n}$
EXPLICACIÓN DE VARIABLES		UNIDAD DE MEDIDA	FRECUENCIA TOMA DE DATOS	META DEL VALOR DEL INDICADOR
% AvanceMeta1, %AvanceMeta2, %Avance Meta n: Corresponde al avance porcentual de cada meta anual alcanzado en cada año, si una de las metas anuales es alcanzar el 7% de reducción de pérdidas y se alcanzó el 7% se coloca el % de avance un 100%.  N: Hace referencia al número total de metas analizadas. Peso 1, Peso 2, Peso n: Peso asignado a cada meta según su importancia. Los valores del peso se encuentran entre 0 y 100. El total de la suma de todos los pesos debe ser		%	Anual	100%

100. Ejemplo: Peso uno 50, peso dos 30 y peso tres 20.						
<b>RANGO DE GESTIÓN</b>	<b>FRECUENCIA DE ANÁLISIS</b>	<b>VALOR DEL INDICADOR (AÑO)</b>				
Excelente gestión (mayor a 90%) Buena gestión (70% a 90%) Gestión aceptable (40% a 70%) Gestión deficiente (0% a 40%)	Anual	1	2	3	4	5
<b>NOMBRE DEL INDICADOR</b>	<b>TIPO DE INDICADOR</b>	<b>EXPLICACIÓN Y SIGNIFICADO</b>			<b>FÓRMULA DE CÁLCULO</b>	
Indicadores de la gestión en la ejecución de presupuesto de cada uno de los proyectos y del programa	Gestión	<p>GEP mide el avance del presupuesto ejecutado respecto al proyectado en el plan de acción de cada proyecto y el avance del presupuesto ejecutado en el PUEAA. Cada proyecto tiene una sigla para identificar el avance en la gestión del presupuesto</p> <p>PRPe_GEP: Proyecto de reducción de pérdidas</p>			<p>Avance en porcentaje del presupuesto ejecutado =</p> $\frac{\text{Presupuesto ejecutado Proyecto}}{\text{Presupuesto proyectado proyecto}} \times 100$ <p>Avance en porcentaje del presupuesto ejecutado en el PUEAA=</p> $\frac{\text{Presupuesto ejecutado PUEAA}}{\text{Presupuesto proyectado PUEAA}} \times 100$	

EXPLICACIÓN VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	FRECUENCIA TOMA DE DATOS				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presupuesto ejecutado proyecto: Es el presupuesto ejecutado en las actividades del proyecto al finalizar cada año de implementación del PUEAA</li> <li>- Presupuesto proyectado: Es el presupuesto registrado o proyectado en el plan de acción del proyecto</li> <li>- Presupuesto ejecutado PUEAA: Es la suma de los presupuestos ejecutados de todos los proyectos al finalizar cada año de implementación del PUEAA</li> <li>- Presupuesto proyectado PUEAA: Es el presupuesto registrado o proyectado para el PUEAA en el documento entrado a la CAR</li> </ul> <p>Los presupuestos corresponden a valores totales ejecutados (acumulados) año a año</p>	%	Anual				
FRECUENCIA DE ANÁLISIS	VALOR DEL INDICADOR (AÑO)					
Anual	1	2	3	4	5	