

**Propuesta de diseño de un proceso para el aprovechamiento del agua residual en una empresa de productos químicos aplicando herramientas de economía circular**

Leidi Yohana Arévalo Calderón y Merylin Marcela Gutiérrez Gutiérrez

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI

Especialización en Gerencia de Operaciones

Miguel Ángel Urián Tinoco

Octubre, 2021

## **Agradecimientos**

Agradecemos a nuestras Familias que siempre nos han apoyado en nuestro proceso formativo; a la Vida y al Universo por guiarnos y mostrarnos las personas y elementos necesarios para crecer; a nuestra Alma Máter la Universidad ECCI y a todos los docentes que nos han inspirado a ser mejores y construir nuestro conocimiento como una herramienta de cambio en la sociedad colombiana.

Infinitas gracias a todos por permitirnos aprender y crecer en todos los aspectos que nos hacen ser mejores día a día.

## Tabla de Contenido

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Introducción.....                                      | 7  |
| 2.    | Resumen .....  | 7  |
| 3.    | Abstract .....   | 8  |
| 4.    | Palabras Clave .....                                   | 8  |
| 5.    | Key Words.....   | 8  |
| 6.    | Título de la Investigación .....                       | 9  |
| 7.    | Problema de Investigación .....                        | 9  |
| 7.1.  | Descripción del Problema .....                         | 9  |
| 7.2.  | Formulación del Problema.....                          | 10 |
| 8.    | Objetivos de la Investigación .....                    | 10 |
| 8.1.  | Objetivo General .....                                 | 10 |
| 8.2.  | Objetivos Específicos .....                            | 11 |
| 9.    | Justificación y Delimitación de la Investigación ..... | 11 |
| 9.1.  | Justificación .....                                    | 11 |
| 9.2.  | Delimitación.....                                      | 12 |
| 9.3.  | Limitaciones.....                                      | 13 |
| 10.   | Marcos de Referencia.....                              | 13 |
| 10.1. | Estado del Arte .....                                  | 13 |

|  |    |
|--|----|
| 10.1.1. Estado del Arte Nacional.....                | 13 |
| 10.1.2. Estado del Arte Internacional .....          | 19 |
| 10.2. Marco Teórico .....                            | 33 |
| 10.2.1. Agua .....                                   | 34 |
| 10.2.2. Economía Circular .....                      | 43 |
| 10.3. Marco Legal .....                              | 46 |
| 11. Marco Metodológico.....                          | 49 |
| 11.1. Recolección de la Información .....            | 49 |
| 11.1.1. Tipo de Investigación.....                   | 49 |
| 11.1.2. Fuentes de Obtención de la Información ..... | 49 |
| 11.1.3. Herramientas para la Investigación.....      | 50 |
| 11.1.4. Metodología de la Investigación.....         | 51 |
| 11.1.5. Información Recopilada .....                 | 53 |
| 11.2. Análisis de la Información .....               | 60 |
| 11.3. Propuesta de Solución.....                     | 63 |
| 11.3.1. Propuesta No. 1.....                         | 64 |
| 11.3.2. Propuesta No. 2.....                         | 68 |
| 11.3.3. Propuesta Seleccionada .....                 | 69 |
| 12. Impactos .....                                   | 71 |
| 12.1. Impactos Esperados .....                       | 71 |

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 12.2. | Impactos Alcanzados .....            | 72 |
| 13.   | Análisis Financiero .....            | 73 |
| 13.1. | Inversión.....                       | 73 |
| 13.2. | Utilidad.....                        | 73 |
| 13.3. | Retorno de la Inversión .....        | 74 |
| 14.   | Conclusiones y Recomendaciones ..... | 75 |
| 14.1. | Conclusiones.....                    | 75 |
| 14.2. | Recomendaciones .....                | 76 |
| 15.   | Bibliografía.....                    | 77 |

### **Tabla de Tablas**

|          |       |    |
|----------|-------|----|
| Tabla 1. | ..... | 54 |
| Tabla 2  | ..... | 56 |
| Tabla 3  | ..... | 57 |
| Tabla 4  | ..... | 57 |
| Tabla 5  | ..... | 58 |
| Tabla 6  | ..... | 73 |
| Tabla 7  | ..... | 74 |

**Tabla de Figuras**

|                 |    |
|-----------------|----|
| Figura 1 .....  | 44 |
| Figura 2 .....  | 48 |
| Figura 3 .....  | 59 |
| Figura 4 .....  | 60 |
| Figura 5 .....  | 61 |
| Figura 6 .....  | 62 |
| Figura 7 .....  | 63 |
| Figura8 .....   | 66 |
| Figura 9 .....  | 67 |
| Figura 10 ..... | 68 |
| Figura 11 ..... | 70 |

## **1. Introducción**

A través de procesos de tratamiento de aguas residuales se ha demostrado que se produce un impacto positivo en la salud pública, contribuyendo así a disminuir los daños medioambientales que resultan de las actividades humanas, ya que la presencia de agentes contaminantes sin ser tratados es totalmente perjudicial para el planeta.

Teniendo en cuenta la importancia de la sostenibilidad ambiental, equilibrando temas sociales, económicos y ambientales, este proyecto busca a partir del levantamiento de datos sobre el consumo de agua para la operación de la sección de empaque de líquidos industriales de una empresa de productos químicos, generar una propuesta basada en herramientas de economía circular que permita el aprovechamiento del recurso hídrico extendiendo así su ciclo de vida, generando además una reducción en los costos de este servicio para la compañía sobre la cual se efectuó la presente investigación.

## **2. Resumen**

Con este proyecto de investigación se buscó generar una propuesta para la reutilización del agua residual luego de su tratamiento químico, ya que se estableció que cumple con los parámetros establecidos para su recirculación en los procesos de limpieza de los productos y desinfección de las áreas en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa comercializadora de productos químicos abordada; para ello se utilizaron las herramientas que conforman el grupo de las 9'R de economía circular, buscando obtener el máximo provecho de este recurso, haciendo un uso responsable del mismo y generando una reducción tanto a nivel monetario como en el consumo en  $m^3$ . Como resultado se obtuvo una propuesta que consistió en

la instalación de una motobomba para la recirculación del agua residual tratada, con un cálculo de ahorro mensual promedio de \$147.643 correspondientes a 15,33 m<sup>3</sup>.

### **3. Abstract**

This research project sought to generate a proposal for the reuse of wastewater after its chemical treatment, since it was established that it complies with the parameters established for its recirculation in the processes of cleaning the products and disinfection of the areas in the industrial liquids packaging section of the chemical products trading company addressed; for this, the tools that make up the group of the 9'R of circular economy were used, seeking to obtain the maximum benefit from this resource, making a responsible use of it and generating a reduction both at a monetary level and in consumption in m<sup>3</sup>. As a result, a proposal was obtained that consisted of the installation of a motor pump for the recirculation of the treated wastewater, with an average monthly savings calculation of \$147,643 corresponding to 15.33 m<sup>3</sup>.

### **4. Palabras Clave**

Agua residual, economía circular, reutilizar, reducir, reciclar, tratamiento químico, medioambiente.

### **5. Key Words**

Residual water, circular economy, re-use, reduce, recycle, chemical treatment, environment.

## **6. Título de la Investigación**

Propuesta de diseño de un proceso para el aprovechamiento del agua residual en una empresa de productos químicos aplicando herramientas de economía circular

## **7. Problema de Investigación**

### **7.1.Descripción del Problema**

La empresa sobre la cual se realizó la investigación del presente proyecto lleva más de 30 años en el mercado, se dedica a la comercialización de materias primas para diferentes sectores de la industria química tales como: aseo, mantenimiento, alimentos, textiles, tratamientos de agua, cosméticos, construcción, sector agrícola, pinturas y recubrimientos, entre otros.

Dentro de las áreas de la empresa se encuentra la sección de empaque de líquidos industriales, en la cual se dispensan 72 productos diferentes en las siguientes presentaciones: garrafa, galón y kilo. Estos productos se encuentran organizados por compatibilidad química, es decir, se separan los solventes, los ácidos y los alcalinos.

Actualmente, la bodega donde se encuentra ubicada esta área cuenta con una planta de tratamiento para toda el agua que allí se consume; en esta zona se hayan tres tanques separados por compatibilidad química y el área de calidad es la que se encarga de realizar el tratamiento correspondiente.

Este tratamiento tiene un costo mensual promedio de \$793.016 dependiendo de los productos que se usen durante el proceso y de los metros cúbicos que se traten; sin embargo, una vez se realiza este procedimiento, la disposición final del agua es el alcantarillado, generando

desperdicios y falta de oportunidad para la empresa por el desaprovechamiento de este recurso, ya que su consumo tiene un costo mensual promedio de \$155.077.

Adicionalmente, aunque el agua que es desechada tiene un tratamiento, este recurso se está desperdiciando generando un impacto medioambiental negativo por el uso excesivo del mismo que podría desencadenar una contaminación de efluentes, puesto que su calidad es suficiente para la mayoría de los usos que se le dan en la empresa, razón por la cual no es necesario utilizar agua potable para gran parte de los procesos.

## **7.2. Formulación del Problema**

¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para realizar el diseño de una propuesta que permita el aprovechamiento del agua residual de una empresa de productos químicos aplicando herramientas de economía circular?

## **8. Objetivos de la Investigación**

### **8.1. Objetivo General**

Diseñar una propuesta que permita el aprovechamiento del agua residual tratada en la sección de empaque de líquidos industriales de una empresa de productos químicos, aplicando herramientas de economía circular.

## **8.2.Objetivos Específicos**

Realizar el levantamiento de datos para el análisis del proceso, con el fin de identificar los costos del consumo y del tratamiento de agua de la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada en el presente proyecto.

Identificar posibles soluciones existentes que se puedan emplear para generar un mayor aprovechamiento del agua tratada.

Analizar y seleccionar la mejor opción para la reutilización del agua tratada en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada en el presente proyecto, considerando el costo-beneficio de su implementación.

## **9. Justificación y Delimitación de la Investigación**

### **9.1.Justificación**

El presente trabajo busca generar una propuesta que contribuya de manera positiva social, económica y medioambientalmente, unificando los conocimientos adquiridos en la Especialización en Gerencia de Operaciones para su posterior aplicación en una empresa de productos químicos, a través de un proceso que permita la reutilización de aguas residuales que han sido tratadas previamente extendiendo así el ciclo de vida de este recurso.

El agua tratada, aunque no es potable puede ser usada nuevamente para muchas actividades, en el caso específico de la empresa de productos químicos abordada en la presente investigación se puede reutilizar para las mismas tareas que generan su tratamiento, que son el lavado de envases en la sección de empaque de líquidos industriales dispensados en las presentaciones de garrafa, galón y kilo. También se puede generar el aprovechamiento de este

recurso para el uso de los baños, del aseo de las instalaciones y demás labores diarias exceptuando su consumo, ya que no representa un riesgo para la salud.

Una de los principales objetivos de este trabajo es generar un modelo que, según los datos recopilados por la empresa hasta el momento respecto al agua tratada, permita un reaprovechamiento de entre un 93% y un 97% del agua utilizada en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada, haciendo partícipe a todo el personal involucrado en este proceso y generando conciencia sobre la importancia del cuidado del medioambiente a través del tratamiento del agua residual generada por los procesos manejados en la compañía.

Adicionalmente, aplicando herramientas de economía circular, se busca generar una propuesta de sostenibilidad que permita reducir al mínimo el desaprovechamiento del agua residual que es tratada actualmente en la empresa, contribuyendo así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible y a la conservación del recurso hídrico generando una ventaja competitiva en este aspecto para la empresa.

## **9.2.Delimitación**

El desarrollo de la propuesta de trabajo se deberá ejecutar en un período de 6 meses empezando desde el mes de junio de 2021 y terminando su estructuración en noviembre del mismo año. Es importante resaltar, que este trabajo busca desarrollar un modelo para la reutilización del agua residual en la sección de empaque de líquidos industriales ubicada en la bodega 20 de la empresa de productos químicos abordada; esperando que este, pueda replicarse en las demás bodegas de la compañía, previa autorización de los directivos para su ejecución.

### **9.3.Limitaciones**

Se cuenta con manejo confidencial de cierta información de la empresa, en cuanto a los productos y todo el manejo que se les da. Por otro lado, el espacio con el que se cuenta no es muy amplio, ya que todo está delimitado por áreas; por ende, este aspecto se debe tener en cuenta para el desarrollo de la presente propuesta. Adicionalmente, la empresa autorizó a las autoras del presente proyecto para que realizarán la investigación respectiva sin relacionar el nombre de la entidad.

## **10. Marcos de Referencia**

### **10.1. Estado del Arte**

Se llevó a cabo una investigación de los diferentes trabajos que se han realizado respecto al tema en mención que pretende trabajarse en esta investigación.

#### ***10.1.1. Estado del Arte Nacional***

**10.1.1.1. “Reutilización de agua depurada de la PTAR El Salitre, Bogotá, Colombia”**. La autora Michelle Átala Urrea Vivas de la Universidad Politécnica de Cataluña, realizó en el año 2019 una tesis máster de ingeniería ambiental enfocada en la economía circular, la cual se llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua del Salitre en Bogotá, que se encarga de captar todas las aguas residuales de la parte norte de la ciudad, las cuales son sometidas a una etapa inicial de pretratamiento para luego ser vertidas al Río Bogotá. Esta planta tiene generación de subproductos como lodos y biogás que representan hasta el momento una pérdida económica por ignorar su potencial como productos que pueden volver a un ciclo de suministro como

materias primas. El principal objetivo de esta tesis fue evaluar la factibilidad técnica- económica de diferentes propuestas de tratamiento de aguas residuales que permitieran una regeneración y reutilización de las mismas para sectores industriales, comerciales y especiales (agricultura); obteniendo como resultado la viabilidad del tratamiento de estas aguas para su posterior comercialización con un precio de venta 15% menor al costo de consumo normal para los sectores interesados. (Vivas, 2019)

Con base en esta tesis se puede determinar que, la venta del agua tratada no sería una opción viable para la empresa objeto de la presente investigación, teniendo en cuenta que las compañías encuestadas para la comercialización de este recurso requieren de una cantidad mucho mayor a la que se utiliza normalmente en la planta; adicionalmente, se tendría que incurrir en costos de distribución que superan el costo presunto de venta, lo que en vez de ganancias generaría pérdidas para la empresa. No obstante, si se tuviera en cuenta la comercialización del agua como una propuesta de solución, habría que realizar un estudio con entidades que requieran una menor cantidad de este recurso y validar la viabilidad económica de la misma.

**10.1.1.2. “Estado del Arte de la Economía Circular en Colombia”.** El autor Gilbert Rozo Doncel de la Universidad Cooperativa de Colombia, en el 2019 publicó un trabajo con la recopilación de artículos de investigaciones, trabajos e informes de personas especializadas o con conocimiento en lo relacionado, con la revisión de 80 artículos y selección de 30 fuentes de diferentes aspectos tales como: conceptos, políticas, principios fundamentales, casos de éxito, ecodiseño, entre otros relacionados con la implementación, avances y potencial que posee el país en cuanto a la economía circular. (Doncel, 2019) Una vez analizados los casos de estudio, se

determinó que la implementación de la economía circular en Colombia es la mejor opción, ya que se encuentra enfocada en el crecimiento y la sostenibilidad ambiental, además de que cuenta con grandes oportunidades en el mercado que son de gran beneficio para el país. En cuanto a los negocios verdes, se demostró el avance en la implementación de estos, ya que se han mejorado los procesos y productos que se desarrollan, haciéndolos más competitivos en el mercado nacional e internacional. En cuanto al ecodiseño, se estableció que, este ha sido de gran relevancia en la economía circular que se está poniendo en marcha en el país, y que brindan un valor agregado, generan reducción de materiales, contribuyen al medio ambiente y se han llegado a desarrollar energías limpias alternativas. Con base en lo anterior, se determinó que los negocios verdes son la mejor opción de cara al crecimiento y desarrollo de la economía de un país, y que acompañados de políticas y estrategias que fortalezcan y fomenten su implementación en los emprendimientos nacionales, estos serán de gran relevancia para la nación. (Doncel, 2019)

Con el desarrollo de este trabajo, se demuestra que los proyectos relacionados con economía circular se encuentran en incremento y que contribuyen no solo ambientalmente sino también económicamente al país; por consiguiente, el trabajo citado sirve como soporte a la presente investigación teniendo en cuenta que aplica herramientas relacionadas con la propuesta por desarrollar.

**10.1.1.3. “Economía Circular aplicada a los Recursos Hídricos”.** Trabajo de grado efectuado en el 2020 por la autora Paula Catalina López Arias de la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, a través del cual se investigaron los campos de aplicación de estos conceptos describiendo su uso en diversos ámbitos como la planificación hidrológica, la potabilización, la

detección de fugas efectiva, procesos de tratamiento y reutilización del agua. En este proyecto se tomó como caso de aplicación la adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba región Ancash – Perú, usando tecnologías de humedales artificiales en un biohuerto comunal, como tecnología innovadora y limpia para reducir la contaminación de las fuentes superficiales de agua, proteger la salud de los habitantes y evitar el deterioro del medio ambiente; se realizó todo el diseño del sistema y se determinó que una vez alcanzado el desarrollo total de la vegetación se podría suministrar un efecto de invernadero para ayudar a mantener una cama libre de heladas y asegurar una digestión complementaria de la fracción carbonada de forma aerobia. (ARIAS, 2020)

Con el caso concreto de este trabajo, puede determinarse que el tratamiento y la reutilización del agua no son exclusivos de ciertos sectores, ya que este recurso es vital para la supervivencia de los seres vivos y la implementación de estos procesos puede ayudar a poblaciones vulnerables que cuenten con acceso restringido a este recurso, es por ello que se debe concientizar a la comunidad en general sobre el cuidado del medioambiente y los recursos naturales que brinda el planeta, ya que entre más se minimice el uso de los mismos más se extenderá su ciclo de vida.

**10.1.1.4. “Reutilización de las aguas residuales municipales como estrategia de prevención y control de la contaminación hídrica. Caso de estudio: Cuencas de los ríos Bolo y Frayle (Colombia)”**. Los autores María F. Jaramillo, Diana A. Cardona-Zea<sup>1</sup> y Alberto Galvis, en el 2020 publicaron un artículo sobre la implementación del reúso de agua residual municipal en agricultura, como una estrategia de prevención y control de la contaminación hídrica. Esta evaluación se desarrolló como un proceso metodológico de planificación del

recurso hídrico superficial en las cuencas de los ríos Bolo y Frayle, principales fuentes hídricas de los municipios de Candelaria, Florida y Pradera ubicados en la cuenca Alta del río Cauca en el suroccidente colombiano. Se generó la formulación de diferentes escenarios en un horizonte de 20 años, se pudo observar el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de los ríos Bolo y Frayle a través de la implementación de estos escenarios. Valorando dicha estrategia, se observó que el Oxígeno Disuelto (OD) puede incrementarse en 5 mg/l y 2.5 mg/l en los ríos estudiados; adicionalmente, con la implementación de la reutilización agrícola es posible obtener una reducción de la carga contaminante una vez vertida de entre el 62% y el 94% para los ríos Frayle y Bolo en su orden respectivamente. La ejecución del reúso de las aguas residuales municipales tratadas para la actividad agrícola como estrategia en la planificación, se convierte en un aspecto clave para alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos, teniendo en cuenta que disminuye la presión sobre los cuerpos de agua receptores de vertimientos y mejoran la calidad del agua. No obstante, también se determinó que es necesario efectuar una evaluación sobre los costos asociados a la estrategia planteada, que permitiría apoyar la toma de decisiones por parte de los municipios localizados en las cuencas estudiadas. (F & Cardona-Zea, 2020)

Este artículo evidencia los beneficios que trae consigo la reutilización del agua con un enfoque en la sostenibilidad ambiental; no obstante, también hace ver que es necesario generar una evaluación de costos a cada proyecto, ya que esto permite determinar la viabilidad financiera de este, con el fin de evidenciar las ganancias o pérdidas que se generarían con su implementación y permitiría tomar otra línea de investigación en caso de que el proyecto no sea viable.

**10.1.1.5. “Reúso de las aguas residuales como alternativa al estrés hídrico en Colombia”.** Un trabajo de monografía realizado por el autor Juan Felipe Villa Hoyos para la Universidad de Medellín – Antioquia en el 2020, estudió los impactos sociales, económicos y ambientales que genera el estrés hídrico, estableciendo la necesidad de que se busquen diversas alternativas que brinden una mejor oferta y disponibilidad de agua para los diferentes sectores y procesos productivos presentes en áreas urbanas. Este proyecto tuvo un enfoque de contextualización acerca de los beneficios del reúso de las aguas residuales como medida alternativa para el estrés hídrico en Colombia agravado en especial por el cambio climático, este estudio estableció que los tipos y aplicaciones del reúso de las AR se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura a las cuales se destinarían, siendo los principales: el urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf, el industrial, que ha sido empleado durante los últimos años, especialmente en los sistemas de refrigeración de las industrias y el agrícola, en la irrigación de cultivos. Las AR que más contaminantes podrían contener son las industriales, ya que estas aguas posteriormente a ser tratadas, transportan sustancias nocivas como arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio y zinc, las cuales, de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos son clasificadas como metales pesados tóxicos. Las actividades donde suelen generarse estos metales tóxicos pesados, son la galvanoplastia, industria metalúrgica, industria de curtimbres, trabajo con sustancias químicas, minería, fabricación de diferentes tipos de baterías, elaboración de fertilizantes, generación de lixiviados, aguas subterráneas contaminadas con desechos peligrosos previamente, entre otros. El reúso de las AR puede ser una importante alternativa para mitigar la huella hídrica gris, que se define como volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes por parte de un cuerpo receptor tomando como referencia las normas de

calidad ambiental, asociando los límites establecidos a una buena calidad para el ambiente y para las personas. Finalmente, se determinó que el reúso de aguas residuales se puede considerar una alternativa importante para satisfacer la demanda hídrica de diferentes sectores como el energético, pecuario, piscícola, doméstico, industrial, minero, de hidrocarburos, de servicios, de construcción y en especial el sector agrícola, que es el que mayor recurso hídrico demanda, debido a la vocación agraria que presenta Colombia por diversos factores como su ubicación geográfica y la gran oferta hídrica que propician las condiciones adecuadas para todo tipo de cultivos; también se hace necesario buscar alternativas de tratamiento de AR que permitan obtener un efluente con características adecuadas como las lagunas de estabilización; estos sistemas se presentan como un método eficiente para la remoción en de contaminantes y microorganismos que representan riesgos para la salud humana. (Hoyos, 2020)

Esta monografía muestra que el uso de agua para el sector industrial, específicamente el de químicos que es donde se encuentra focalizada la empresa abordada, es uno de los que mayor contaminación genera en el ambiente, ya que las aguas utilizadas en estos procesos transportan sustancias nocivas; en ello radica la importancia de los tratamientos de este recurso y su posterior reúso para mitigar la carga contaminante del ambiente, satisfaciendo la demanda creciente en diversos sectores de la economía colombiana.

### ***10.1.2. Estado del Arte Internacional***

**10.1.2.1. “Adaptación del ciclo del agua en el municipio de Alcantarilla hacia un modelo de economía circular mediante acciones de eficiencia energética y la incorporación de energías renovables”**. Un artículo publicado en noviembre de 2016 por la Universidad Politécnica de Cartagena – España, cuya autoría corresponde a José Pablo Delgado, concluyó

que frente al reto del cambio climático el modelo de economía circular constituye una solución global para un problema global. En este trabajo se analizó la posibilidad de implantar un modelo de economía circular en el ciclo integral del agua de un municipio mediano, se tomó la guía europea como base para determinar la Huella Ambiental de una Organización (HAO), con el fin de establecer un procedimiento sencillo que permitiera evaluar el efecto que tendría el uso de las energías renovables y de acciones de eficiencia energética en la reducción del impacto ambiental. Como resultado, se pudo establecer que la implementación de ciertas acciones de eficiencia energética y la utilización de las energías renovables permite una reducción importante de la huella de carbono; de igual manera, se propuso una ingeniosa solución para reducir la tasa de evaporación en la balsa de acopio de agua bruta a la entrada de la Estación de Tratamiento de Agua Potable – ETAP. (Delgado, 2016).

Con base en la información relacionada en el artículo, se puede concluir que, aplicando un modelo de economía circular para el reúso del agua, a través del cual se puedan implementar procesos sencillos en la empresa de productos químicos investigada en el presente proyecto, se podría reducir el impacto ambiental negativo que deja el consumo excesivo de este recurso reduciendo la huella de carbono.

**10.1.2.2. “Diseño y dimensionamiento de un sistema de reutilización de agua para bloques de viviendas”.** El autor Manuel Barbero del Río, en junio de 2016 publicó un trabajo de grado relacionado con el sector de las viviendas para la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria; enfocado en la reutilización de agua ya que es un tema que se encuentra en auge por representar beneficios tanto económicos, como ambientales y sociales. El objetivo principal de este trabajo fue el diseño de una instalación que

permitiera mediante distintos sistemas reutilizar la parte de aguas grises menos contaminadas producidas en un núcleo de viviendas de una nueva construcción. El sistema diseñado consistió en la reutilización del agua una vez tratada que fue utilizada en un principio en lavabos y duchas, proceso llevado a cabo a través de un biorreactor de membranas, para su posterior uso en los procesos de riego y descarga de inodoros. El esquema de funcionamiento planteado fue el siguiente: la captación de aguas grises se llevaría a cabo mediante una bajante hacia el sistema de tratamiento y se produciría en el mismo instante en el que generen dichas aguas, el sistema de tratamiento se diseñó para adaptar el agua a la calidad establecida en la legislación vigente. Posteriormente, la recarga del inodoro se realizaría por gravedad mediante un depósito para el agua tratada situado en el punto más alto del edificio, que contaría con un sistema de dosificación de cloro de cara a evitar la aparición de microorganismos; finalmente, las descargas del inodoro se realizarían de forma habitual mediante el llenado del depósito del mismo, utilizando la boya interior a este como regulador. Este sistema de reutilización se caracteriza por su simplicidad y es por esto que se determinó que sería adaptable tanto a una nueva construcción como a una ya existente, mediante una reforma. (Río, 2016)

La propuesta planteada en este proyecto, puede servir de ayuda para generar las bases que se requieren en cuanto al diseño que se pretende realizar para la recirculación del agua tratada luego de los procesos que se llevan a cabo en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa, ya que los tanques de tratamiento se encuentran en el segundo piso de la bodega y el agua tendría que circular nuevamente hasta el cuarto piso que es donde se encuentra esta área.

**10.1.2.3. “Depuración y reutilización de aguas en España”.** Artículo publicado el 19 de octubre de 2016 por la Universidad de Alicante, cuya autoría corresponde a Joaquín

Melgarejo Moreno y a María Inmaculada López Ortiz. A través de este artículo se estudió el cómo la depuración y reutilización van ligadas, ya que la reutilización de aguas residuales está asociada a una regeneración previa, y son dos herramientas esenciales del modelo ambiental del agua. Este trabajo hace ver que la normativa europea en temas ambientales es mucho más exigente y que todavía España está lejos de cumplir con todos los requerimientos de Europa. En la actualidad, este país no cumple con la legislación comunitaria en materia de depuración del agua urbana, ya que su nivel de cobertura es cercano al 90% del total en relación con la carga contaminante, pero está especialmente alejado de cumplir los objetivos que fija la DMA para la depuración en municipios de más de 10.000 habitantes, ya que solo el 32% de estos municipios españoles cuenta con los sistemas de depuración terciarios que exige dicha legislación. Se destacan dos aspectos hacia donde debe encaminarse la gestión en el futuro: uno de ellos es la aplicación de nuevas tecnologías que impliquen menos costes energéticos y que sean más amigables con el entorno y, el segundo un cambio en el modelo de financiación, con mayor protagonismo de los cánones de saneamiento y una revisión profunda de las tarifas del agua, que garantice el cumplimiento del principio de recuperación de costes. Además, sigue siendo necesario que se habiliten mecanismos para potenciar la reutilización y la adecuación de los sistemas existentes a las exigencias de calidad, hay que tener en cuenta que el aumento de los volúmenes depurados no significa un incremento automático de la reutilización, por cuanto existen diversos factores que pueden frenar su extensión, como la resistencia de los agricultores a sustituir los recursos tradicionales por el agua regenerada. (Moreno, Universidad de Alicante, 2016)

Con este artículo se puede evidenciar la importancia que tiene el cumplimiento de las normativas en cuanto a la reutilización de las aguas, no solo a nivel nacional sino internacional

también, ya que hoy en día el aprovechamiento de recursos naturales es un tema delicado que concierne a toda la sociedad, teniendo en cuenta que son vitales para la subsistencia del planeta; es por ello, que este tipo de procesos deben ir de la mano con las normas que los regulan.

**10.1.2.4. “Construcción de un sistema automático para el lavado de vehículos a través del reúso de aguas residuales para la empresa Ecowash”.** Trabajo de titulación publicado en febrero del 2018 por la Universidad Politécnica Salesiana de Quito - Ecuador, del autor Andrés Mauricio Pachacama Morales, que buscó reducir el tiempo de lavado de autos la empresa Ecowash, permitiendo incrementar de esta manera el número de clientes a través de la implementación de un sistema favorable para el medio ambiente, procurando mitigar el desperdicio del recurso hídrico y a su vez brindando un beneficio económico para la compañía. El desarrollo de este proceso consistió en la succión de aguas residuales a través de una bomba resultado del lavado de carros, cuya función es llevar el agua por la cañería hasta los tanques purificadores; una vez se hace el tratamiento, el agua se utiliza nuevamente para otro lavado, luego del proceso de purificación este recurso es almacenado en otro tanque para su posterior reutilización a través de una bomba. (MORALES, 2018)

El proceso llevado a cabo en este proyecto para la reutilización del agua en el lavado de vehículos, es similar al proceso de tratamiento que se realiza actualmente en la empresa objeto del presente trabajo de investigación, ya que luego de la utilización de este recurso, el mismo es conducido a los tanques de tratamiento; por consiguiente, con base en las conclusiones obtenidas se podría determinar que el reúso de este recurso si representa un beneficio económico para las compañías.

**10.1.2.5. “El agua desde la economía circular: base para el turismo sustentable y el desarrollo local en Acapulco”.** Los autores Miguel Angel Cruz Vicente, Darbelio Agatón Lorenzo y Norberto Noe Añorve Fonseca publicaron este artículo en el 2018, abordando el tema del agua como activo económico no producido, un recurso renovable que se puede reciclar y volver a disponer de él a través del ciclo natural en el largo plazo, pero en el corto plazo no es reutilizable, puesto que para que pueda ser reutilizable debe ser depurada y regenerada. Dentro del paradigma de la economía circular el agua es muy importante por su reutilización, puede ser empleada en el riego de parques y jardines, aseo de calles, campos de golf, recarga de acuíferos, entre otros. Una consecuencia de ello, sería el incremento del balance hídrico (desarrollo ambiental), generándose transferencias de agua entre sectores que demanden recursos hídricos de menor calidad y reservar la de primer uso para el consumo humano (desarrollo social); por tal motivo, es relevante recoger y depurar las aguas residuales que son vertidas por las empresas turísticas en Acapulco, ya que una de las relaciones fundamentales es con el medio ambiente en general y con el agua en particular, creando efectos negativos sobre los ecosistemas; pues para el funcionamiento de la actividad turística necesitan disponer de agua en cantidad y calidad suficiente. Algunas de las conclusiones a las que se llegó fueron: en primera instancia, que hay que centrarse en la satisfacción de las necesidades de la población local a partir de la transferencia de caudales (se libera agua del sector turístico y se pone a disposición de la población), en cuanto a la sustentabilidad ambiental se debe hacer una disminución de la demanda de agua a la fuente principal del suministro (río Papagayo), mejorando de esta manera la Gestión Integral de los Recursos Hidráulicos (GIRH); finalmente, se debe lograr una concertación y coordinación entre los diferentes actores (públicos y privados), instituciones y movimientos sociales para identificar la mejor política hídrica, que no solo mejore la

infraestructura a partir de nuevas inversiones, sino que también fortalezca las capacidades y potencialidades locales, priorizando a las Pymes con una visión integral del proceso (recoger, depurar y transferir el agua tratada), introduciendo innovaciones en la gestión y en el entorno socio-institucional otorgándole una segunda vida al agua. (Cruz Vicente & Agatón Lorenzo, 2018)

Este artículo no solo trata el agua como recurso natural que se puede reutilizar, sino que además muestra la importancia del mismo para una población en específico, ya que por su actividad principal que es el turismo, sus habitantes se están viendo afectados en cuanto a la escasez de este recurso; por consiguiente, es necesario la generación de políticas públicas por parte de los entes gubernamentales que ayuden a proteger este líquido generando conciencia en la comunidad en general, que es lo que se quiere hacer mediante la presente propuesta con todos los actores involucrados en la empresa de productos químicos abordada.

**10.1.2.6. “Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad”.** En el 2019, la Universitat d’Alacante publicó este artículo del autor Joaquín Melgarejo Moreno, sobre el agua y la economía circular luego del Congreso Nacional del Agua de ese año, a través del cual explicó la importancia de la economía circular como la principal estrategia de Europa para generar crecimiento y empleo, con el respaldo del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo, además de ser una estrategia basada en una sociedad del reciclado con el fin de reducir la producción de residuos y utilizarlos como recursos. El concepto de economía circular se materializa en volver a utilizar el agua una y otra vez, tal como sucede en el ciclo natural, el agua de los mares y océanos se evapora, cae en forma de lluvia, y se vuelve a integrar al sistema en ríos, lagos y aguas subterráneas; en el sector urbano, mediante la regeneración de las aguas

residuales, se puede mitigar el consumo neto de agua reutilizándola en diferentes aplicaciones (riego agrícola, parques y jardines, limpieza). En el sector industrial, se puede volver a utilizar el agua regenerada proveniente de los efluentes para generar nuevos productos y, de esta forma, reducir su impacto medioambiental y ahorrar costes. A escala mundial, la reutilización de aguas regeneradas está muy extendida en varios países, destacando Israel, que recicla en torno al 75% de sus aguas residuales, y Australia, que eleva la cifra al 82%, en Europa, la situación general se halla muy lejos de estos valores, dado que la reutilización de aguas residuales representa aproximadamente el 2,4% de las aguas depuradas, lo que evidencia el enorme potencial que permanece sin utilizar. Con base en este punto, diversos países europeos, tanto mediterráneos (España, Italia, Grecia, Malta y Chipre) como del centro y norte de Europa (Bélgica, Alemania, Reino Unido), han puesto en marcha iniciativas para promover el reúso de aguas residuales en regadío, usos industriales y recarga de acuíferos. Uno de los principios de la economía circular es la minimización y selección de las materias primas que se utilizan. Este aspecto llevado al agua, conlleva implantar indicadores de eficiencia e incluso de captación de agua en función de su origen, que permita establecer una jerarquización de priorización. Observar el rendimiento económico que se extrae a un metro cúbico de agua en su uso industrial o agrícola puede servir para observar una asignación de uso más eficiente o no, para valorar la mejora de eficiencia por sectores, etc. Otro de los aspectos importantes de la economía circular es que sea un sistema económico que permita la regeneración del capital natural, en definitiva, del mantenimiento de los ecosistemas ecológicos para la provisión de los servicios ambientales que nos ofrecen. Este aspecto trasladado al agua, debe conllevar indicadores que sean representativos de la capacidad del sistema económico en el uso sostenible del agua, permitiendo la regeneración de los sistemas naturales. (Moreno, Universitat d'Alacant, 2019)

Este artículo muestra que una reutilización del agua efectuada de forma planificada, puede ser una fuente directa de obtención de nuevos recursos, entendiéndose que, en una planificación integral se deben tener en cuenta aspectos tanto económicos, como sociales y medioambientales; de esta manera, aunque el agua tratada no puede sustituir usos que requieran una calidad elevada, si puede servir como fuente adicional para procesos que no requieran agua potable, como en determinados usos urbanos o industriales. Adicionalmente, es importante contar con indicadores que ayuden a determinar si el aprovechamiento de este recurso le está siendo de utilidad a la empresa objeto del presente estudio, luego de su ejecución.

**10.1.2.7. “La reutilización del agua en el ámbito de la economía circular y sostenibilidad”.** Artículo realizado por María Claudia da Silva Antunes de Souza de la Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Brasil en el 2019, se enfocó en un análisis sobre las contribuciones efectuadas por España para las aguas residuales como factor de Sostenibilidad. En el mismo se identificó que hay muchas oportunidades en Brasil para distintos tipos de reutilización del agua, incluyendo los sectores agrícola, industrial, municipal y potable; sin embargo, debido a la falta de una legislación específica sobre la reutilización del agua en este país, no hay una forma que deje claros los criterios para la reglamentación del agua que será materia de reúso, de los límites, parámetros de calidad y su posterior aplicación, lo que expone a la población a riesgos sanitarios. Brasil no tiene la tradición de reutilización debido a su teoría de la abundancia, ya que el 12% del agua dulce del mundo se encuentra en su territorio. No obstante, a pesar de la aparente riqueza de ese recurso, las regiones de este país discrepan mucho en cuanto a la distribución del recurso hídrico, lo que fortalece la discusión en relación a su reutilización. Con base en lo anterior, se destaca la necesidad de una normativa con previsiones

de control continuo y regularidad en la calidad del efluente purificado, planeamiento en la toma de decisiones sobre acciones de reutilización e incentivo en la irrigación agrícola, considerando que el mayor consumo de este recurso es en dicho sector. Como conclusión, se conceptuó que la reutilización del agua es un modelo de referencia que sería útil en Brasil, así como en otros países. (Maria Cláudia da Silva Antunes de Souza, 2019)

Este artículo sirve como base de sustentación sobre la importancia de la reutilización del agua en países latinoamericanos. También es claro que los países deben formular normativas específicas que fijen los límites que se deben tener en cuenta para este proceso, debido a que este recurso es vital para la supervivencia humana y un mal uso del mismo supone un riesgo para la salud y podría generar un mayor daño medioambiental, por lo que se deben tener en cuenta todos los parámetros establecidos en la normatividad colombiana para el reúso de las aguas residuales tratadas.

#### **10.1.2.8. “Economía Circular: El ciclo integral del agua y la eficiencia energética”.**

Artículo publicado en el 2019 por Javier Cordero Ferrero economista de la UNED, mediante este proyecto se determinó que para llevar a cabo el ciclo integral del agua se utilizan una serie de infraestructuras por cada fase. En la primera fase de abastecimiento (aducción y distribución): presas, grandes conducciones, depósitos reguladores, estaciones elevadoras, estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) y, finalmente, la red de distribución; en la segunda fase de saneamiento (alcantarillado y depuración) se cuenta con un complejo sistema de instalaciones, compuesto por: redes de saneamiento y alcantarillado (colectores y emisarios), estaciones de bombeo de aguas residuales, tanques de tormentas y estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), cobrando protagonismo estas últimas en la tercera fase de reutilización. En este artículo

se abordan las fuentes renovables que se utilizan para generar energía cuya característica principal es que no se agotan, ya que se dan a causa de fenómenos naturales como el viento, el agua, el sol o gracias a la combustión por la quema de restos de biomasa; se identifican como energías renovables, la Eólica, la Hidráulica, la Maremotriz, la Solar, la Biomasa, Biogás y Geotérmica. Se llegó a la conclusión de que la “Eficiencia Energética” obtenida en procesos sinérgicos a la gestión del ciclo técnico integral del agua, a través de la producción y consumo de energía renovable -hidráulica y biogás-, es una realidad contrastada que contribuye a la reducción de emisiones y ayuda a combatir el cambio climático, favoreciendo el desarrollo sostenible. (Ferrero, 2019)

Con base en este aspecto, se puede deducir que la reutilización de agua se puede dar en muchos procesos, entre ellos uno tan vital para la subsistencia diaria del ser humano como lo es la generación de energía, a través de fuentes que pueden llegar a ser inagotables si se les sabe dar un uso adecuado, ya que provienen de la naturaleza. En ese sentido, una posible solución para el reúso del agua tratada en el área abordada en el presente proyecto, podría ser una nueva fuente de energía para la empresa.

#### **10.1.2.9. “Desarrollo y aplicación de procesos fotoquímicos y fotocatalíticos para la desinfección, descontaminación y reúso de aguas procedentes de la industria de IV Gama”.**

En España se ha realizado una gran cantidad de investigaciones relacionadas con el tema propuesto en este proyecto, una de ellas es la efectuada por Leila Samira Nahim Granados de la Universidad de Almería en el 2020, cuya tesis consistió en el uso de aguas residuales procedentes de industrias agroalimentarias con el fin de efectuar una regeneración y posterior reutilización en el sector agrícola, ya que es una fuente de agua no convencional que favorece el

uso más eficiente de los recursos hídricos. Entre las diferentes industrias agroalimentarias, se encuentra la industria de IV Gama que ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años debido al interés por el consumo de vegetales saludables, nutritivos, procesados y envasados listos para su consumo en fresco, esta industria presenta uno de los mayores consumos de agua del sector agroalimentario como consecuencia de los altos volúmenes que se requieren de este recurso en la etapa de lavado de estos alimentos (hasta 40 m<sup>3</sup> por tonelada de producto). El objetivo general de este estudio fue evaluar la capacidad de tratamiento de varias tecnologías solares (foto-Fenton y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/solar) y un proceso convencional (ozonización) aplicados al agua residual de esta industria con el objeto de alcanzar los límites de calidad establecidos en las regulaciones de reutilización de agua residual para la agricultura. Como resultado se estableció que los vegetales regados con SFCWW sin tratar presentan un importante riesgo de infección para el consumidor, mientras que en los vegetales regados con agua tratada este riesgo de infección se reduce más de 4 órdenes de magnitud. (Granados, 2020)

Este estudio muestra la importancia de los tratamientos de agua, una purificación bien hecha mitiga en gran medida los daños a la salud que se podrían ocasionar si no se lleva a cabo este proceso; razón por la cual, para una adecuada reutilización de este recurso, es necesario un proceso de tratamiento eficiente que cumpla con los estándares nacionales e internacionales para el consumo de este líquido vital. En el caso de la empresa de productos químicos abordada, el proceso de purificación del agua ya se encuentra implementado y para cada tratamiento, se realizan los controles necesarios que permiten que este recurso cumpla con los estándares establecidos en la normatividad vigente.

**10.1.2.10. “Agua nueva”: notas sobre sostenibilidad de la economía circular.** Artículo sobre sostenibilidad económica, social y ambiental publicado el 15 de julio de 2020 por la Universidad Universidade do Vale do Itajaí, Brasil, por los autores Francine Cansi y Paulo Márcio Cruz. Adoptando un enfoque de economía circular para la gestión de aguas superficiales y/o subterráneas que permita a los sectores y agentes mundiales encargados de este recurso lograr suministros seguros, sostenibles y de calidad para el futuro, este estudio buscó comprender la reutilización del agua bajo el prisma de la economía circular e investigó las oportunidades y los riesgos en el desempeño durante esa transición, llevando a cabo un análisis a través del método inductivo en la fase de investigación; en la fase de procesamiento de datos, el cartesiano, y en el informe, el método deductivo-inductivo. El reciclaje y la reutilización son claves para un enfoque de economía circular y ofrecen una estrategia para mejorar el suministro de agua, gestionar mejor las aguas residuales y sus estándares de calidad; pero, también para garantizar el funcionamiento adecuado y fiable de los sistemas de reutilización de agua y la aplicación regulatoria adecuada. El modelo planteado en cuanto a la economía circular del agua en la concepción de “agua nueva”, da vía a otras alternativas para los diferentes usos de este líquido vital, ya que, en los sectores industrial y doméstico, los cambios en los patrones de consumo de la tierra son esenciales, así como sucede con la gestión efectiva de los recursos aguas superficiales y subterráneos para satisfacer las necesidades de la población en su uso. Este enfoque, relativo a la economía circular del agua subterránea, permitirá a escala mundial un gran potencial para la recuperación de energía, sistemas de riego más eficientes, sincronización y optimización de los ciclos naturales del agua y un futuro de agua abundante, resistente y regenerada para todos. (Cansi, 2020)

Con este artículo se puede vislumbrar la reutilización del agua como un método seguro, sostenible y eficaz, que conlleva una transición hacia el modelo económico circular que se encuentra en auge, permitiendo una mejor gestión del agua tratada y dando a entender que replicando este proceso a escala mundial, toda la población podrá llegar a acceder a este recurso; por lo que se concluye que pequeñas acciones como la que se pretende plantear en esta propuesta pueden hacer grandes cambios, generando la creación de operaciones que se pueden replicar y generar un alivio medio ambiental para el planeta.

**10.1.2.11. “Análisis de la estrategia española de la economía circular en el ámbito de los recursos hídricos reutilizables”.** El 03 de mayo de 2021, Carlos Ramírez Sánchez publicó este artículo, estudio que se centró en la economía circular como estrategia para determinar las bases para promover un nuevo modelo de producción y consumo en el que se mitigue la generación de residuos y se utilicen los que no se pueden evitar en la medida de lo posible. En ese orden de ideas, se establecen las directrices estratégicas como decálogo y se indican una serie de objetivos cuantitativos que se alcanzarán para el 2030, que pretenden mejorar la eficiencia del agua en un 10%, en este contexto se indica que la reutilización del agua en diversos sectores de la economía, como la agricultura o la industria, es una oportunidad para impulsar la economía circular a mediano plazo. Algunas de las conclusiones obtenidas del estudio fueron que la purificación de aguas residuales y su posterior reutilización ofrecen una garantía superior a las convencionales, además de que el reúso del agua en condiciones de máxima seguridad supone un paso relevante en el concepto de economía circular impulsado por la Unión Europea convirtiéndose en una nueva fuente de recurso. Finalmente, se determinó una falta de demanda de este tipo de recursos hídricos por parte del sector que utiliza principalmente agua reutilizada,

que es el riesgo por su precio, lo que se traduce en práctica en la consiguiente reducción de la oferta de este tipo de recursos; adicionalmente, para que la reutilización se pueda realizar en condiciones idóneas es necesario que se tenga una mayor disponibilidad de aguas residuales depuradas, estudios detallados de viabilidad económica, social y medioambiental, sistemas eficientes de gestión y operación de las aguas regeneradas y, una política de precios del agua regenerada, que establezca cómo y quienes han de cubrir los gastos relacionados con las infraestructuras, instalaciones y costes de operación asociados al reuso de una forma sostenible económica y ambientalmente. (Sánchez, 2021)

Este artículo hace ver que hoy en día la economía circular es una base fuerte para la mitigación de la generación de residuos, creando una economía constante en este sector durante el mayor tiempo posible; sin embargo, debido a la falta de demanda por parte de diversos sectores se genera una menor oferta de este recurso, en ello radica la importancia de que la sociedad en general tome conciencia sobre el cuidado del medioambiente y de que, así sea con pequeñas acciones como la que se pretende plantear en la presente propuesta, se contribuya al cuidado del planeta y a disminuir el daño generado por el ser humano.

## **10.2. Marco Teórico**

En el presente marco teórico se van a abordar artículos, conceptos e investigaciones que abarcan el tema disciplinar propuesto, con el fin de dar a entender mejor el objeto de estudio de esta propuesta.

### ***10.2.1. Agua***

Este proyecto está fundamentado principalmente en el agua, definido por la Real Academia de la Lengua Española como “Un líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos” (Real Academia Española, 2020); es el componente más abundante en los medios orgánicos, los seres vivos contienen por término medio un 70% de agua, además de ser considerada el fundamento de la vida, un recurso crucial para la humanidad y para el resto de los seres vivos. La sociedad recurre a este recurso para generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad a través de actividades tales como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. También es un elemento que puede ser fuente de conflictos geopolíticos, en particular cuando escasea, nuestro propio bienestar exige no solo un agua potable limpia, sino también agua limpia para la higiene y el saneamiento. (Universidad San Martín de Porres, 2018)

#### **10.2.1.1. Aguas Residuales.**

Ahora bien, el objeto de estudio se centrará en la mitigación de agua a través del reúso de las aguas residuales definidas como aquellos volúmenes del recurso hídrico que han sido aprovechados en el desarrollo de actividades humanas –tales como las domésticas, agropecuarias o industriales– y que en tal virtud han desmejorado sus condiciones de calidad, lo que representa un peligro e impide que se realicen usos posteriores o actividades de reúso, salvo que previamente sean sometidas a un proceso de tratamiento para la recuperación de unos estándares mínimos de calidad que se establezcan en la normatividad. Las aguas residuales en Colombia son

también llamadas aguas utilizadas, servidas, negras o, también, efluentes líquidos. (Arrauth Gómez & Taborda Armenta, 2018)

Las aguas residuales industriales se generan como consecuencia de la actividad industrial, cuya diversidad puede ser muy grande (aguas de proceso, limpieza, refrigeración, etc.), ya que pueden contener contaminantes de naturaleza muy diferente. Esta agua, una vez ha sido utilizada, debe ser tratada antes de ser vertida al medio natural o a la red de saneamiento; en el primer caso, el tratamiento debe ser el suficiente para que el vertido no cause ningún impacto ambiental en el medio receptor y, si se vierte a la red pública de saneamiento, la composición de las aguas residuales debe cumplir con todos los parámetros físicos y químicos de la normativa vigente. No obstante, existe una tercera opción para las aguas residuales industriales ya depuradas: la reutilización; puesto que el agua es un recurso natural que no debe ser malgastado, la alternativa más sostenible consiste en el tratamiento del agua residual hasta conseguir que su calidad sea compatible con su reutilización en el proceso (la normativa en materia ambiental, cada vez más exigente, lleva a que en muchos casos la reutilización sea la opción más competitiva). Existen diversos tipos de tratamientos aplicables a las aguas residuales industriales, entre los más relevantes podemos encontrar:

- Tratamiento biológico, que consiste en la eliminación de la materia orgánica, de nitrógeno y de fósforo cuando la contaminación es biodegradable, es un proceso económico y eficiente. El tratamiento biológico puede ser aerobio o anaerobio, en función de lo que resulte más interesante en cada caso. Algunas de las técnicas usadas son los fangos activos, el reactor biológico secuencial (SBR), el reactor biológico de membranas (MBR), entre otros.

- Evaporación al vacío, es una técnica ideal para el tratamiento de residuos industriales líquidos y mezclas complejas, supone un proceso limpio, compacto, versátil y muy eficaz, si es necesario, permite evitar la generación de vertidos líquidos.
- Tratamiento físico-químico, este método hace referencia a una amplia variedad de técnicas que solas o combinadas permiten hacer frente a numerosos tipos de contaminantes (aceites y grasas, partículas en suspensión, sustancias coloidales, color, materia orgánica no biodegradable, metales disueltos, hidrocarburos, etc.). Las operaciones unitarias más relevantes que permiten eliminar estos contaminantes son las siguientes: Flotación, decantación, precipitación, coagulación-floculación, neutralización, adsorción, filtración, electrocoagulación y oxidación avanzada. (Condorchem, s.f.)

#### **10.2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales.**

En cuanto al tratamiento de agua, se puede deducir que este no es un tema actual, aunque se encuentra en auge debido a la escasez cada vez más frecuente de este recurso, los primeros antecedentes los encontramos en la cultura egipcia, ya que fueron los primeros en utilizar métodos para el tratamiento del agua; estos registros datan de hace más de 1.500 años hasta el 400 A.C., los mismos indican que las formas más comunes de purificación del agua eran hirviéndola sobre el fuego, calentándola al sol o sumergiendo una pieza de hierro caliente dentro de la misma, otro de los métodos más comunes era el filtrado del agua hervida a través de arena o grava para luego dejarla enfriar. A pesar de que encontramos ejemplos anteriores, como es el caso de la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán), que alrededor del año 3.000 a.C ya contaba con

servicios de baño público e incluso instalaciones de agua caliente, no es hasta la antigua Grecia cuando nos encontramos con sistemas de recogida, purificación y distribución del agua que puedan tener ciertas similitudes con nuestros días.

En la antigua Grecia, el agua de pozos y de la lluvia eran utilizadas desde épocas muy tempranas por sus ciudadanos, debido al crecimiento de la población se vieron obligados a desarrollar sistemas más eficaces para el almacenamiento y distribución del agua, lo que los llevó a la construcción de las primeras redes de distribución a gran escala que requerían de materiales más sofisticados, como la cerámica, la madera y/o el metal. La verdadera novedad introducida por los griegos estuvo en que ellos fueron la primera sociedad en tener un interés claro por la calidad del agua que consumían; por ello, el agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia, y se utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Así llegamos a la época del imperio Romano, quienes fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia, ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su uso y aprovisionamiento, el agua recogida se transportaba a presas que permitían el almacenamiento y retención artificial de grandes cantidades de agua para distribuirla por toda la ciudad gracias a los sistemas de tuberías, fabricadas con materiales tan diversos como cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. La verdadera revolución llegó con los acueductos, ya que por primera vez se podía transportar agua entre puntos separados por una gran distancia, gracias a ellos, los romanos podían distribuir agua entre distintos puntos de su amplio imperio. En lo que se refiere al tratamiento de aguas, los romanos aplicaban el tratamiento por aireación para mejorar la calidad

del agua. Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar y hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua.

Así, durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo. Pasada esta larga etapa de estancamiento, las ciudades empiezan a desarrollarse y recuperar su esplendor en los siglos XVI y XVII. En la segunda mitad del siglo XVIII tiene lugar la revolución industrial, en la que se experimentan el mayor conjunto de transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales de la Historia de la humanidad, desde el Neolítico; es así que en los inicios del siglo XIX se genera el primer sistema de suministro de agua potable para toda una ciudad, fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb, tres años más tarde se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow. En 1806 empieza a funcionar en París la mayor planta de tratamiento de agua conocida hasta el momento, allí el agua sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración (los filtros consistían en arena, carbón y tenían una capacidad de seis horas). En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable, hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública. (Fan del Agua, 2017)

#### **10.2.1.3. Reutilización de aguas residuales tratadas.**

Otro aspecto importante de la presente propuesta es la reutilización de las aguas residuales tratadas, uno de los conceptos encontrados para este término es: “aquellas aguas residuales que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso.” (Arrauth Gómez & Taborda Armenta, 2018)

Desde un punto de vista “más clarificador”, se podría decir que la reutilización de las aguas es poner a disposición de un usuario final un agua regenerada, es decir, un agua previamente usada que ha sido sometida a diversos tratamientos con el objeto de alcanzar una calidad final que garantice que no existen riesgos para la salud pública y el medio ambiente, dicha calidad vendrá determinada por una norma en función del uso final previsto. La reutilización planificada del agua se está transformando en un componente integral en los proyectos de sanidad y suministro de agua en muchas regiones del mundo. La reutilización planificada del agua empezó en 1912 en Estados Unidos, concretamente en los estados de Arizona y California, destinando el agua para fines agrícolas, en Colorado y la Florida se desarrollaron sistemas para la reutilización en usos urbanos, la normativa sobre la reutilización se inicia en California en la misma época (1918). A partir de 1965, esta normativa impulsa de manera decisiva la regeneración, el reciclaje y la reutilización de las aguas residuales (Serra, 2007). Al analizar de forma particular la situación en Europa, se puede decir que, en la mayoría de los países del norte, donde los recursos acuáticos son abundantes, la reutilización de las aguas residuales tratadas no se considera un objetivo prioritario; sin embargo, la protección ambiental de los recursos hídricos sí resulta de interés general y en este sentido se llevan a cabo proyectos de reutilización, tanto para usos ambientales como industriales. (RUIZ, 2019)

Se puede decir que los desarrollos más significativos en la regeneración y reutilización del agua se han producido en países como:

- Estados Unidos, donde se registra el mayor número de sistemas de regeneración y reutilización implantados a gran escala, contando con unas 16.400 instalaciones públicas de tratamiento de aguas residuales, que descargan unos  $155 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/día

de aguas depuradas. Así mismo, existen unas 1.500 instalaciones de reutilización de aguas residuales depuradas.

- Australia, que en la pasada década ha llegado a ser uno de los países más activos a la hora de promover la reutilización de las aguas depuradas, básicamente para riego en agricultura, destinándose para tal fin  $420 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año, lo que supone el 82% del total de aguas depuradas en el año 2000 (Australian Bureau of Statistics, 2004).
- Japón, donde el mayor porcentaje de aguas reutilizadas se destina a los usos público-urbano, ambientales e industrial.
- Así mismo, países del Mediterráneo principalmente en zonas áridas (España, Portugal, Francia, Italia, Chipre y Grecia) han llevado a cabo proyectos de regeneración y reutilización del agua a partir de efluentes secundarios y terciarios.
- Otros países como: Israel, donde el 75% de las aguas residuales son tratadas y reutilizadas, contribuyendo al 30% del uso del agua en agricultura (Shuval, 2008); Túnez, donde la práctica de la regeneración y reutilización de las aguas residuales se realiza desde 1960, considerándose como parte integral del control de la contaminación de los cuerpos receptores y como fuente potencial de agua y fertilizantes para la agricultura, o países del Magreb (Marruecos, Argelia), han establecido programas adecuados para el riego agrícola utilizando aguas regeneradas.
- Otros países donde se están llevando a cabo proyectos relacionados con la reutilización de las aguas residuales regeneradas son: México, Egipto, Zimbabwe,

República de Sudáfrica, Namibia, referente internacional por ser país pionero en la reutilización directa para uso potable de las aguas regeneradas. (RUIZ, 2019)

En Colombia, desde la entrada en vigencia del Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente – CRN, se encuentra autorizado el reúso interno de las aguas residuales provenientes de las actividades agropecuarias e industriales y para el caso del riego agrícola, y se permite también el reúso externo, siempre y cuando sea hecho para abastecer actividades que pertenezcan a este mismo sector de la economía. (Arrauth Gómez & Taborda Armenta, 2018)

Para el diseño de la presente propuesta se deben tener en cuenta los dispositivos más usados para la recirculación del agua tratada; es por ello que a continuación se mencionarán las clases de bombas que se pueden usar y su clasificación, teniendo en cuenta también los tipos de tubería y las válvulas que se pueden utilizar, esto con el fin de identificar cual o cuales de ellas cumplen con las necesidades del proyecto.

- Bombas hidráulicas, son máquinas para elevar el agua u otros líquidos y darles el impulso requerido en una determinada dirección. Algunas clases de bombas de este tipo son:
  - Bombas de émbolo o pistón: tienen como elemento principal de trabajo un pistón que se mueve dentro de un cilindro; la succión del pistón aspira el agua y el empuje del mismo lo envía con más o menos presión por la tubería. Para ello necesitan válvulas que, por el mismo empuje del agua, cierran o abren las salidas.
  - Bombas de diafragma: son bombas aspirantes - impelentes, pero que trabajan solo por una de sus caras. La aspiración e impulsión se produce

por medio de un diafragma deformable, que es, generalmente, un círculo de goma sujeto fuertemente en su periferia y empujado por su centro, arriba y abajo. Un par de válvulas abren y cierran alternativamente la entrada y salida. Generalmente son construidas con hierro estañado, y como el estaño y la goma no son atacables por líquidos corrosivos, son adecuadas para el trasiego de estos líquidos. Se ceba por sí misma.

(Navarra.es)

➤ Bombas centrífugas: trabajan gracias a la gran velocidad de rotación que se les imprime; constan de un disco con aletas (llamados respectivamente, rodete y álabes), que gira dentro de un tubo circular que lo rodea, más estrecho al principio que al final, y que por su forma suele llamarse “caracol”. El agua entra en el tubo de aspiración al centro del rodete; los álabes la empujan fuertemente contra las paredes del caracol por fuerza centrífuga, y el empuje de sucesivas porciones de agua hace subir a ésta por el tubo de impulsión. (Navarra.es)

- Electrobombas, son bombas de eje vertical accionadas mediante un motor eléctrico, el rodete está introducido en el agua, no hay tubería de aspiración y por ello no se desceban. (Navarra.es)
- Tuberías de aspiración y válvulas: cebar una bomba centrífuga es llenar de agua toda la tubería de aspiración y el rodete, pues si tienen aire no pueden empezar a funcionar; para que esas partes queden llenas de agua se utilizan alcachofas con válvulas de pie. Se llama alcachofa a la parte por donde entra agua en la tubería de aspiración, dispone de agujeros para que ingrese el agua, pero no cuerpos mayores

(palos, plásticos, hojas, entre otras). Conviene poner, en aguas sucias, una tela metálica a la entrada del sitio donde está la alcachofa, pero no alrededor de esta. Las alcachofas suelen estar provistas de una o más válvulas de pie; es decir, que la entrada a ellas del agua se hace a través de unas piezas que giran sobre una charnela, dejando pasar el agua de abajo arriba cuando gira la bomba y que caen cuando ésta se para, taponando la salida del agua.

- Válvula de retención, esta válvula deja pasar el agua, pero no retroceder. Es muy robusta y se coloca a la salida de la bomba con el objetivo de defender a la bomba del golpe de ariete, que consiste en el retroceso del agua de la tubería de impulsión cuando se para la bomba o se cierra bruscamente una llave de paso. Efectivamente, esa agua avanza un poco más por inercia y luego cae con una fuerza mucho mayor que la presión a que la cual se encuentra sometida la tubería. (Navarra.es)

### ***10.2.2. Economía Circular***

Finalmente, en cuanto a la economía circular se puede definir como un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad y, cuyo objetivo es que el valor de los productos, materiales y recursos (agua, energía, entre otros), se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía. A diferencia de otros modelos económicos donde prima el aspecto económico por encima del social o medioambiental, la economía circular supone una sustancial mejora común tanto para las

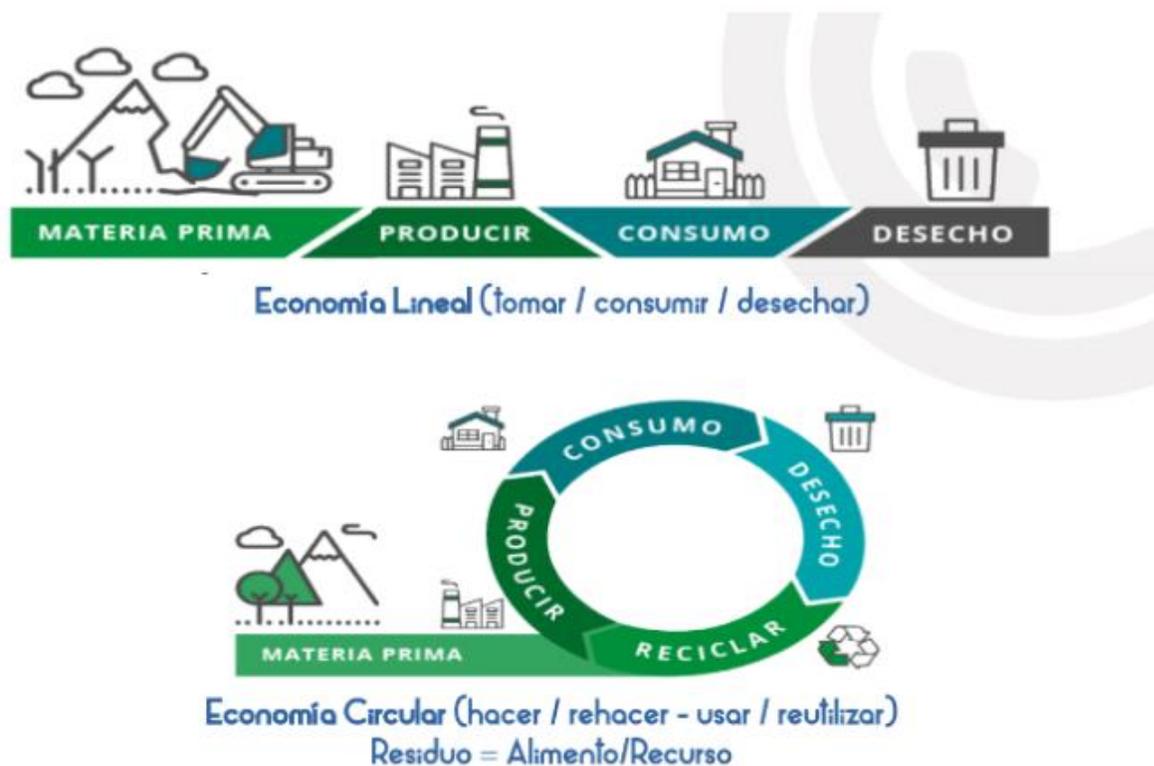
empresas como para para los consumidores, las empresas que han puesto en práctica este sistema están comprobando que reutilizar los recursos resulta mucho más rentable que crearlos desde cero. Como consecuencia, los precios de producción se reducen de manera que el precio de venta también se ve rebajado, beneficiando así al consumidor no sólo en lo económico, sino también en la vertiente social y medioambiental.

Las bases de la Economía Circular se definen en 9R: Repensar, Reutilizar, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reducir, Re-proponer, Reciclar y Recuperar.

A continuación, se muestra el proceso de transición de una economía lineal a una economía circular.

### **Figura 1**

*Proceso de Transición de una Economía Lineal a una Economía Circular*



Fuente: (Cardozo, 2019)

Según un artículo publicado el 01 de diciembre de 2020 por la Revista Jurídica Erg@omnes, la estrategia de economía circular en términos del jefe de Estado “es la primera política pública de Economía Circular que tiene América Latina, y la lanza Colombia que transformará las cadenas de producción y consumo del país, por medio del manejo eficiente de materiales, agua y energía” (Duque, 14 de junio de 2019). De acuerdo con esta intencionalidad, Colombia se convertirá en una de las tres economías más competitivas de América Latina para 2030 pasando de un 3.6% a un 6% del PIB. Esta estrategia es liderada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través del Viceministerio de creatividad y economía naranja y sus ministerios aliados y departamentos administrativos, quienes propugnan que son economías que: Incentivan a productores, proveedores, consumidores y demás actores de los sistemas productivos a que desarrollen nuevos modelos de negocio que incorporan la gestión de los residuos, el manejo eficiente de los materiales y el cambio en los estilos de vida de los ciudadanos, en sus tres ejes que involucran el aspecto económico en donde se pretende aprovechar los recursos, la reducción en costos en materias primas, y generar aperturas de nuevos mercados; eje ambiental en donde se pretende reducir los residuos y emisiones, además de la gestión eficiente y responsable de todo tipo de recursos, y lo que respecta del eje social con la generación de capacidades y creación de modelos de negocios modernos en relación a las formas de producción, nuevos servicios e infraestructura entre empresas y operaciones de nuevos sistemas de energía para minimizar el impacto a las comunidades y ecosistemas. (Ospino, 2020)

### **10.3. Marco Legal**

La Resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos. Señala las definiciones, normas sobre vertimientos, balance de materia o masa, usos del agua residual tratada, criterios de calidad, distancias mínimas de retiro para el desarrollo de la reutilización, obras, prevención, monitoreo, seguimiento, situaciones contingentes y régimen de transición. (Alcaldía de Bogotá)

La norma de vertimientos, la Resolución 0631 de 2015 reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país. Esta permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país, esta Resolución es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público; el control se realiza a partir de la medición de la concentración de las sustancias descargadas a los cuerpos de agua y que afectan la calidad del agua. A partir de lo dispuesto en esta Resolución la medición de las sustancias contaminantes se realizará en mg/L y no en kg/día, como se venía haciendo con el Decreto 1594 de 1984; lo anterior, permite contar con parámetros fijos a cumplir según la actividad productiva. Las autoridades ambientales son las responsables de hacer un seguimiento y control al cumplimiento de esta Resolución a través de los permisos de vertimientos sobre quienes desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las

mismas generen aguas residuales que son vertidas sobre cuerpos de agua superficiales o al alcantarillado público. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

El Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, es una compilación de las normas expedidas por el Gobierno Nacional en cabeza del Presidente de la República, en ejercicio de las facultades reglamentarias otorgadas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política. La pretensión de esta iniciativa es recoger en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes. (Minambiente)

El Decreto 1090 de 2018, reglamenta la Ley 373 de 1997 en lo relacionado con el programa para el uso eficiente y ahorro de agua y aplica a las Autoridades Ambientales, a los usuarios que soliciten una concesión de aguas y a las entidades territoriales responsables de implementar proyectos o lineamientos dirigidos al uso eficiente y ahorro del agua. (Alcaldía de Bogotá)

Comprometidos con el desarrollo sostenible de los colombianos, su calidad de vida, y el de las futuras generaciones, en el mes de marzo de 2020 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó una Estrategia Nacional de Economía Circular – ENEC, enfocándola como una nueva cultura y nuevos modelos de negocio, de transformación productiva y cierre de ciclos de materiales. La Estrategia orienta la innovación y la generación de valor agregado de sistemas de producción y consumo a través de la reducción, re-uso, reciclaje y aprovechamiento de

materiales, agua y energía; busca incentivar a empresas, consumidores y otros actores de cadenas de valor para que desarrollen e implementen nuevos modelos de negocio que incluyan el cierre de ciclos de materiales y energía, reemplazando productos por servicios, y generando una simbiosis entre empresas mediante nuevas alternativas de transformación productiva, con claros beneficios económicos, ambientales y sociales. El proyecto planteado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se encuentra incluido dentro de esta estrategia con la tipología de innovación tecnológica en el reúso de agua tratada.

A continuación, se encuentran relacionadas las metas e indicadores planteados en la Estrategia Nacional de Economía Circular respecto a los Flujos de Agua del 2022 al 2030:

## Figura 2

Metas e Indicadores del Flujo de Agua a Nivel Nacional Proyectadas al 2022 – 2030



Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2020)

## **11. Marco Metodológico**

### **11.1. Recolección de la Información**

#### ***11.1.1. Tipo de Investigación***

El tipo de investigación manejado para la presente propuesta es cuantitativo, ya que se cuenta con datos históricos sobre el consumo de agua en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada, área específica en la que se enfoca este trabajo.

De igual manera, se tienen los costos que asume la compañía por el consumo de este recurso, las cantidades de producto utilizados para el tratamiento de las aguas residuales y sus respectivos costes, los informes que se manejan sobre el agua y lo referente a ella.

#### ***11.1.2. Fuentes de Obtención de la Información***

##### **11.1.2.1. Fuentes de información primaria:**

Las fuentes de información primaria a través de las cuales se obtuvieron los datos incluidos en la presente investigación, fueron brindadas directamente por la empresa a través de los informes mensuales en los cuales se relacionan los datos de consumo y tratamiento del agua utilizada en la sección de empaque de líquidos industriales de la organización.

### **11.1.2.2. Fuentes de información secundaria:**

Las fuentes secundarias de información utilizadas han sido trabajos de investigación, tesis, monografías, artículos científicos y en general páginas de internet con proyectos debidamente referenciados.

### **11.1.2.3. Fuentes de información terciaria:**

En cuanto a las fuentes terciarias, se tiene la normatividad colombiana relacionada con Economía Circular y la reutilización de aguas residuales tratadas.

### ***11.1.3. Herramientas para la Investigación***

A continuación, se relacionan las herramientas usadas para el desarrollo de la investigación, que sirvieron como soporte para alcanzar los objetivos establecidos:

- Análisis gráfico: con la ayuda de esta herramienta se interpretó y evaluó críticamente la información estadística del proceso, con argumentos apoyados en los datos brindados por la empresa sobre el tema abordado.
- Hoja de ruta: sirvió como guía para plasmar las oportunidades referentes a la Economía Circular identificadas por la empresa, con acciones concretas y tiempos claros para su implementación. Esta hoja de ruta es flexible y permite incluir oportunidades de mejora. Con la creación de esta hoja de ruta, se buscó establecer: ¿Cuáles son las actividades claves para la implementación de la propuesta y su cronograma de ejecución? ¿Quién sería el responsable de ejecutar cada actividad?

- Diagrama de flujo: a través de una representación pictórica, se pudo generar una relación de los pasos del proceso, que fue útil para determinar el funcionamiento a la fecha del mismo, con el fin de estructurar una oportunidad mejora.
- Medir el progreso en la ejecución de la estrategia de Economía Circular a través de indicadores: estos permitirán que la empresa mida y monitoree el progreso del proceso planteado para asegurar el éxito en las oportunidades de Economía Circular identificadas, para lo cual se propone establecer indicadores de desempeño acordes a la naturaleza de la empresa, de modo que se puedan medir los avances y se cree un plan de monitoreo y seguimiento constante.
- Análisis costo beneficio: esta metodología sirvió para evaluar de forma exhaustiva los costes y beneficios del proyecto, con el objetivo de determinar si era viable y, si lo era, en qué medida. Para ello, los costes y beneficios fueron cuantificados y expresados en unidades monetarias, con el fin de calcular los beneficios netos del proyecto para la empresa.

#### ***11.1.4. Metodología de la Investigación***

A continuación, se relacionarán los pasos a tener en cuenta para alcanzar los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación:

Para el desarrollo del objetivo específico No. 1: “Realizar el levantamiento de datos para el análisis del proceso, con el fin de identificar los costos del consumo y del tratamiento de agua de la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada en el presente proyecto”, se realizarán las siguientes tareas:

1. Solicitar información (datos estadísticos) de interés sobre el proceso a la empresa, como los datos de consumo de agua en la sección de empaque de líquidos industriales (área investigada), los valores y los productos utilizados para los tratamientos de agua.
2. Pasar los datos a tablas que permitan un mejor análisis y gráficos a través de los cuales se pueda realizar un comparativo sobre los últimos 3 años.
3. Realizar el levantamiento y registro del proceso de flujo actual del agua.

Para el desarrollo del objetivo específico No. 2: “Identificar posibles soluciones existentes que se puedan emplear para generar un mayor aprovechamiento del agua tratada”, se efectuarán las siguientes actividades:

1. Realizar una investigación sobre proyectos similares, que sirvan como base para generar una propuesta eficiente para la reutilización del agua residual en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa.
2. Realizar una hoja de ruta basada en los conceptos de economía circular, con el fin de identificar oportunidades de mejora en la empresa respecto al aprovechamiento del agua residual tratada.
3. Definir una propuesta de diseño para la recirculación del agua una vez tratada, a través de las siguientes herramientas de economía circular: reutilizar, reducir y reciclar.

Para el desarrollo del objetivo específico No. 3: “Analizar y seleccionar la mejor opción para la reutilización del agua tratada en la sección de empaque de líquidos industriales de la

empresa de productos químicos abordada en el presente proyecto, considerando el costo-beneficio de su implementación”, se generarán las siguientes acciones:

1. Cotizar por lo menos con un proveedor el costo que tendría que asumir la organización para la ejecución de la propuesta planteada.
2. Realizar un análisis de costo-beneficio de la propuesta escogida.
3. Analizar los impactos tanto positivos como negativos a nivel social, económico y medioambiental, que la propuesta planteada pueda generar en la compañía.

#### ***11.1.5. Información Recopilada***

En primer lugar, hay que mencionar a la empresa de productos químicos abordada en la presente investigación, esta es una compañía que comercializa productos químicos de tipo industrial, cosmético y alimenticio. Esta propuesta se enfocará específicamente en la Sección de Empaque de Líquidos Industriales – SELI, ubicada en el cuarto piso de la bodega 20 de la compañía; allí se dispensan 72 productos diferentes que son separados para su empaque de acuerdo con su compatibilidad química, estos se dividen en hidrocarburos y/o solventes, ácidos y bases y/o tensoactivos, estos productos se empaacan en las presentaciones de garrafa, galón y kilo. Dentro de la operación de esta área se usa agua para garantizar que los productos queden limpios y sin residuos de químicos.

De acuerdo con los datos de la operación, el consumo promedio de agua por mes de esta área es de 16,4 m<sup>3</sup>, que después de la operación mencionada anteriormente es almacenada en unos tanques ubicados en el tercer piso de la bodega; allí se separan nuevamente por compatibilidad química en 3 tanques de 1.000 litros cada uno. Posteriormente, en el segundo piso en un tanque de clarificación se une el agua de los tres tanques; con ayuda de un motor este

recurso se revuelve durante un tiempo estimado de entre 2 y 3 minutos, luego se toma una muestra del agua para hacer el test de jarras y hacer un análisis para determinar qué productos químicos y en qué porcentajes se deben usar a gran escala para todo el recurso recolectado, luego se deja en reposo para que se sedimenten los coágulos formados y a través de una manguera se van colocando en un tambor los lodos húmedos a los cuales se les aplica un floculante para luego pasarlos por un filtro y ser deshidratados; en promedio estos lodos equivalen al 40% del agua total tratada. Finalmente, se almacenan como residuos peligrosos y se solicita a una empresa especializada que se haga cargo de su disposición final.

La siguiente tabla muestra los valores totales de agua consumida en lo corrido del año 2021 Vs el agua tratada que se podría incorporar al proceso de reutilización, teniendo en cuenta que en promedio el 4,6% del agua utilizada en la operación se convirtió en lodos deshidratados (desechos).

**Tabla 1.**

*Relación del Agua Consumida y el Agua Tratada Durante el año 2021*

| <b>Período</b>          | <b>Agua Consumida (L)</b> | <b>% Lodos Húmedos</b> | <b>% Lodos Deshidratados (Deshechos)</b> | <b>Agua Tratada (L)</b> |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|--|-------------------------|
| Enero                   | 19.302,00                 | 40%                    | 7,00%                                    | 17.950,86               |
| Febrero                 | 18.890,00                 | 40%                    | 7,00%                                    | 17.567,70               |
| Marzo                   | 17.570,00                 | 40%                    | 6,00%                                    | 16.515,80               |
| Abril                   | 12.185,00                 | 40%                    | 2,20%                                    | 11.916,93               |
| Mayo                    | 15.490,00                 | 40%                    | 3,00%                                    | 15.025,30               |
| Junio                   | 12.835,00                 | 40%                    | 2,20%                                    | 12.552,63               |
| Julio                   | 12.898,00                 | 40%                    | 4,80%                                    | 12.278,90               |
| Agosto                  | 13.470,00                 | 40%                    | 4,10%                                    | 12.917,73               |
| <b>Valores Promedio</b> | <b>15.330,00</b>          | <b>40%</b>             | <b>4,54%</b>                             | <b>14.590,73</b>        |

*Nota.* El porcentaje de lodos húmedos es la cantidad de agua que contiene residuos sólidos y que se separa de la demás para realizar la deshidratación de los lodos. El agua tratada es igual al valor total del agua consumida menos

el porcentaje de lodos deshidratados que son desechados debidamente por un tercero como residuos peligrosos.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por la empresa.

Al terminar de sacar los lodos húmedos, el agua que quedó en el tanque de clarificación pasa al tanque de oxidación, donde se aplica peróxido de hidrógeno para desinfectar el agua; a través de una motobomba esta se envía al filtro multimedia que contiene carbón activado y arena, allí este dispositivo absorbe la materia orgánica y quita las impurezas restantes del agua. Finalmente, el agua tratada es almacenada en un tanque que tiene una capacidad de 1.000 litros, allí se verifican los parámetros del recurso hídrico antes de verterlo al alcantarillado. Es en este punto donde se quiere intervenir con la presente propuesta, con el fin de aprovechar esta agua en la operación aplicando conceptos de economía circular en el proceso.

A continuación, se relacionan los datos con los que se cuenta sobre el consumo de agua y los productos usados para el tratamiento de este recurso, en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada.

**Tabla 2***Histórico del Consumo de Agua por Mes Durante los Tres últimos Años*

| Mes            | Consumo de Agua por Mes |                       |                    |                       |                    |                       | % Consumo / Mes |
|----------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
|                | 2019                    |                       | 2020               |                       | 2021               |                       |                 |
|                | Agua Consumida (L)      | Valor Mensual Consumo | Agua Consumida (L) | Valor Mensual Consumo | Agua Consumida (L) | Valor Mensual Consumo |                 |
| Enero          | 10.000                  | \$ 80.263             | 12.440             | \$ 120.133            | 19.302             | \$ 189.633            | 9,30%           |
| Febrero        | 12.540                  | \$ 100.649            | 14.980             | \$ 144.662            | 18.890             | \$ 185.585            | 10,34%          |
| Marzo          | 12.346                  | \$ 102.085            | 13.870             | \$ 156.481            | 17.340             | \$ 181.463            | 9,71%           |
| Abril          | 11.110                  | \$ 91.865             | 5.290              | \$ 59.682             | 12.185             | \$ 127.516            | 6,37%           |
| Mayo           | 14.891                  | \$ 123.129            | 13.450             | \$ 138.685            | 15.490             | \$ 156.333            | 9,77%           |
| Junio          | 11.595                  | \$ 95.875             | 15.260             | \$ 157.349            | 12.835             | \$ 131.619            | 8,84%           |
| Julio          | 14.350                  | \$ 118.655            | 13.060             | \$ 129.316            | 12.898             | \$ 131.320            | 8,98%           |
| Agosto         | 13.640                  | \$ 112.785            | 15.215             | \$ 150.654            | 13.470             | \$ 137.144            | 9,43%           |
| Septiembre     | 14.879                  | \$ 123.029            | 18.830             | \$ 178.136            |                    |                       | 7,51%           |
| Octubre        | 13.040                  | \$ 107.823            | 20.324             | \$ 192.269            |                    |                       | 7,44%           |
| Noviembre      | 9.527                   | \$ 78.776             | 16.780             | \$ 164.024            |                    |                       | 5,86%           |
| Diciembre      | 10.429                  | \$ 86.234             | 18.480             | \$ 180.641            |                    |                       | 6,44%           |
| <b>Totales</b> | <b>148.347</b>          | <b>\$ 1.221.168</b>   | <b>177.979</b>     | <b>\$ 1.772.031</b>   | <b>122.410</b>     | <b>\$ 1.240.615</b>   | <b>100,00%</b>  |

*Nota.* La tabla representa las cantidades y costes del consumo de agua mes a mes durante los años 2019, 2020 y 2021, también se relacionan los porcentajes de los consumos mensuales de este recurso con base en el total general, es decir la suma de los tres años. Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por la empresa.

**Tabla 3**

*Información Facturas Emitidas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá Bimestralmente*

*Años 2020 – 2021*

| <b>Período Facturado</b> | <b>Consumo (m<sup>3</sup>)<br/>Bodega 20</b> | <b>Valor pagado</b> | <b>Consumo (m<sup>3</sup>)<br/>SELI</b> | <b>Valor pagado</b> |
|--------------------------|--|---------------------|---|---------------------|
| 19-01-2020 / 18-03-2020  | 90,00  | \$ 869.130          | 27,42                                   | \$ 264.795          |
| 19-03-2020 / 18-05-2020  | 50,00  | \$ 564.100          | 19,16                                   | \$ 216.163          |
| 19-05-2020 / 16-07-2020  | 68,00  | \$ 701.160          | 28,71                                   | \$ 296.034          |
| 17-07-2020 / 14-09-2020  | 79,00  | \$ 782.230          | 28,28                                   | \$ 280.019          |
| 15-09-2020 / 13-11-2020  | 97,00  | \$ 917.641          | 39,15                                   | \$ 370.367          |
| 14-11-2020 / 13-01-2021  | 91,00  | \$ 889.522          | 35,26                                   | \$ 344.665          |
| 14-01-2021 / 13-03-2021  | 102,00                                       | \$ 1.002.102        | 38,19                                   | \$ 375.199          |
| 14-03-2021 / 12-05-2021  | 80,00  | \$ 837.202          | 29,53                                   | \$ 309.032          |
| 13-05-2021 / 12-07-2021  | 83,00  | \$ 851.142          | 28,09                                   | \$ 288.055          |
| <b>Valores Promedio</b>  | <b>82,22</b>                                 | <b>\$ 823.803</b>   | <b>30,42</b>                            | <b>\$ 304.925</b>   |

*Nota.* Datos consolidados del consumo del servicio de agua durante el año 2020 y lo que va corrido del año 2021, según facturas bimestrales emitidas por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. Fuente:

Elaboración propia con base en los datos relacionados en las facturas.

**Tabla 4**

*Consumo de Agua por Tanque Mes a Mes Durante el Año 2021 en Litros*

| <b>Mes</b>                  | <b>Días<br/>Laborados /<br/>Mes</b> | <b>Tanque<br/>Bases</b> | <b>Tanque<br/>Ácidos</b> | <b>Tanque<br/>Solventes</b> | <b>Consumo de<br/>Agua / Mes</b> | <b>Promedio Consumo<br/>de Agua / Mes</b> |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---|
| Enero                       | 23                                  | 9.587                   | 6.586                    | 3.129                       | 19.302                           | 6.434                                     |
| Febrero                     | 24                                  | 9.560                   | 5.280                    | 4.050                       | 18.890                           | 6.297                                     |
| Marzo                       | 26                                  | 8.175                   | 7.105                    | 2.290                       | 17.570                           | 5.857                                     |
| Abril                       | 23                                  | 6.285                   | 3.950                    | 1.950                       | 12.185                           | 4.062                                     |
| Mayo                        | 24                                  | 6.860                   | 6.040                    | 2.590                       | 15.490                           | 5.163                                     |
| Junio                       | 23                                  | 6.870                   | 3.330                    | 2.635                       | 12.835                           | 4.278                                     |
| Julio                       | 25                                  | 5.920                   | 4.038                    | 2.940                       | 12.898                           | 4.299                                     |
| Agosto                      | 24                                  | 6.170                   | 4.840                    | 2.460                       | 13.470                           | 4.490                                     |
| <b>Valores<br/>Promedio</b> | <b>24</b>                           | <b>7.428</b>            | <b>5.146</b>             | <b>2.756</b>                | <b>15.330</b>                    | <b>5.110</b>                              |

*Nota.* Cantidad de agua consumida en cada tanque de almacenamiento de agua residual clasificados como: bases, ácidos y solventes, de acuerdo con el registro mensual llevado por la empresa. Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por la empresa.

**Tabla 5**

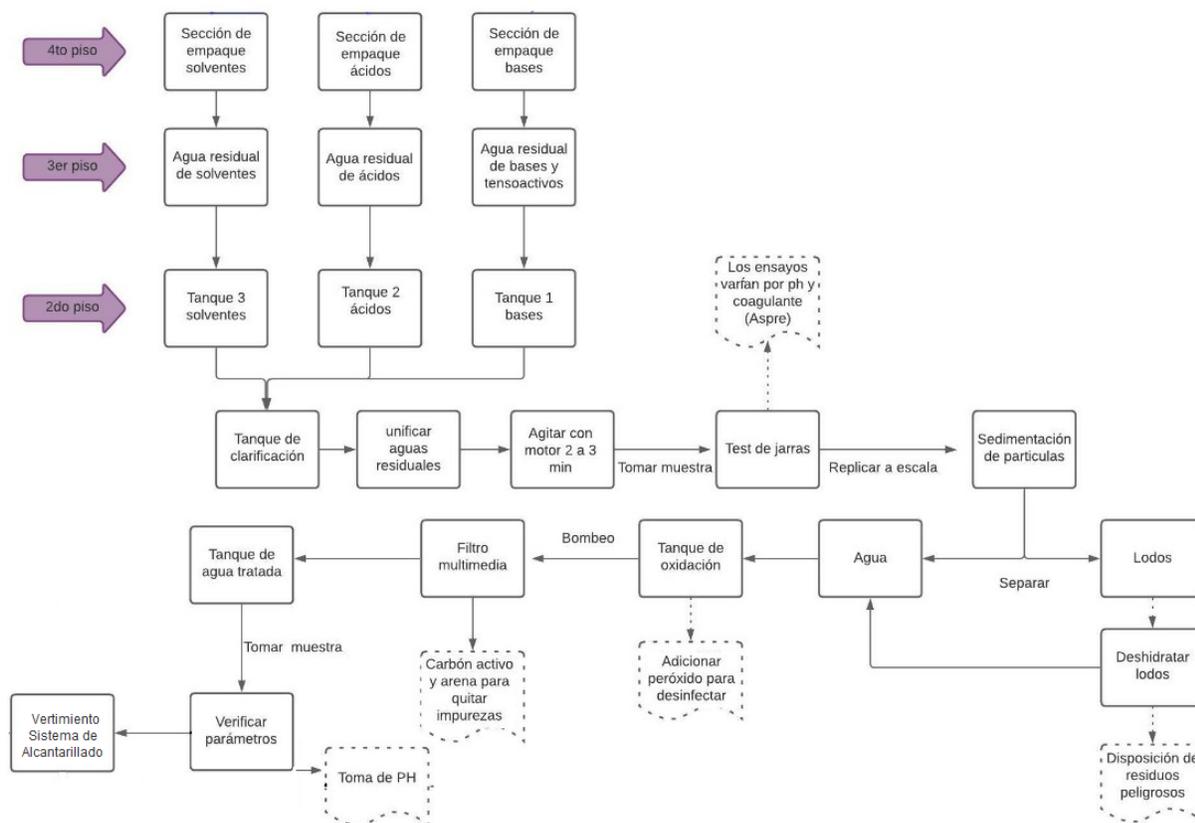
*Cantidad de Producto Usado para el Tratamiento de Aguas Residuales Mes a Mes Durante el Año 2021 por Kilogramo*

| <b>Mes</b>     | <b>Ácido nítrico</b> | <b>Aspre</b>  | <b>Peróxido</b> | <b>Policrilamina 0,1 %</b> | <b>Soda líquida</b> | <b>Costo Tratamiento</b> |
|----------------|----------------------|---------------|-----------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| Enero          | 0,000                | 12,20         | 0,00            | 0,00                       | 0,60                | \$ 707.906               |
| Febrero        | 0,000                | 14,70         | 0,00            | 0,00                       | 0,80                | \$ 834.319               |
| Marzo          | 0,016                | 20,70         | 2,40            | 7,00                       | 0,70                | \$ 1.248.164             |
| Abril          | 0,000                | 7,10          | 0,40            | 0,00                       | 1,60                | \$ 312.417               |
| Mayo           | 0,000                | 24,70         | 0,80            | 12,00                      | 2,60                | \$ 1.247.472             |
| Junio          | 0,000                | 6,70          | 0,00            | 0,00                       | 0,00                | \$ 249.384               |
| Julio          | 0,923                | 28,19         | 2,00            | 0,00                       | 4,75                | \$ 1.301.387             |
| Agosto         | 2,306                | 10,43         | 0,00            | 0,00                       | 0,00                | \$ 443.077               |
| <b>Totales</b> | <b>3,245</b>         | <b>124,71</b> | <b>5,60</b>     | <b>19,00</b>               | <b>11,05</b>        | <b>\$ 6.344.124</b>      |

*Nota.* Relación de los productos, las cantidades y los costos asumidos por la empresa para el tratamiento de aguas residuales durante el año 2021; las cantidades mensuales de estos productos varían según el PH del agua en el momento de realizar el test de jarras para cada tratamiento. Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por la empresa.

Figura 3

## Diagrama Actual del Flujo y Tratamiento del Agua en la Sección de Empaque de Líquidos Industriales



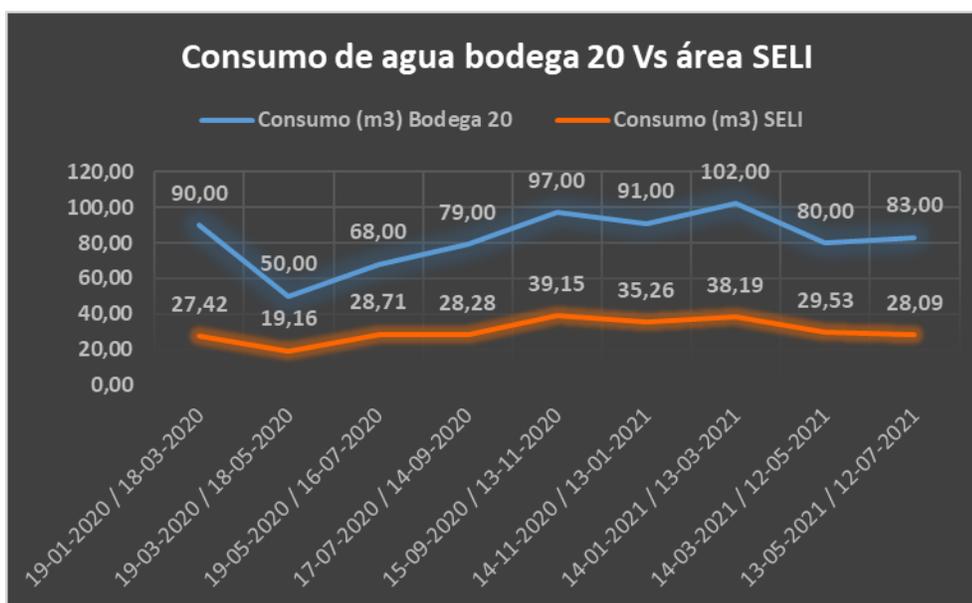
**Nota:** Este diagrama muestra el flujo del agua que se usa en la operación de Empaque de Líquidos Industriales, iniciando en el cuarto piso con las labores de despeje de línea, limpieza y lavado de productos; posteriormente, el recurso consumido pasa a los tanques de almacenamiento del tercer piso, donde se dividen por compatibilidad química. En el segundo piso se genera todo el tratamiento químico del agua residual, para finalmente, realizar el vertimiento del recurso hídrico a los sistemas de alcantarillado público bajo los parámetros establecidos por la Norma de Vertimientos de Aguas Residuales – Resolución 631 de 2015. Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por la empresa.

## 11.2. Análisis de la Información

A continuación, se relaciona el análisis efectuado a los datos recolectados sobre el consumo de agua y los productos usados para el tratamiento de este recurso, en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos abordada.

**Figura 4**

*Diagrama Comparativo del Consumo de Agua en la Bodega 20 Vs el Área de Empaque de Líquidos Industriales Durante los Años 2020 y 2021*



**Nota:** Este diagrama muestra los datos consolidados del consumo de agua durante el año 2020 y lo que va corrido del año 2021, en la Bodega 20 y el área de empaque de líquidos industriales (área que se encuentra dentro de la bodega 20) de la empresa de químicos abordada en la presente investigación. Fuente: Elaboración propia.

Según el consumo del total de la bodega, se puede concluir que el promedio por cada bimestre es de 82,22 m<sup>3</sup>, en cuanto al área SELI su media es de 30,42 m<sup>3</sup>; es decir, el 37% del agua utilizada en la bodega se usa para la operación del área abordada en la presente investigación, para los procesos de: empaque, limpieza de los productos, despeje de línea, plan

de seguridad, limpieza y desinfección; el 63% restante se emplea en los demás procesos de la bodega.

Durante los períodos de septiembre a noviembre de 2020 y de enero a marzo de 2021, se evidencia un aumento en el consumo de agua, debido a un incremento en los empaques por el crecimiento de la demanda en la venta de diferentes productos.

**Figura 5**

*Diagrama Comparativo del Consumo de Agua Vs el Agua Tratada en la Sección Empaque de Líquidos Industriales Durante el Año 2021*



Fuente: Elaboración propia.

Según los datos del agua consumida en lo que va corrido del año 2021, se evidencia que en promedio el 4,5% del agua utilizada se desecha como lodos deshidratados (residuos peligrosos) que se generan a partir del tratamiento del recurso hídrico, ya que no se recuperará este porcentaje puesto que no se puede incorporar nuevamente al proceso.

En cuanto al agua tratada que se puede reincorporar a la operación, se obtuvo un promedio de 14,59 m<sup>3</sup> mensuales, que actualmente se están desaprovechando ya que son vertidos al alcantarillado público luego de su tratamiento. La oportunidad de mejora que se presenta en esta operación, es incorporar nuevamente esta cantidad de agua en los procesos que se llevan a cabo en el área de empaque de líquidos industriales, generando un uso responsable y adecuado de este recurso, evitando desperdicios innecesarios.

**Figura 6**

*Diagrama Comparativo del Consumo de Productos para el Tratamiento de Aguas Residuales por Mes Durante el Año 2021*



**Nota:** Este diagrama muestra los datos consolidados por cada producto utilizado para el tratamiento del agua utilizada en la operación de la sección de empaque de líquidos industriales – SELI. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7**

*Diagrama Comparativo de los Costos Mensuales del Tratamiento de Aguas Residuales Durante el Año 2021*



Fuente: Elaboración propia.

En los dos diagramas anteriores se pueden evidenciar tanto las cantidades de producto usado para el tratamiento de agua que se efectúa en el área SELI, como los costos en los que ha incurrido la empresa por el mismo en lo que va corrido del año 2021. En los meses de marzo, mayo y julio se evidencia un incremento en estos valores, debido a que la cantidad de tratamientos fue mayor por la cantidad de químicos empacados.

### **11.3. Propuesta de Solución**

Las propuestas de solución planteadas a continuación, se pensaron principalmente con el objetivo de enfocarlas en las siguientes herramientas de economía circular:

1. Reutilizar: Lograr que, a través de las oportunidades de mejora encontradas, se pueda volver a usar el agua utilizada en los procesos productivos una vez esta sea tratada.
2. Reciclar: Gracias a la recirculación del agua, lograr un aprovechamiento de más del 90% de la misma, extendiendo así su vida útil a través de un uso eficiente de este recurso.
3. Reducir: Obtener una reducción tanto en los niveles de consumo de agua potable, como en los costos de este servicio para la compañía.

#### ***11.3.1. Propuesta No. 1***

La propuesta pensada inicialmente para la recirculación del agua tratada, consistió en la reutilización de este recurso en los mismos procesos productivos que generan su tratamiento. En primera instancia se pensó en instalar un tanque para el almacenamiento del agua tratada con una capacidad de 2000 litros, que se ubicaría en la terraza de la bodega 20 (quinto piso) donde se encuentra el cuarto de máquinas, ya que en esta parte se cuenta con el espacio suficiente para su instalación.

En el segundo piso de la bodega donde se encuentra ubicado el tanque de tratamiento del agua, se instalaría una motobomba a través de la cual se pasaría el agua tratada al tanque de almacenamiento de 2000 litros que se ubicaría en la terraza. Teniendo en cuenta que la Sección de Empaque de Líquidos Industriales – SELI se encuentra ubicada en el cuarto piso de la bodega, se realizaría una instalación para que a través de 3 registros el agua almacenada pasara automáticamente a este piso para los procesos productivos que generan el tratamiento de este

recurso, volviéndose a generar el ciclo completo de la reutilización y posterior tratamiento del agua.

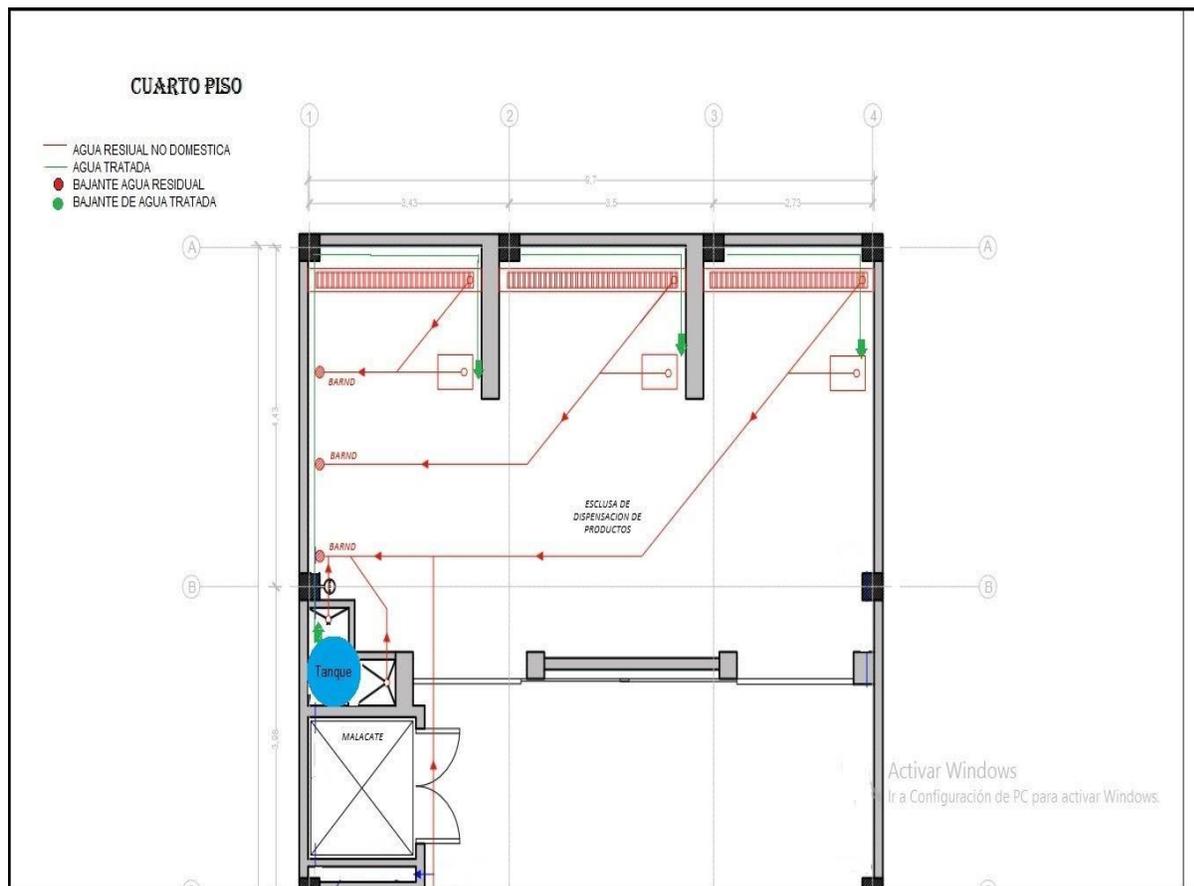
Para la implementación de esta propuesta se requeriría de los siguientes materiales y procesos:

- Tanque de 2000 litros
- Un sistema Hydrofresh pre-ensamblado 1.5 hp 110/220v más un tanque de 100 L horizontal Pedrollo
- Un Flotador de Nivel
- Un arrancador completo para la motobomba
- Cableados para reconexión de la motobomba
- Tubos PVC
- Uniones de PVC
- Codos PVC
- Te de PVC
- Registros
- Soldaduras
- Limpiadores
- Base para Instalación de la motobomba
- Mano de obra
- Excavación de la placa

## Propuesta de Diseño:

**Figura 8**

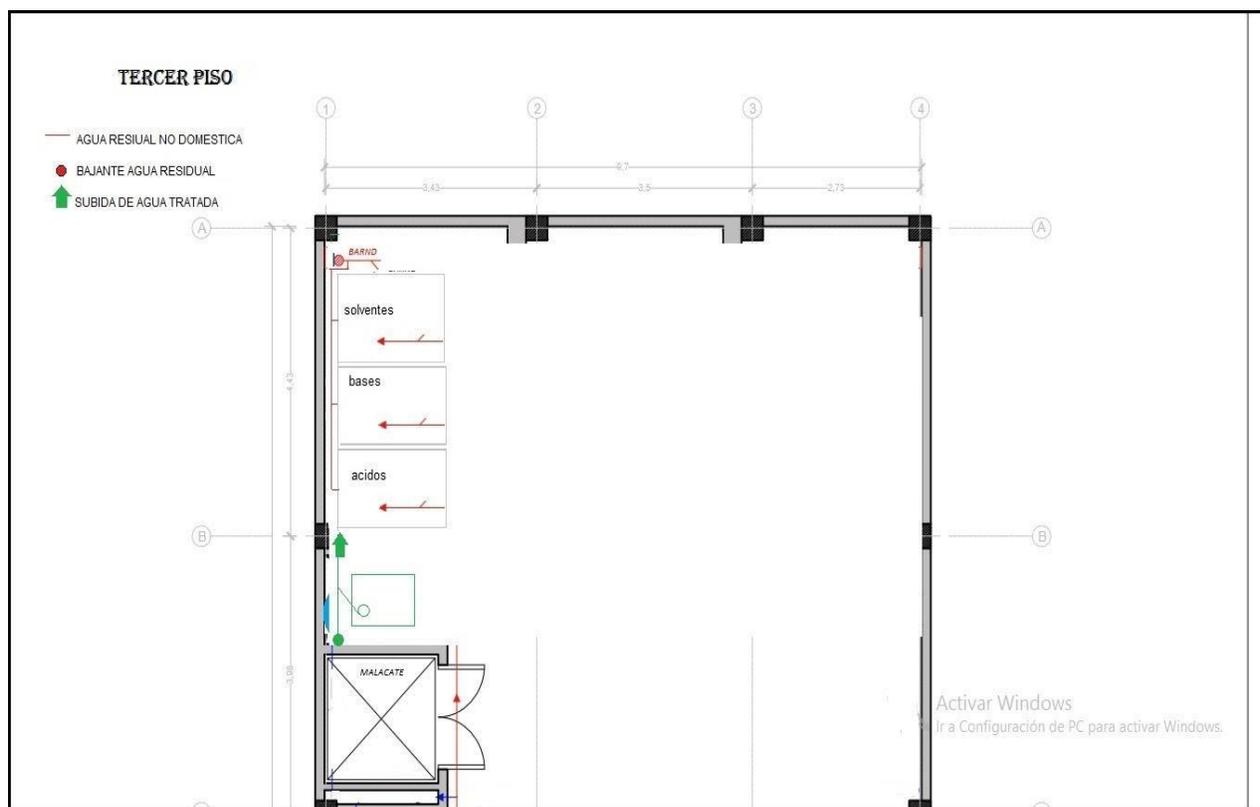
Diagrama del Cuarto Piso de la Bodega 20 de la Empresa de Químicos Industriales



**Nota:** Estos planos muestran el flujo del agua por el cuarto piso de la bodega, espacio donde se llevan a cabo los procesos de: empaque, limpieza de los productos, despeje de línea, plan de seguridad, limpieza y desinfección que son los procesos que más agua consumen. Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

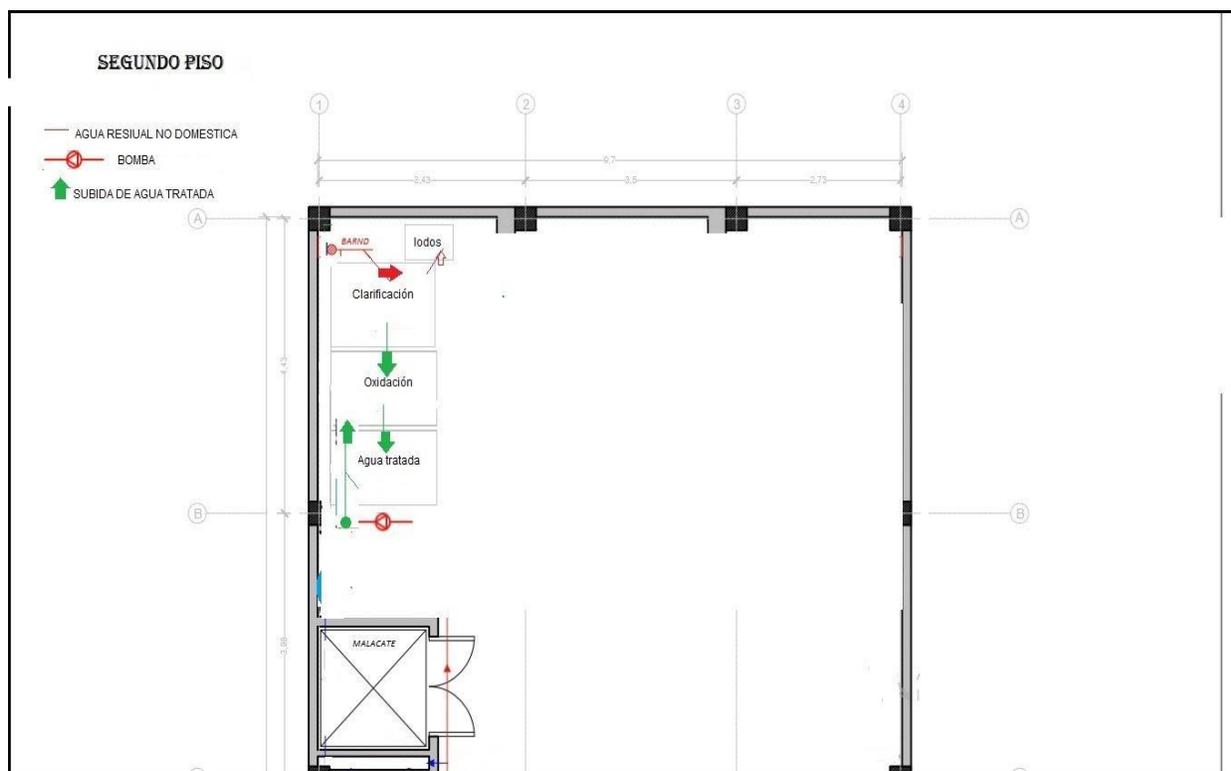
Diagrama del Tercer Piso de la Bodega 20 de la Empresa de Químicos Industriales



**Nota:** Estos planos muestran el tercer piso de la bodega, en donde se crearía una regata para la instalación de la tubería a través de la cual subiría el agua, para lo cual se tendría que perforar la placa. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 10**

*Diagrama del Segundo Piso de la Bodega 20 de la Empresa de Químicos Industriales*



**Nota:** Estos planos muestran el segundo piso de la bodega, en donde se tendría que crear otra regata y perforar la placa, en este punto se instalaría la electrobomba al lado del tanque del agua tratada, que posterior a su tratamiento recircularía a través de la bomba al cuarto piso. Fuente: Elaboración propia.

### **11.3.2. Propuesta No. 2**

Se solicitó a una empresa especializada en motobombas y plomería una cotización para realizar la instalación que permita la recirculación del agua tratada, luego de la visita técnica efectuada presentaron la siguiente propuesta:

- Instalar un sistema de bombeo en el segundo piso de la empresa, espacio donde se encuentra ubicado el tanque de almacenamiento del agua tratada, desde allí colocar la tubería necesaria para retornar el fluido hasta el cuarto piso.

- Instalar tres válvulas en el cuarto piso de la bodega que es donde se llevan a cabo los procesos productivos, una en cada sección, es decir, una para los solventes, una para los ácidos y una para las bases, permitiendo a través de las mismas la recirculación del agua tratada para ser usada nuevamente en los mismos procesos que generaron su tratamiento.

En este caso no es necesario generar la instalación de un tanque de almacenamiento en la terraza del edificio; puesto que, cada vez que se abran las válvulas en el cuarto piso la bomba se accionará automáticamente, siempre y cuando haya fluido en el tanque del agua tratada ubicado en el segundo piso. De no hallar agua en el tanque, la motobomba cuenta con un flotador que emitirá una señal para que esta no se accione; caso en el que se abrirán las válvulas del agua potable y se generará el flujo normal de este recurso como se realiza actualmente.

### ***11.3.3. Propuesta Seleccionada***

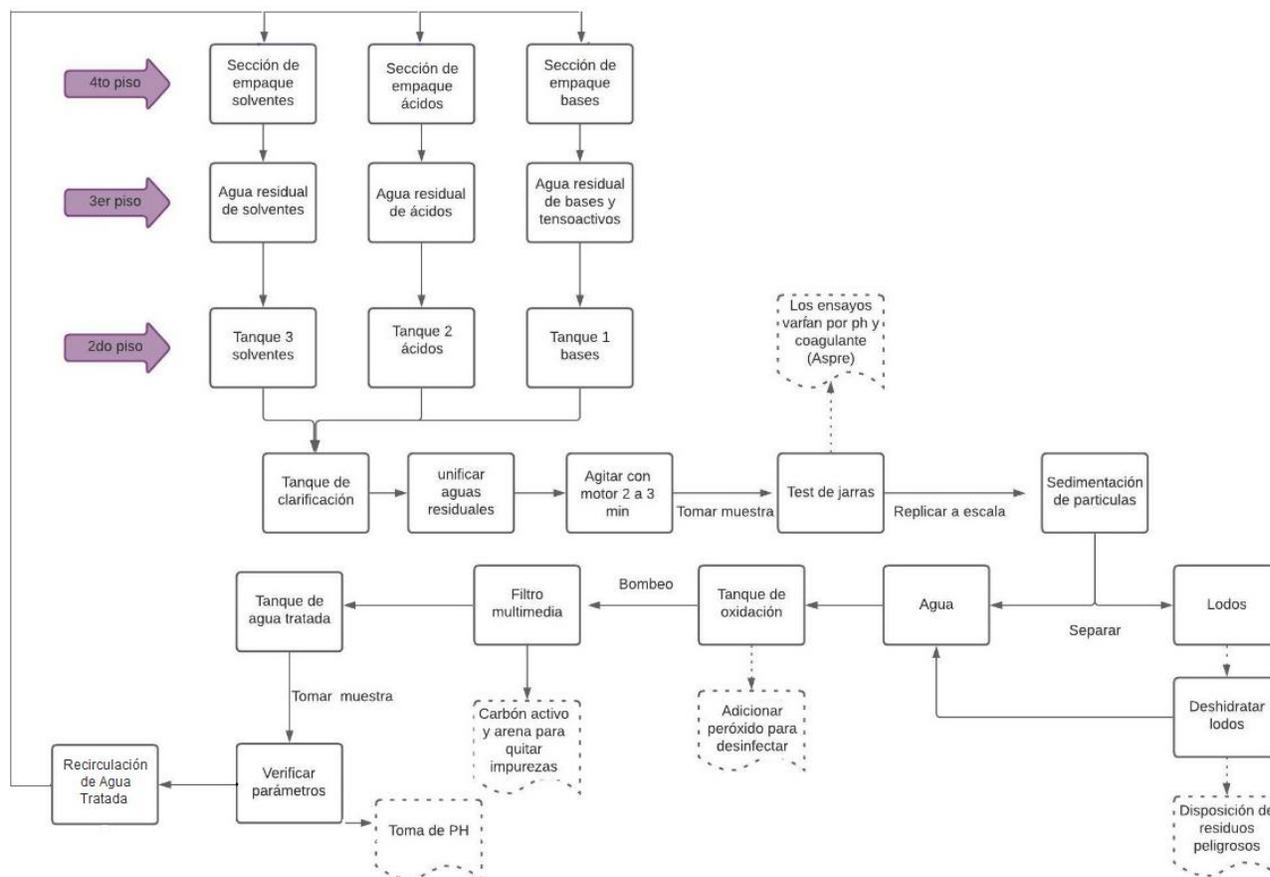
Se determinó que la mejor propuesta fue la planteada por el proveedor especializado en motobombas y plomería, teniendo en cuenta que con esta no se tendría que instalar un tanque de almacenamiento adicional, lo que generaría un ahorro tanto monetario como en espacio para la empresa.

A continuación, se plantea el diseño de un nuevo diagrama de flujo del agua que se usa en la operación de Empaque de Líquidos Industriales incluyendo la reutilización de este recurso:

Figura 11

## Diagrama Propuesto del Flujo y Tratamiento del Agua en la Sección de Empaque de Líquidos

## Industriales



**Nota:** En este diagrama aparte de mostrar el flujo normal del agua que se usa en la operación de Empaque de Líquidos Industriales, se incluyó la recirculación del agua tratada, eliminando el vertimiento de este recurso al alcantarillado como se hace actualmente, permitiendo su reutilización iniciando nuevamente con su flujo en los procesos productivos que generan e tratamiento. Fuente: Elaboración propia con base en los datos suministrados por la empresa.

A partir de lo anterior, a continuación, se relacionan las tareas a ejecutar con el fin de realizar la implementación de la propuesta seleccionada:

- Una vez escogido el proveedor que va a realizar la instalación, determinar el tiempo de entrega de la misma.
- Presentación de la propuesta seleccionada con la información brindada por el proveedor ante la alta gerencia, incluyendo las cifras de ahorro pronosticadas con su implementación.
- Una vez se apruebe la propuesta, iniciar con el proceso de contratación del proveedor y ejecución de la obra.
- Realizar un seguimiento a través de indicadores que permitan identificar el cumplimiento de los datos proyectados tanto en consumo, como en ahorro.
- Brindar capacitaciones y realizar actividades de sensibilización que permitan a los colaboradores conocer sobre la economía circular y las herramientas de reutilización, reducción y reciclaje del agua, con el fin de desarrollar procesos para la gestión del cambio en este aspecto para la organización.

## **12. Impactos**

### **12.1. Impactos Esperados**

A través de la implementación de la presente propuesta, se pretende obtener los siguientes resultados:

- Realizar procesos de sensibilización al interior de la compañía, mediante capacitaciones a través de las cuales se den a conocer las herramientas de economía circular que se pretenden implementar con la presente propuesta; es decir, la reutilización, la reducción y el reciclaje del agua.

- Reducir el consumo de agua potable del área abordada en la presente investigación en un aproximado de 175 m<sup>3</sup> al año
- Lograr reciclar y reutilizar toda el agua residual tratada
- Ahorro en los costes del consumo de agua
- Reducción de impactos ambientales
- Evitar posibles sanciones por incumplimiento de los parámetros del agua que es vertida en el alcantarillado público
- Que la presente propuesta se pueda aplicar tanto en la bodega de empaque de líquidos industriales de la empresa abordada en la presente investigación, como en las demás bodegas de la compañía

## **12.2. Impactos Alcanzados**

Durante el desarrollo de la presente investigación, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se realizó el levantamiento de la información referente a los costos mensuales del consumo de agua de la bodega 20 y del área SELI de la empresa de químicos investigada.
- Se realizó el levantamiento de la información referente a los costos mensuales del tratamiento de agua en el área SELI.
- Se realizó el levantamiento de la información referente a las cantidades de consumo de agua y de productos para el tratamiento de este recurso
- Se determinó la cantidad de agua que puede ser incorporada nuevamente a la operación, generando un estimado del ahorro que esto puede representar para la empresa.

- Se presentó ante los directivos de la empresa la propuesta planteada en la presente investigación, con el fin de determinar su viabilidad y posterior implementación.

### 13. Análisis Financiero

#### 13.1. Inversión

*Tabla 6*

*Cotización para la Instalación del Equipo para la Recirculación del Agua Tratada*

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Precio Uni.</b> | <b>Valor Total</b>  |
|-----------------|---|--------------------|---------------------|
| 1               | SISTEMA HYDROFRESH PREENSAMBLADO 1.5 HP 110/220V<br>+ TANQUE 100 LT HORIZONTAL PEDROLLO | \$ 3.060.204       | \$ 3.060.204        |
| 1               | Flotador de Nivel   | \$ 220.000         | \$ 220.000          |
| 1               | Arrancador completo para motobomba  | \$ 35.000          | \$ 35.000           |
| 1               | Cableados para reconexión de la motobomba   | \$ 18.000          | \$ 18.000           |
| 4               | Tubos PVC de 6 m x 1"   | \$ 102.816         | \$ 411.264          |
| 6               | Uniones de 1" PVC   | \$ 2.142           | \$ 12.852           |
| 10              | Codos PVC de 1"   | \$ 3.142           | \$ 31.416           |
| 6               | Te de PVC de 1"   | \$ 4.712           | \$ 28.274           |
| 1               | Soldadura 1/4   | \$ 157.080         | \$ 157.080          |
| 1               | Limpiador 1/4   | \$ 78.540          | \$ 78.540           |
| 1               | Base para Instalación de la motobomba   | \$ 170.000         | \$ 170.000          |
| 1               | Mano de obra ( con excavación de placa)   | \$ 800.000         | \$ 800.000          |
|                 |   | <b>Subtotal</b>    | <b>\$ 5.022.630</b> |
|                 |   | IVA 19%            | \$ 954.300          |
|                 |   | <b>Total</b>       | <b>\$ 5.976.930</b> |

Fuente: (Beltrán, 2021)

#### 13.2. Utilidad

Teniendo en cuenta que la presente propuesta se encuentra enfocada en un factor ambiental que es la reutilización, reducción y reciclaje del agua, no se prevé como tal una ganancia, pero si se estima un ahorro tanto económico en cuanto a los costes del consumo del agua como en el mismo consumo de este recurso, que con base en los datos de los tratamientos obtenidos en lo que va corrido del año 2021, se estima una media de ahorro monetario mensual de \$147.643.

También se tiene proyectada la reducción del impacto ambiental causado actualmente por el desperdicio del agua, y se estima un ahorro mensual promedio de 14,59 m<sup>3</sup> de agua potable.

### 13.3. Retorno de la Inversión

El pronóstico para el retorno de la inversión se calculó con base en los datos de los tratamientos efectuados en lo que va corrido del año 2021. Con base en lo anterior, se determinó un estimado de 4 años (48 meses) como tiempo en el cual se recuperaría el primer ciclo de la inversión.

**Tabla 7**

*Pronóstico para el Cálculo del Retorno de la Inversión Según el Agua Consumida, Tratada y el Valor Mensual del Consumo Durante el Año 2021*

| <b>Período</b>          | <b>Agua Consumida<br/>(m<sup>3</sup>)</b> | <b>Agua Tratada<br/>(m<sup>3</sup>)</b> | <b>Valor Mensual<br/>Consumo</b> | <b>Cálculo Ahorro<br/>Mensual</b> |
|-------------------------|---|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| Enero                   | 19,30                                     | 17,95                                   | \$ 189.633                       | \$ 176.359                        |
| Febrero                 | 18,89                                     | 17,57                                   | \$ 185.585                       | \$ 172.594                        |
| Marzo                   | 17,57                                     | 16,52                                   | \$ 181.463                       | \$ 170.576                        |
| Abril                   | 12,19                                     | 11,92                                   | \$ 127.516                       | \$ 124.711                        |
| Mayo                    | 15,49                                     | 15,03                                   | \$ 156.333                       | \$ 151.643                        |
| Junio                   | 12,84                                     | 12,55                                   | \$ 131.619                       | \$ 128.724                        |
| Julio                   | 12,90                                     | 12,28                                   | \$ 131.320                       | \$ 125.017                        |
| Agosto                  | 13,47                                     | 12,92                                   | \$ 137.144                       | \$ 131.521                        |
| <b>Totales</b>          | <b>122,64</b>                             | <b>116,73</b>                           | <b>\$ 1.240.615</b>              | <b>\$ 1.181.144</b>               |
| <b>Valores Promedio</b> | <b>15,33</b>                              | <b>14,59</b>                            | <b>\$ 155.077</b>                | <b>\$ 147.643</b>                 |

**Nota:** En esta tabla se efectuó el cálculo mensual del ahorro con base en la cantidad de agua tratada que es la que se puede reutilizar en los procesos productivos de la empresa y teniendo en cuenta los valores del consumo extraídos de los recibos emitidos por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado Público de Bogotá. Fuente: Elaboración propia.

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio Obtenido} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

$$\text{ROI} = \text{Cálculo a 4 años}$$

$$\text{ROI} = \frac{(\$147.643 * 48) - \$5.976.930}{\$5.976.930}$$

$$\text{ROI} = 19\%$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ROI, se puede concluir que transcurridos 4 años se tendría un retorno del 1,19 sobre la inversión realizada; es decir, se obtendría un ahorro del 19% adicional sobre la misma. Es de aclarar, que el presente análisis fue efectuado con los datos obtenidos sobre los costos del consumo del año 2021, por ende, para períodos posteriores se deben tener en cuenta los aumentos que se presenten en los costos del servicio de agua de la ciudad de Bogotá.

## 14. Conclusiones y Recomendaciones

### 14.1. Conclusiones

Con el desarrollo de la presente investigación se puede concluir que, existe una oportunidad de mejora en la sección de empaque de líquidos industriales de la empresa de productos químicos estudiada, ya que, de acuerdo con los datos obtenidos el agua que es desechada actualmente se puede reincorporar a la operación en los procesos manejados en el área, ya que su pH luego del tratamiento que le es efectuado así lo permite, puesto que cumple con los estándares establecidos en la normatividad vigente.

Por otra parte, se estima que reincorporando el agua tratada a la operación se podrán reutilizar 175 m<sup>3</sup> al año, dándole un uso responsable a este recurso a través de herramientas de

economía circular (reutilización, reducción y reciclaje), evitando desperdicios innecesarios, mitigando la contaminación del medioambiente y generando un aporte positivo en la organización de tipo ambiental, económico y social.

Finalmente, dado que la presente propuesta se encuentra enfocada en un factor ambiental y que no se prevé como tal una ganancia, si se puede inferir que al implementarla se podría generar una media de ahorro monetario mensual para la compañía de \$147.643.

#### **14.2. Recomendaciones**

Teniendo en cuenta que en la empresa se deben dar a conocer las herramientas de economía circular que permitan un ahorro y uso responsable del agua, se plantean las siguientes recomendaciones:

En primer lugar, se hace necesario brindar capacitaciones y realizar actividades de sensibilización que permitan a los colaboradores conocer sobre la economía circular y las herramientas de reutilización, reducción y reciclaje del agua que se pretenden implementar con la presente propuesta. Además de abordar otras posibles herramientas relacionadas con las 9'R que se puedan implementar en la compañía.

En segundo lugar, realizar la estandarización de los tiempos requeridos para el lavado de los productos que se empacan en la operación, teniendo en cuenta su composición tanto química como física, ya que dependiendo de ello puede variar el consumo de agua considerablemente.

En tercer lugar, se recomienda elaborar un programa para el ahorro de agua que involucre a las demás áreas de la bodega estudiada, teniendo en cuenta que el 63% del consumo de este recurso se genera en las secciones restantes.

En último lugar, si la presente propuesta es implementada en la empresa, se recomienda incluir indicadores que permitan determinar el cumplimiento de los datos proyectados e identificar posibles oportunidades de mejora.

## 15. Bibliografía

Alcaldía de Bogotá. (s.f.). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=20575>

ARIAS, P. C. (2020). *UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA*. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/35043/L%C3%B3pezAriasPaula2020.pdf?se>

Arrauth Gómez , A. C., & Taborda Armenta, G. (2018). *Universidad de la Costa*. Obtenido de

<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/223/1140877425%201140884535.pdf?sequence=1>

Beltrán, L. H. (11 de 09 de 2021). Cotización Propuesta Comercial. Bogotá: bom obras.

Cansi, F. &. (15 de 07 de 2020). "*Agua nueva*": notas sobre sostenibilidad de la economía circular. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*. Obtenido de

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/106328/1/Sostenibilidad\\_02\\_04.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/106328/1/Sostenibilidad_02_04.pdf)

Cardozo, R. (24 de 06 de 2019). *BBVA*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/py/que-es-la-economia-circular-y-por-que-es-importante/>

Condorchem. (s.f.). *Condorchem*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales/>

- Cruz Vicente, M. A., & Agatón Lorenzo, D. y. (2018). *EL AGUA DESDE LA ECONOMÍA CIRCULAR: BASE PARA EL TURISMO SUSTENTABLE Y EL DESARROLLO LOCAL EN ACAPULCO*. Obtenido de [http://ru.iiec.unam.mx/4277/1/3-Vol2\\_Parte2\\_Eje12\\_Cap1-058-Cruz-Agaton-Anorve.pdf](http://ru.iiec.unam.mx/4277/1/3-Vol2_Parte2_Eje12_Cap1-058-Cruz-Agaton-Anorve.pdf)
- Delgado, J. P. (Noviembre de 2016). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Delgado-17/publication/330675212\\_Adaptacion\\_del\\_ciclo\\_del\\_agua\\_en\\_el\\_municipio\\_de\\_Alcantarilla\\_hacia\\_un\\_modelo\\_de\\_economia\\_circular\\_mediante\\_acciones\\_de\\_eficiencia\\_energetica\\_y\\_la\\_incorporacion\\_de\\_energias\\_renovables](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Delgado-17/publication/330675212_Adaptacion_del_ciclo_del_agua_en_el_municipio_de_Alcantarilla_hacia_un_modelo_de_economia_circular_mediante_acciones_de_eficiencia_energetica_y_la_incorporacion_de_energias_renovables)
- Doncel, G. R. (2019). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15824/4/2019-economia\\_circular\\_colombia.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15824/4/2019-economia_circular_colombia.pdf)
- F, J. M., & Cardona-Zea, D. A. (08 de 03 de 2020). *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/2913/291365765007/291365765007.pdf>
- Fan del Agua. (27 de 04 de 2017). *Fan del Agua*. Obtenido de <https://fandelagua.com/por-que-es-importante-el-tratamiento-del-agua/>
- Ferrero, J. C. (Diciembre de 2019). *Repositorio UAM*. Obtenido de [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689846/EM\\_63\\_13.pdf?sequence=1&isAllowed=yGranados](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689846/EM_63_13.pdf?sequence=1&isAllowed=yGranados)
- Granados, L. S. (2020). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=265581>

Hoyos, J. F. (2020). *Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquia*. Obtenido de [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/14961/7/VillaJuan\\_2020\\_ReusoEstresHidrico.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/14961/7/VillaJuan_2020_ReusoEstresHidrico.pdf)

Maria Cláudia da Silva Antunes de Souza, C. L. (Diciembre de 2019). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7329350>

Minambiente. (s.f.). *Minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/decretos?id=2093>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (03 de 2020). Obtenido de [https://fe9c5c67-cd98-4467-9b62-e0ccd6cd05d9.filesusr.com/ugd/aadf14\\_84fba881e59348de8be9f66c01fa3987.pptx?dn=4%20ENEC%20MADS.pptx](https://fe9c5c67-cd98-4467-9b62-e0ccd6cd05d9.filesusr.com/ugd/aadf14_84fba881e59348de8be9f66c01fa3987.pptx?dn=4%20ENEC%20MADS.pptx)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de 03 de 2015). *Colombia Circular*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/calidad/vertimientos-y-reuso-de-aguas-residuales>

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (28 de 06 de 2018). *Sistema Único de Información Normativa*. Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30035323>

MORALES, A. M. (Febrero de 2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15101/1/UPS%20-%20ST003409.pdf>

Moreno, J. M. (19 de 10 de 2016). *Universidad de Alicante*. Obtenido de <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma/article/view/3293/2681>

- Moreno, J. M. (2019). *Universitat d'Alacant*. Obtenido de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88467/1/Congreso\\_Nacional\\_Agua\\_2019\\_27-52.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88467/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_27-52.pdf)
- Navarra.es. (s.f.). *Navarra.es*. Obtenido de <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/4F8A02B4-A60A-42EA-9017-7C19F8722FA2/305689/Bombas2.pdf>Ospino
- Ospino, E. J. (2020). Eficacia de las políticas públicas sociales, empresariales y ambientales de la economía naranja y economía circular en Colombia. *Erg@omnes - Revista Jurídica*, 15.
- Real Academia Española. (2020). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/agua>
- Recytrans. (28 de 11 de 2013). *Recytrans Soluciones Globales para el Reciclaje*. Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/aguas-residuales/>
- RICARDO, N. M. (2019). *Universidad Autónoma de Occidente*. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6259/T04268.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Río, M. B. (Junio de 2016). *Repositorio abierto de la Universidad de Cantabria*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9165/TFG%20Manuel%20Barbero%20del%20R%C3%ADo%20-%20libre.pdf?sequence=1>
- RUIZ, M. T. (10 de 09 de 2019). *Universidad de Alcalá*. Obtenido de [https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/41913/TFM\\_Mendez\\_Ruiz\\_2019.pdf;jsessionid=9E673DCFF911AC3830DD98288AA24DAC?sequence=1](https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/41913/TFM_Mendez_Ruiz_2019.pdf;jsessionid=9E673DCFF911AC3830DD98288AA24DAC?sequence=1)
- Sánchez, C. R. (03 de 05 de 2021). *Dialnet*. Obtenido de [https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2021/04/2021\\_05\\_03-Ram%C3%ADrez-Econom%C3%ADa-Circular-Recursos-Hidricos.pdf](https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2021/04/2021_05_03-Ram%C3%ADrez-Econom%C3%ADa-Circular-Recursos-Hidricos.pdf)

Universidad San Martín de Porres. (2018). *Universidad San Martín de Porres*. Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>

Vivas, M. A. (23 de 01 de 2019). Reutilización de agua depurada de la PTAR El Salitre, Bogotá, Colombia. *Reutilización de agua depurada de la PTAR El Salitre, Bogotá, Colombia*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.