Evaluación de un sistema de tratamiento y reúso del efluente generado en el autolavado “Tres Tres” de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C.

Kevin Arley Ramos Corredor
Cesar Eduardo Avila Camelo

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 09/Noviembre/2021

Evaluación de un sistema de tratamiento y reúso de los efluentes generados en el autolavado "tres tres" de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C.

Kevin Arley Ramos Corredor
Cesar Eduardo Avila Camelo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
María Clara Vanegas Camero

Línea de Investigación:
Ingeniería para la sostenibilidad – Agua, Salud y Ambiente

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

Año 2021

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

Le dedicamos este trabajo a Dios por brindarnos salud y a nuestros padres por proveernos su ayuda para realizar esta linda carrera con la cual pudimos culminar este proyecto de investigación.

Agradecimientos

Agradecemos a las personas y a las instituciones que fueron participes para el desarrollo de esta investigación.

1 Tabla de contenido

1 Tabla de contenido **7**

2 Listado de tablas **9**

3 Listado de figuras **10**

4 Resumen **11**

5 Abstract **12**

6 Introducción **12**

7 Planteamiento del problema **13**

8 Justificación **14**

9 Objetivos **15**

9.1 General *15*

9.2 Específicos *16*

***10* Marco de referencia** **16**

10.1 Estado del arte *16*

10.1.1 Gestión Integral del recurso hídrico 16

10.1.2 Autolavados 18

10.2 Marco Teórico *20*

10.2.1 Gestión integral del recurso hídrico 20

10.2.2 Economía circular 21

10.2.3 Desarrollo sostenible 23

10.2.4 Tratamiento de agua residual 23

10.3 Marco Conceptual *24*

10.3.1 Aguas Residuales no Domésticas (ARnD): 24

10.3.2 Aguas residuales tratadas: 24

10.3.3 Aguas reutilizadas: 24

10.3.4 Aguas recicladas: 24

10.3.5 Calidad del agua: 25

10.3.6 Criterio de calidad: 25

10.3.7 Eficiencia de tratamiento o remoción: 25

10.3.8 Afluente: 25

10.3.9 Efluente: 25

10.3.10 Parámetros de diseño: 25
10.3.11 Pretratamiento: 25
10.3.12 Sostenibilidad: 26
10.3.13 Tratamiento primario: 26
10.3.14 Tratamiento secundario: 26
10.3.15 Tratamiento terciario: 26
10.3.16 Vertimiento: 26
10.3.17 Metodología multicriterio: 26
10.4 Marco Normativo *27*
10.5 Marco geográfico *28*
10.6 Marco Institucional *30*

***11* Metodología** **31**
11.1 Desarrollo de la metodología *31*
11.2 Enfoque *31*
11.3 Método *32*
11.4 Alcance *33*
11.5 Metodología por cada objetivo específico *34*
11.5.1 Objetivo específico 1. Analizar las condiciones actuales del lavadero "Tres Tres" en función de su operación y generación de efluentes, teniendo en cuenta la normativa ambiental vigente 34
11.5.2 Objetivo específico 2. Realizar cotizaciones de sistemas de tratamiento con distintos proveedores con el fin de identificar lo que ofrece el mercado. 42
11.5.3 Objetivo específico 3. Analizar las distintas opciones de tratamientos que ofrece el mercado, con el fin de identificar cuál sería la más aplicable a las necesidades del autolavado "Tres Tres", mediante la implementación de la metodología multicriterio 45
11.6 Diseño metodología *49*

12 Plan de trabajo **50**

13 Resultados, análisis y discusión **51**
13.1 Objetivo específico 1. Analizar las condiciones actuales del lavadero "Tres Tres" en función de su operación y generación de efluentes, teniendo en cuenta la normativa ambiental vigente 51
13.1.1 Documentación del autolavado "Tres Tres" 51
13.1.2 Visita técnica al autolavado "Tres Tres" 54
13.2 Objetivo especifico 2. Realizar cotizaciones de sistemas de tratamiento con distintos proveedores con el fin de identificar lo que ofrece el mercado. *66*
13.2.1 Actividad 1. Cotizaciones 66

13.3 Objetivo específico 3. Analizar las distintas opciones de tratamientos que ofrece el mercado, con el fin de identificar cuál sería la más aplicable a las necesidades del autolavado "Tres Tres", mediante la implementación de la metodología multicriterio *68*

13.3.1 Actividad 1. Definición de alternativas de tratamiento de agua residual 68

13.3.2 Actividad 2. Definición de criterios 69

13.3.3 Actividad 3. Nivel de importancia 71

13.3.4 Actividad 4. Evaluación multicriterio 72

14 Conclusiones **80**

15 Recomendaciones **81**

15.1 Sugerir al lavadero historial recibo del agua *81*

15.2 Tiempos de cotizaciones *82*

15.3 Brecha investigación literaria-concepto real *82*

16 Referencias Bibliográficas. **82**

17 Anexos **86**

2 Listado de tablas

Tabla 1. Marco Normativo 27

Tabla 2. Instituciones implicadas en el desarrollo del proyecto 30

Tabla 3. Materiales utilizados para calcular los parámetros del agua residual en el laboratorio 36

Tabla 4. Número total y porcentaje de cada uno de los servicios 41

Tabla 5 Parámetros de cada cotización 43

Tabla 6 Definición de criterios 46

Tabla 7. Definición de criterios 47

Tabla 8. Matriz de precisión 48

Tabla 9. Resultados de vertimientos tomados por el IDEAM del año 2019 52

Tabla 10. Resultados de vertimientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible53

Tabla 11. Parámetros del agua residual analizada en el laboratorio. 55

Tabla 12. Calculo de caudal por cada hidrolavadora 59

Tabla 13. Cantidad de agua utilizada por cada uno de los servicios 64

Tabla 14. Cantidad de agua utilizada en el autolavado entre el 22 de agosto y el 22 de septiembre. 64

Tabla 15. Datos proporcionados por cada empresa 67

Tabla 16. Proveedores que cumplieron con todos los criterios..... 69

Tabla 17. Criterios estipulados por los propietarios del autolavado 70

Tabla 18. Niveles de importancia asignados por los propietarios del autolavado "Tres Tres" 71

Tabla 19. Valor que cancela el autolavado a la empresa de Acueducto y Alcantarillado .. 74

Tabla 20. Tiempo de retorno implementando tratamiento de la empresa ASI. 75

Tabla 21. Tiempo de retorno implementando tratamiento de la empresa Ingeaguas. 78

Tabla 21. Matriz de precisión de los tratamientos 79

3 Listado de figuras

Figura 1 Modelo de economía circular, 2014 22

Figura 2. Georreferenciación de la localidad de Tunjuelito..... 29

Figura 3. Autolavado Tres Tres 35

Figura 4. Multiparámetro 36

Figura 5. Medición de sólidos sedimentables 36

Figura 5. Medición del DBO_5 37

Figura 6. Medición de los ST, SV, SST, SDT en el laboratorio 37

Figura 7. Diagrama de medición de caudal..... 40

Figura 7 Proceso de análisis de cotizaciones 44

Figura 8 Definición de criterios y niveles de importancia 45

Figura 9. Matiz metodológico 50

Figura 9. Tratamiento primario existente en el autolavado 53

Figura 9. Variaciones de agua antes y después del tratamiento primario existente..... 56

Figura 10. Altura del agua en la caneca para la hidrolavadora 1 57

Figura 11. Altura del agua en la caneca para la hidrolavadora 2 57

Figura 12. Altura del agua en caneca para la hidrolavadora 1 58
Figura 13. Cantidad de servicios lavados..... 59
Figura 14. Tiempo de uso de agua en el servicio de juagado 60
Figura 15. Tiempo de uso de agua en el servicio de general 61
Figura 16. Tiempo de uso de agua en el servicio de general motor..... 62
Figura 17. Tiempo de uno de agua en el servicio de general motor a vapor 63
Figura 18. Área indicada por el propietario para la implementación del sistema de tratamiento 65
Figura 19. Plano del proyecto de la empresa ingeaguas 76

4 Resumen

El consumo de agua y la contaminación del recurso hídrico por efluentes de diferentes actividades se han convertido en un problema para la comunidad global actual. Para este problema, los establecimientos de autolavado representan un gran aporte debido a la creciente población propietaria de vehículos, quienes recurren a estos servicios, sumado a la alta demanda de agua, una considerable cantidad y variedad de contaminantes son vertidos a los cuerpos receptores de aguas residuales. Por esta razón el proyecto de investigación va encaminado a plantear alternativas de Ingeniería Ambiental que permitan reducir la contaminación y la presión que se ejerce al recurso hídrico por parte de la industria de los autolavados. El autolavado "Tres Tres" de la localidad de Tunjuelito sirvió como punto de investigación, donde se hizo la caracterización fisicoquímica del agua residual sobre la cual se establece una posible alternativa, allí se generan 200,47m³ de agua residual. Por esta razón en una primera etapa el ingeniero Daniel Parra a partir de una investigación concepto-literal propuso tres tipos de tratamientos para implementar en el autolavado, en esta segunda etapa de la investigación a partir 30 cotizaciones se pudo conocer la información de dos tratamientos y determinar dos alternativas para implementar en el autolavado "Tres-Tres", estas alternativas se evaluaron a partir de la metodología multicriterio la cual permitió establecer los intereses del dueño del autolavado. La alternativa fue propuesta por el proveedor INGEAGUAS esta es una planta de tratamiento de agua residual que cuenta con procesos de aireación, coagulación y floculación.

Palabras clave: Autolavado, Efluente, Tratamiento, Reciclaje

5 Abstract

Water consumption and water resource contamination by effluents from different activities have become a problem for today's global community. For this problem, car wash establishments represent a great contribution due to the growing population that owns vehicles, who use these services, added to the high water demand, a considerable amount and variety of pollutants are discharged into the bodies wastewater receivers. For this reason, this research is aimed at proposing Environmental Engineering alternatives that allow reducing pollution and the pressure exerted on water resource by the car wash industry. The "Tres Tres" car wash located in Tunjuelito was used as a research point, where the physicochemical characterization of the wastewater was carried out, on which a possible alternative is established, in this place 200.47m³ of wastewater is generated. For this reason, in the first stage of the reserch, the engineer Daniel Parra, based on a concept-literal investigation, he proposed three types of treatments to implement in the car wash, in this second stage of the research, from 30 samples, the information of two treatments could be known and determine two alternatives to implement in the "Tres Tres" carwash. These alternatives were evaluated using the multi-criteria methodology which allowed to establish the interests of the carwash owner. The alternative was proposed by the supplier INGEAGUAS which is a wastewater treatment plant that has aeration, coagulation and flocculation processes.

Keywords: Car-wash, Effluent, Treatment, Reclamation

6 Introducción

A medida del paso del tiempo se ha determinado la relación entre el recurso hídrico y la vida como un recurso limitado, complejo el cual cuenta con distintos parámetros; Entre estas se define el agua como bien esencial y vital de cualquier organismo con vida, en la medida que este recurso cuente con unas especificaciones físicas, químicas y biológicas aptas para dicho uso. No obstante, el agua es esencial para el desarrollo de las actividades del individuo, el cual le da distintos usos entre los cuales se encuentra el doméstico, industrial, comercial, y hasta recreativo, principalmente, para evidenciar su altísima demanda. Aunque se cataloga como un recurso natural renovable, es preponderante adoptar diferentes estrategias dirigidas a hacer un uso sostenible de este, teniendo en cuenta que, de acuerdo con Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (s.f), la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema que aqueja a todos los continentes, y la escasez de agua al 40% de la población mundial.

El consumo irracional, sumado a la creciente demanda global han dado lugar al desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas al tratamiento del agua residual y a una posterior reutilización o reciclaje. Este escenario se manifiesta indiscutiblemente en los establecimientos de lavado de vehículos, con el agua como su principal insumo y una población usuaria creciente a nivel mundial, se determina así la necesidad de establecer estrategias acordes a efectos de disminuir los impactos de esta actividad.

En ese sentido, el listado de metodologías de tratamiento del agua residual de autolavado se ha venido acrecentando últimamente con tratamientos como los que menciona Uçar (2017): ultrafiltración – adsorción por carbón activado, ósmosis inversa – nanofiltración ultrafiltración, oxidación electroquímica, tratamiento biológico, y floculación.

Es importante traer a colación el hecho resaltado por Ganiyu et al., 2018, sobre la carencia, en países en vía de desarrollo, de algún apartado legislativo para reglamentar el consumo de agua y el manejo de los efluentes en este tipo de industria, y que representa un limitante en la eficacia para atender esta necesidad de hacer un uso sostenible del agua.

7 Planteamiento del problema

La problemática que surge a partir de los establecimientos de servicio de autolavado se basan principalmente en la idea del uso insostenible del agua potable. Para el proceso de operación se tiene como entrada agua proveniente del servicio público de acueducto de la ciudad, adicionalmente otros tantos productos químicos que facilitan la tarea de remover la suciedad y embellecer los vehículos, y es en este punto, donde se encuentra la problemática. Este proceso se repite una y otra vez en la medida que personas con sus vehículos acuden a este servicio en este tipo de establecimientos, por lo tanto, y teniendo en cuenta el crecimiento constante del parque automotor en centros urbanos como Bogotá, un alarmante volumen de agua es utilizado y posteriormente vertido al sistema de alcantarillado de la ciudad conteniendo aquellas sustancias y sólidos que representan una carga contaminante adicional, y que acabará siendo vertido al receptor final de efluentes, el río Bogotá.

En evidencia de la carencia de una gestión del agua apropiada para su uso eficaz y eficiente, el autolavado “Tres Tres” del barrio San Vicente Ferrer de la localidad de Tunjuelito dentro de sus capacidades opera mediante un proceso sistemático lineal en el que el agua ya utilizada es sometida a un

proceso de tratamiento parcial donde se remueve únicamente una fracción de contaminantes como sólidos en suspensión y grasas.

En ese sentido, la inexistencia de un tratamiento completo del agua residual fomenta el consumo excesivo de agua y el vertimiento de contaminantes remanentes del proceso de lavado, que podrían ser del orden de sólidos disueltos, hidrocarburos, surfactantes, entre otros. Debido a esta afectación ambiental surge la necesidad de poder tratar las aguas residuales generadas en los autolavados, puesto a que al ser vertidas pueden contaminar cuerpos de agua y así disminuir la calidad ambiental de los cuerpos hídricos y como consecuencia, el decrecimiento de la calidad de vida de las personas aledañas a estos cuerpos de agua, lo cual podría traer enfermedades que afectan la salud por medio de los contaminantes presentes en el agua.

8 Justificación

Ante el gran consumo de agua potable para el lavado y embellecimiento de los vehículos, y el tratamiento insuficiente de las aguas residuales que se generan en el proceso de lavado, resulta de especial interés conocer un método para reducir en gran medida el uso de agua y realizar un tratamiento eficiente para la disminución de contaminantes, cumpliendo así con cada uno de los puntos en la normativa vigente para estas actividades.

La presente investigación surge por la necesidad de disminuir el impacto ambiental y el costo de los servicios públicos que generan los autolavados, como consecuencia del uso excesivo de agua potable y la disposición al alcantarillado de las aguas residuales sin un tratamiento adecuado. Por esta razón, en el desarrollo del proyecto se analizará uno de los tratamientos propuestos (Electro-Fenton, Ultrafiltración, y ECF – Sedimentación – Filtración) por el ingeniero Daniel Esteban Parra Moreno (2021). Quien de forma concepto-literal analizo los parámetros fisicoquímicos del autolavado y diagnostico apropiado estos 3 tipos de tratamientos mencionados anteriormente.

Este proyecto tiene como objetivo analizar los parámetros fisicoquímicos del agua del autolavado “Tres Tres” para diagnosticar si es posible implementar alguno de estos tratamientos (Electro-Fenton, Ultrafiltración, y ECF – Sedimentación – Filtración) o que tipo de tratamientos ofrece la industria colombiana para reducir la carga contaminante del autolavado. Con esto, complementar el pre-tratamiento y el tratamiento primario ya existentes en el autolavado. De esta manera se estaría

cumpliendo con la normatividad existente acerca del agua, además se podrá reincorporar el agua usada al sistema de lavado y finalmente generar un uso sostenible.

Este proyecto trae grandes beneficios a nivel económico, ecológico y social ya que, al recircular el agua se reducirá drásticamente el pago por servicios de acueducto y alcantarillado, siendo este uno de los servicios más costosos para la empresa. También con esto se reducirá el uso excesivo del agua y la carga contaminante suministrada al drenaje sin un tratamiento previo. A partir de estos dos aspectos los beneficios a nivel social son para las dos partes, tanto para los dueños de la empresa, como para la sociedad en general debido que tendrán una disposición más amplia del recurso hídrico.

De esta forma, cumplir con los objetivos 6 (Agua limpia y saneamiento) y 12 (Producción y consumo responsable) de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). El objetivo 6 tiene como propósito que más personas tengan acceso a agua potable y saneamiento, puesto a que una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable. Por esto nos centraremos en dos metas específicamente, la meta 6.3 la cual se enfoca en mejorar la calidad de agua, con el fin de reducir los contaminantes, los vertimientos y las emisiones de productos químicos, sin un previo tratamiento y fortalecer la reutilización de aguas. También nos centraremos en la meta 6b con la cual tomarán medidas las comunidades locales para mejorar la gestión del agua y saneamiento (Naciones Unidas, 2019).

El segundo ODS es el objetivo 12, el cual se centra en el consumo y producciones mundiales las cuales dependen de los recursos naturales, por lo cual se generan repercusiones adversas al planeta. De este objetivo se escogieron la meta 12.2 por la cual se da una gestión sostenible y un correcto uso de los recursos naturales. También la meta 12.5 la cual tiene como objetivo reducir la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción y reutilización (Naciones Unidas, 2019).

9 Objetivos

9.1 General

Evaluar distintos sistemas de tratamiento y reuso de agua residual que ofrece el mercado colombiano en cuanto a su aplicabilidad para tratar el efluente generado en el autolavado “Tres Tres” de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C para hacer un acercamiento a la economía circular.

9.2 Específicos

1. Analizar las condiciones actuales del lavadero “Tres Tres” en función de su operación y generación de efluentes, teniendo en cuenta la normativa ambiental vigente.
2. Realizar cotizaciones de sistemas de tratamiento con distintos proveedores con el fin de identificar lo que ofrece el mercado.
3. Analizar las distintas opciones de tratamiento que ofrece el mercado, con el fin de identificar cuál sería la más aplicable a las necesidades del autolavado “Tres Tres”, mediante la implementación de la metodología multicriterio.

10 Marco de referencia

10.1 Estado del arte

10.1.1 Gestión Integral del recurso hídrico

El agua es un bien fundamental para la vida y genera un vínculo entre la sociedad y el medio ambiente, en vista de que es de gran importancia para la producción de alimentos, los ecosistemas, la energía y el desarrollo socioeconómico. Además, es esencial en la adaptación del cambio climático. Los seres humanos tienen derecho a acceder al agua, pero a medida que crece la población mundial se genera una necesidad creciente del recurso hídrico (ONU, 2020).

Como consecuencia de la afectación al recurso hídrico se ha generado una gran problemática a nivel mundial, ya que, 2,000 millones de personas carecen de agua potable. Adicionalmente 297,000 niños menores de 5 años mueren anualmente por enfermedades diarreicas relacionadas con la calidad del agua. Por otro lado, el 90% de los desastres naturales están relacionados con las afectaciones que causan los cuerpos de agua. Por último, el 80% de las aguas residuales son vertidas a los ecosistemas sin un tratamiento previo o un reúso (ONU, 2020).

Desde otro punto de vista en Latinoamérica, en países como Ecuador, México, República Dominicana, Uruguay y Colombia, reconocen en sus constituciones el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua personal y doméstico. En estos también se prohíbe su privatización, ya que la administración, regulación, gestión y control de este bien solo se puede llevar a cabo por el Estado. Aunque esto es un

gran paso para América Latina aún se evidencian grandes carencias del recurso en sus poblaciones (Barrera, 2016).

En América Latina el 53% de sus escorrentías desembocan en un solo río llamado río Amazonas, el cuerpo hídrico tiene presencia en 8 países del continente. Entre estos países se encuentra Brasil, en este territorio se cuenta con una disposición de 20 mil m3/hab/año, en el río Amazonas, pero en la parte noreste presenta una escasez de 1500 m3/hab/año. Lo mismo se puede evidenciar en Chile en donde tienen una disponibilidad de agua per cápita de 51,218 m3, pero en ciudades desde Santiago Norte, presentan una gran escasez de agua con 500 m3/hab/año, dicho parámetro está 12 veces sobre el promedio mundial (Peña et al, 2018).

La demanda de agua está relacionada con el volumen de agua disponible y el volumen usado por el sector industrial, comercial, institucional y la población. En Colombia, en el 2012, la demanda hídrica nacional llegó hasta 35,987.1 millones de $m^3/año$. El sector con mayor demanda fue el agrícola con 16.760.3 millones de m^3/año (46.6%), seguido del sector energético con 7.738,6 millones de m^3/año (21,5%), el sector pecuario con 3.049,4 m^3/año (8,5%) y el sector doméstico con 2.963,4 m^3/año (8,2%) (MinAmbiente, 2020).

Sumado a este alto consumo de agua se presenta una alta complejidad de proponer un tratamiento adecuado para las aguas residuales que ha supuesto un problema de graves consideraciones, con la contaminación en otros cuerpos de agua como ríos, océanos y acuíferos luego de su vertimiento, sin contar las afectaciones a nivel social que generan en esa carrera hacia una disposición final. En ese contexto, se ha desarrollado una que otra forma de abordar este problema, mediante la implementación de lo que se conoce como Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), o una Estación Depuradora de Agua Residual (EDAR). A partir de ellas, se busca reducir la carga contaminante previa que retorna al medio natural, mediante diversidad de procesos: (Sandoval et al, 2018).

En ese orden de ideas, las aguas residuales, generan un gran problema sanitario, para combatir dicha adversidad la legislación nacional debería ser complementada con leyes que permitan disminuir esta afectación. Es así que se han elaborado documentos en los que se regulan los parámetros de calidad del agua, los vertimientos, el tratamiento de efluentes, y últimamente sobre la reutilización del agua ya tratada. Como resalta la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR, 2019), por la cual la comisión europea desde el 2014 planifica la implementación de una regulación común que tiene como

propósito fomentar el uso seguro para la salud y el medio ambiente, trabajando en conjunto con prácticas de economía circular. Esta asociación contempla obligatoria la reutilización de agua para solucionar su demanda por el crecimiento poblacional y el cambio climático.

El reusó de agua consiste en reutilizar aguas residuales que se trataron mediante tratamientos físicos y químicos, hasta lograr unos índices de agua admisibles, para que esta se pueda reincorporar nuevamente al proceso productivo en el cual se necesita. Cabe resaltar que, se debe tener en cuenta la normativa se reusó puesto que existen parámetros distintos para actividades económicas y poblaciones. En Colombia solo hasta el 2014 se incorporó la resolución 1207, mediante la cual se exhiben los parámetros específicos para la calidad de agua de reusó (Álvarez, 2017).

10.1.2 Autolavados

Los autolavados surgen en los años 20's en Estados Unidos como un servicio que supliría la falta de tiempo de lavar el auto por sí mismo en la época. Esta industria llega a generar presión frente al consumo del recurso hídrico, además de la generación de aguas residuales, estos lugares ofrecen el servicio de lavar automóviles disponiendo como materia prima agua y jabón. Un autolavado en promedio lava de 60 a 150 autos al día, empleando 80 litros de agua por auto. No obstante, menos del 40% de esta agua residual es tratada, esta problemática genera contaminación en los cuerpos de agua aledaña al autolavado (Plata, 2020).

En el caso específico de los establecimientos de lavado de automóviles, los contaminantes que se encuentran generalmente son materiales de arena, polvo, emulsiones de agua-aceite, grasas, carbono, asfalto, sales, surfactantes y materia orgánica (Bhatti et al, 2009). Que pueden ser tratados, entre otros, por procesos de coagulación – floculación, ya que son según Mazumber & Somnath (2011) un método ampliamente usado en el tratamiento de aguas residuales, y han recibido una considerable atención por producir altas eficiencias en la remoción de contaminantes.

A nivel internacional esta industria ha venido creciendo en los últimos años. En Alemania existe el centro de autolavado más grande del mundo llamado Mr Wash, allí se cuenta con más de 100 empleados que lavan cerca de 4000 autos al día. Para combatir las afectaciones ambientales y el gasto excesivo de agua el autolavado Mr Wash implementó una planta de tratamiento de aguas con procesos como

coagulación y floculación la cual remueve emulsiones y metales pesados por medio de la electrocoagulación, con el fin de evitar la escorrentía de productos químicos (Okula, 2021).

A nivel Latinoamérica el economista chileno Roberto Carvajal expone como tal a la industria del autolavado en Latinoamérica como una industria viable, y en crecimiento a raíz de la expansión capitalista y la facilidad de obtener un auto hoy en día. Esta industria podría generar gran afectación al ambiente por medio del excesivo uso del agua y el vertimiento de agua residuales, es por esto que se debe implementar una óptima gestión del recurso hídrico para evitar estas posibles afectaciones (Carvajal, 2016).

Por otro lado, en la ciudad de Cumaña, Venezuela se desarrolló una investigación frente a las aguas residuales generadas por los autolavados que se vertían en el alcantarillado. Esta investigación denota que la mayoría de las aguas residuales vertidas superan los parámetros fisicoquímicos establecidos en la normatividad que permite observar un contexto, en el que los entes reguladores no cumplen y se está generando contaminación en los afluentes cercanos a los lavaderos, como medida de prevención se recomiendan tratamientos de agua primarios (Ortiz, 2020).

Respecto a dicha visión de crecimiento en la expansión de lavaderos de automóviles, se empiezan a desarrollar medidas o estrategias que permitan una reducción en los impactos ambientales que generan los lavaderos de autos. A nivel nacional en el departamento del Huila, Colombia, se planteó el desarrollo de un autolavado ecológico, en donde se plantea la evolución de los auto lavados por medio de la tecnología actual, incluyendo procesos en donde se implementan plantas de tratamiento de agua residuales, este tipo de tratamiento funciona por medio de filtros y separadores por gravedad que permiten disminuir la carga de aceites y químicos con el fin de reusar el agua (Sánchez, 2017)

Por otro lado, Luis López propone el uso de tratamiento de aguas residuales en los autolavados del municipio de Fusagasugá debido a que esta agua residual se vierte con altos índices de aceites. Este tipo de tratamiento se debe complementar por medio de filtros como rejas fijas y filtros de tela que permitan retener este tipo de aguas residuales y así mejorar las condiciones con la que es almacenada para un uso futuro (López, 2017)

Finalmente, desde un punto de vista local específicamente en la ciudad de Bogotá se evidenció un gran interés por desarrollar estrategias que permitan a los lavaderos de autos reducir sus gastos e impactos en

el ambiente, para permitir un escenario ambientalista dispuesto a crecer en el mercado. Por su parte se implementan soluciones como plantas de tratamiento de aguas residuales, además de estrategias ambientales como el lavado en seco de autos que podría reducir hasta en un 80% el gasto de agua. (Feo, 2015)

Un claro ejemplo de esto se puede observar con la empresa de lavado Lavafante, esta empresa realiza el proceso de lavado encima de las trampas de lodos, donde luego el agua pasa a unas trampas de grasa que de manera inversa remueve el agua a un tanque en el cual se le adicionan químicos para eliminar bacterias y sulfatos, que posteriormente pasará por varios filtros (carbón activado, arena y antracita), donde finalmente el agua resultante de este tratamiento se reincorporar al proceso de lavado. Con este proceso la empresa Lavafante ahorra hasta 100 litros por cada vehículo. (Lavafante,2019)

10.2 Marco Teórico

10.2.1 Gestión integral del recurso hídrico

Una de las problemáticas más grandes a la que el mundo se enfrenta hoy en día, es a la gran crisis de agua que se ve en la escasez de agua. De acuerdo con Martínez y Villalejo (2018), en la actualidad se vive una competencia mundial por el uso industrial del agua, especialmente para usos domésticos, energéticos y agrícolas. Esta situación de competencia evidencia que los países más desfavorecidos carecen de políticas para el recurso hídrico y legislaciones que ayuden a mejorar los marcos institucionales de la gestión del agua.

Los usos inadecuados y excesivos del agua también devienen en problemas ambientales. De acuerdo con Betancort y Poma (2019) han aumentado los desastres naturales por eventos hidrometeorológicos, como inundaciones y sequías extremas, lo cual deja numerosas víctimas fatales y grandes pérdidas económicas, para las industrias y para las poblaciones. Estos desastres se reflejan con mayor intensidad en poblaciones vulnerables y países con escasos recursos económicos.

La demanda mundial de agua ha aumentado a un ritmo de 1% anualmente por el alto aumento poblacional más que todo en países de escasos recursos, el desarrollo económico, entre otros factores. Según Hernández y Posada (2018) la gestión integral del recurso hídrico (GIRH) se define como el proceso mediante el cual se coordina el desarrollo y manejo del agua, tierra y demás recursos. Como

resultado se reciben beneficios económicos y sociales, pero sin afectar los ecosistemas. La GIRH ha tenido una gran aceptación internacionalmente, como un cambio equitativo y sostenible de uno de los recursos más limitados del planeta.

De acuerdo con Martínez & Villalejo (2018) el GIRH se originó al establecer los cuatro principios de Dublín que son:

i. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, necesario para la vida, el desarrollo y el medio ambiente

ii. El desarrollo y uso del agua deberían ser participativos, involucrando a planificadores y a formuladores de políticas de todos los niveles.

iii. La mujer desempeña un papel primordial en la provisión, manejo y protección del agua.

iv. Todos los usos del agua tienen un valor económico, que compiten entre sí y debería diferenciarse como un bien económico.

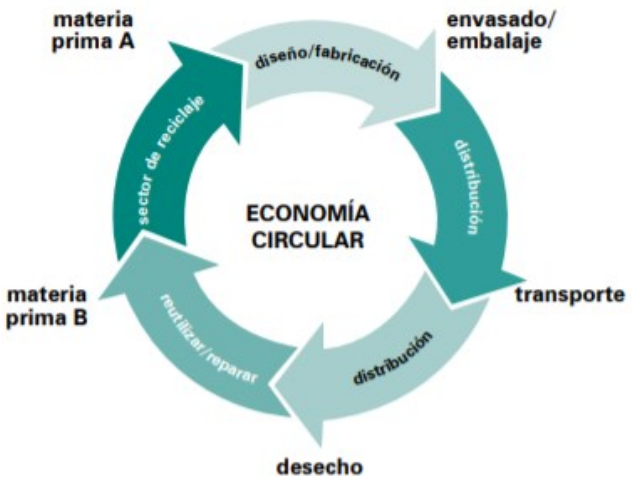
En el 2010 cuando se aprobó la política nacional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), se estableció el usos eficiente y sostenible del agua como objetivo para promover los procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente de agua. Cuyo principal enfoque es la reutilización de aguas residuales, para reducir la amplia extracción del recurso hídrico y minimizar la descarga de contaminantes en los cuerpos de agua (Álvarez, 2017).

10.2.2 Economía circular

La economía circular de acuerdo con Cerda y Khalilova (2016), se refiere a un modelo económico lineal, el cual enfatiza en “Tomar, hacer y tirar”, este modelo se enfoca en obtener grandes cantidades de materiales a bajo costo y con fácil acceso, y de la misma forma se desecha con la misma facilidad con la que se obtuvo, en otras palabras, este modelo no es sostenible. Por ello desde el 2015 salieron grandes aportes sobre la economía circular, con el fin de ser reconstituyente y regenerativa por diseño, y se enfoca en usar todos los recursos y productos en su más alta capacidad.

Figura 1

Modelo de economía circular, 2014



Nota. Adaptado de Diagrama de modelo de economía circular, de Balboa & Somente, 2014, (http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/71/84).

Sin embargo, Prieto & Jaca (2017) nos muestran otra alternativa fuera del modelo económico lineal. Llamada economía circular la cual tiene como propósito un crecimiento económico y productivo, en donde se tiene en cuenta el flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales. La economía circular es un modelo que busca beneficiar económicamente, sin afectar el medio ambiente, previniendo la contaminación y promoviendo así un mejor desarrollo sostenible.

Igualmente, Aguado (2018), define a la economía circular como "satisfacer las necesidades de la generación presente sin afectar las necesidades de las generaciones futuras". Esto se logra mediante un equilibrio entre tres dimensiones que son social, económico y ambiental. Aunque últimamente se ha hablado de una cuarta dimensión, a saber: la cual es "El tiempo", ya que las acciones que se realizan para la sostenibilidad tienen un impacto a corto, mediano y largo plazo.

Por esto Cansi, F. & Márcio Cruz, P. (2020) Nos muestran una gran relación sobre la reutilización y la economía circular para mejorar el suministro de agua, hacer una mejor gestión de las aguas residuales y sus estándares de calidad. La economía circular cada vez desempeña un papel más importante en la

gestión de la cantidad y calidad del recurso hídrico. Por esto la reutilización de agua no solamente es importante para aumentar la disponibilidad del recurso o aumentar los nutrientes del agua tratada, sino también trae beneficios para la producción agrícola, reducir el consumo de energía asociado al agua y grandes beneficios para el medio ambiente.

10.2.3 Desarrollo sostenible

Desde los años 90,s luego de las diferentes Cumbres mundiales de desarrollo y medioambiente de las Naciones Unidas (como las celebradas en Río de Janeiro en el 92) y las sucesivas Estrategias Comunitarias para el Desarrollo Sostenible desarrolladas en la Unión Europea, en donde se cuestionan frente al progreso con prácticas no sostenibles (Barbosa, 2020). El Desarrollo Sostenible es el fin con el cual los medios de producción y el modelo económico deben funcionar para mantener el equilibrio entre la sociedad, el ambiente y la economía.

Con el fin de complementar el desarrollo sostenible, nació la gestión ambiental para brindar seguridad en cada proceso que se ejecute en los proyectos, para así tener un control y debido manejo de las consecuencias negativas que ambientalmente deja el desarrollo del hombre. La gestión ambiental se compone de estrategias como el desarrollo de actividades y políticas que se encaminan a mejorar la relación del desarrollo económico antrópico con el ambiente y su óptimo estado (Monroy, 2018).

10.2.4 Tratamiento de agua residual

El problema del tratamiento del agua residual se presenta como el punto central en el presente proyecto. En donde en la literatura congruentemente se manifiesta que esta problemática es debido al crecimiento poblacional e industrial, que afectan gravemente el agua sobre su calidad y cantidad, dándole una ineficiente gestión integrada del recurso hídrico (Pineda, 2017). Estas aguas residuales se van a analizar en 3 sistemas de tratamiento distintos que son:

Ultrafiltración: según Suárez (2016) esta es un proceso de membranas semipermeables, las cuales tienen la capacidad de fraccionar, separar y concentrar sustancias sin que sufran un cambio de fase. La presión hidrostática ayuda a separar macromoléculas desde 0,001 a 0,1 micras de espesor, por eso este proceso es capaz de remover hasta el 90% de los contaminantes. Este tratamiento remueve la turbidez del agua y elimina bacterias y virus.

Electrofloculación: Este método somete al efluente a un campo magnético producido por dos electrodos de diferente carga: catión carga positiva y ánodo carga negativa. La implementación de electrodos de cobre (Cr) y aluminio (Al) son más eficientes en los medios de cultivo y por ello más rendimiento en la electrocoagulación. Este método tiene un bajo costo de implementación y es fácil de automatizar (Miñón, 2017).

Electro-Fenton: Este método tiene como propósito generar electroquímicamente el reactivo fenton (Fe2+ y H2O2) mediante el proceso de reducir la sal férrica y oxígeno disuelto en el agua. Posteriormente el reactivo fenton genera radical hidroxilo, los cuales reaccionan con los contaminantes del agua para eliminarlos. Este método es muy eficiente en la remoción de DQO, color y toxicidad, y se puede aplicar a colorantes solubles e insolubles (Orts, 2017).

10.3 Marco Conceptual

10.3.1 Aguas Residuales no Domésticas (ARnD):

Son aguas derivadas de actividades comerciales, industriales o de servicios, diferentes a las establecidas como aguas residuales domésticas, (ARD) (Resolución 0330, 2017).

10.3.2 Aguas residuales tratadas*:*

Son las aguas residuales que han sido expuestas a diferentes operaciones o procesos de tratamiento que permiten su cumplimiento de calidad para su reúso (Resolución 1207, 2014).

10.3.3 Aguas reutilizadas:

"Aguas residuales que se han sometido a un proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido o para conseguir la calidad requerida en función del nuevo uso privativo al que se quiere destinar" (Minaqua, 2016).

10.3.4 Aguas recicladas:

Son aguas residuales que se han tratado previamente para utilizarlas nuevamente en el mismo proceso del cual provienen. Este concepto es utilizado en el lavado de vehículos ya que en algunos casos se recupera el agua residual y se reincorpora en el proceso de lavado. (Minaqua, 2016).

10.3.5 Calidad del agua:

"Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua" (Resolución 0330, 2017).

10.3.6 Criterio de calidad:

"Es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles que se establecen para un uso definido" (Resolución 1207, 2014).

10.3.7 Eficiencia de tratamiento o remoción:

"Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje" (Resolución 0330, 2017).

$$\text{Eficiencia}=\frac{Carga\ de\ contaminante\ afluente - Carga\ de\ contaminante\ efluente}{Carga\ de\ contaminante\ afluente} * 100$$

10.3.8 Afluente:

El afluente es un cuerpo de agua cuya desembocadura no se realiza en el mar, sino que lo hace en un río con mayor importancia. (Resolución 0330, 2017)

10.3.9 Efluente:

Líquido que sale de un proceso de tratamiento. (Resolución 0330, 2017)

10.3.10 Parámetros de diseño:

"Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los componentes de los sistemas del tratamiento de agua". (Resolución 0330, 2017)

10.3.11 Pretratamiento:

Proceso realizado antes del tratamiento con el fin de remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento primario. (Resolución 0330, 2017)

10.3.12 Sostenibilidad:

Es el equilibrio de las especies con los recursos de su entorno. Manteniendo así la explotación por debajo de los límites de renovación de ésta. (Resolución 0330, 2017)

10.3.13 Tratamiento primario:

"Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Normalmente se realiza por operaciones físicas como la sedimentación". (Resolución 0330, 2017)

10.3.14 Tratamiento secundario:

"Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos". (Resolución 0330, 2017)

10.3.15 Tratamiento terciario:

En esta fase se remueven los sólidos suspendidos residuales que pasaron del tratamiento secundario, comúnmente por medios de microfiltración o filtración granular. En este proceso también se incluye la desinfección. Cuando se necesita reutilizar el agua se eliminan sólidos suspendidos y nutrientes, compuestos orgánicos biodegradables y remoción de materiales remanentes disueltos y en suspensión. (Resolución 0330, 2017)

10.3.16 Vertimiento:

"Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido". (Resolución 0330, 2017)

10.3.17 Metodología multicriterio:

La metodología multicriterio es una herramienta por la cual se determinan los impactos de actos de desarrollo sobre la sostenibilidad. Con esta metodología se puede incorporar las distintas problemáticas que existen entre factores económicos, ambientales y sociales, y entre los distintos niveles de prioridad en la toma de la decisión (Quintero, 2017).

10.4 Marco Normativo

Tabla 1.

Marco Normativo

Son concernientes a las aguas residuales de autolavado:

Norma	Organismo	Concepto	Apartados de interés
Decreto 2811 de 1974	Presidencia de la República	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Art. 1. Art. 9. Art. 18.
Ley 99 de 1993	Congreso de la República	se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables	
Ley 373 de 1997	Congreso de la República	Reglamenta el Programa de Ahorro y Uso eficiente del Agua.	Art. 5. Reúso obligatorio del agua. Art. 8. Incentivos tarifarios. Art. 15. Tecnología de bajo consumo de agua.
Resolución 3957 de 2009	Secretaría Distrital de Ambiente	Establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital	
Resolución 1207 de 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas	
Resolución 631 de 2015	Ministerio de Ambiente y	Establecen los parámetros y los valores límites máximos	

		Desarrollo Sostenible	permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
ISO (2019)	46001	Organización Internacional de Normalización	Prácticas de monitoreo, medición, documentación, informes, diseño y adquisición de equipos, sistemas, procesos y formación para la gestión de la eficiencia del agua.

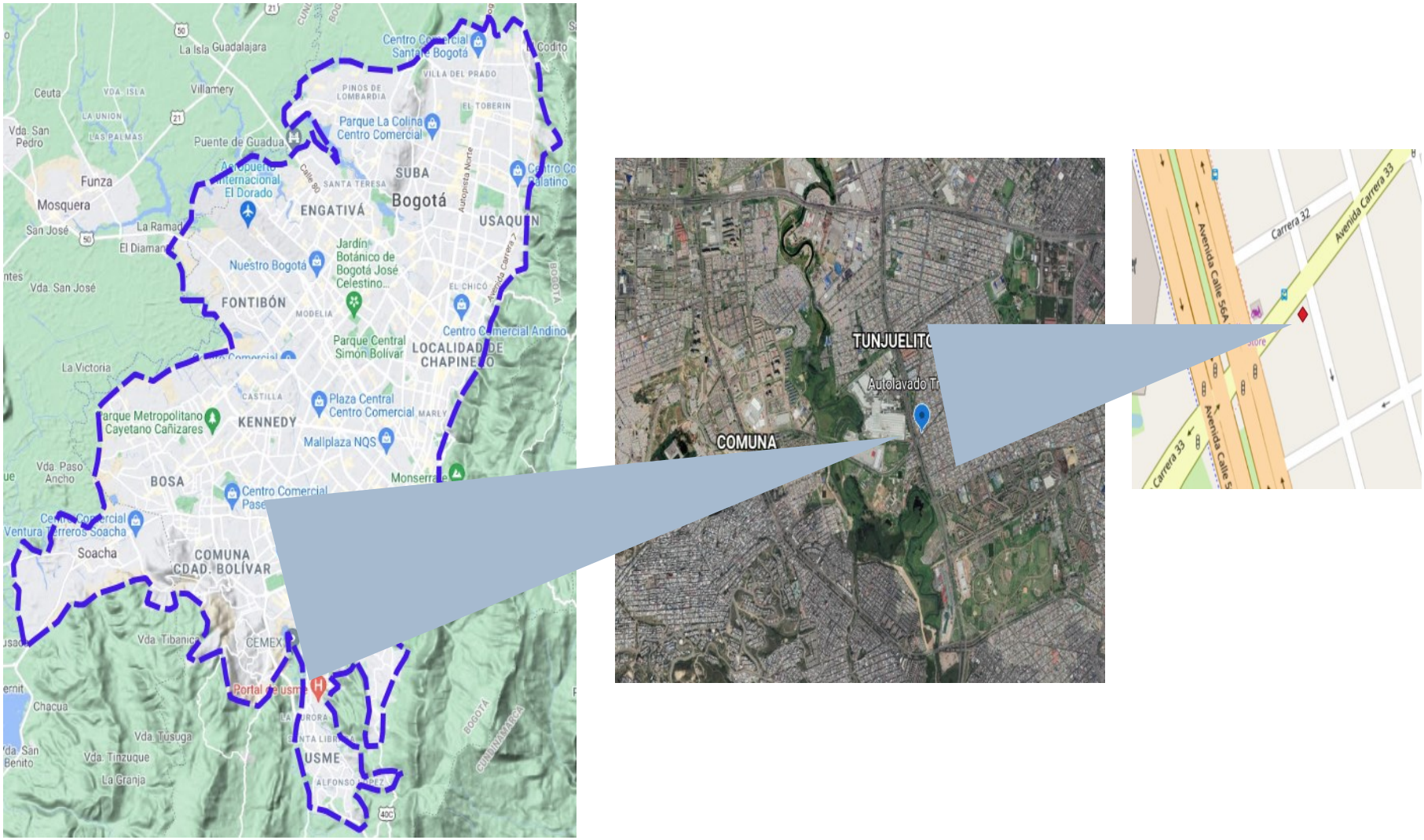
10.5 Marco geográfico

El área de estudio se encuentra geográficamente localizada al sur del casco urbano de la ciudad de Bogotá D.C, en la localidad de Tunjuelito. Demarcado como la localidad número seis de las veinte que conforman la división administrativa de la ciudad, según datos del Observatorio Ambiental de Bogotá (2019). Esta localidad cuenta con 63 barrios habitados por aproximadamente 188.000 personas dentro de un área de 991,1 hectáreas.

Las actividades económicas de la localidad de Tunjuelito se dividen en varios sectores. Debido que esta es una de las localidades con más movimiento de la ciudad, donde su mayor actividad económica es el comercio con un 43,4%, seguido del sector de servicios en donde el barrio que más destaca es Venecia. En el sector industrial predomina el barrio Perdomo con el 19,9%. Se censaron también 55.644 hogares de la localidad en donde solo el 6,5% de los hogares tienen una actividad económica al interior de sus hogares (Secretaria distrital de planeación, 2009).

Figura 2.

Georreferenciación de la localidad de Tunjuelito.



El área de estudio comprende un punto sobre la Avenida Boyacá con Carrera 33 en el Barrio San Vicente Ferrer de la mencionada localidad de Tunjuelito, donde se emplaza el establecimiento comercial "Tres Tres" que presta sus servicios para el lavado de vehículos.

10.6 Marco Institucional

Tabla 2.

Instituciones implicadas en el desarrollo del proyecto

IDENTIDAD	DESCRIPCIÓN	LOGO
Alcaldía local de Tunjuelito	Encargada de las gestiones públicas que se desarrollan en el territorio de su jurisdicción, a la que pertenece el autolavado.	BOGOTÁ Alcaldía Local de Tunjuelito
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	Empresa encargada de suministrar agua potable y dar alcantarillado.	acueducto
Secretaría Distrital de Ambiente	Es la entidad encargada de otorgar los permisos de vertimientos, verificar las prácticas que se realicen en el establecimiento sean correctas y responsables con el ambiente	ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. SECRETARÍA DE AMBIENTE
Autolavado "Tres Tres"	Este es el autolavado en el cual se analizaran los diferentes tratamientos y se realizará todo el proyecto .	AUTOLAVADO TRES TRES

11 Metodología

11.1 Desarrollo de la metodología

Con base en la metodología de la investigación de Sampieri (2014), se llevó a cabo la realización metodológica del presente trabajo de grado, este proceso permitió identificar el enfoque, método y alcance del proyecto de investigación con el fin de conocer el cómo y por medio de qué herramientas se podría dar ejecución y respectiva discusión al proyecto. A partir de esta identificación se pudo desarrollar el esquema metodológico que comprendiera el objetivo general del proyecto como meta, el cual se cumpliría a través de los objetivos específicos. Para llegar al cumplimiento del objetivo general se realizaron distintas actividades y el uso de herramientas e instrumentos en cada instancia de los objetivos específicos.

11.2 Enfoque

El enfoque de este proyecto de grado es mixto. Por esta razón este tipo de enfoque, se integra por un lado de un enfoque cualitativo, y por el otro se desarrolla un enfoque cuantitativo. Este enfoque permite dar un acercamiento al desarrollo de las actividades que se implementarán para dar cumplimiento al objetivo general del proyecto de investigación (Sampieri, 2014).

En la realización de este proyecto de investigación es necesario un enfoque cualitativo, debido a que por medio de este se podrá recopilar la información necesaria para determinar el contexto, características y demás elementos que componen el estado actual del problema y el estado ideal al cual se quiere llegar. Las actividades que comprende este enfoque son de recopilación de datos e información, por medio de visitas técnicas, entrevistas, información bibliográfica y observación, con el fin de complementar el proyecto teórica y conceptualmente (Romero, 2020).

Por otro lado, el enfoque cuantitativo complementa el proyecto debido al tipo de información que se puede obtener a partir de datos que son medibles en valores y unidades, dando así una visión holística al desarrollo del proyecto de investigación (Romero, 2020). Esta información cuantitativa será recolectada por medio de instrumentos que permitan medir los parámetros fisicoquímicos además de los caudales de las aguas residuales generadas en el lavadero “Tres Tres”, además esta información permitirá saber el costo de la implementación del tratamiento de agua seleccionado para el lavadero de autos.

Finalmente, este enfoque mixto permite desarrollar un análisis acertado y completo en el proyecto de investigación, debido a la información que permite recopilar, complementando los datos numéricos con los datos con la descripción teórica que se plantea en el trabajo de investigación. Este tipo de enfoque permite la recolección, análisis e interpretación de los datos necesarios para desarrollar el proyecto de investigación y tener una visión multicausal de la problemática a solucionar (Sampieri, 2014).

11.3 Método

Con base en el enfoque del proyecto de investigación al ser este mixto, se podría deducir que para el desarrollo del enfoque cualitativo se necesita implementar un método inductivo con el fin de conocer las dinámicas y procesos partiendo de lo particular a lo general. Así mismo se infiere que al ser el enfoque cuantitativo se debe implementar un método deductivo para así tener un análisis de la realidad partiendo de lo general a lo particular (Sampieri, 2014).

El método inductivo permite describir los procesos que se desarrollan en los tratamientos de agua propuestos, así mismo determina un contexto real de la situación integrando el ambiente y la viabilidad del proyecto. A partir de este método se puede conocer el propósito de un proyecto para así establecer su determinada justificación y objetivo del proyecto (Pulido, 2015).

Por otro lado, el método deductivo permite tener una secuencia lógica en el proyecto, por medio del razonamiento de la teoría expuesta. A partir de este razonamiento se permite generar hipótesis frente a lo que se quiere hacer y lo que se quiere saber, con el fin de aceptar o rechazar la aproximación al contexto real de la situación planteada a solucionar en el proyecto de investigación (Pulido, 2015).

Los métodos deductivo e inductivo permiten el desarrollo de la pregunta de investigación de una manera secuencial y organizada para determinar un panorama integrado del contexto de las aguas residuales generadas en la industria de los autolavados. De esta manera se relacionan los métodos seleccionados para el proyecto debido a que integran dos visiones que complementan una hipótesis basada en una aproximación de la realidad acertada.

El método mixto dentro al haber sido aplicado al proyecto de investigación permitió integrar dos visiones; Por un lado, el método inductivo permitió conocer los procesos que se desarrollan dentro de los tratamientos de aguas dando un acercamiento de las dinámicas que permiten el reuso del agua dentro de un autolavado. Por otro lado, el método deductivo permitió determinar el contexto global que se

desarrolla para tratar las aguas residuales en los autolavados, con objeto de ejecutar un análisis frente al contexto real de las soluciones que se desarrollan a nivel global para tratar las aguas residuales en este tipo de industria.

11.4 Alcance

El alcance de este proyecto de investigación permite establecer los objetivos del trabajo de investigación para fijar claras las metas y los tiempos en que se desarrollará el proyecto y así tener un control y límites sobre el plan a desarrollar. A partir del análisis teórico se definió un alcance descriptivo debido a que para dar solución al objetivo general se necesita la medición y recolección de información (Romero, 2020). De esta manera el alcance correlacional permite cuantificar la viabilidad del objetivo general, con el fin de conocer la aplicabilidad del tratamiento de agua residual seleccionado para el lavadero "Tres Tres".

El alcance de la metodología del trabajo de investigación desarrollado es correlacional, debido a que se incluirá el análisis integral de los distintos tipos de tratamiento de agua residual que se implementan en la industria de los autolavados. El alcance permitió dar una visión global y a su vez cuantificar las diversas variaciones entre los tratamientos de aguas disponibles, por lo tanto desarrollar una hipótesis acertada (Narváez, 2016). A partir de dicho análisis se llevó a cabo la correcta elección de uno de los tipos de tratamientos de agua. Asociando conceptos y variables para buscar seleccionar el más eficiente y el que mejor se adapte a las necesidades del lavadero de autos "Tres-Tres" ubicado en la localidad de Tunjuelito, Bogotá, Colombia.

Finalmente, el alcance del proyecto de investigación a su vez es descriptivo debido a que busca medir y recoger información cuantitativa que permita medir conceptos y definir variables. Por medio de este tipo de alcance se permite establecer cómo se desarrollan las dinámicas de las aguas residuales generadas en el autolavado, para así determinar cómo estas se comportan a fin de evitar posibles afectaciones en los procesos internos donde se almacenan y vierten las aguas residuales (Narváez, 2016).

11.5 Metodología por cada objetivo específico

11.5.1 Objetivo específico 1. Analizar las condiciones actuales del lavadero "Tres Tres" en función de su operación y generación de efluentes, teniendo en cuenta la normativa ambiental vigente

Para el cumplimiento del primer objetivo específico es necesario recopilar información acerca del proceso, el funcionamiento y las características fisicoquímicas del autolavado. Para esto se le pide a la empresa que nos suministre la siguiente información: Certificado de lodos, planos de la operación del lavadero, el informe de monitoreo y la caracterización del agua. También se realizaron visitas técnicas al autolavado en donde se llevaron a cabo entrevistas, toma del caudal de las hidrolavadoras y un registro fotográfico. En donde posteriormente a todos esos resultados se les realizó una comparación con la normativa ambiental vigente para verificar su cumplimiento.

11.5.1.1 Actividad 1 para el cumplimiento del primer objetivo específico: Recopilación de información

La recopilación de información para el desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo mediante la información suministrada por el autolavado "Tres Tres", la monografía del ingeniero Daniel Esteban Parra Moreno, información de los clientes de este establecimiento y la normativa vigente para el uso de aguas residuales y reuso.

En primera instancia se le solicita al autolavado "Tres Tres" información sobre los planos del autolavado en función del área predial, de su operación y funcionamiento, también se le solicitó las pruebas fisicoquímicas realizadas por laboratorios certificados del Ministerio de Medio Ambiente. Posteriormente, se hará una revisión exhaustiva de la monografía del ingeniero Daniel Esteban Parra Moreno. De donde mediante la literatura se obtendrán los resultados de los posibles tratamientos para los efluentes del autolavado "Tres Tres", los cuales a su juicio son los más eficientes en función de tratar el agua residual de este establecimiento.

Finalmente se procedió a indagar la normativa Colombiana que rige al agua bajo la Resolución 0631 de 2015 la cual establece todos los estándares y lineamientos para la adecuada gestión integral del recurso hídrico y la Resolución 1207 de 2014 la cual establece los parámetros del agua para un posterior reusó. A partir de esta investigación se conocieron los parámetros fisicoquímicos que exige el gobierno

colombiano en cuanto a vertimiento de aguas residuales, con el propósito compararlos con los parámetros fisicoquímicos con los que cuenta el agua en el autolavado “Tres Tres”.

11.5.1.2 Actividad 2 para el cumplimiento del primer objetivo específico: Visita técnica al autolavado “Tres Tres”

Para realizar esta actividad se llevaron a cabo 3 visitas al autolavado “Tres Tres”. En ellas se realizaron 2 tomas de muestras de agua en puntos distintos del proceso. También se realizó la medición del caudal de las 3 hidrolavadoras del autolavado, se tomaron las medidas del área disponible para el sistema de tratamiento, se realizó la revisión de la cantidad de vehículos que se lavan en el establecimiento para identificar la cantidad de agua que emplean y por último se estableció el área disponible para la implementación del tratamiento.

Figura 3.

Autolavado Tres Tres

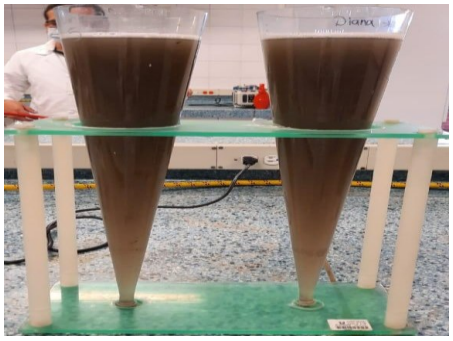
11.5.1.2.1 Toma y análisis de muestras

La toma de muestras de agua residual se realizó de manera empírica en el autolavado donde se tomaron 2 tipos de muestras distintas el día 24 de febrero del 2021. La primera se tomó antes de que el agua

entrara al sistema de tratamiento existente y la segunda se tomó luego del tratamiento; esto con la finalidad de identificar el trabajo que realiza el pretratamiento y tratamiento primario en el agua residual generada. Luego de esto se llevaron las muestras al laboratorio de la Universidad El Bosque, donde se calcularon los distintos parámetros del agua residual como: pH, conductividad, salinidad NACL, resistividad, DBO_5, SS, ST, SV, SST, SDT.

Tabla 3.

Materiales utilizados para calcular los parámetros del agua residual en el laboratorio

Métodos	
Descripción	Materiales
Se determinaron el pH, Conductividad, Salinidad NACL, resistividad	Multiparámetro Sartorius Professional Meter PP-20
	Figura 4. Multiparámetro
Para calcular los sólidos sedimentables se aforaron 2 conos hasta 1000 mL y se dejó sedimentar por 1 hora	Conos Imhoff
	Figura 5. Medición de sólidos sedimentables 

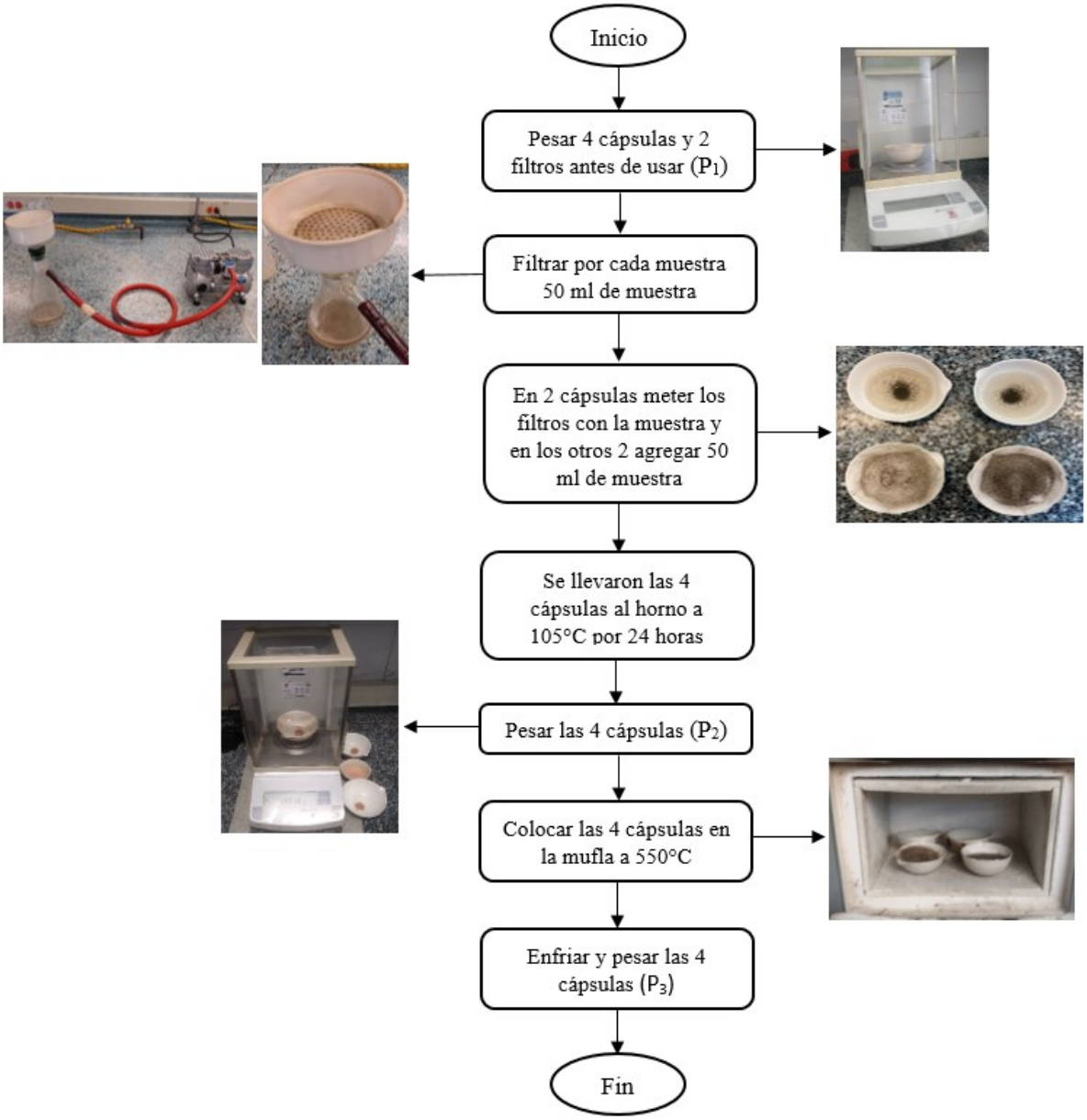
Para el parámetro DBO5 se realizó la medición 3 veces por cada punto. Para realizar este procedimiento fue necesario 6 recipientes cada uno con un cabezal Oxitop. Los cuales estuvieron en un agitador magnético por 5 días. En donde a pesar de que cada día éste arrojó un valor, el valor utilizado será el del 5 día.	Equipo Oxitop *Figura 5. Medición del DBO_5*

Nota. En esta tabla se muestran los materiales y métodos utilizados para la medición del pH, conductividad, salinidad NACL, resistividad, DBO_5.

Para calcular los ST, SV, SST, SDT fue necesaria la implementación de diferentes materiales como: un sistema de filtración constituido por bomba de vacío, Erlenmeyer con desprendimiento lateral, embudo Büchner, cápsulas de porcelana, papel filtro y otros como mufla y balanza. A continuación, se describió paso a paso el cálculo de estos parámetros:

Figura 6.

Medición de los ST, SV, SST, SDT en el laboratorio



Luego de realizar este procedimiento se procedió a realizar los cálculos de ST, SV, SST, SDT con las siguientes fórmulas:

$$ST = \frac{P_2 - P_1}{V_T}$$

$$SV = \frac{P_{2(i)} - P_{3(i)}}{V_T}$$

$$SST = \frac{P_{2(ii)} - P_1}{V_T}$$

$$SSV = \frac{P_{2(ii)} - P_{3(ii)}}{V_T}$$

P_1: Peso de la cápsula (g)

$P_{2(i)}$: Peso de la cápsula luego de secar a 105 °C por 24 h (g)

$P_{3(i)}$: Peso de la cápsula luego de secar a 550°C por 2 h (g)

$P_{2(ii)}$: Peso de la cápsula con el papel filtro luego de secar a 105 °C por 24 h (g)

$P_{3(ii)}$: Peso de la cápsula con el papel filtro luego de secar a 550°C por 2 h (g)

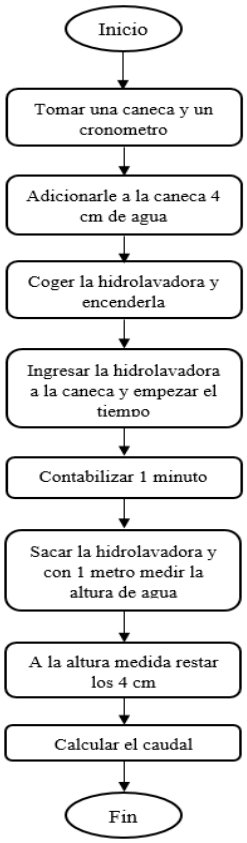
V_T: Volumen de la muestra (L)

10.5.1.2.2 Visita técnica para toma de caudal y recopilación de tiempo de lavado y vehículos lavados en el mes

Para calcular el caudal se realizó una visita el 25 de septiembre del 2021, en donde se tomó un balde al cual se le van a revisar sus medidas, luego de esto se llenó el balde con 4 centímetros de agua, para que al momento de ingresar la hidrolavadora no rebote el agua a presión. Se tomó la hidrolavadora número 1 y un cronómetro. En el momento de captar el chorro de agua en la caneca se inicia el tiempo y se cronometró 1 minuto. Al finalizar este tiempo se sacó la hidrolavadora y con un metro se calculó la altura del agua y se le resto los 4 centímetros que se le adicionaron al principio. Este procedimiento se por triplicado con cada una de las 3 hidrolavadoras.

Figura 7.

Diagrama de medición de caudal



Con la siguiente fórmula se calculó el caudal de cada una de las tomas en campo. Se analizó las 3 medición hecha por cada hidrolavadora y estas se promediaron para obtener el caudal aproximado de cada una de estas en L/min.

$$Q = \frac{V}{t} \quad = \quad Q = \frac{Ao * h}{t} \quad = \quad Q = \frac{(\pi * r^2) * h}{t}$$

Donde,

V: Volumen (m^3)

t: Tiempo (s)

A_o: Área del círculo (m^2)

h: Altura del balde (m)

Q: Caudal (L/min

Por otro lado, se calcularon los tiempos en que se utiliza agua en el servicios de lavado (juagado, general, general motor y general motor a vapor), este proceso se realizó por triplicado para cada uno de los servicios. La medición de estos tiempos tiene que ser muy precisa porque esta es la que nos va a dar la cantidad de agua que se utiliza por cada uno de los servicios.

Luego de haber calculado el caudal de cada hidrolavadora y el tiempo por cada uno de los servicios (juagado, general, general motor y general motor a vapor), se procede a calcular la cantidad de agua que se utiliza para realizar cada servicio mediante la multiplicación de cada uno de estos 2 parámetros obteniendo como resultado las unidades L.

$$V_s = Q_H * t_{UAS}$$

V_s = Volumen de agua por servicio (L)

Q_H = Caudal de cada hidrolavadora (L/min)

t_{AUS} = Tiempo de uso de agua por servicio (min)

Por último, se revisaron las planillas de servicio y se calculó la cantidad de vehículos que se lavan en el autolavado "Tres Tres" por cada tipo de servicio. Para este proceso se les solicitó a los propietarios el registro de lavadas desde el 22 de agosto al 22 septiembre del 2021. Posterior a esto contabilizan todos los servicios realizados para conocer el porcentaje de cada servicio (juagado, general, general motor o general motor a vapor).

Tabla 4.

Número total y porcentaje de cada uno de los servicios

Servicio	Servicios	% de servicios
Juagado		
Lavado general		
Lavado general motor		
Lavado general motor a vapor		
Servicios totales de lavado		

Luego de calcular la cantidad total de agua usada para cada uno de los servicios, se realizó el cálculo del agua utilizada entre las fechas 22 de agosto al 22 septiembre del 2021. Para esto fue necesario el caudal por servicio (juagado, general, general motor o general motor a vapor) calculado anteriormente, este se multiplicó por el número de cada uno de los servicios obtenidos en la planilla (juagado, general, general motor o general motor a vapor).

$$V_{tm} = V_S * S_{mes}$$

V_{tm} = Volumen total de agua en el mes (L)

V_S = Volumen de agua por servicio (L)

S_{mes} = Número de servicios en el mes

Y finalmente, se suman cada los valores obtenidos por cada uno de los servicios (juagado, general, general motor o general motor a vapor) para obtener el agua total utilizada entre las fechas 22 de agosto al 22 septiembre del 2021. Esto con el fin de suministrarle este caudal a las empresas que disponen se sistemas de tratamiento para que nos realizaran las respectivas cotizaciones.

10.5.1.2.3 Visita técnica para medir el área disponible para la implementación del tratamiento

Se realizó la última visita el 29 de septiembre del 2021 en la cual nos reunimos con los propietarios del autolavado Tres Tres para que ellos nos asignaran el lugar en el autolavado el cual ellos creyeron correcto la implementación del sistema de tratamiento. Posterior a esto procedimos a realizar las medidas correspondientes (Largo y ancho) y a calcular el área con la siguiente fórmula:

$$A = L * W$$

A = Área (m^2)

L = Longitud (m)

W = Ancho (m)

11.5.2 Objetivo específico 2. Realizar cotizaciones de sistemas de tratamiento con distintos proveedores con el fin de identificar lo que ofrece el mercado.

Para complementar las actividades que permitan finalizar con el desarrollo del segundo objetivo específico se realizaron alrededor de 30 cotizaciones a empresas, las cuales ofrecen el servicio técnico de construcción del tratamiento de agua residual que mejor se adaptó a las necesidades del autolavado "Tres Tres".

A partir de la información suministrada en las cotizaciones se pudo conocer el costo de implementar este tipo de tratamiento de agua en el autolavado “Tres Tres”. Además, se obtuvieron los costos de mantenimiento de la infraestructura del tratamiento requerido.

11.5.2.1 Actividad 1 para el cumplimiento del segundo objetivo específico: Cotizaciones

Con el fin de conocer el costo económico de implementar los distintos tratamientos de agua y conocer cuáles tratamientos ofrece el mercado, se procedió a realizar un promedio de 30 cotizaciones, cuya información se manejó con la ayuda de una hoja de cálculo. En el proceso de las cotizaciones se suministraron los caudales del agua que circula en el autolavado “Tres-Tres”. A partir de estos datos se pudo conocer 1. Información del proveedor 2. tipo de tratamiento 3. dimensiones de la infraestructura a implementar 4. el costo inversión 5. costo de mantenimiento 6. garantías del tratamiento 7. reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado

La información suministrada por parte de la empresa consultada, se controló y almacenó en una tabla la cual permitió un manejo adecuado de los datos y una organización que permitió conocer las características principales de los tratamientos de agua cotizados. Esta tabla se desarrolló de la siguiente manera:

Tabla 5

Parámetros de cada cotización

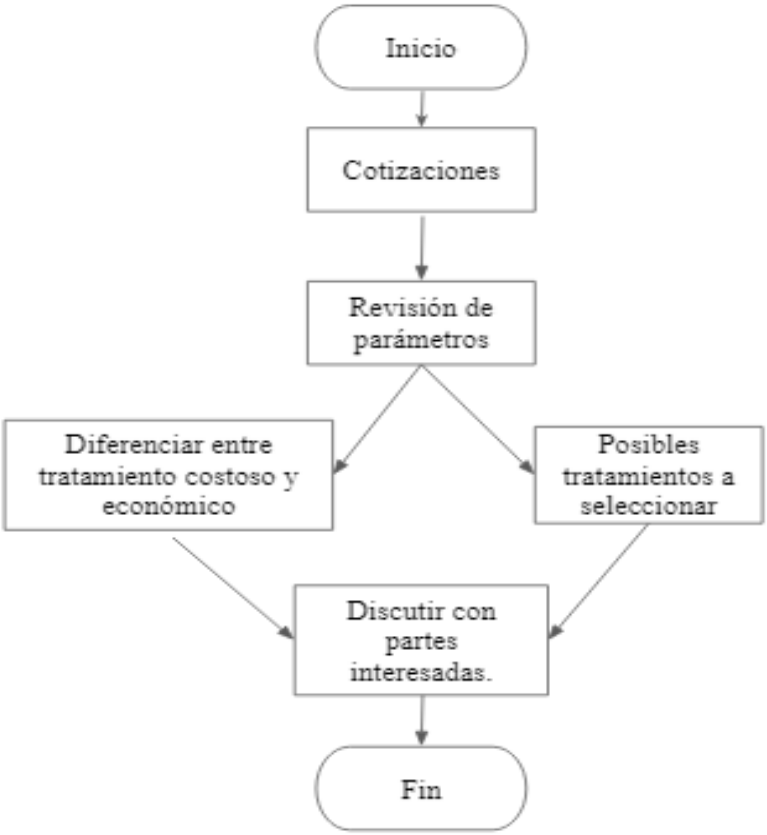
Cotizaciones	1	n
Tipo de tratamiento		
Dimensión infraestructura		
Costo de inversión		
Costo de mantenimiento		
Garantías del tratamiento		
Reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado		

Durante el proceso de cotizaciones se conocieron los distintos tratamientos que ofrece el mercado para tratar las aguas residuales de un autolavado. Con esta información se pudo evaluar qué tan adecuado es el tratamiento de agua propuesto respecto a los recomendados por las distintas empresas prestadoras del servicio.

Con esta información suministrada a partir de las cotizaciones realizadas se conoció el tratamiento más económico para implementar en el autolavado. En términos económicos es una ventaja poder comparar la calidad de los materiales del tratamiento, la durabilidad del tratamiento, con el fin de poder llevar un análisis que favorezca a la empresa de autolavado "Tres-Tres" en cuanto a la relación costo-beneficio.

Figura 7

Proceso de análisis de cotizaciones



A partir de la revisión de costos y las cotizaciones realizadas, se desarrolló un análisis en el cual se identificaron los distintos tipos de tratamientos de aguas residuales para autolavados que ofrece el

mercado colombiano. Basándose en los tratamientos de aguas residuales para autolavados propuestos por el mercado, se llevó a cabo una comparación entre los tratamientos de aguas propuestos por las distintas empresas ambientales en el mercado y los tratamientos de aguas residuales propuestos por el ingeniero Daniel Parra.

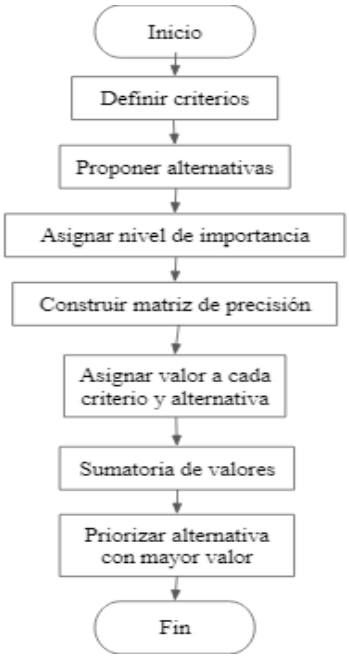
11.5.3 Objetivo específico 3. Analizar las distintas opciones de tratamientos que ofrece el mercado, con el fin de identificar cuál sería la más aplicable a las necesidades del autolavado "Tres Tres", mediante la implementación de la metodología multicriterio

En el desarrollo de este objetivo fue necesario conocer los resultados arrojados a partir de la ejecución de la metodología multicriterio, con base en esto se seleccionó un tratamiento de agua de los propuestos. Esta elección se basó en los costos y cuáles tratamientos se adecuan mejor a la gestión integral del recurso hídrico, además se llevó a cabo una revisión de costos que permitió dar un acercamiento al valor de implementar el tratamiento de agua en el lavadero de autos.

La metodología multicriterio permite seleccionar el tratamiento de agua, por medio de criterios de jerarquía que evaluaron los tratamientos de agua dispuestos en el mercado, lo cual concluye si la elección del tratamiento es adecuada y así se conoció cuáles ventajas costo-beneficio traería para el autolavado.

Figura 8

Definición de criterios y niveles de importancia



11.5.3.1 Actividad 1 para el cumplimiento del tercer objetivo específico: Definición de alternativas de tratamiento de agua residual

De acuerdo con las cotizaciones realizadas y después de conocer los distintos tipos de tratamientos de agua que brinda el mercado para tratar aguas residuales en autolavados, se realizó la definición de alternativas con base en los tratamientos de agua residual que mejor se adaptaran a las necesidades del autolavado "Tres-Tres", a partir de estas alternativas se conocieron las posibles soluciones que se brindaron para poder disminuir el consumo de agua en el autolavado.

11.5.3.2 Actividad 2 para el cumplimiento del tercer objetivo específico: Definición de criterios

La definición de criterios se desarrolló en conjunto con los dueños del autolavado "Tres-Tres", se determinaron los criterios con los cuales se evaluaron los distintos tratamientos de agua residual ofrecidos en el mercado. Para la elección de criterios fue necesario conocer los intereses que los dueños del autolavado buscan para su empresa, con el objeto de integrar los distintos requerimientos económicos, y ambientales a la toma de decisiones.

Los criterios determinados se seleccionan y se proponen a los dueños del autolavado con el fin de conocer su aprobación o desaprobación, por otro lado, se le pidió al dueño del autolavado que propusiera los criterios que creía necesarios de acuerdo a sus intereses. La información desarrollada se almacenó por medio de una tabla donde se pueden observar los distintos criterios definidos en conjunto entre los investigadores del proyecto y el dueño del autolavado.

Tabla 6

Definición de criterios

Número	Criterio
1	
2	
3	
n	

11.5.3.3 Actividad 3 para el cumplimiento del tercer objetivo específico: Nivel de importancia

A partir de la definición de criterios se procedió a asignarles un nivel de importancia a cada uno de estos criterios, los cuales permitieron conocer cuál alternativa cuenta con las características necesarias para suplir las necesidades del autolavado "Tres-Tres". El nivel de importancia se asignó a partir de los intereses de los dueños del autolavado, este nivel de importancia es individual para cada criterio definido y su unidad debe ser en porcentaje (%) de acuerdo con los intereses del dueño del autolavado, la sumatoria de los niveles de importancia debe sumar en total 100%.

De acuerdo a la definición de criterios y su respectiva asignación de nivel de importancia se desarrolló una tabla donde se pudo almacenar la información suministrada como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Definición de criterios

Número	Criterio	Nivel de importancia
1		
2		
n		
	Total	100%

11.5.3.4 Actividad 4 para el cumplimiento del tercer objetivo específico: Evaluación multicriterio

Posterior a seleccionar los criterios y su respectivo nivel de importancia, se procedió a seleccionar los parámetros de decisión, los cuales permitieron aplicar el método multicriterio a fin de conocer cuál tratamiento de agua es más eficiente para implementar dentro del autolavado "Tres Tres" y así tomar la decisión adecuada económica y ambientalmente.

La metodología reduce el problema complejo de las aguas residuales en los autolavados en partes con posibles soluciones permitiendo que se pueda estructurar un problema con múltiples criterios, mediante la creación de un modelo jerárquico que se compone de una meta basada en un objetivo, criterios y alternativas o posibles soluciones, demostrando así la metodología multicriterio ser una herramienta de planificación. Con base en esta selección de criterios se procede a caracterizar las alternativas con el objetivo de construir la matriz de precisión que compara los criterios y las alternativas. Esta matriz permite evidenciar un promedio con base en los criterios a modo de desarrollar una ponderación de alternativas y escoger la que mejor se adapte, de esta manera seleccionar un tratamiento de agua específico que cumpla con las necesidades del lavadero de autos "Tres Tres".

10.5.3.4.1 Matriz de precisión

La matriz de precisión se construyó a partir de la evaluación multicriterio, con su respectivo nivel de importancia. La matriz permitió evidenciar la mejor alternativa involucrando a las partes interesadas en la toma de decisiones. Esta matriz se construyó a partir de los criterios seleccionados los cuales fueron ubicados en fila, horizontalmente y los problemas o posibles alternativas en columnas, verticalmente como se muestra a continuación:

Tabla 8.

Matriz de precisión

	Criterio 1	**Criterio 2**	**Criterio n...**	**Sumatoria**
	Nivel de importancia 1	Nivel de importancia 2	Nivel de importancia 3	Σ = 100%
Alternativa 1	valor asignado (0-3)	valor asignado (0-3)	valor asignado (0-3)	Σ valores
Alternativa 2	valor asignado (0-3)	valor asignado (0-3)	valor asignado (0-3)	Σ valores
Alternativa n...	valor asignado (0-3)	valor asignado (0-3)	valor asignado (0-3)	Σ valores

Posterior a la construcción de la matriz de precisión multicriterial se procedió a asignarle un valor de importancia a cada criterio, con su respectiva alternativa. En este caso las alternativas van relacionadas

con el tratamiento de agua residual propuesto con lo cual se evaluarán a partir del nivel de importancia de cada criterio determinado con los dueños del autolavado. Este rango va de 0 a 3 como se puede observar a continuación:

- 0 Nulo
- 1 Bajo
- 2 Medio
- 3 Alto

Con base en los valores asignados se desarrolló la sumatoria de valores a fin de organizar jerárquicamente los criterios de acuerdo con el nivel de prioridad resultante. Posteriormente, con ayuda de los dueños del autolavado se seleccionaron las dos alternativas con mayor puntaje y se realizó su respectivo análisis, basándose en los resultados arrojados en la matriz de precisión.

$\Sigma valores = (valorC1A1) + (valorC2A1) + (valorCnA1)$ Fórmula para la alternativa 1

$\Sigma valores = (valorC1A2) + (valorC2A2) + (valorCnA2)$ Fórmula para la alternativa 2

$\Sigma valores = (valorC1An) + (valorC2An) + (valorCnAn)$ Fórmula para la alternativa n

Donde:

C1= criterio 1 A1= alternativa 1

C2= criterio 2 A2= alternativa 2

Cn= Criterio enésimo An= alternativa enésima

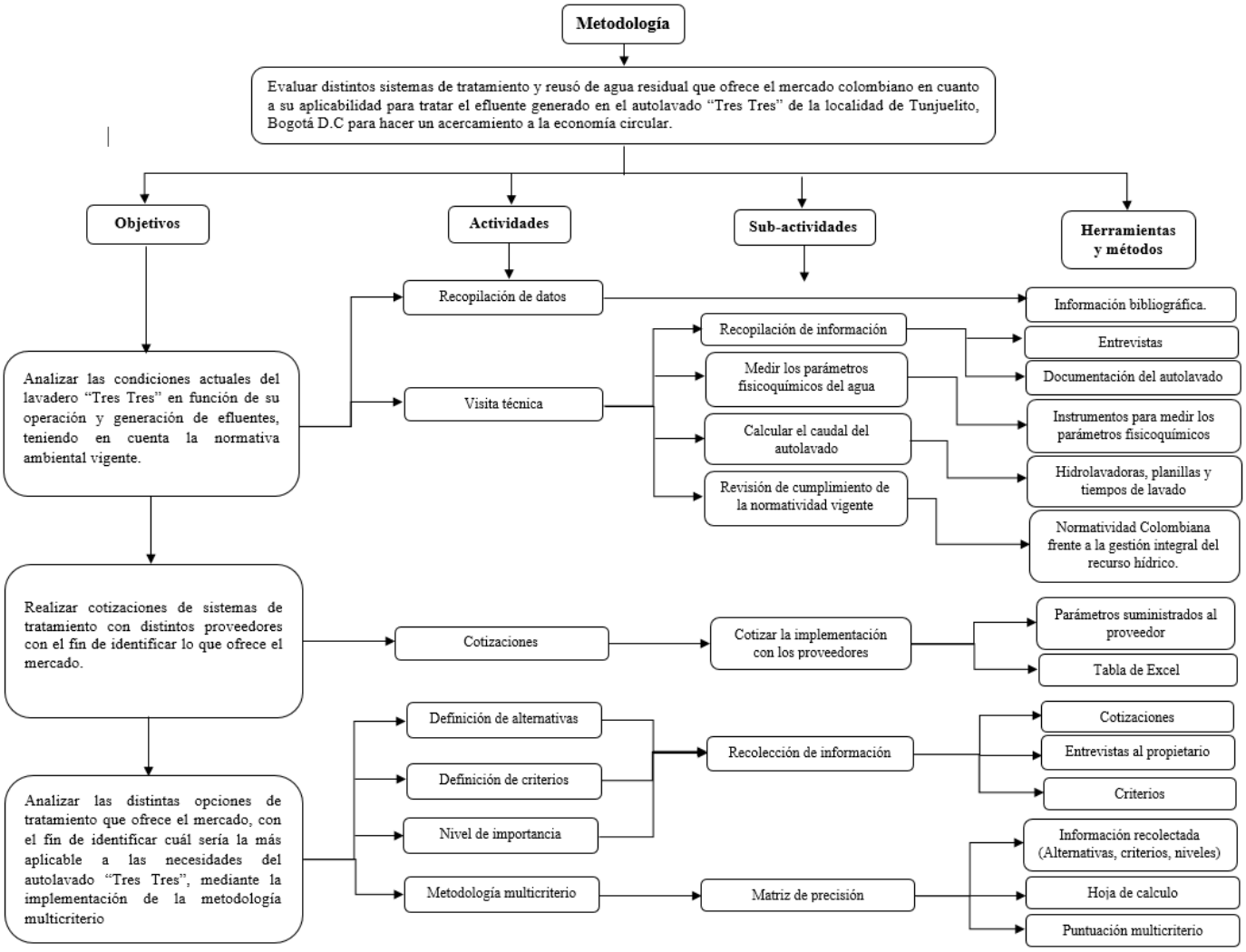
Los dos resultados obtenidos a partir de la sumatoria para cada alternativa, se priorizan con el fin de analizar cuál es la más viable.

11.6 Diseño metodología

La siguiente metodología se diseñó con el fin de cumplir el objetivo general del proyecto: Evaluar cuál de los sistemas de tratamiento (Electro-Fenton, Ultrafiltración, y ECF – Sedimentación – Filtración) es el más eficiente y aplicable para tratar el agua residual generada en el autolavado "Tres Tres" de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C. para hacer un acercamiento a la economía circular.

Figura 9.

Matiz metodológico



12 Plan de trabajo

El plan de trabajo se compuso de tres momentos los cuales dan respuesta al objetivo general por medio del desarrollo de los objetivos específicos, estos tres momentos fueron: Diagnóstico del autolavado "Tres-Tres", cotizaciones a distintos proveedores en el mercado colombiano de tratamientos de agua residual y por último se compone de un análisis del mercado colombiano a partir del desarrollo de la metodología multicriterio. Las actividades y herramientas que permitieron el desarrollo del plan de trabajo se puede observar en la matriz metodológica figura 9. Posteriormente, el plan de trabajo culmina

con el cumplimiento del desarrollo del objetivo específico tres, concluyendo el desarrollo del objetivo general del proyecto de investigación, finalmente se le sugiere un tratamiento de agua residual al autolavado el cual se adapta a las necesidades e intereses del dueño del autolavado.

13 Resultados, análisis y discusión

13.1 Objetivo específico 1. Analizar las condiciones actuales del lavadero "Tres Tres" en función de su operación y generación de efluentes, teniendo en cuenta la normativa ambiental vigente

Con base en el desarrollo de la metodología se obtuvieron los resultados del primer objetivo específico, entre los cuales se destaca la recopilación de datos y la toma de muestras de agua residual en el autolavado "Tres-Tres", a partir de estos resultados se llevó a cabo el análisis que permitiera interpretar los datos obtenidos con sus respectivos valores permitidos en la normatividad vigente.

Dentro de los distintos resultados se pudo conocer el caudal que circula dentro del autolavado, el cual permite conocer los volúmenes de agua a tratar y de paso este dato sirvió para realizar las distintas cotizaciones en las empresas ambientales que prestan este tipo de servicio.

13.1.1 Documentación del autolavado "Tres Tres"

13.1.1.1 Recopilación de datos

En la primera visita técnica realizada al autolavado fue posible la recopilación de diferentes documentos del autolavado. Se obtuvo un certificado de la empresa SOLUCIONES AMBIENTALES CORTES S.A.S (Anexo 1), la cual dispone los lodos provenientes de las trampas del pretratamiento y el tratamiento primario. Esta empresa se encarga del almacenamiento, tratamiento y disposición de estos residuos como lo estipula la Resolución 8650 de 2009.

También se obtuvo el informe de monitoreo y caracterización de las aguas residuales del autolavado los cuales fueron realizados por los laboratorios certificados del IDEAM, este se encarga de realizar un monitoreo de aguas residuales provenientes de actividades industriales, plantas de tratamiento, alcantarillado, entre otros. Estas pruebas se realizan anualmente por el autolavado y al momento de obtener los resultados, anteriormente se radicaban en el Ministerio de Medio Ambiente, ahora se deben

radicar en la plataforma del Acueducto y Alcantarillado y luego de esto se le da el aval para continuar con los procesos de la empresa.

La empresa nos suministró las pruebas realizadas en el año 2019 (anexo 2), esto porque en el 2020 no se pudieron realizar las pruebas gracias a que gran parte del año el establecimiento estuvo cerrado por normas de bioseguridad y cuarentenas estrictas del gobierno Colombiano por causa de la pandemia del COVID-19.

Tabla 9.

Resultados de vertimientos tomados por el IDEAM del año 2019

RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO AUTOLAVADO TRES TRES - CALLE 56 SUR #31-57 CAJA DE INSPECCIÓN EXTERNA - MUESTRA CODIGO 3740-17 BOGOTÁ, CUNDINAMARCA - 07 de septiembre 2019							
PARAMETRO	METODO	LC	UNIDADES	FECHA DE ANALISIS	RESULTADOS	COMPARACION NORMA	CUMPLIMIENTO
**Caudal	Volumétrico	N.A	L/s	07/09/2019	0,14	N.A	N.A
**pH	SM 4500 H+B	N.A	Unidades de pH	07/09/2019	7,28 - 7,76	5.0 -9.0	Cumple
**Temperatura	SM 2550 B	N.A	°C	07/09/2019	14,9 - 18,2	N.E	N.A
**SS	SM 2540 F	0,1	ml/L	07/09/2019	0,1 - 0,2	1,5	Cumple
DBO	SM 5210 B	3	mgO_2/L	07/09/2019	14	75	Cumple
DQO	SM 5220 C	40	mgO_2/L	07/09/2019	50	225	Cumple
Fenol	SM 5530 D	0,1	mg Fenol/L	07/09/2019	<0,10	0,2	Cumple
Aceites y grasas	SM 5520 D	8	mg GyA/L	07/09/2019	18	15	No Cumple
SAAM	SM 5540 C	0,1	mg SAAM/L	07/09/2019	0,58	Análisis y Reporte	N.A
SST	SM 2540 D	5	mg SST/L	07/09/2019	19	75	Cumple
Hidrocarburos	SM 5520 D F	8	mg /L	07/09/2019	<8	10	Cumple
Cloruros	SM 4500 Cl B	5	mg Cl	07/09/2019	13,2	250	Cumple
Sulfatos	SM 4500 SO_4^{2} E	20	mg SO_4^{2}/L	07/09/2019	34	250	Cumple
Alcalinidad	SM 2320 B	5	mg $CaCO_3$	07/09/2019	18	Análisis y Reporte	N.A
Dureza total	SM 2340 C	5	mg $CaCO_3$	07/09/2019	33	Análisis y Reporte	N.A
Dureza cálcica	SM 3500 Ca	15	mg $CaCO_3$	07/09/2019	37	Análisis y Reporte	N.A
Color Real (436nm)	ISO 7887	0,1	m-1	07/09/2019	1	Análisis y Reporte	N.A
Color Real (525nm)	ISO 7887	0,1	m-1	07/09/2019	0,6	Análisis y Reporte	N.A
Color Real (620nm)	ISO 7887	0,1	m-1	07/09/2019	0,2	Análisis y Reporte	N.A

Estos resultados se compararon con los parámetros estipulados por la Resolución 0631 de 2015, concertados en el capítulo II, artículo 15 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la cual se establecen los parámetros fisicoquímicos y sus valores límite máximo permisibles para el vertimiento de agua residual no doméstica como actividades industriales, comerciales o de servicios

diferente de los estipulados en el Capítulo V y VI. El aspecto de aceites y grasas no cumple con los parámetros estipulados. Puesto que, tuvo como resultado 18 mg/L y lo permitido por la resolución es de 10 mg/L, por esto la empresa debe realizar un segundo análisis de este parámetro y revisar la trampa de grasas en el tratamiento existente del autolavado para saber si tiene alguna falencia.

Figura 9.

Tratamiento primario existente en el autolavado

Para el año 2021 a principios del mes de septiembre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realizó una recolección de muestras de agua residual en el autolavado para examinarlas en el laboratorio y verificar el cumplimiento de los parámetros límites permitidos por la Resolución 0631 de 2015. Por lo cual, los resultados de estos análisis serán enviados a principios del mes de diciembre del 2021. No obstante, la entidad compartió algunos parámetros fisicoquímicos que se muestran a continuación: pero dejó algunos parámetros como se observa en la figura #, los cuales cumplen con la resolución:

Tabla 10.

Resultados de vertimientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Hora	Ph	Conductividad (µS/cm)	T. Agua (°C)	SSED (ml/L)	Caudal (L/s)
16:20:00	8.16	372	17	-0,1	0.214

Nota: Estos son los resultados enviados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realizados en el mes de septiembre del 2021

13.1.1.2 Entrevistas

En la visita técnica al autolavado "Tres Tres" se realizaron 2 tipos de entrevistas. La primera entrevista (Anexo 6) se le realizó a 3 empleados del autolavado (la dueña, el administrador y un lavador) En la cual se les hicieron preguntas como: ¿Qué medidas se toman en el autolavado para ahorrar el agua?, ¿Cuál es la disposición final que se le da al agua después de ser utilizada en la actividad de lavado?, ¿Usted qué opina sobre la implementación de un sistema de tratamiento y reúso de agua residual para el proceso de lavado?, ¿Cree que la recirculación de agua le va a traer ventajas o desventajas al proceso de lavado? ¿Por qué?, entre otras. Sus respuestas fueron muy satisfactorias, puesto que tienen conocimiento de varios aspectos técnicos sobre su proceso de lavado, los insumos que utilizan, su interés por la implementación de un sistema de tratamiento más avanzado y su cuidado por el medio ambiente.

La segunda entrevista (Anexo 7) se les realizó a 3 clientes que frecuentan el autolavado y por el contrario sus respuestas fueron fallidas. Se les realizaron preguntas como: ¿Conoce otro proceso que no involucre el agua en el proceso de lavado de vehículo?, ¿Qué ventajas y desventajas cree que tendría el tratamiento y la recirculación de agua?, ¿Cree que el uso del agua reutilizada tiene algún efecto en el proceso de lavado?, entre otras. Sus respuestas fueron negativas, porque no tienen el conocimiento sobre la cantidad de agua que utilizan lavando su vehículo, no conocen ningún tratamiento avanzado para el agua residual y no están muy seguros sobre la reutilización de aguas residuales.

13.1.2 Visita técnica al autolavado "Tres Tres"

13.1.2.1 Análisis fisicoquímicos de muestras de agua residual

En las pruebas de laboratorio realizadas para el agua residual del autolavado "Tres-Tres", dieron como resultado los valores de la tabla 10 los cuales se comparan con los valores límite permitidos por la resolución 0631 del 2015.

Tabla 11.

Parámetros del agua residual analizada en el laboratorio.

Parámetro	Unidades	Afluente	Efluente	Valores límites Res. 631 del 2015
pH	-	8,80 ±0,11	6,43 ±0,11	6,00 a 9,00
Conductividad	µS/cm	144,67 ±9,0	141,33 ±30,5	-
Salinidad Práctica	ppt	0,12 ±0,003	0,11 ±0,04	-
Salinidad NaCl	ppt	0,07 ±0,004	0,08 ±0,04	-
Resistividad	KΩ cm	6,96 ±0,34	7,12 ±2,01	-
SDT	mg/L	72,43 ±4,2	66,80 ±10,6	-
SSED	ml/L	2,4	1,4	1,00
ST	mg/L	2,96 ±0,14	0,754 ±0,5	-
SV	mg/L	3,15 ±0,32	1,705 ±2,3	-
SST	mg/L	3,83 ±0,62	0,44 ±0,3	50,00
SSV	mg/L	14,85 ±0,49	9,97 ±2,8	-
DBO_5	mg O_2/L	28 ±1	22,7 ±5,1	50,00

Nota: En la resolución 0631 del 2015 se establecen los valores máximos permisibles en el caso de SSED en donde no debe exceder a 1,00 ml/L, pero en el efluente del autolavado dio como resultado 1,4 ml/L no cumpliendo el parámetro.

Se observó una falencia en la reducción de SSED puesto que este no cumple con los parámetros establecidos por la legislación. Este problema puede ser porque se presenta una falencia en el tratamiento primario, o también se puede traer a relación que la toma de las muestras se realizó días antes de que la empresa removiera y limpiara sus trampas. Por lo que se puede relacionar esta problemática a que las

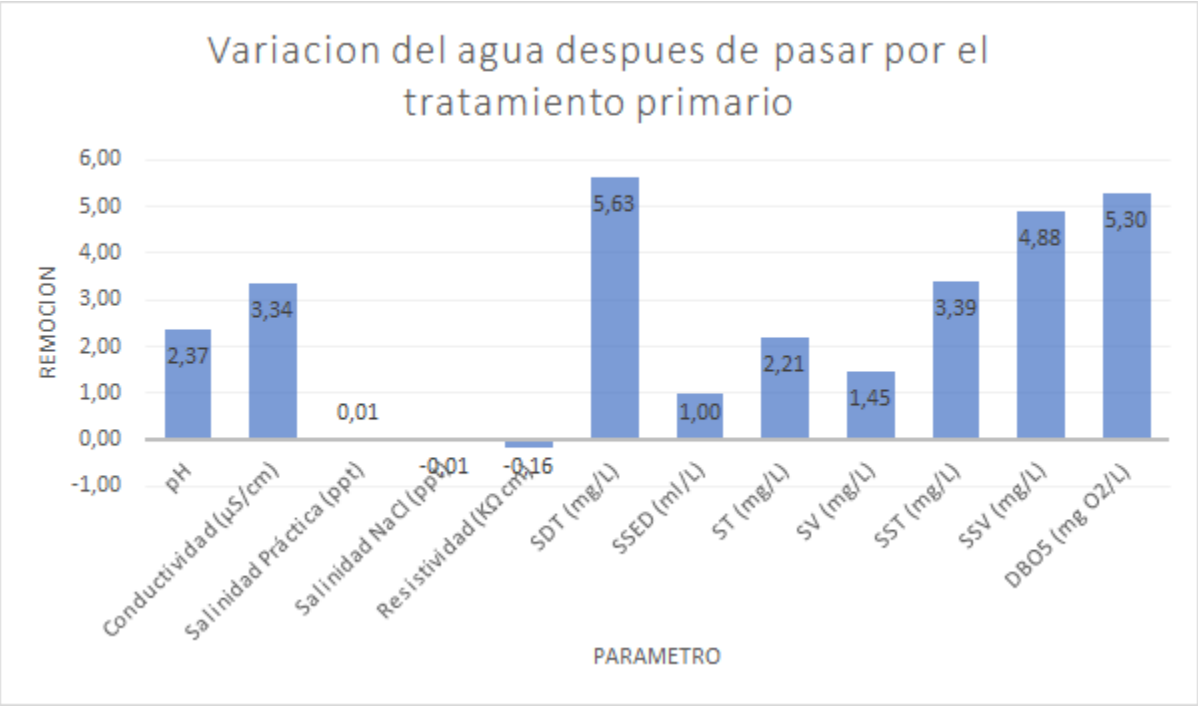
trampas se encontraban llenas de lodos por ende estas partículas orgánicas e inorgánicas no tenían suficiente espacio en el cual almacenarse y de la misma forma a movilizarse a otros espacios.

Las mediciones del agua se llevaron a cabo antes y después del pretratamiento y el tratamiento primario existente en el autolavado, en donde se pudo observar una gran disminución de contaminantes, como se observa en la figura 9, en donde se presentó una mayor disminución en los parámetros de sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y DBO_5 en esto tiene inferencias las rejillas sedimentadoras y las trampa de lodos en las cuales se remueve gran parte de los sólidos resultantes del proceso de lavado.

Por el contrario, la salinidad NaCl y la resistividad aumento luego de pasar por el tratamiento primario existente en el autolavado, aunque no se puede determinar si este incremento es positivo o negativo debido que la normativa 631 del 2015 no se encuentran los valores límites permitidos en agua residual para estos parámetros.

Figura 9.

Variaciones de agua antes y después del tratamiento primario existente



13.1.2.2 Toma de caudal y recopilación de tiempo de lavado y vehículos lavados en el mes

En la visita técnica al autolavado se realizó la medición del insumo más importante, el agua, en el proceso de lavado en el autolavado. Para esto fue necesario medir el volumen de agua de cada una de las 3 hidrolavadoras (por triplicado).

Figura 10.

Altura del agua en la caneca para la hidrolavadora 1

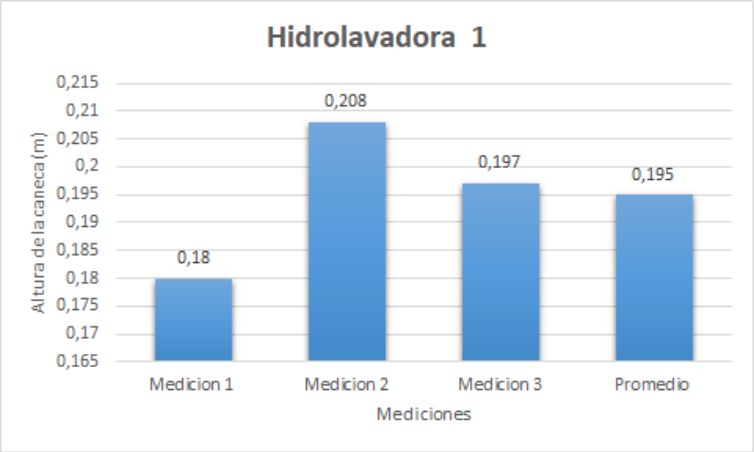


Figura 11.

Altura del agua en la caneca para la hidrolavadora 2

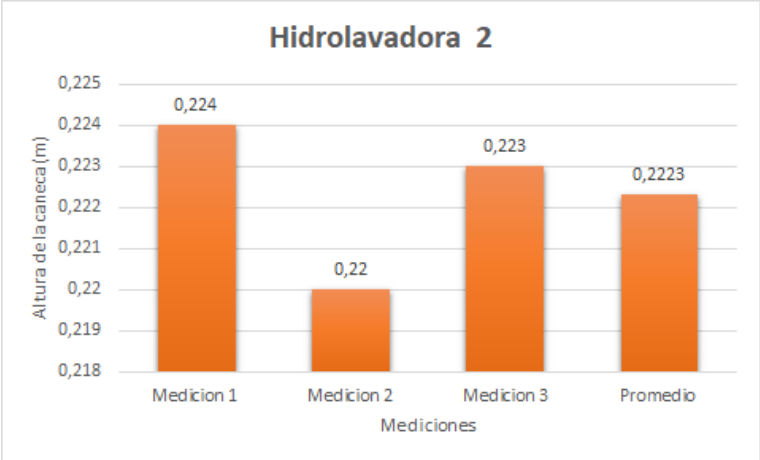
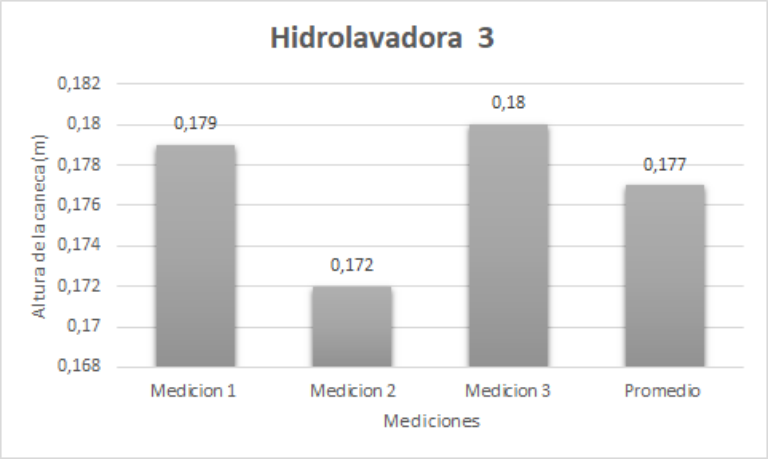


Figura 12.

Altura del agua en caneca para la hidrolavadora 1



Nota. Las siguientes figuras expresan la altura del agua en la caneca en 1 minuto, medida para poder calcular el caudal total del autolavado.

Calculando la altura de la caneca, se procede a calcular el caudal tomando como referencia el promedio de altura de la hidrolavadora 1 en la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad = \quad Q = \frac{Ao * h}{t} \quad = \quad Q = \frac{(\pi * r^2) * h}{t}$$

$$Q = \frac{(\pi \ * \ r^2) * h}{t}$$

$$Q = \frac{(\pi \ * \ 0{,}145\ m^2) * 0{,}195\ m}{60\ s}$$

$$Q = \frac{0{,}01288\ m^3}{60\ s}$$

$$Q = 0{,}00021467\ \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 12{,}880\ \frac{L}{min}$$

Se procedió a calcular el caudal de cada una de las hidrolavadoras utilizando el promedio de la altura de cada una y la fórmula empleada anteriormente teniendo como referencia la hidrolavadora 1:

Tabla 12.

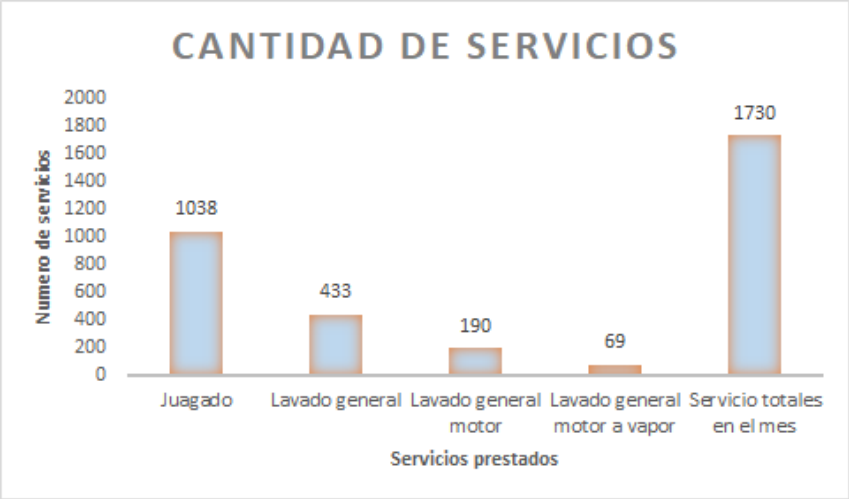
Calculo de caudal por cada hidrolavadora

Calculo de caudal por hidrolavadora			
Parámetro	Hidrolavadora 1	Hidrolavadora 2	Hidrolavadora 3
Altura en caneca (m)	0,195	0,222	0,177
Tiempo (s)	60	60	60
Pi	3,141593	3,141593	3,141593
$r^2(m^2)$	0,145	0,145	0,145
$Q(m^3/s)$	0,000214667	0,00024476	0,0001949
Q(L/min)	12,88	14,686	11,691

Luego del cálculo del caudal de cada uno de las hidrolavadoras, se procedió a calcular la cantidad de vehículos a los que se les presta el servicio de lavado. Para esto fue necesario solicitarles a los propietarios del autolavado los registros correspondientes desde el 22 de agosto hasta el 22 de septiembre del 2021. En estos reportes se recopiló la cantidad de vehículos que se lavan y qué tipo de servicio le prestan.

Figura 13.

Cantidad de servicios lavados



Luego de haber calculado el caudal de cada una de las hidrolavadoras, la cantidad de vehículos a los que le prestan el servicio y cantidad de vehículos por cada servicio prestado, Se procedió a calcular el tiempo en el que se utilizaba agua en cada uno de los servicios. Para esto fue necesario realizar la medida de tiempo por triplicado para cada uno de los servicios prestados.

Figura 14.

Tiempo de uso de agua en el servicio de juagado

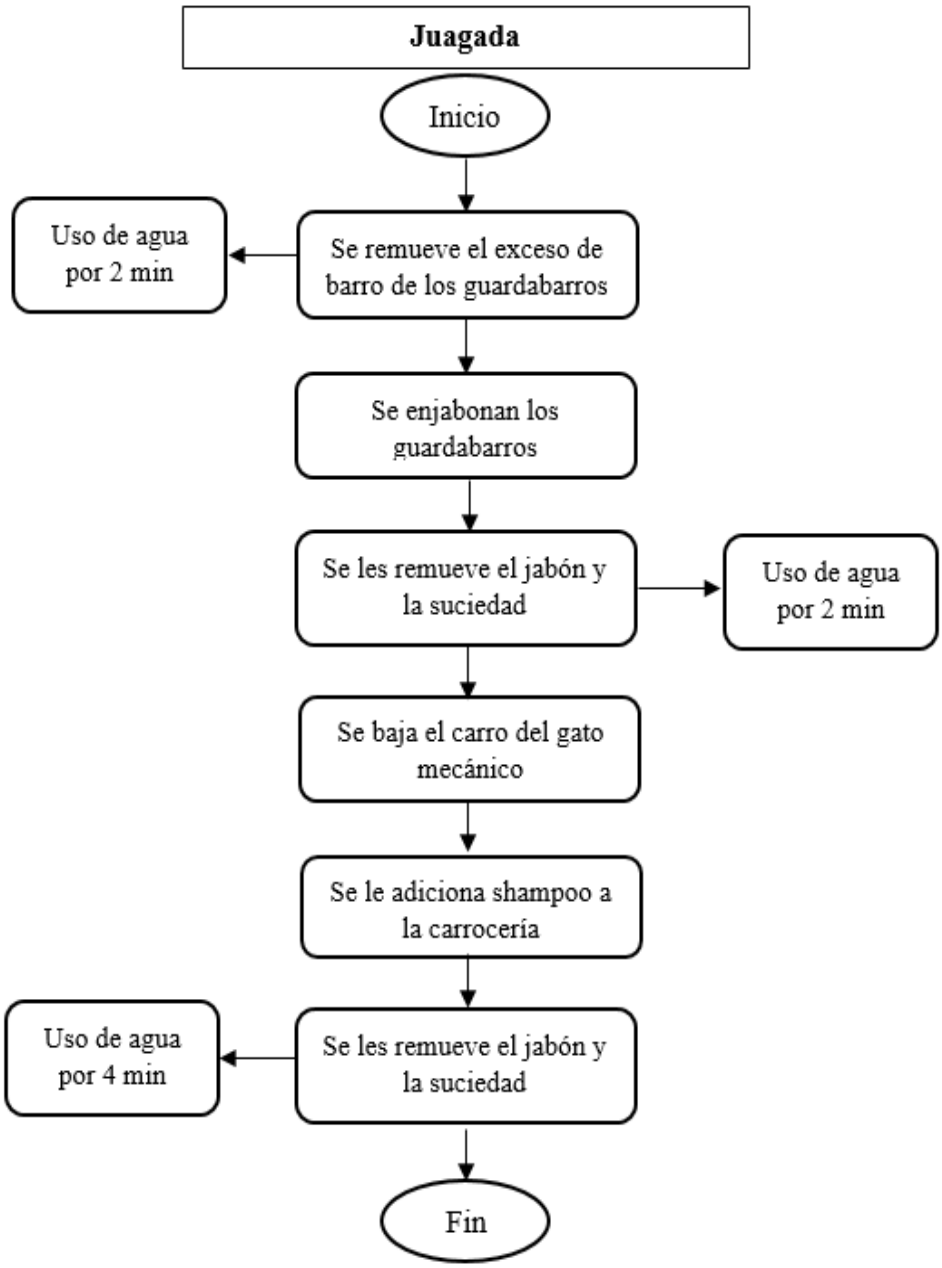


Figura 15.

Tiempo de uso de agua en el servicio de general

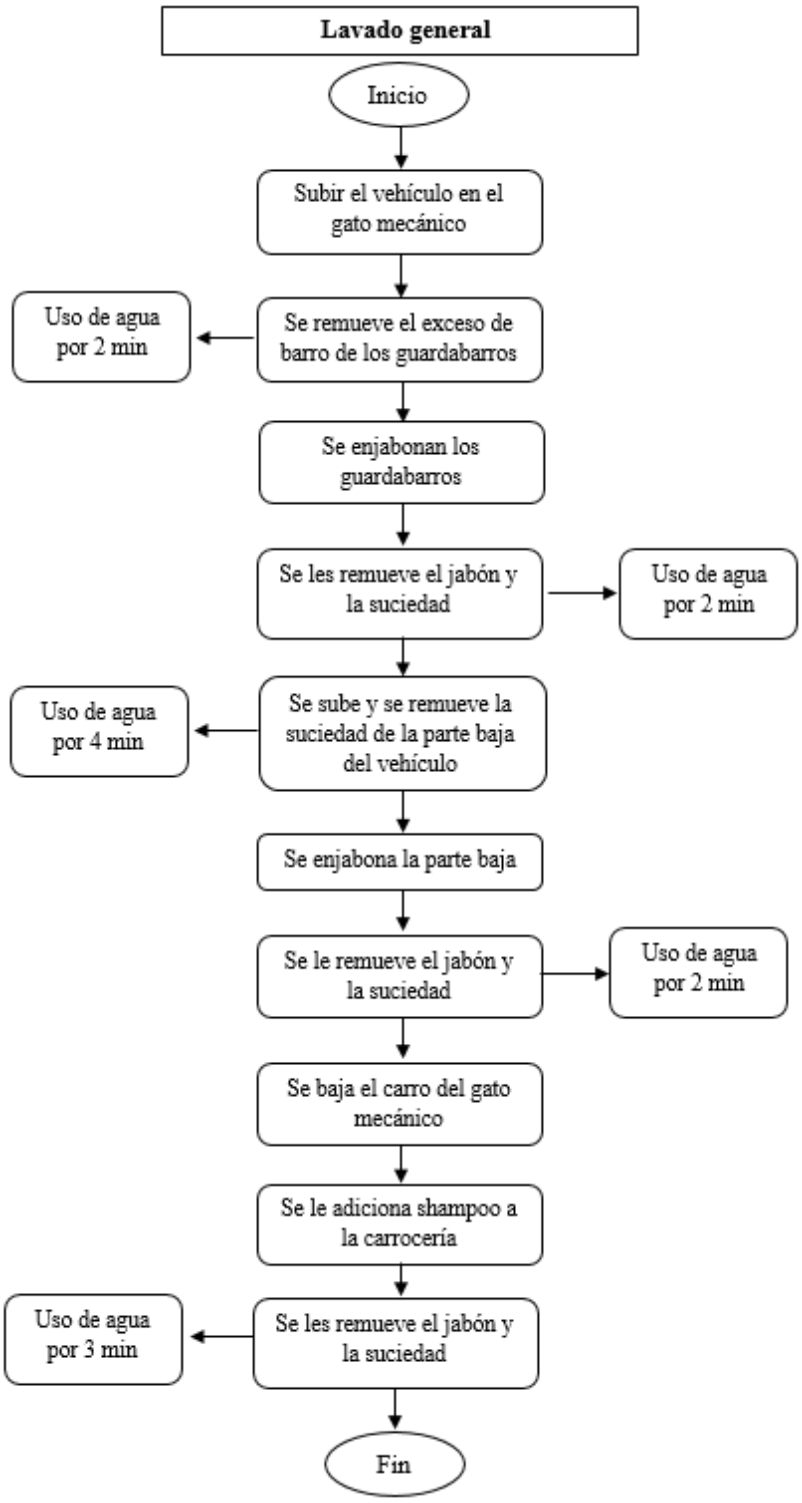


Figura 16.

Tiempo de uso de agua en el servicio de general motor

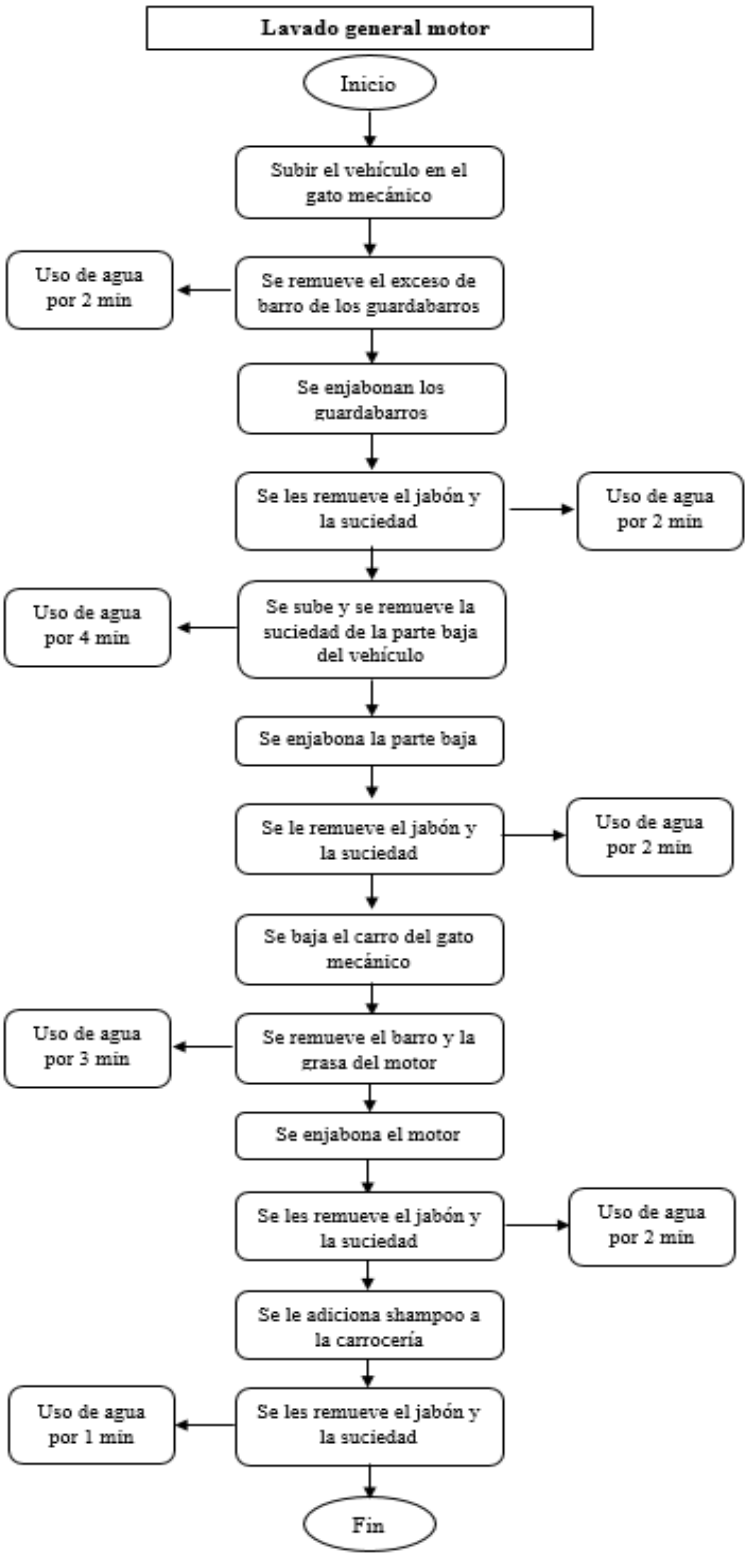
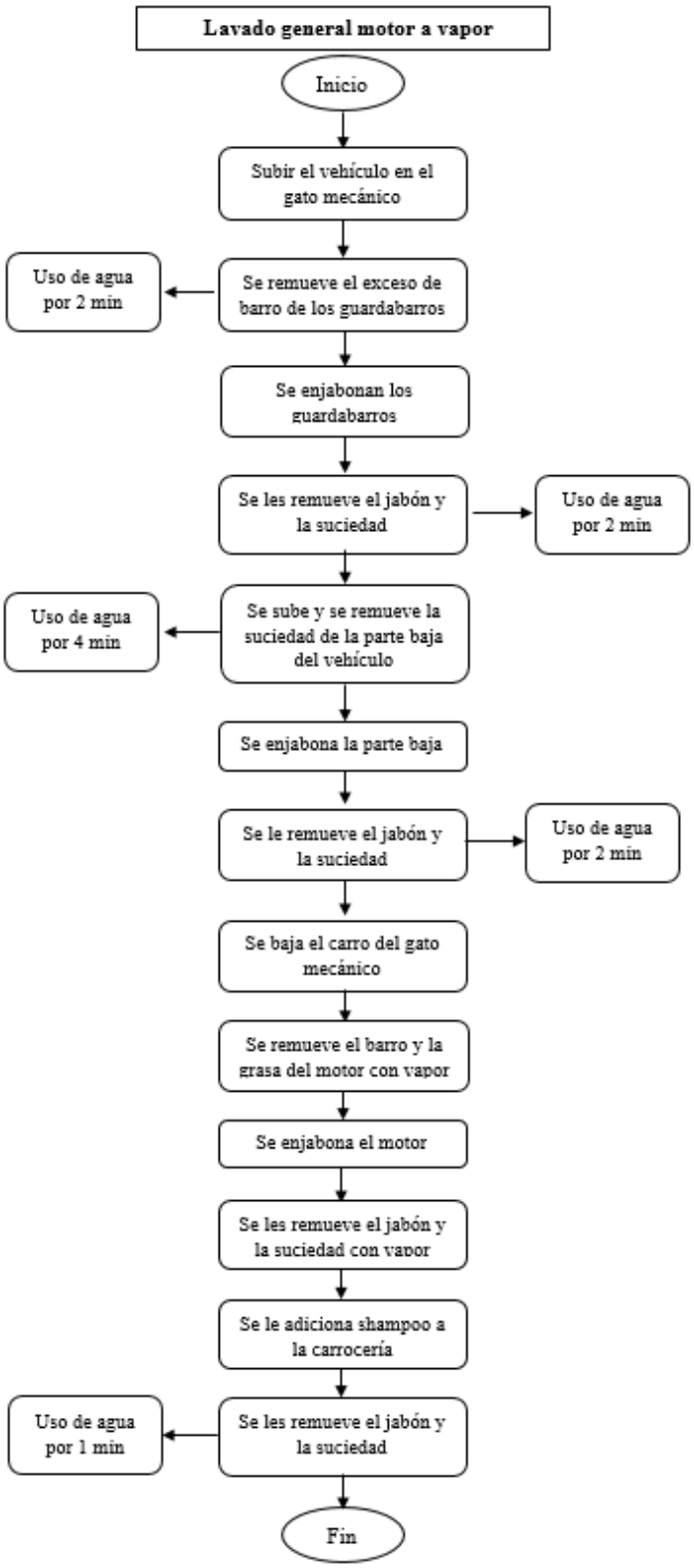


Figura 17.

Tiempo de uno de agua en el servicio de general motor a vapor



Luego de calcular el tiempo de uso de agua de cada servicio y la cantidad de litros que genera las hidrolavadoras, se procedió a calcular el caudal de cada uno de los servicios prestados por el autolavado (juagado, general, general motor y general motor a vapor). Se procedió a multiplicar el tiempo total de cada servicio y el caudal promedio de las hidrolavadoras. Esto con el fin de calcular la cantidad de agua total que se utiliza por cada servicio. como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 13.

Cantidad de agua utilizada por cada uno de los servicios

Cantidad de agua utilizada por servicio			
Servicio	Tiempo (min)	Caudal	Agua utilizada por servicio (L)
Juagado	5,3	13,086	69,79
Lavado general	13,5	13,086	176,66
Lavado general motor	16	13,086	209,38
Lavado general motor a vapor	13	13,086	170,12

Finalmente se realizó el cálculo de la cantidad total de agua que se utilizó entre el 22 de agosto y el 22 se septiembre del 2021. Para esto fue necesario multiplicar el agua utilizada por servicio y la cantidad de servicios que se realizaron en el mes (juagado, general, general motor y general motor a vapor) los cuales se calcularon anteriormente. Como resultado obtuvimos el caudal total como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 14.

Cantidad de agua utilizada en el autolavado entre el 22 de agosto y el 22 de septiembre.

Caudal total en 1 mes			
Servicio	Agua utilizada por servicio (L)	Servicios	Agua total por servicio (L/mes)
Juagado	69,792	1033	72444,10
Lavado general	176,661	433	76405,88
Lavado general motor	209,376	190	39844,25

Lavado general motor a vapor	170,118	69	11772,17
	Total (L)		200466,40
	Total (m^3)		200,47

13.1.2.3 Medir el área disponible para la implementación del tratamiento

Nos reunimos con los propietarios del autolavado del 29 de septiembre del 2021 para establecer la zona en la cual se implementará el sistema de tratamiento establecido. La zona que ellos escogieron como la más adecuada para la implementación de este sistema se encuentra ubicada encima de la cafetería del autolavado, puesto que este espacio está desocupado y disponible para su utilización.

Figura 18.

Área indicada por el propietario para la implementación del sistema de tratamiento

Posterior a esto realizamos la medición del lugar, en donde arrojó 5m de ancho y 4,70m de largo. Con esto se procedió a medir el área con la siguiente fórmula:

$$A = L * W$$

$$A = 4{,}70m * 5m$$

$$A = 23{,}5m^2$$

13.2 Objetivo específico 2. Realizar cotizaciones de sistemas de tratamiento con distintos proveedores con el fin de identificar lo que ofrece el mercado.

A partir del desarrollo de la metodología se obtuvieron los resultados del segundo objetivo específico del proyecto de investigación. Se realizaron un total de 30 cotizaciones entre las cuales se pudo conocer una visión integrada del mercado nacional en cuanto a tratamientos de aguas residuales para autolavados.

13.2.1 Actividad 1. Cotizaciones

Durante un periodo de tiempo de un mes y medio, comprendido desde el día 13 de septiembre hasta el día 22 de octubre del año 2021 se realizaron 30 cotizaciones a distintas empresas encargadas de prestar el servicio de construcción del tratamiento de agua residual (Anexo 8), entre las cotizaciones destacaron datos de interés, entre ellos: costos de inversión, costos de mantenimiento, dimensión de la infraestructura, garantías del tratamiento, reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado, y principalmente se conoció en detalle el tratamiento de agua residual propuesto por la empresa cotizada.

Luego de realizar las 30 cotizaciones se conocieron respuestas de 5 proveedores, de los cuales solo 2 proveedores cumplieron con el total de la información solicitada; estos proveedores son por un lado la empresa ambiente y soluciones integrales (ASI), la cual propuso una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) con procesos, incluidos: coagulación floculación y sedimentación. Por otro lado, la empresa Ingeaguas permitió llevar un control de los datos suministrados para conocer acerca de los tratamientos de agua residual que el mercado colombiano ofrece para los autolavados se obtuvo como respuesta una PTAR con procesos en especial aireación, coagulación y floculación.

Las informaciones suministradas por los proveedores a partir de las cotizaciones realizadas fueron almacenadas en una tabla de acuerdo con cada proveedor y a las características de cada tratamiento de agua residual propuesto para el autolavado “Tres-Tres”, esta información se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15.

Datos proporcionados por cada empresa

Cotizaciones	1	2
Dimensión infraestructura	15 m²	22,1m² doble altura
Costo de inversión	$47.920,.000	$43.486.149
Costo de mantenimiento	$915.334 mensuales	$ 689.820 mensuales
Garantías del tratamiento	- 2 años a partir de su puesta en funcionamiento en cualquier defecto de fabricación. - 6 meses en equipos de fuerza	- Garantía de operación - Garantía de funcionamiento - Garantía sobre la calidad del material: 5 años sobre los equipos revestidos en poliéster reforzado con fibra de vidrio - Garantía asistencia técnica postventa
Reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado	70%	90%

Esta información recolectada a partir de las cotizaciones permitió comparar si el proceso de investigación literaria-conceptual realizado por el ingeniero Daniel Esteban Parra es acertado respecto del contexto de la vida real donde influye la brecha entre lo teórico y lo que ofrece el mercado colombiano en cuanto a tratamientos de agua residual para autolavados. La tesis desarrollada por el hoy en día Ingeniero Ambiental Daniel Parra propuso tres tipos de tratamientos de agua residual para el autolavado "Tres-Tres", los cuales son: Electro-Fenton, Ultrafiltración y ECF-Sedimentación-filtración, estos resultados se pudieron evidenciar a partir del proyecto de investigación del estudiante.

A partir de las cotizaciones realizadas en el mercado colombiano a distintos proveedores se pudo conocer que, de 30 cotizaciones, 10 proveedores cuentan entre sus servicios los tratamientos de ECF-Sedimentación-filtración y ultrafiltración, a pesar de estar estas tecnologías en sus portafolios de servicios, durante el periodo en que se realizaron las cotizaciones no se pudo conocer una información concisa de implementar uno de estrés tres tratamientos. Esto permite evidenciar que el mercado

colombiano carece de la tecnología Electro-Fenton, debido a que en las 30 cotizaciones ningún proveedor contaba con este tipo de tecnología, en cuanto al tratamiento de electrocoagulación se conoció que de 30 cotizaciones 6 proveedores contaban con esta tecnología y finalmente el tratamiento ultrafiltración de 30 cotizaciones, 4 proveedores cuentan con este tipo de tecnología lo cual se puede evidenciar en el anexo 8.

La investigación en el contexto real de realizar cotizaciones para implementar un tratamiento de agua residual en el autolavado "Tres-Tres", dejó ver que los tratamientos propuestos por Daniel Esteban Parra, requieren de mayor tiempo para cotizar y conocer las especificaciones para implementar en un autolavado colombiano, debido a su poca oferta. Por otra parte, en el mercado colombiano se pudo identificar que los tratamientos que ofrecen los proveedores colombianos son tecnologías de Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), con procesos que incluyen aireación, coagulación, floculación y sedimentación.

13.3 Objetivo específico 3. Analizar las distintas opciones de tratamientos que ofrece el mercado, con el fin de identificar cuál sería la más aplicable a las necesidades del autolavado "Tres Tres", mediante la implementación de la metodología multicriterio

Con base en el desarrollo del tercer objetivo específico, se determinó en conjunto con los dueños del autolavado "Tres-Tres" los distintos criterios que evaluaron la viabilidad de las alternativas de tratamiento de agua residual propuestas a partir de la actividad de cotizaciones. Además, se definieron los niveles de importancia de cada criterio propuesto a partir de los intereses del dueño del autolavado.

Una vez definidas las alternativas, los criterios y sus respectivos niveles de importancia se procedió a desarrollar la matriz de precisión, en la cual se puntuaron las distintas alternativas y criterios. A partir de dicha puntuación se conoció la alternativa más adecuada para tratar las aguas residuales generadas en el autolavado "Tres-Tres", finalizando así el desarrollo de la metodología multicriterio.

13.3.1 Actividad 1. Definición de alternativas de tratamiento de agua residual

Las alternativas de tratamiento de agua residual propuestas fueron resultantes de las cotizaciones realizadas a los distintos proveedores que prestan el servicio de construcción de dicho tratamiento de agua residual. Se pudieron observar dos tipos de alternativas propuestas por la empresa Ambiente y Soluciones Integrales y por la empresa Ingeaguas.

Por un lado, la empresa Ambiente y Soluciones Integrales propuso un tratamiento de agua residual como alternativa. Esta se compone de un sistema con cribado, sistema de bombeo, unidad de precipitación química donde se desarrollan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, además cuenta con un dosificador de productos, tanque de pulmón y desinfección.

Por otro lado, la segunda alternativa de tratamiento de agua residual fue propuesta por el proveedor Ingeaguas. Dicha alternativa se compone de cribado, tanque desarenador, trampa de grasas, tanque de homogenización y oxidación de las aguas residuales, unidad de bombeo para alimentar la PTARR, planta de tratamiento para reuso con operación automática y continua con (dispositivos de aireación y mezclas de oxidante tipo venturi, bombas sumergibles, bombas dosificadoras de químicos, tanques de preparación química, unidad de floculación en manto de lodos y de sedimentación en alta tasa, paneles de sedimentación de alta tasa, tanque plástico de 500L, bomba centrífuga, unidad de filtración cerrada a presión descendente en arena, unidad de filtración cerrada a presión descendente en antracita y carbón activado y lechos de secado) y, por último, se cuenta con un tanque de almacenamiento para el agua tratada que se va a reusar.

A partir de la información suministrada por los proveedores se identificaron las dos alternativas con la información requerida completa, las cuales se evaluaron a partir de los criterios definidos en conjunto con los dueños del autolavado "Tres-Tres", para así ejecutar la metodología multicriterio y seleccionar la alternativa más adecuada para implementar en el autolavado.

Tabla 16.

Proveedores que cumplieron con todos los criterios

Alternativa	1	2
Empresa	ambiente y soluciones integrales	Ingeaguas

13.3.2 Actividad 2. Definición de criterios

Durante el desarrollo del tercer objetivo específico, se definieron los criterios que evaluaron las alternativas de tratamiento de agua residual, de acuerdo con los intereses del autolavado "Tres-Tres". Por

medio de un análisis general del autolavado “Tres-Tres” se propusieron cinco criterios con el fin de que el dueño del autolavado aceptara, rechazará o sugiriera estos criterios.

Los criterios que se propusieron a los dueños del autolavado analizaron cada uno de los tratamientos de agua residual conforme a los intereses particulares de la empresa, estos criterios propuestos fueron: La dimensión de la infraestructura, costos de inversión, costos de mantenimiento, garantía del tratamiento y reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado. Los criterios propuestos fueron aprobados por los dueños del autolavado “Tres-Tres”.

Para concluir la sub actividad de definición de criterios el dueño del autolavado sugirió un criterio adicional de acuerdo con sus intereses, el criterio propuesto fue la calidad de agua en el resultado final. Los resultados desarrollados fueron almacenados en la tabla 16 donde se pueden observar los criterios propuestos para el autolavado y además se puede visualizar el criterio propuesto por el dueño del autolavado:

Tabla 17.

Criterios estipulados por los propietarios del autolavado

Número	Criterios
1	Dimensión de la infraestructura
2	Costos de inversión
3	Costos de operación y mantenimiento
4	Garantías del tratamiento
5	Reducción en el servicio de Acueducto y Alcantarillado
6	Calidad de agua en el resultado final

Nota. Los criterios del 1 al 5 fueron propuestos por los autores y el 6 lo propusieron los propietarios del autolavado.

13.3.3 Actividad 3. Nivel de importancia

Con base en la definición de criterios desarrollada en conjunto con los dueños del autolavado "Tres-Tres" se procedió a realizar la asignación del nivel de importancia de cada uno de los criterios definidos, con el fin de decretar por medio de un porcentaje la jerarquía de cada uno de los criterios establecidos. Los criterios fueron asignados con su respectivo nivel de importancia por parte de los dueños del autolavado, estos niveles estuvieron entre el rango de 14% y 21%. Por un lado, dentro de los porcentajes determinados se destaca el criterio "costos de inversión", el cual obtuvo el mayor porcentaje, esto es, 21%; por otro lado, se pudo identificar el criterio "garantías del tratamiento" como aquel criterio con el menor porcentaje asignado por parte del dueño del autolavado, el cual fue de 14%.

La asignación de nivel de importancia se realizó a cada uno de los siete criterios determinados, para así clarificar los intereses del dueño del autolavado, se observó que al dueño del autolavado le interesa la parte económica que conlleva el tratamiento de agua residual debido a que los criterios con mayor importancia fueron costos de inversión con 21%, costos de mantenimiento con 18% y reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado que se observa en la disminución del pago de la factura con un 17%. Por otra parte, se observó que los intereses del dueño del autolavado estaban orientados al tratamiento de agua residual, frente a lo cual se obtuvo un 16% en el resultado final en relación con la calidad del agua. Finalmente, la dimensión de la infraestructura y las garantías del tratamiento fueron evaluadas con un nivel de importancia de 14% cada uno.

Con el fin de verificar la sub actividad *asignación de niveles de importancia* que da desarrollo al tercer objetivo específico, se procedió a realizar la sumatoria de todos los niveles de importancia asignados a cada criterio, esta debe tener un total de 100%. El resultado final de los niveles de importancia que asignaron los dueños del autolavado "Tres-Tres" arrojó un porcentaje de 100% lo que garantizo el éxito de la actividad.

Los niveles de importancia para cada criterio que asignó el dueño del autolavado "Tres-Tres" se observan en la tabla 17 con su respectiva sumatoria:

Tabla 18.

Niveles de importancia asignados por los propietarios del autolavado "Tres Tres"

Número	Criterios	Nivel de importancia (%)
1	Dimensión de la infraestructura	14
2	Costos de inversión	21
3	Costos de mantenimiento	18
4	Garantías del tratamiento	14
5	Reducción en el servicio de Acueducto y Alcantarillado	17
6	Calidad de agua en el resultado final	16
	Total	100

13.3.4 Actividad 4. Evaluación multicriterio

Después de haber desarrollado las alternativas de tratamiento de agua residual, la definición de criterios y la asignación de niveles de importancia, se procedió a evaluar cada criterio a partir de la información suministrada en cada cotización de acuerdo con los intereses del dueño del autolavado "Tres-Tres" plasmados en los niveles de importancia. Esta evaluación permitió definir los puntajes que van asignados en la matriz de precisión de la metodología multicriterio, este puntaje va desde 0 a 3, siendo 0 equivalente a nulo, 1 equivalente a bajo, 2 equivalente a medio y 3 alto. Este puntaje evaluará cada criterio con su respectiva alternativa, esta que cuente el puntaje más cercano a 3 será la más adecuada para implementar en el autolavado.

13.3.4.1 Proveedor A. Ambiente y Soluciones Integrales.

- **Dimensión de Infraestructura**: El área que se tiene para implementar el tratamiento de agua residual en el autolavado es de 23.5m². La tecnología propuesta por el proveedor ocupa un área de 15m², entre la unidad de precipitación química la cual tiene un área de 3m² y el tanque de pulmón el cual tiene un área de 12m². Por esta razón las dimensiones de este tratamiento de agua

residual son adecuadas con base en el área disponible, pero no es menor al del otro tratamiento propuesto. Por ende, este criterio se puntúa con 3.

- **Costo de Inversión:** Con base en la información suministrada por el proveedor, este tratamiento de agua residual cuenta con:
    - Cribado: Esta unidad permite realizar la retención de sólidos mayores en el agua previo al ingreso a las unidades de tratamiento
    - Sistema de bombeo: Bomba sumergible para dirigir el agua del tanque de igualación al sistema de tratamiento.
    - Unidad de precipitación química: Unidad donde se llevan a cabo los procesos de coagulación, floculación y sedimentación para retirar cargas contaminantes en el agua.
    - Dosificador de productos: Equipos eléctricos que se encargan de suministrar los productos químicos a la unidad de precipitación química.
    - Tanque pulmón: Unidad a donde llega el agua una vez que pasa por la unidad de precipitación química, posteriormente se direcciona a filtración.
    - Sistema de bombeo: Bomba centrífuga para dirigir el agua del tanque de pulmón al sistema de filtración.
    - Batería de filtración: Estas unidades permiten realizar la retención de sólidos finos en el agua que puedan pasar de los anteriores procesos de tratamiento.
    - Desinfección: Sistema de desinfección donde se aplica cloro para eliminar los microorganismos presentes en el agua.

      El costo total de inversión para la implementación del tratamiento de agua residual es de $47.920.000 pesos colombianos con IVA incluido, el cual es un costo superior en comparación del otro tratamiento de agua residual propuestos por lo cual se le asigna un puntaje de 2.

Costos de operación y mantenimiento: Los costos de operación y mantenimiento para este tipo de tratamiento de agua residual fueron suministrados por parte de la empresa cotizada Ambiente y Soluciones Integrales la cual se puede observar en el anexo 12. Estos costos incluyen los valores económicos gastados en energía eléctrica al mes de $150.134 pesos colombianos con IVA incluido. Además, se incluyen los gastos en insumos los cuales son por periodo mensuales por un valor de $565.200 pesos colombianos IVA incluido, los cuales incluyen cambio de grava y arena, cambio de

carbón activado, soda cáustica, polímero aniónico y cloro en pastas. Así mismo se incluyeron los costos de mantenimiento mensual por un valor de $200.000 pesos colombianos IVA incluido.

A partir de los precios cotizados para el mantenimiento y operación del tratamiento de agua residual propuesto por la empresa Ambiente y Soluciones Ambientales, se conoció el costo económico para su debida operación y mantenimiento por mes con un valor de $915.334 pesos colombianos con IVA incluido. Por esta razón y al comparar con el otro tratamiento de agua residual propuesto se puntúa con 2.

- **Garantías del tratamiento:** Las garantías de tratamiento incluyen por un lado 2 años a partir de su puesta en funcionamiento en cualquier defecto de fabricación y por otro lado 6 meses en equipos de fuerza. Estas garantías al ser comparadas con las garantías del tratamiento de agua residual propuesto por la empresa INGEAGUAS, este tratamiento tiene menor tiempo que el otro por ende se puntúa con 2.
- **Reducción en el servicio de Acueducto y Alcantarillado:** La reducción en el servicio de acueducto y alcantarillado va hasta un 70% al implementar este tipo de tratamiento de agua residual, a pesar de ser un porcentaje alto de reducción está 20% por debajo del tratamiento de agua residual propuesto, por esta razón se puntúa con 2.

- **Retorno de inversión**

Tabla 19.

Valor que cancela el autolavado a la empresa de Acueducto y Alcantarillado

Servicio	Descripción	Unidad	Valor unitario	Valor total	(-)Subsidio (+) Aporte	Total a pagar
Acueducto	Cargo fijo no residencial	1	$13.893	$13.362	$6.947	$20.309
	Consumo no residencial (m^3)	200	$2.750	$550.000	$275.000	$825.000
Alcantarillado	Cargo fijo no residencial	1	$6.604	$6.604	$3.302	$9.906
	Consumo no residencial (m^3)	200	$2.833	$566.600	$283.300	$849.900

total	$1,705.115

El valor mensual de acueducto y alcantarillado que cancela el autolavado "Tres Tres" es de $1,705.115, tal como se observa en la tabla 18. Con la implementación de este tratamiento se reduciría un 70% el uso de agua en un autolavado, lo que sería equivalente a $1,193.350. De tal forma que el autolavado pagaría $511.534 a la empresa de acueducto y alcantarillado por el servicio prestado.

Ahora bien, la empresa tendrá como gastos mensuales el pago de acueducto y alcantarillado que son $511.534 y el pago por el mantenimiento del sistema de tratamiento que tiene un valor de $915.334. Teniendo un total de gastos mensuales de $1,426.868.

Tabla 20.

Tiempo de retorno implementando tratamiento de la empresa ASI.

Valor del servicio se acueducto y alcantarillado	$1,705.115
Gatos mensuales de la empresa	$1,426.868
Ahorro económico de la empresa	$278.247
Valor del tratamiento	$47.920.000
Meses en que se recupera la inversión	172 meses (14 años)

La inversión de la empresa con este tratamiento se recuperará en 172 meses esto es debido a que la inversión para el mantenimiento mensual de este tratamiento es muy elevada. Esto quiere decir que el costo de inversión se recuperará en 14 años por lo tanto es un periodo de tiempo amplio, lo cual puede generar una disminución en la viabilidad de implementación, debido a que los intereses del propietario del lavadero son netamente económicos.

- **Calidad de agua en el resultado final:** El agua se garantiza a la salida del sistema con unas condiciones de agua según la Resolución 1207 de 2014 por la cual se establecen las disposiciones

relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Totalmente apto para reuso y sin generar problemas en las instalaciones hidráulicas de la locación del proyecto. Con base en los parámetros establecidos de calidad de agua la resolución se enfoca en estándares, por lo cual se puntúa con 3.

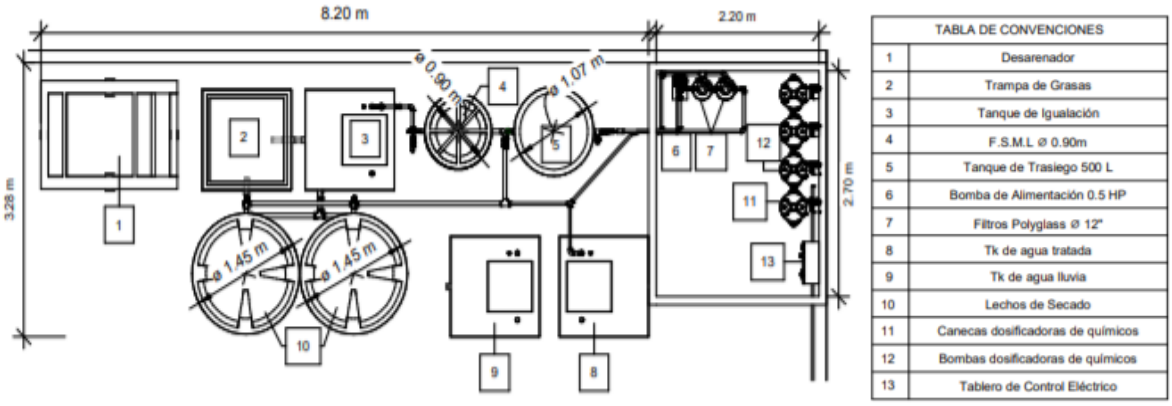
13.3.4.2 Proveedor B. Ingeaguas

Dimensión de Infraestructura: El área que posee el autolavado "Tres-Tres" para la implementación del sistema de tratamiento es de 23,5m2 y el sistema propuesto por la empresa Ingeaguas tiene un área de 22,1m2 distribuyendo el tratamiento en una infraestructura de 2 alturas. Por esto, se le da una puntuación de 2.

A continuación, se puede observar el plano del sistema de tratamiento propuesto por la empresa Ingeaguas, en donde se puede observar cada uno de los dispositivos a implementar con sus respectivas medidas. Este plano se puede observar más detalladamente en el anexo 10.

Figura 19.

Plano del proyecto de la empresa ingeaguas



- **Costo de Inversión:** En los costos de inversión, la empresa incluye dispositivos de aireación y mezclas de oxidante tipo Venturi, bombas sumergibles, bombas dosificadoras de químicos, tanques de preparación química, unidad de floculación en manto de lodos y de sedimentación en alta tasa, paneles de sedimentación de alta tasa, tanque plástico de 500L, bomba centrífuga, unidad de filtración cerrada a presión descendente en arena, unidad de filtración cerrada a presión descendente en antracita y carbón activado, lechos de secado y deshidratación de lodos, tablero

eléctrico, switches de control de nivel, kit de cloro y pH, conexiones hidráulicas y eléctricas, productos químicos, manual de instalación, operación y mantenimiento y programa de ingeniería, todo esto tiene un costo de $43.486.149 con el IVA incluido. Este es el tratamiento más económico por lo cual se le da una puntuación de 3.

- **Costos de operación y mantenimiento:** Para los costos de mantenimiento la empresa INGEAGUAS suministra una cotización la cual se puede observar en el anexo 11 en donde incluyen el costo energético por las bombas que se utilizan en el proceso, el costo por los productos químicos que son Peróxido de Hidrógeno, Cal Hidratada Tipo N, Sulfato de Aluminio Tipo B líquido o PAC líquido y Cloro Granulado HTH al 65% y por último incluye el costo de operación por la mano de obra del operario. Todo esto tiene un costo de $689.820 por cada mes. Teniendo en cuenta que en el otro sistema de tratamiento sus costos de operación son de $915.334. A este se le asigna una puntuación de 3.
- **Garantías del tratamiento:** La empresa cuenta con 4 garantías en la implementación del sistema que son:
    - Garantía de operación: La empresa se compromete a capacitar a la persona encargada del uso y mantenimiento de la planta de tratamiento y a proveer el respectivo manual de operación y mantenimiento.
    - Garantía de funcionamiento: Realiza la puesta en marcha del sistema y realiza un análisis microbiano del agua tratada, en el cual se garantiza el correcto funcionamiento de la planta. Este se garantiza se realiza siempre y cuando el funcionamiento se realice correctamente como lo indica el manual.
    - Garantía sobre la calidad del material: El PRFV y el POLYGLASS son materiales con excelentes propiedades químicas y mecánicas, por esto tiene una garantía de 5 años para equipos revestidos en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Esta garantía no se cumplirá si fue ocasionado por malos usos.
    - Garantía asistencia técnica posventa: Cuenta con el departamento de ingeniería y servicio al cliente para asistencias técnicas virtuales, telefónica o virtual.

Este sistema de tratamiento cuenta con amplias garantías que dan seguridad al momento de su implementación por esto se le da una puntuación de 3.

- **Reducción en el servicio de Acueducto y Alcantarillado:** Con la implementación de este sistema de tratamiento la empresa tendrá una reducción mínima del 90% del costo de acueducto y alcantarillado. por esto tendrá una puntuación de 3.
- **Retorno de la inversión**

Por otro lado, conociendo el valor mensual que el autolavado "Tres Tres" paga por el servicio de acueducto y alcantarillado ($1,705.115) y conociendo que la empresa INGEAGUAS reduce hasta el 90%. Se puede calcular el valor que la empresa ahorraría en este servicio que es de $1,534.603 mensualmente. Con la implementación de este tratamiento la empresa de autolavado "Tres Tres" pagaría a la empresa de acueducto y alcantarillado por el servicio prestado $170.511.

La empresa tendrá como gastos mensuales el pago de acueducto y alcantarillado que son $170.511 y el pago por el mantenimiento del sistema de tratamiento que tiene un valor de $689.820. Teniendo un total de gastos mensuales de $860.331.

Tabla 21.

Tiempo de retorno implementando tratamiento de la empresa Ingeaguas.

Valor del servicio se acueducto y alcantarillado	$1,705.115
Gatos mensuales de la empresa	$860.331
Ahorro económico de la empresa	$844.784
Valor del tratamiento	$43,486.149
Meses en que se recupera la inversión	51,5 meses (4,3 años)

El retorno de la inversión para este tratamiento es de 4,3 años lo cual es mucho menor que el retorno de inversión del otro tratamiento, debido que el valor por el mantenimiento mensual del tratamiento es mucho menor y el valor por el uno del servicio de acueducto y alcantarillado es mucho menor.

- **Calidad de agua en el resultado final:** El agua tratada cumplirá con los parámetros establecidos en la Resolución 1207 de 2014, por la cual se establecen las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. A esto se le da una puntuación de 1.

13.3.4.3 Subactividad 1. Matriz de precisión

La matriz de precisión se construyó a partir de los criterios definidos, de las alternativas de tratamiento de agua residual y de la asignación de cada nivel de importancia de cada uno de los criterios, una vez definidos estos tres ítems se procedió a realizar la matriz de precisión en la cual se asignaron los valores entre 0 y 3 para cada relación entre criterios, alternativas y nivel de importancia, la cual evaluó cuál de las alternativas de tratamiento de agua residual es la más adecuada para implementar en el autolavado "Tres-Tres" con base en los interés y necesidades del dueño del autolavado.

De acuerdo con la metodología multicriterio y a la matriz de precisión, la alternativa de tratamiento de agua residual más adecuada para implementar en el autolavado es la que obtenga el valor total de la sumatoria de su operación entre la multiplicación del nivel de importancia y el puntaje asignado, más cercano al 3 como se aprecia en la tabla 21.

Tabla 22.

Matriz de precisión de los tratamientos

	Dimensión de la infraestructura	Costos de inversión	Costos de operación y mantenimiento	Garantías del tratamiento	Reducción de servicio de Acueducto y Alcantarillado	Calidad de agua en el resultado final	Total
Nivel de importancia	14%	21%	18%	14%	17%	16%	100%
Alternativa A ASI	3	2	2	2	1	3	2,13
Alternativa B Ingeaguas	2	3	3	3	3	3	2,86

Una vez desarrollada la matriz con sus respectivos puntajes y operaciones, por un lado, la alternativa de tratamiento de agua residual propuesta por la empresa proveedora Ambiente y Soluciones Integrales

(ASI) obtuve un puntaje de 2,13; por otro lado, la alternativa de tratamiento de agua residual propuesta por la empresa proveedora Ingeaguas obtuvo un puntaje de 2,86, lo cual permite evidenciar que la alternativa de tratamiento de agua residual propuesta por Ingeaguas es la más adecuada para implementar en el autolavado "Tres Tres" debido a su puntuación perfecta que suple todos los interés por parte del dueño del autolavado.

14 Conclusiones

Teniendo en cuenta los análisis realizados en el autolavado "Tres Tres" se pudieron observar algunas inconsistencias con su sistema de tratamiento, luego de examinar las pruebas de laboratorio realizadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se pudo observar que el autolavado no cumple con el parámetro de grasas y aceites estipulado por la Resolución 631 del 2015. Puesto que en los resultados de laboratorio arrojó un valor de 18 mg GyA/L y el valor límite permisible es de 15 mg GyA/L. También se debe tener en cuenta que en los análisis de laboratorio en esta investigación el parámetro de sólidos sedimentables tampoco cumple con los límites establecidos puesto que se obtuvo un valor de 1,4 mg/L y el valor límite es de 1,0 mg/L. Estas inconsistencias se podrían generar por dos motivos, el primero es que el tratamiento existente tenga alguna falla y el segundo es que en el momento en que se realizaron la toma de muestras las trampas de lodos y grasas se encontraban llenas.

Para poder suministrar el caudal mensual de agua que se utiliza en el autolavado a los proveedores de tratamientos, fue necesario realizar varias mediciones. Para esto se midió el promedio de la cantidad de agua que expulsan las 3 hidrolavadoras el cual es de 13,1 L/min, posterior a esto se calculó el total de servicios realizados desde el 22 de agosto al 22 de septiembre del 2021 donde se obtuvo un resultado de 1730 servicio de los cuales se sacó el % por cada servicio (juagado, general, general motor y general motor a vapor) esto con el fin de calcular la cantidad de agua usada por cada servicio y finalmente se calcularon los tiempos en los que se utilizaba agua por cada servicio. Teniendo esta información se pudo calcular el caudal total por mes que utiliza la empresa el cual fue de 200,47 m3. Teniendo como referencia los 100 L estipulados para satisfacer las necesidades diarias de una persona según la OMS. Con el caudal utilizado mensualmente en el lavadero se puede mantener a 200,470 personas. Por esto es de vital importancia incorporar un sistema de reusó para disminuir el alto uso de agua.

Con base en las 30 cotizaciones realizadas se observó un panorama que requiere de más tiempo para cotizar en el mercado colombiano, frente a la oferta de proponer un tratamiento de agua residual para

autolavados por parte de las empresas proveedoras del servicio, debido a que en un periodo de un mes y medio de 30 cotizaciones realizadas solo dos suministraron la información requerida A diferencia del estudio realizado por Daniel Parra en el mercado de tratamientos de agua residual para autolavados en Colombia se proponen Plantas de Tratamiento para Recirculación y Reusó en lavado de vehículos (PTARR), las cuales cuentan con procesos de coagulación, floculación, sedimentación y aireación, siendo este tipo de tecnología capaz de tratar en volumen de agua residual generado en el autolavado "Tres-Tres" lo cual garantiza estándares de calidad que satisfacen la normatividad colombiana. Finalmente, al realizar las cotizaciones se pudo evidenciar que los tratamientos de agua residual propuestos por Daniel Parra (Electro-Fenton, Ultrafiltración y ECF-Sedimentación-filtración) a partir de una investigación literaria-conceptual no se encuentran en su mayoría en el mercado o se requiere de mayor tiempo para cotizarlos, este deja una dificultad para implementarlos en el contexto real de un autolavado en Colombia.

La alternativa propuesta por el proveedor INGEAGUAS fue la más acertada para implementar en el contexto del autolavado "Tres-Tres", debido a que cumplió con los criterios establecidos con el dueño del autolavado con base en sus intereses. El tratamiento de agua residual propuesto para el autolavado por parte de INGEAGUAS fue una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), la cual cuenta con procesos como aireación, coagulación y floculación, esta tecnología se adapta a las necesidades del dueño del autolavado "Tres-Tres" principalmente por un lado en cuanto al costo de inversión que se requiere para implementar el tratamiento el cual se adapta a los intereses establecidos, por otro lado las dimensiones de la PTAR propuesta por INGEAGUAS son adecuadas al espacio disponible en el lavadero. Por estas razones esta alternativa obtuvo un puntaje de 3 en la matriz multicriterio lo cual quiere decir que esta alternativa cumple satisfactoriamente con los criterios establecidos por el dueño del autolavado "Tres-Tres".

15 Recomendaciones

15.1 Sugerir al lavadero historial recibo del agua

Se recomienda al autolavado "Tres-Tres" recolectar periódicamente los recibos de agua con el fin de llevar un control del volumen de agua gastado y el volumen de agua que se ahorra al implementar el tratamiento de agua residual propuesto, para así tener un balance del valor económico que están

ahorrando en acueducto y alcantarillado mensualmente gracias a la implementación de un tratamiento de agua residual.

15.2 Tiempos de cotizaciones

En el mercado colombiano frente a proveedores de tratamiento de agua residual, se recomienda que a la hora de cotizar un tratamiento de agua residual se tomen más de dos meses para realizar el proceso, debido a que los proveedores se toman varias semanas en presentar una propuesta completa con costos económicos y características general del tratamiento. Es por esto que se requieren más de dos meses para poder concretar la información suministrada por el proveedor y así poder contar con una visión holística frente a las opciones que ofrece el mercado sin tener que dejar pasar cotizaciones por no tener en cuenta los tiempos establecidos para determinada actividad.

15.3 Brecha investigación literaria-concepto real

La investigación literaria-conceptual realizada por Daniel Parra, determinó tres tipos de tratamientos de agua residual para implementar en el autolavado "Tres-Tres". A partir de la investigación realizada en el contexto real del mercado colombiano y a partir de las cotizaciones se pudo identificar que estos tratamientos propuestos por Daniel Parra (Electro-Fenton, Ultrafiltración y ECF-Sedimentación-filtración) se encuentran disponibles en pocas empresas proveedoras. Por esta razón se denota una brecha grande entre la investigación literaria-conceptual y la investigación en un contexto real, se sugiere llevar de la mano los dos tipos de investigación para así tener una visión integrada del problema y tener una solución viable que se pueda aplicar en el contexto local de la situación.

16 Referencias Bibliográficas.

Acosta E. (2016) Mapa general barrio San Vicente Ferrer. Alcaldía local de Tunjuelito. Recuperado de: http://www.tunjuelito.gov.co/sites/tunjuelito.gov.co/files/mapas/san_vicente_ferrer.pdf

AEDyR. (2019) Reutilización de agua en Europa: hacia una regulación común. iagua. Recuperado de: https://www.iagua.es/noticias/aedyr/reutilizacion-agua-europa-regulacion-comun

Aguado Puig, A. (2018). Desarrollo sostenible: 30 años de evolución desde el informe Brundtland.
Álvarez Pinzón, G. L. (2017). El reúso de aguas residuales en Colombia. Derecho de aguas. Tomo VII.

Barbosa R. (2020). Asocapitales, cartilla objetivos de desarrollo sostenible, recuperado de:

https://www.asocapitales.co/nueva/wp-content/uploads/2020/06/Cartilla4-.pdf

Balboa, C. H., & Somonte, M. D. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. Informador técnico, 78(1), 82-90.

Betancourt, E., Llumitaxi, J., & Poma, A. (2 de septiembre de 2019). Gestión integral de riesgos de desastres y manejo sostenible del agua. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000400267

Britez F. (2019) Repensando las finanzas en la economía circular, ONG kora. Recuperado de: https://www.bbva.com/es/py/que-es-la-economia-circular-y-por-que-es-importante/

Carvajal R. (2016) Centro de lavado de vehículos en la ciudad de Antofagasta, Chile. Universidad de Chile. Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/143078/Carvajal%20Sanchez%20Roberto.pdf?sequence=2

Cansi, F., & Cruz, P. M. (2020). "Agua nueva": notas sobre sostenibilidad de la economía circular.

Chavéz, V (2013) Metodología de análisis multicriterio aplicación al crecimiento sostenible en la Unión Europea Recuperado de: https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/administrativas/article/view/8668

Hernández, S., & Posada, A. (21 de diciembre de 2018). AVANCES DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA. Obtenido de https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/1559/1079-Texto%20del%20art%c3%adculo-5406-1-10-20181215.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Feo, R (2015) Propuestas ambientalmente sostenibles frente al uso adecuado de agua en lavaderos de autos. Recuperado de: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10552/MONOGRAFIA_FINAL_REVISADA_Car_Wash%5B1%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ganiyu S., Vieira E., Tossi E., Martínez C. (2018) Electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs) as alternative treatment techniques for carwash wastewater reclamation. Federal (1)

Lavafante. (20 de enero de 2019). Medio Ambiente. Obtenido de Lavafante: http://lavafante.co/medio-ambiente/

López Luis, (2017) IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL USO DE TECNOLOGÍAS DE LAVADO EN LOS AUTOLAVADOS DE LA COMUNA SUR ORIENTAL DEL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ recuperado de https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1157/IMPACTO%20AMBIENTAL%20Y%20ECON%C3%93MICO%20DEL%20USO%20DE%20TECNOLOG%C3%8DAS%20DE%20LAVADO%20EN%20LOS%20AUTOLAVADOS%20DE%20LA%20COMUNA%20SUR%20ORI~1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez, Y., & Villalejo, V. (16 de abril de 2018). Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Obtenido de La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000100005&script=sci_arttext&tlng=en

Mazumder, D., and M. Somnath, 2011. Treatment of Automobile Service Station Wastewater by Coagulation and Activated Sludge Process. International Journal of Environmental Science and Development. 2(1).

MinAmbiente. (2020). Gestión integral del recurso hidrico. Demanda de agua Recuperado de:https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda

Miñón Martínez, J. (2017). Desarrollo y análisis técnico-económico de la gestión de nutrientes residuales en la producción de biomasa de algas para fines agrícolas y ganaderos.

Monroy N. (2018) El paradigma de la gestión ambiental y el desarrollo sostenible. Recuperado de: https://ediciones.uniandes.edu.co/Documents/Paginas%20preliminares/Preliminares%20JCR%2021_06_2017/Producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20limpia.pdf

Naciones Unidas. (2019 de agosto de 2019). Objetivos del Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Narváez V (2016) Tipos de investigación y productividad científica en las Ciencias de la Salud, recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/562/56243931011.pdf

Observatorio Ambiental de Bogotá. (2019) Indicadores ambientales por localidad. Secretaria Distrital de Ambiente. Recuperado de: http://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores-ambientales-por-localidad/

Okula, C. (2021) The World's Biggest Car Wash Is A Master Class In Efficiency recuperado de la revista motor 1. https://www.motor1.com/news/463967/mr-wash-car-wash-germany/

ONU. (2020). Organización de las Naciones Unidas. Agua. Recuperado de: https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html

Ortiz, C. (2020) Aguas residuales aceitosas generadas en autolavados de la ciudad de Cumaná, Venezuela. Recuperado de: https://www.redalyc.org/journal/707/70764230008/html/

Orts Maiques, F. J. (2017). TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE DISOLUCIONES DE TINTURAS OBTENIDAS A PARTIR DE LA MEZCLA DE COLORANTES REACTIVOS BIFUNCIONALES HIDROLIZADOS (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Plata D. (2020). DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE AUTOS. Recuperado de: https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7185/DISE%C3%91O%20Y%20AN%C3%81LISIS%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20RECUPERACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DE%20LAVADOS%20DE%20AUTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f) Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html

Pineda Buitrago, L. L. (2017). Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja-Boyacá.

Pulido, M. (2015) Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/310/31043005061.pdf

Quintero, M. E. (2017). La metodología multicriterial y los métodos de valoración de impactos ambientales. Recuperado de http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/17402/1/articulo4.pdf

Romero Z. (2020) Enfoque de la investigación. Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6571917

Sampieri, H. (2014) Metodología de la investigación. recuperado de: http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf

Sánchez A. (2017) Creación de un autolavado autospa nick, recuperado de: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13496/83042156.pdf;jsessionid=12A0F7A6C03D0B1F583A78982C2167F8.jvm1?sequence=1

Sandoval, V. P., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular. Memoria Investigaciones en Ingeniería, (15), 85-95.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2013) Requisitos ambientales, clasificación de proveedores y criterios ambientales para las compras públicas sostenibles de la SDA versión 2. Obtenido de: http://www.ambientebogota.gov.co/documents/17323/0/Criterios+Ambientales+SDA+version+2.pdf

Secretaria Distrital de Planeación. (23 de marzo de 2009). Conociendo la localidad de Tunjuelito. Obtenido de Diagnostico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documentos/06%20Localidad%20de%20Tunjuelito.pdf

Suarez Ramírez, A. M. (2016). Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Syed N., Ahmad J., Ahmed N., Khan N., Abid M. (2018) A low cost wastewater treatment unit for reducing the usage of fresh water at carwash stations in Pakistan. University of Engineering & Technology-Peshawar.

Uçar D. (2017) Membrande processes for the reuse of car washing wastewater. Harran University, Şanlıurfa, Turquía.

Veréb. G., Gayir V., Santos E., Fazekas Á., Kertész Sz., Hodúr C., László Zs. (2019) Purification of real car was wastewater with complex coagulation/flocculation methods using polyaluminium chloride, polyelectrolyte, clay mineral and cationic surfactant. University of Szeged, Hungary.

17 Anexos

Anexo 1.

Certificados de lodos del autolavado Tres Tres

SOLUCIONES AMBIENTALES CORTES SAS

CERTIFICA QUE:

La empresa **CORREDOR MARTINEZ YEIMI** Identificada **CON. NIT NO.52371087-0**dirección **CLL 56 SUR NO.31-57 entregó** a **SOLUCIONES AMBIENTALES CORTES SAS,** un volumen de **LODO HIDROCARBURADO** para disposición final, el cual se relaciona a continuación:

FECHA DE RECOLECCION	CANTIDAD KL	No. DE FORMATO	PLACAS VEHICULO
08/07/2017	18	4008	UFR 978

El volumen de lodos fue recolectado directamente en las instalaciones del Generador, y Fue movilizado por las unidades de transporte de la empresa **SOLUCIONES AMBIENTALES CORTES SAS, identificada con NIT. No. 900.708.109-9** con **REGISTRO DE MOVILIZACION No. 040** de la **RESOLUCION No.00788** del mes de Julio del **2012;** modificada por la resolución **NO. 00371 DE FEBRERO DE 2017**

Siendo entregado en la planta del dispositor final **TRATAR AMBIENTAL S.A.S.** Identificada con **NIT.No.900.677.141-0** Autorizado por la secretaria de ambiente. Mediante la resolución **8650 DE 2009 CESION TOTAL DE LA LICENCIA AMBIENTAL RESOLUCION 02848 DE 2015.**

En constancia de lo anterior se expide la presente en Bogotá D.C a los **04** días del mes de septiembre de 2017.

Atentamente,

JOSE HORACIO CORTES.
Gerente general

TEL. 3093793-3132949629 – KR 37 # 63 25 sur Bogotá, Colombia

solucionesambientales.304@hotmail.com

Escaneado con CamScanner

Anexo 2.

Informe de monitoreo y caracterización página 1

Es vida SAS	INFORME DE MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN		IDEAM LABORATORIO ACREDITADO NTC-ISO/IEC-17025 Resolución 2316/2016 Resolución 0678/2017
Código: F01-PT04	Versión: 7	Fecha:06/10/2019	Página 7 de 10

9. TABLA DE RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de campo y laboratorio de la muestra tomada en **AUTOLAVADO TRES TRES**. Estos resultados se comparan con los límites establecidos en la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Artículo 15 "Actividades industriales, comerciales, o de servicios diferentes contemplados en los capítulos V y VI" y Artículo 16, Vertimiento a alcantarillado público.

RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO
AUTOLAVADO TRES TRES - CALLE 56 SUR #31-57
CAJA DE INSPECCIÓN EXTERNA - MUESTRA CODIGO 3740-17
BOGOTÁ, CUNDINAMARCA - 07 de septiembre 2019

PARAMETRO	METODO	LC	UNIDADES	FECHA DE ANALISIS	RESULTADOS	COMPARACION NORMA	CUMPLIMIENTO
**Caudal	Volumétrico	N.A	L/s	07/09/2019	0,14	N.A	N.A
**pH	SM 4500 H+B	N.A	Unidades de pH	07/09/2019	7,28 - 7,76	5.0 -9.0	Cumple
**Temperatura	SM 2550 B	N.A	°C	07/09/2019	14,9 - 18,2	N.E	N.A
**SS	SM 2540 F	0,1	ml/L	07/09/2019	0,1 - 0,2	1,5	Cumple
DBO	SM 5210 B	3	mgO_2/L	07/09/2019	14	75	Cumple
DQO	SM 5220 C	40	mgO_2/L	07/09/2019	50	225	Cumple
Fenol	SM 5530 D	0,1	mg Fenol/L	07/09/2019	<0,10	0,2	Cumple
Aceites y grasas	SM 5520 D	8	mg GyA/L	07/09/2019	18	15	No Cumple
SAAM	SM 5540 C	0,1	mg SAAM/L	07/09/2019	0,58	Análisis y Reporte	N.A
SST	SM 2540 D	5	mg SST/L	07/09/2019	19	75	Cumple
Hidrocarburos	SM 5520 D F	8	mg /L	07/09/2019	<8	10	Cumple
Cloruros	SM 4500 Cl B	5	mg Cl	07/09/2019	13,2	250	Cumple
Sulfatos	SM 4500 SO_4^{2-} E	20	mg SO_4^{2-}/L	07/09/2019	34	250	Cumple
Alcalinidad	SM 2320 B	5	mg $CaCO_3$	07/09/2019	18	Análisis y Reporte	N.A
Dureza total	SM 2340 C	5	mg $CaCO_3$	07/09/2019	33	Análisis y Reporte	N.A
Dureza cálcica	SM 3500 Ca	15	mg $CaCO_3$	07/09/2019	37	Análisis y Reporte	N.A
Color Real (436nm)	ISO 7887	0,1	m-1	07/09/2019	1	Análisis y Reporte	N.A
Color Real (525nm)	ISO 7887	0,1	m-1	07/09/2019	0,6	Análisis y Reporte	N.A
Color Real (620nm)	ISO 7887	0,1	m-1	07/09/2019	0,2	Análisis y Reporte	N.A

Diagonal 81G No. 76B - 34, Teléfonos 4 326923 / 8 132302

Escaneado con CamScanner

Anexo 3.

Informe de monitoreo y caracterización página 2

Es vida SAS	INFORME DE MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN		IDEAM LABORATORIO ACREDITADO NTC-ISO/IEC-17025 Resolución 0316/2016 Resolución 1876/2017
Código: F01-PT04	Versión: 7	Fecha:08/10/2019	Página 5 de 10

7. MEDICIONES IN-SITU

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de campo.

DETERMINACIONES IN-SITU DE PH, TEMPERATURA, SOLIDOS SEDIMENTABLES Y CAUDAL
AUTOLAVADO TRES TRES - CALLE 56 SUR #31-57
CAJA DE INSPECCIÓN EXTERNA - MUESTRA CODIGO 3740-17
BOGOTÁ, CUNDINAMARCA - 07 de septiembre 2019

HORA	PH (unidades)	TEMP. (°C)	S.S. (mL/L)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	CAUDAL (L/s)	ALICUOTA
8:00	7,45	14,9	0,1	9,65	0,75	0,078	0,28
8:30	7,53	15,1	-	7,33	0,75	0,102	0,37
9:00	7,71	15,2	0,1	6,59	0,80	0,121	0,44
9:30	7,56	16,1	-	5,78	0,85	0,147	0,54
10:00	7,59	16,7	<0,1	4,9	0,85	0,173	0,63
10:30	7,62	17,1	-	5,61	0,80	0,143	0,52
11:00	7,53	17,5	<0,1	4,48	0,80	0,179	0,65
11:30	7,76	17	-	5,98	0,75	0,125	0,46
12:00	7,48	17,5	0,2	4,79	0,85	0,177	0,65
12:30	7,56	17,6	-	5,37	0,80	0,149	0,54
13:00	7,49	17,8	<0,1	4,62	0,85	0,184	0,67
13:30	7,53	17,7	-	4,34	0,75	0,173	0,63
14:00	7,58	17,9	<0,1	5,28	0,85	0,161	0,59
14:30	7,52	18,2	-	6,06	0,75	0,124	0,45
15:00	7,28	17,2	<0,1	7,72	0,65	0,084	0,31
15:30	7,36	17,4	-	6,69	0,70	0,105	0,38
16:00	7,49	17,6	<0,1	7,04	0,70	0,099	0,36

MEDICION DE CAUDAL

$Q = V/t$

Q: Caudal (l/s)
V: Volumen (l)
t: Tiempo (s)

$Qp = (\sum Q)/I$

Qp : Caudal promedio (l/s)
$\sum Q$: Sumatoria de Caudales (l/s)
I: Numero de muestras

Escaneado con CamScanner

Anexo 4.

Informe de monitoreo y caracterización página 3

Es vida SAS	INFORME DE MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN		IDEAM LABORATORIO ACREDITADO NTC-ISO/IEC-17025 Resolución 0316/2016 Resolución 1670/2017
Código: F01-PT04	Versión: 7	Fecha:08/10/2019	Página 8 de 10

PARAMETRO	METODO	LC	UNIDADES	FECHA DE ANALISIS	RESULTADOS	COMPARACION NORMA	CUMPLIMIENTO
*HAP	EPA 3510 C / EPA 8100	0,002	mg/L	07/09/2019	<0,002	Análisis y Reporte	N.A
*BTEX	EPA 5021A / EPA 8015D	0,1	mg/L	07/09/2019	<0,1	Análisis y Reporte	N.A
*AOX	EPA 1650 C	50	ug/L	07/09/2019	270	Análisis y Reporte	N.A
*Ortofosfatos	SM 4500-P-E	0,21	mg PO4/L	07/09/2019	<0,21	Análisis y Reporte	N.A
*Fósforo total	SM 4500 -P B,E	0,07	mg P/L	07/09/2019	0,286	Análisis y Reporte	N.A
*Nitratos	SM 4500 NO3 D	1	mg NO3/L	07/09/2019	2,71	Análisis y Reporte	N.A
*Nitritos	SM 4500 NO2 B	0,02	mg NO2/L	07/09/2019	<0,02	Análisis y Reporte	N.A
*Nitrógeno A	SM 4500 NH3-B, Asian Journal of	0,054	mg/L NH3-N	07/09/2019	0,120	Análisis y Reporte	N.A
*Nitrógeno total	Cálculo	3	mg N/L	07/09/2019	<3,0	Análisis y Reporte	N.A
*Compuestos semivolatiles fenólicos	EPA 3510 C / EPA 8041A	0,007	mg/L	07/09/2019	<0,007	Análisis y Reporte	N.A
*Cianuro	ASTM D7511-09	0,01	mg CN/L	07/09/2019	<0,01	0,10	Cumple
*Fluoruros	SM 4500 F- B,C	0,1	mg F-/L	07/09/2019	<0,1	5,0	Cumple
*Sulfuros	SM 4500 S2 F	1	mg S2-/L	07/09/2019	<1,0	1,0	Cumple
*Aluminio	SM 3030 E, SM 3111 D	1	mg Al/L	07/09/2019	<1.0	Análisis y Reporte	N.A
*Arsénico	EPA 7062, SM 3114 C	0,0025	mg As/L	07/09/2019	<0,0025	0,10	Cumple
*Bario	SM 3030 E, SM 3111 D	0,5	mg Ba/L	07/09/2019	<0,5	1,0	Cumple
*Boro	Norma ISO 9390:1990(E)	0,1	mg B/L	07/09/2019	0,1	Análisis y Reporte	N.A
*Cadmio	SM 3030 E, SM 3111 B	0,01	mg Cd/L	07/09/2019	<0,01	0,01	Cumple
*Zinc	SM 3030 E, SM 3111 B	0,05	mg Zn/L	07/09/2019	0,093	3,0	Cumple
*Acidez Total	SM 2310 B	2,54	mg CaCO3/L	07/09/2019	7,5	Análisis y Reporte	N.A
*Cobalto	SM 3030 E, SM 3111 B	0,001	mg Co/L	07/09/2019	<0,001	0,10	Cumple
*Cobre	SM 3030 E, SM 3111 B	0,1	mg Cu/L	07/09/2019	0,02	1,0	Cumple
*Cromo	SM 3030 E, SM 3111 D	0,1	mg Cr/L	07/09/2019	<0,1	0,10	Cumple
*Estaño	SM 3030 E, SM 3111 B	1	mg Sn/L	07/09/2019	<1,0	2,0	Cumple
*Hierro	EPA 7471 B SM 3112 B	0,2	mg Fe/L	07/09/2019	0,614	1,0	Cumple

Diagonal 81G No. 76B - 34, Teléfonos 4 326923 / 8 132302

Escaneado con CamScanner

Anexo 5.

Evaluación, control y seguimiento del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. BOGOTÁ Secretaría de Ambiente				EVALUACIÓN, CONTROL Y SEGUIMIENTO ACOMPAÑAMIENTO DE MONITOREOS DE CAMPO		
				Código:PM04-PR120-F1	Versión: 2	
CÓDIGO SDA			310821HA03			
TIPO DE PUNTO: PMAE				GEORREFERENCIACIÓN		
ITEM: SP SDVVI - Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI de la Resolución 631 de 2015 (Autolavados)				LATITUD (Y): 4°34'50.6"N		
HORARIO DEL MONITOREO: 16:20 15:20				LONGITUD (X): 74°8'30.5"W		
FECHA DEL MONITOREO: 2021-08-31				ALTITUD: 2502 msnm		
TIPO DE MUESTRA: Puntual				NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: Autolavado Tres Tres Mak		
NOMBRE DE LA ESTACIÓN/PUNTO DE MONITOREO:				NIT: 1033815350-2		
CUENCA: Tunjuelo		TRAMO: NA		DIRECCIÓN: CL 56 Sur 31 57		
LOCALIDAD: Tunjuelito				TELÉFONO: 3118974270		
BARRIO: San Vicente						
TIPO DE PARÁMETROS: Otros				REPRESENTANTE LEGAL Y/O CONTACTO: Kevin Ramos		
HORA	pH	Cond.	T. Agua	O.D.	SSED	CAUDAL
16:20:00	8.16	372	17		-0.1	0.214

					--	
					--	
Observaciones						
Se realizó un muestreo puntual al establecimiento Autolavado Tres Tres Makl, ocalizada en la dirección CL 56 Sur 31 57. El proceso productivo de este establecimiento es el.lavado de vehículos. Características Generales Origen del Vertimiento: Lavado de autos Horario de Descarga: 24 horas Tipo de Descarga: Intermitente durante el periodo de decarga diaria ya mencionado. Días que se genera el vertimiento:30 días/mes Horario y días de producción: 24 horas /7 días a la semana. Localización de la caja de inspección: Caja externa al frente de la CL 56 Consumo de agua del último mes: No brindan información. Persona que atendió la visita:Kevin Ramos Cargo: Representante Legal Sistema de Tratamiento: Pretratamiento cuentan con una trampa de lodos , trampas de grasa y canales perimetrales. T.Amb. 18.2°C Caudal 0.68 L/3.18 seg						

Anexo 6.

Entrevista realizada a trabajadores del autolavado Tres Tres

Entrevista trabajadores		
Persona 1	**Persona 2**	**Persona 3**
1. **Nombre**		
Yeimi Corredor	Josué Graciano	Ricardo Antón
2. **Edad.**		
43	25	22
3. **¿Qué labor cumple en el autolavado?**		
Propietaria	Administrador	Lavador
4. **¿Cuánta agua cree que gastan en el proceso de lavado de 1 vehículo?**		
20 Litros	30 a 40 Litros	40 o 50 Litros
5. **¿Cuánto es el consumo de agua mensual del autolavado?**		
40 m²	No sabe	No sabe
6. **¿Qué medidas se toman en el autolavado para ahorrar el agua?**		
Maquinaria de alta presión que disminuye, recolección de agua lluvias y recirculación del agua	Tratar de reutilizar el agua, saber administrar el agua	No sabe
7. **¿Cuánto es el pago por el servicio de agua a la empresa de Acueducto y Alcantarillado?**		
1.800.000	No sabe eso lo maneja los dueños	No sabe
8. **¿Qué materiales son usados para la actividad de lavado?**		
Hidrolavadoras, compresor, Chapucera	Hidrolavadoras	Hidrolavadoras, Chapucera
9. **¿Qué insumos utiliza para realizar la actividad de lavado?**		
Shampoo biodegradable, silicona, Desengrasante	Shampoo, jabón líquido, para las partes bajas usamos un jabón más fuerte que ya	Jabón, desengrasante, silicona

	es para desengrasar, silicona	
10. **¿De qué marca son los insumos utilizados?**		
Biológicos SA	biológicos SA	No sabe
11. **¿Los insumos utilizados son amigables con el medio ambiente?**		
Todos los productos tienen ficha técnica ecológica	No sabe	No sabe
12. **¿Cada cuánto realiza la visita al establecimiento la autoridad ambiental?**		
Más o menos con periodo de 3 meses	Anual	Cada mes
13. **¿Cuáles papeles son exigidos por la autoridad ambiental?**		
Prueba de vertimientos, visita de secretaria de salud, bomberas, cámara y comercio RUT, certificado de recolección de residuos peligrosos	cámara y comercio, visita de secretaria de salud, certificado de lodos	No sabe
14. **¿La autoridad ambiental exige algún tipo de tratamiento específico para el agua de esta actividad?**		
Si, el agua antes de salir al alcantarillado debe pasar por unas trampas que filtran la mayoría de las impurezas y sedimentación, adicional a la recirculación	Si, toca tratar el agua	No sabe
15. **¿Cuál es la disposición final que se le da al agua después de ser utilizada en la actividad de lavado?**		
Se recircula por 3 veces el tanque total y luego del proceso de sedimentación sale al alcantarillado	Si, esa agua cae directo a las trampas, pasa a las cajas y de ahí se va filtrando el agua	No sabe

16. **¿La empresa de autolavado cuenta con algún tipo de tratamiento para el agua?**		
Si, la recirculación y tratamiento por lechos filtrantes y carbón activo	Claro, porque así ayudaríamos al medio ambiente	Si, aquí tratan el agua pero no sabría explicarte el proceso
17. **¿Usted qué opina sobre la implementación de un sistema de tratamiento y reúso de agua residual para el proceso de lavado?**		
Totalmente de acuerdo por economía y ahorro, además y el más importante le ayuda al medio ambiente	Sí, porque así ayuda al medio ambiente	Yo lo veo bien porque es una ayuda al medio ambiente
18. **¿Qué tipos de tratamiento conoce para el agua residual de esta actividad?**		
Ninguna	No sabe	Ninguno
19. **¿Cree que la recirculación de agua le va a traer ventajas o desventajas al proceso de lavado? ¿Por qué?**		
Ventajas	Ventajas	Trae ventajas porque así sea ahorra mucha más agua

Anexo 7.

Entrevista realizada a los clientes del autolavado

Entrevista Clientes		
Persona 1	**Persona 2**	**Persona 3**
1. **Nombre**		
José Bohórquez	Segundo Bermúdez	Isidro Bello
2. **Edad**.		
32	26	63
3. **¿Qué tipo de vehículo tiene?**		
Nuevo Volkswagen amarok	Una moto	Renault sandero
4. **¿Cada cuánto manda a lavar el vehículo?**		
Cada 8 días o 15 días	Cada 15 días	Cada que se requiere
5. **¿Cuánto paga normalmente por el lavado del vehículo?**		

17 mil pesos	Algunas veces 15 otras 10	13 mil pesos
6. **¿Sabe usted cuánta agua gasta en el lavado del vehículo?**		
No, ni idea	No, ni idea	No
7. **¿Conoce otro proceso que no involucre el agua en el proceso de lavado de vehículo?**		
No	No	No
8. **¿Qué ventajas y desventajas cree que tendría el tratamiento y la recirculación de agua?**		
la ventaja es ahorrar agua, desventajas que sabrá uno que le pase al carro	si	Si claro, presupuestó
9. **¿Cree que el uso del agua reutilizada tiene algún efecto en el proceso de lavado?**		
Si, debe tener efecto claro	Ni idea	No debería tener si se hacen los procesos bien hechos
10. **¿Si se incorpora un sistema de tratamiento y reusó de agua residual en el lavadero que usted va habitualmente tendría algún problema?**		
No, para nada	No, yo seguiría asistiendo	Ningún problema
11. **¿Estaría dispuesto a pagar un poco más por un lavado donde se reduzca la cantidad de agua usada?**		
Si	Yo creo que debería ser lo mismo	Si son costos razonables, pues si

Anexo 8.

Empresas contactadas para cotizar el sistema de tratamiento

Cotizaciones			
Empresa	Contacto	Correo	Tratamientos
Ambiente y soluciones integrales	3208398553	asi@tratamientodeaguas.com.co	Electrocuagulacion
Pure water	310 2974616	ventas@abrarecubrimientos.com	
Ramguz	301 2162287		
TWM	318 4764577	informacion@twm.com.co	
Ingeaguas	3113775414		
DINDEP	310 8374573	dindep@une.net.co	Electrocuagulacion
Mathiesen		contacto-agua@grupomathiesen.com	Ultrafiltracion
Synertech	+57 - 5) 360 66 8	info@nyfdecolombia.com	
ASI	3208398553	asi@tratamientodeaguas.com.co	electrocoagulacion
Atica	3168331996	info@atica.co	
Biodynamic	7839235 3045256	santiagonavia@biodynamicgroup.com	electrocoagulacion
acuatecnica s.a.s	3102504066	info@acuatecnica.com	
DISIN	3106952698	disin@disin.com	
agroaguas	3217826992	agroaguas@agroaguas.co	
cerfibras	3115436153	cerfibras.sas@gmail.com	
Aquaoriente	3103451220	comercialaquaoriente.co	
aguatecnik		aquatechnikexp@aquatechnik.it	ultrafiltracion
Avalchem		avalchem-2013@hotmail.com	
Yara Colombia	3205274038		
Industria pronto	317 657 1818	comercial1@proton-colombia.com	
Heliar	300 275 2567	contacto@heliarwt.com	ultrafiltracion
ERCA	7024118	Ccomercial@ercasas.com.co	
Biotecnologia Colombia S A S	3107584687		Electrocuagulacion
Planeacion Estrategica Y Tecnologias Ambientales Planeta	3228580212		
Proton	3176571818	comercial1@proton-colombia.com	
Biomovil	310 379 0279	mercadeo@biomovil.net	ultrafiltracion
Aguacol	310 6881042		
Tecnoaguas	3103704615	recepcion@tencoaguas.com.co	
Sihsa	3203332345		
Acuameunier	3153352983		Electrocuagulacion

Anexo 9.

Definición de criterios y nivel de importancia por los propietarios del autolavado

Universidad el bosque
Facultada de ingeniería
Proyecto de investigación
Kevin Ramos y Cesar Ávila

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Definición de criterios

Buenas tardes, respetado señor(a) propietario del autolavado Tres Tres. Por medio del presente se solicita a usted su colaboración para la elaboración de los criterios y sus respectivos niveles de importancia, de acuerdo con los intereses del autolavado. Por ello, es de crucial importancia que nos ayude a diligenciar la siguiente información:

1. **Definición de criterios:** Los criterios que se observaran a continuación, se han propuesto a partir de un estudio realizado previamente en el autolavado. Para esto es necesario que nos muestre su conformidad o inconformidad frente a estos criterios, y también tendrá la oportunidad de proponernos criterios nuevos o cambiar los existentes.

Número	Criterios
1	Dimensión de la infraestructura
2	Costos de inversión
3	Costos de mantenimiento
4	Garantías del tratamiento
5	Reducción en el servicio de Acueducto y Alcantarillado
6	P.P Calidad del agua para el resultado final.
7	P.P

P.P: Propuesta propietario

2. **Nivel de importancia** de los criterios: A partir de los criterios definidos anteriormente, se procede a realizar la asignación del nivel de importa. Estos niveles se realizan en cuanto a los intereses de los propietarios, Dando un porcentaje donde la suma de todos estos sea del 100%.

Número	Criterios	Nivel de importancia (%)
1	Dimensión de la infraestructura	14
2	Costos de inversión	21
3	Costos de mantenimiento	18
4	Garantías del tratamiento	14

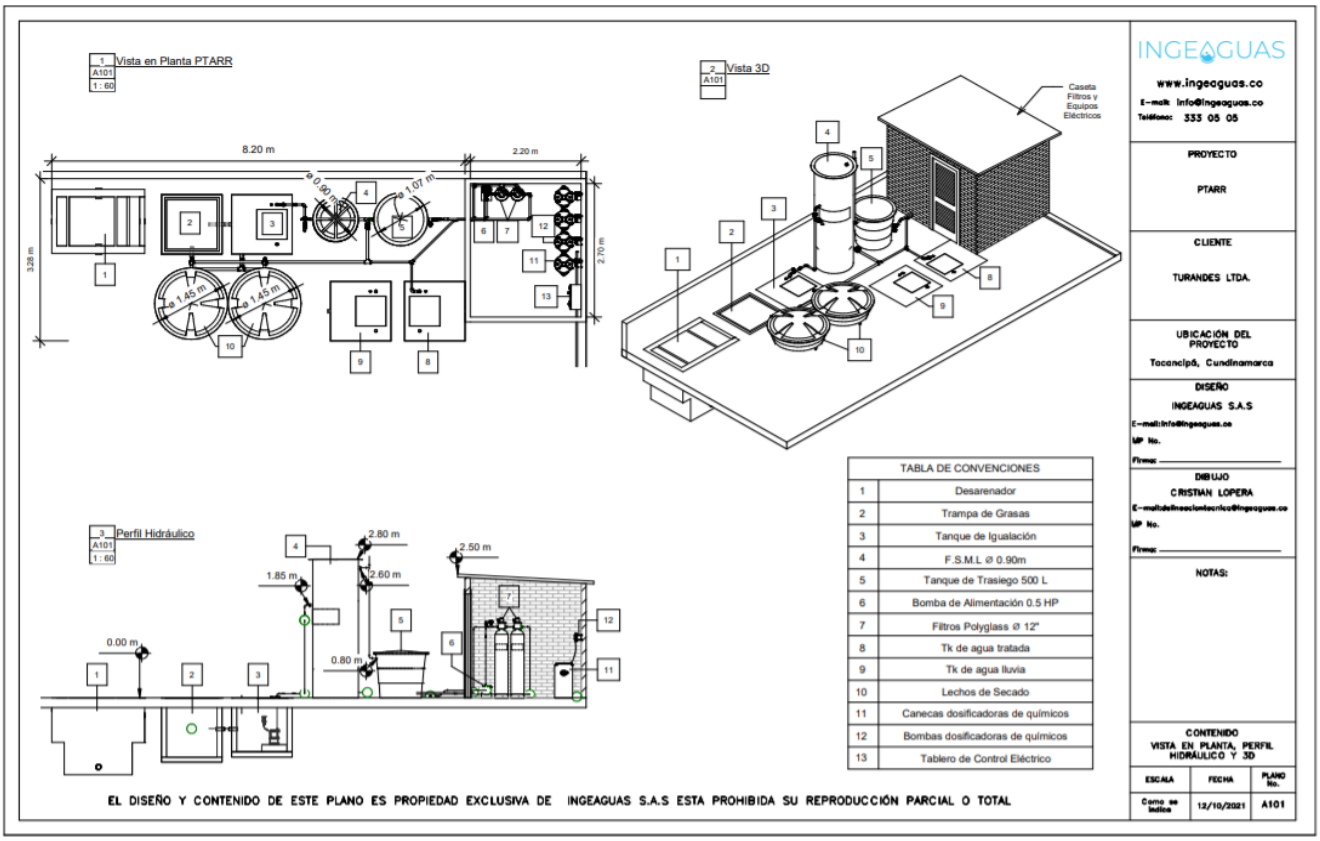
5	Reducción en el servicio de Acueducto y Alcantarillado	17
6	P.P Calidad del agua para el resultado final.	16
7	P.P	
Total		100

Visto bueno del propietario:

Firma Yeimi Conedo Martinez
Cedula: 52371087

Anexo 10.

Planos del sistema de tratamiento de la empresa Ingeaguas



Anexo 11.

Costos de mantenimiento del tratamiento de la empresa Ingeaguas

1. COSTOS ENERGÉTICOS (PESOS/DÍA)					
ESPECIFICACIÓN	**HORAS TRABAJO [h]**		**POTENCIA [KW]**	**$ KW/h**	**COSTO TOTAL [$/Día]**
Bomba succión de agua cruda 0,5 HP	12	Diario	0,3	$ 490	$ 1.764
Bomba trasiego a filtros 0,5 HP	12	Diario	0,3	$ 490	$ 1.764
				SUB-TOTAL	**$ 3.528**
COSTOS EN PRODUCTOS QUÍMICOS (PESOS/DÍA)					
ESPECIFICACIÓN	**Dosis [gr/ m^3]**	**Producción [m^3/día]**	**Total, químicos [gr/día]**	**Costo unitario [$/gr]**	**COSTO TOTAL [$/Día]**
Oxidante: Peróxido de Hidrógeno	50	10,37	518,4	$ 4,90	$ 2.540
Modificador de pH: Cal Hidratada Tipo N	10	10,37	103,7	$ 0,70	$ 73
Coagulante: Sulfato de Aluminio Tipo B líquido o PAC líquido	250	10,37	2592	$ 2,54	$ 6.584
Desinfectante: Cloro Granular HTH al 65%	2	10,37	20,7	$ 13,00	$ 270
				SUB-TOTAL	**$ 9.466**
3. COSTOS EN OPERACIÓN (PESOS/DÍA)					
ESPECIFICACIÓN	**Operación [Horas/día]**		**Costo de salario [$/hora]**		**Costo total [$/día]**
Mano de obra de operación: Salario mínimo + prestaciones sociales	1		$ 10.000		$ 10.000
				SUB-TOTAL	**$ 10.000**
				COSTOS DE OPERACIÓN DIARIA PLANTA PARA REÚSO	**$ 22.994**
				PRODUCCION DIARIA AGUA DE REÚSO m^3	**10,368**
				COSTO DE OPERACIÓN POR m^3	**$ 2.218**
				COSTOS DE OPERACIÓN POR MES	**$ 689.820**

Anexo 12.

Costos de mantenimiento del tratamiento de la empresa ASI

COSTOS DE OPERACIÓN - PTARnD LAVADERO DE VEHÍCULOS							
						CAUDAL (LPS)	0.2
						HR/DÍA	12
						CAUDAL (m^3/DÍA)	8.6
COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA							
EQUIPO	**POTENCIA (HP)**	**NUMERO DE UNIDADES**	**POTENCIA (KW)**	**TIEMPO DE OPERACIÓN(H)**	**$ KW/HORA (1)**	**VALOR MENSUAL**	**VALOR ANUAL**
Bombeo Inicial	0.5	1	0.37	12	541	$ 72.645	$ 871.746
Dosificadoras Eléctricas	0.1	3	0.07	8	541	$ 29.058	$ 348.698
Bombeo a Filtración	0.5	1	0.37	8	541	$ 48.430	$ 581.164
TOTAL						**$ 150.134**	**$ 1.801.608**
COSTOS INSUMOS							
PRODUCTO	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**VALOR**	**UNIDAD**	**VALOR MENSUAL**	**VALOR ANUAL**	
Cambio Grava y Arena	Bulto/Anual	6	$ 30.000	$/Bulto	$ 15.000	$ 180.000	
Cambio Carbón Activado	Bulto/Anual	3	$ 735.000	$/Bulto	$ 183.750	$ 2.205.000	
Soda Caustica	Bulto/Mes	1	$ 150.000	$/Tambor	$ 150.000	$ 1.800.000	
HQ1	Tambor/Mes	1	$ 130.000	$/Tambor	$ 130.000	$ 1.560.000	
Polímero Aniónico	Kg/Mes	1	$ 56.550	$/Kg	$ 56.550	$ 678.600	
Cloro en Pastillas	Kg/Mes	1	$ 29.900	$/Kg	$ 29.900	$ 358.800	
TOTAL					**$ 565.200**	**$ 6.782.400**	
MANTENIMIENTO							
FONDO MANTENIMIENTO				**VALOR MENSUAL**	**VALOR ANUAL**		
Mantenimiento correctivo				$ 200.000	**$ 2.400.000**		
ANÁLISIS SALIDA							
DESCRIPCIÓN					**CANTIDAD ANUAL**	**VALOR ANUAL**	
Un (1) Análisis anual de salida de 8 horas por laboratorio certificado para control eficiencia de la unidad.					1.0	$ 4.500.000	
					TOTAL	**$ 4.500.000**	
TOTAL COSTOS ANUALES						**$ 15.484.008**	
TOTAL COSTOS MENSUALES						**$ 1.290.334**	
TOTAL m^3/mes						**259**	
TOTAL $/$m^3$ tratado						**$ 4.978**	
Observaciones:							
***Los costos de operación se calculan para 0,1 LPS - 12 horas al día - 30 días al mes**							
***El cambio de material filtrante se realiza cada año se hace la estimación de proporción mensual.**							