Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Tecnología en Gestión Ambiental y Servicios Públicos

Trabajo de Grado

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS EN LA INDUSTRIA POR MEDIO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN

Estudiante

Carlos Javier Bejarano Pérez

Directora:

Dra. Ing. Yolima Del Carmen Agualimpia Dualiby

Bogotá D.C

2022

Resumen

En la industria se genera un consumo hídrico excesivo, tanto en labores de limpieza como en procesos de producción específicos de cada industria. La contaminación, el desabastecimiento y el desperdicio son problemas que conllevan graves consecuencias ambientales, sociales y económicas. Por lo tanto, el propósito de este es brindar un panorama amplio sobre la reutilización de aguas residuales industriales desde una revisión bibliográfica sistemática que permita indagar en la información relevante sobre el tema, identificando métodos, ventajas y conceptos relacionados a esta alternativa que mitiga el impacto negativo del uso del agua en la industria.

Para ello se sistematizó y sintetizo la información relevante y común de los documentos. La implementación de un sistema de reutilización de aguas residuales industriales es una alternativa valiosa y necesaria para mitigar el consumo industrial excesivo de agua y el impacto negativo del vertimiento de aguas residuales.

Palabras clave

Aguas residuales industriales, reutilización, sostenibilidad, economía circular.

Tabla de contenido

1. Introducción 1

2.Objetivos 4

3.Metodología 5

3.1.Recopilación de información. 6

3.2.Revisión 7

4.Resultados 8

4.1 Nociones Clave 9

4.2 Efectos dañinos de las aguas residuales 13

4.3 Reutilización de aguas residuales industriales 14

4.4 Ventajas de la reutilización de aguas residuales 18

4.5 Procesos de Tratamiento de aguas residuales 19

4.6 Empresas en Colombia comprometidas con la sostenibilidad hídrica 21

4.7 Modelo de reutilización de aguas residuales industriales. 24

5.Discusión 32

6.Conclusiones 34

7.Recomendaciones 36

8.Referencias 37

1. Introducción

El agua es un elemento esencial para el desarrollo y sostenimiento de la vida en el planeta, puesto que forma parte indispensable de los procesos biológicos. Su contaminación y escasez plantea amenazas a los cuerpos hídricos, la salud humana, la biodiversidad y el ambiente. Uno de los caminos hacia la sostenibilidad hídrica es la reutilización de las aguas residuales tratadas de la industria mediante el uso de un sistema modelo que recolecta, desinfecta y almacena este preciado elemento para ser reintegrado en los ciclos de producción disminuyendo el consumo y desperdicio del agua.

En su texto sobre la importancia del agua Juana Paredes (2013) comenta que la sociedad recurre al agua para generar crecimiento económico a través de actividades como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. Específicamente en la industria el agua es un recurso básico usado como materia prima o como un recurso auxiliar usado en procesos de producción, así como, en calefacción, refrigeración o para limpieza. Sin embargo, se debe ser consciente de que su disponibilidad es limitada y, por lo tanto, es necesario promover un uso eficiente y sostenible del agua.

Si bien en nuestro país hay políticas y legislaciones sobre el manejo y tratamiento de aguas residuales; en su informe sobre el tratamiento de aguas residuales la empresa Acuatecnica (2017) concluye que pese a los esfuerzos que se han hecho entre comunidades y entes institucionales como: el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales, la inclusión de la noción de sostenibilidad en el Plan Nacional de Desarrollo y la Política Integral de Recursos Hídricos; se encuentran debilidades para fijar objetivos, planes y metas en calidad ambiental. Los

programas de control y seguimiento no son lo suficientemente efectivos y, además, los escasos recursos financieros afectan la continuidad de los programas generando irregularidades de asistencia técnica.

El tratamiento de las aguas residuales es un aspecto esencial para evitar la contaminación ambiental y afortunadamente existe ya una legislación (Resolución 631, 2015) que exige un tratamiento apropiado de las aguas residuales para ser vertidas con una calidad adecuada a los ríos. Sin embargo, un buen uso y gestión del agua no solo implica cumplir con los límites máximos permisibles de vertimiento establecidos en la resolución 631 de 2015 porque esta resolución no regula el excesivo consumo y desperdicio hídrico en la industria.

La organización humanitaria Acción Contra el Hambre (2017) que brinda agua potable a comunidades sin acceso a fuentes hídricas, asegura que debido al aumento del uso del agua en las últimas décadas los afluentes son incapaces por sí mismos de absorber y neutralizar las cargas de contaminantes. En su artículo sobre las aguas residuales Héctor Rodríguez (2017) afirma que sus efectos contaminantes causan que los cuerpos hídricos pierdan sus condiciones naturales, su apariencia física y la capacidad de proveer vida poniendo en riesgo la fauna y flora de estas zonas afectadas e imposibilitando su navegabilidad.

En ese sentido es necesario ir más allá, estableciendo procedimientos que aseguren el respeto al entorno natural y disminuyan la huella hídrica reduciendo el consumo de agua en los procesos industriales y desarrollando estrategias de reutilización de mayor eficiencia. La reutilización debe definirse en los lugares en que se requieren masivas cantidades de agua para los usos que sostienen el desarrollo económico, no tan solo el abastecimiento a poblaciones sino la industria, la agricultura y los elementos paisajísticos destinados a mejorar la imagen del país.

Los sistemas de reutilización, que presentan una solución a los problemas derivados del consumo de agua, pueden ser sistemas de gran tamaño o sistemas compactos; sin importar su tamaño buscan que las aguas contaminadas sean tratadas y regresen a su ciclo de uso. Los sistemas compactos requieren menos espacio, suelen requerir menos gastos energéticos, están diseñados para el ahorro de espacio y realizan un tratamiento rápido y eficaz del agua residual. Los sistemas de gran tamaño exceden las necesidades de una industria, ya que se tratan generalmente de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). En ambos casos, para estos sistemas es necesario un control constante que ayude a tener mejores resultados, manejado por personal especializado que garantice los estándares de calidad.

Con base en lo anterior se identificó la necesidad de revisar documentos relacionados al tratamiento de aguas residuales industriales en Colombia, ya que, el propósito de este trabajo es brindar información relevante para el uso sostenible de los recursos hídricos a nivel industrial que aporte a la implementación de sistemas de recolección y reutilización de aguas residuales, reconociendo que desinfectar y reintegrar el agua al ciclo de producción de la industria disminuye el riesgo de contaminación de los cuerpos hídricos aledaños y contribuye positivamente a la preservación medio ambiental.

2. Objetivos

Objetivo general

- Determinar la aplicabilidad del uso de un sistema sostenible que ayude a la reutilización del agua residual industrial

Objetivos específicos

- Analizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales existentes.
- Caracterizar alternativas de sistemas de reutilización de aguas residuales industriales tratadas.
- Evaluar la reutilización de aguas residuales industriales tratadas

3. Metodología

Para brindar un panorama amplio sobre la reutilización de aguas residuales industriales se realizó una revisión bibliográfica sistemática indagando en aspectos que pueden ser de utilidad en la implementación de un sistema de reutilización de este tipo, revisando casos en los que se han implementado estos sistemas en distintas industrias nacionales y, finalmente, proponer un modelo de sistema de reutilización de aguas residuales industriales que sintetiza la información revisada.

Para ello se revisó sistemáticamente de manera descriptiva una cantidad aceptable de documentos en un rango de tiempo específico y según temas relevantes relacionados a la reutilización de aguas residuales. La metodología se estructuró en dos fases:

3.1. Recopilación de información.

La búsqueda de documentos se realizó según una lista de criterios específicos en fuentes de todo tipo que presentaran información relevante y cierta autoridad. Los criterios definidos fueron estos:

- **Localización**: Colombia, México, Estados Unidos y España.
- **Rango de fechas**: 2015 - 2022
- **Número de Documentos**: >50
- **Temas**: ‘reutilización de aguas residuales’, ‘sostenibilidad hídrica en Colombia’, ‘economía circular’, ‘tratamientos de aguas residuales industriales’.

Con estos criterios se procuró obtener información amplia y relevante en torno a la reutilización de aguas residuales industriales, luego se buscaron casos empresariales locales. Si un documento cumplía con estos criterios es revisado de manera general y, dado el caso, recopilado.

3.2. Revisión

Una vez que los textos fueron recopilados, se sistematizaron en una tabla datos de interés de los documentos, se hizo la lectura de los dichos documentos, de la cual se extrajeron ideas claves que permitieron identificar la información relevante que hay en común sobre el tema. También se resumió la información de los casos industriales locales de reutilización de aguas residuales. Los datos tabulados de cada documento fueron:

- Fecha de Publicación
- Autor(es)
- Tipo de documento - Título.
- Palabras Clave .
- Resumen.
- Resultados.
- Conclusiones.
- Enlace

En la sección de resultados se desglosa la información relevante relacionada a la reutilización de aguas residuales industriales que se recopiló de los documentos para entender de manera amplia este tema y aportar una referencia útil para quienes tengan interés sobre el tema o su implementación, por último, se dará a conocer un sistema de reutilización modelo con las diferentes etapas de sus procesos y las utilidades de cada uno de sus componentes.

4. Resultados

Se obtuvieron una serie de resultados cualitativos útiles para conocer de forma general lo relacionado a la reutilización de aguas residuales industriales, estos resultados son: una lista de nociones claves relacionadas al tema, una lista de efectos dañinos producidos por las aguas residuales, los tipos de aguas reutilizables y sus posibles usos. Además, se identificaron las ventajas de implementar estos sistemas, así como los procesos de tratamiento de aguas residuales más frecuentes.

Para tener una perspectiva local del tema se revisaron cinco casos de empresas en Colombia que le apuestan a la reutilización de aguas residuales, aunque al ser empresas privadas la información es poco técnica y de carácter general. Por último, se presenta una propuesta de modelo de sistema de reutilización de aguas residuales industriales con base en toda la información revisada.

4.1 Nociones Claves

A partir de la revisión de los documentos se listó y definió la siguiente serie de nociones relacionadas a la reutilización de aguas residuales que permiten entender este concepto de manera amplia e integral.

- ***Sostenibilidad***

El objetivo de la *sostenibilidad* es "proteger el planeta, frenar el cambio climático e impulsar el desarrollo social sin poner en riesgo la vida" (Sostenibilidad Para Todos, 2019). Podemos decir que la sostenibilidad busca satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la disponibilidad de recursos para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras. Bajo este concepto, según Santander Universidades (2022), se busca cubrir las necesidades de la población, al mismo tiempo que se garantiza un equilibrio entre el crecimiento de la economía, el respeto al medioambiente y el bienestar social.

- ***Sostenibilidad Hídrica***

La disponibilidad de agua es limitada e insustituible, clave para el bienestar humano y solo funciona como recurso renovable si está bien gestionado su uso. Sostenibilidad Hídrica significa procurar que las actividades productivas y de bienestar social en las que se utiliza el agua no generen una degradación de las dinámicas naturales que permiten su disponibilidad en cantidad y calidad, es decir, procurar evitar la degradación de la cuenca hidrográfica. Por ejemplo, En el manual producido por la Coordinadora Latinoamericana y del Caribe de Pequeños Productores y Trabajadores de Comercio Justo (2017) se comenta qué una de las tantas actividades que hacen uso del agua es la actividad agrícola, en la que las plantas necesitan del agua para poder crecer, desarrollarse, florear y fructificar y, de igual manera, el agua es un factor esencial en las actividades de procesamiento postcosecha. Y desde una perspectiva más amplia, el agua

sirve de vínculo crucial entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente.

En ese sentido y siguiendo la reflexión de las Naciones Unidas (UN, 2014), la disponibilidad hídrica se vuelve un claro reto para el desarrollo social contemporáneo, pero gestionada de manera sostenible, eficiente y equitativa, posee un papel facilitador clave en el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas sociales, económicos y ambientales a la luz de cambios rápidos e imprevisibles.

- ***Economía circular.***

La economía circular, según la Fundación Ecolec (2022), es un modelo de gestión en el que se establece un ciclo que evita el despilfarro de los recursos naturales operando como un sistema de aprovechamiento de recursos que se sostiene en cuatro pilares (cuatro "R"): *reducir, reutilizar, reparar y reciclar*. Presentándose como una alternativa sostenible al tradicional modelo económico de *extraer, producir, desperdiciar* que está llegando ya al límite de su capacidad física.

Para cumplir su meta de "lograr mantener el equilibrio entre el progreso y la sostenibilidad." (Repsol, 2022), la economía circular busca imitar el comportamiento cíclico de la naturaleza, donde todo tiene valor y todo se aprovecha, donde los residuos se convierten en un nuevo recurso. Por lo tanto, la economía circular es "una alternativa atractiva que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad." (Ellen Macarthur Foundation, 2017).

En síntesis, la economía circular es un modelo de producción y consumo que garantiza un crecimiento sostenible, promoviendo la optimización de recursos, la reducción del consumo de materias primas y el aprovechamiento de los residuos, dándoles una nueva vida para convertirlos en nuevos productos.

Una economía consigue ser sostenible y circular gestionando eficientemente los recursos utilizados, manteniéndolos en recirculación en el sistema económico el mayor tiempo posible, generando menos residuos y evitando utilizar recursos que sean innecesarios, reduciendo así impactos ambientales y permitiendo la restitución y regeneración del capital natural.

- ***Economía circular hídrica***

La Fundación Conama, (2020) advierte que la necesidad de afrontar el cambio climático, la reducción de la calidad del agua y la gran demanda de la misma por los sectores económicos hacen esencial una transformación del modelo en la gestión de este elemento vital. Bajo el modelo de producción/consumo actual el agotamiento de los recursos naturales es una realidad a la que nos enfrentaremos si no fomentamos un cambio.

Los recursos, incluyendo el agua, pueden reutilizarse dejando atrás los patrones tradicionales de *extraer, producir, desperdiciar*. Bajo esta premisa Rede América (2020) concluye que en los últimos años el concepto de economía circular vinculado a la noción de sostenibilidad se ha constituido como la alternativa del consumo responsable.

Se requiere, entonces, orientar a las entidades y empresas que disponen del agua en su operación y/o procesos de producción, a una transformación que privilegie la sostenibilidad de materias y recursos, incluidos el agua y la energía. Esto se consigue, según la Fundación Conama (202), seleccionando de forma inteligente los recursos, evitando los no renovables y las materias primas críticas, y favoreciendo la utilización de materiales reciclados siempre que sea posible y cumplan los requisitos para una finalidad determinada.

Una economía circular del agua debe contar con procesos adecuados que permitan reintegrar a los procesos productivos o de uso el recurso hídrico del que se dispuso, es decir, procesos que permitan *reutilizar* el agua residual en el ciclo de producción/uso de la misma industria evitando desperdicios y la potencial contaminación de cuerpos hídricos tras el vertimiento de esas aguas residuales.

- ***Reutilización de agua residual.***

La reutilización del agua residual se ha convertido en una necesidad medioambiental de suma importancia, puesto que muchas actividades humanas generan aguas residuales que, sin la aplicación de los procesos adecuados, podrían acabar contaminando los cuerpos hídricos, trayendo consigo afectaciones al medio ambiente y por ende a la salud de los ecosistemas y poblaciones aledañas.

Para poder reutilizar agua residual tratada de las industrias es necesario procesarla, purificarla y descontaminarla, puesto que esta agua ha tenido anteriormente un uso dentro de un proceso de producción y puede contener sustancias tóxicas perjudiciales para los distintos seres con los que entre en contacto.

Para poder ofrecer este segundo uso útil a las aguas residuales industriales es necesario aplicar un tratamiento adicional al tratamiento convencional de depuración, las aguas tratadas destinadas a la reutilización se denominan aguas regeneradas. Las aguas residuales industriales, aunque son muy variadas en su composición según la industria y el uso que hayan tenido pueden contener “sustancias tóxicas de naturaleza orgánica e inorgánica, metales pesados, hidrocarburos y otros compuestos tóxicos” (AEDyR, 2020).

4.2 Efectos dañinos de las aguas residuales

Aunque las aguas residuales deben ser tratadas antes de ser vertidas en cuerpos hídricos, esto es insuficiente para mitigar el impacto medio ambiental. La importancia de reutilizar las aguas residuales se evidencia en los efectos dañinos que su mal manejo produce.

- **Malos olores:** Se producen por el desdoblamiento anaeróbico de los complejos orgánicos de las sustancias contaminantes que generan gases resultados de la descomposición.
- **Acción tóxica:** Las aguas residuales afectan la fauna y flora de los cuerpos receptores de vertimiento provocando pérdidas en el ecosistema y riesgo de enfermedad e incluso muerte para quienes la consuman. En particular las sustancias que provocan acción tóxica son “los productos químicos como los pesticidas, las sustancias tensoactivas (detergentes), los minerales inorgánicos y los compuestos químicos industriales” (Estrucplan, 2000).
- **Agentes patógenos:** Son un peligro para las comunidades expuestas a las aguas receptoras que contienen estos agentes que transmiten enfermedades. Un ejemplo de esto es el caso que comenta Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A, (2015), donde el riego de plantas alimenticias con estas aguas ha motivado epidemias de amebiasis, y su vertimiento al mar ha producido contaminación de criaderos de ostras y de peces.
- **Modificación de la apariencia física:** La modificación estética en áreas recreativas donde se descargan efluentes contaminados.
- **Polución térmica:** Según Héctor Rodríguez (2017) esta es generada por ciertos residuos líquidos industriales que poseen altas temperaturas.

4.3 Reutilización de aguas residuales industriales

Inicialmente la reutilización solía tener un único propósito que generalmente se trataba de responder a un problema de control de contaminación o de abastecimiento. Actualmente los planteamientos están cada vez más condicionados por dos factores: "los niveles crecientes de calidad exigidos para el vertido y la limitada disponibilidad de recursos de primera utilización para hacer frente a demandas crecientes" (Igme, 2012).

Las aguas residuales resultan de la mezcla de aguas con sólidos u otros líquidos que afectan su composición. El agua deja de ser potable al entrar en contacto con otras sustancias, en su mayoría provenientes de procesos industriales como lavados de materia prima o de su uso en los procesos de producción propios de una industria. Mediante la implementación de un sistema de reutilización de aguas residuales se podrá frenar el agotamiento de la disponibilidad hídrica y emplear el agua tratada de nuevo en el ciclo de producción o en otras labores.

Las aguas residuales tienen unos parámetros para medir su calidad de manera cuantitativa por medio de métodos analíticos que se desarrollan en laboratorios o en el campo laboral. De acuerdo con Antonio Torres (2018) existen unos parámetros que nos indican la calidad del agua residual, los cuales son los siguientes: turbiedad, temperatura, color, olor, sólidos, oxígeno disuelto, DBO, DQO, nitrógeno, acidez, alcalinidad y metales pesados.

- **Aguas Reutilizables**

No todas las aguas residuales a reutilizar pueden ser reintegradas en los procesos industriales, algunas solo pueden ser tratadas mediante diferentes procesos de recuperabilidad y depuradas al cuerpo hídrico más cercano destinado a recibir el vertimiento. Las aguas que son recuperadas y reutilizadas provenientes de diferentes fuentes como:

- Aguas lluvias.
- Aguas de producción industrial.
- Lavado de autos
- Agua domesticas o urbanas

- **Aguas lluvias**

Siguiendo a Landys Guerra (2019) las aguas lluvias son aguas residuales tras el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen por los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Se conoce de estas aguas que los primeros flujos que caen resultan generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie.

- **Aguas de producción industrial**

Las aguas industriales son aquellas que provienen de cualquier actividad fabril en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se emplee este elemento. De igual forma, otros líquidos residuales también conocidos como aguas de proceso y aguas de drenaje son considerados aguas residuales industriales.

Recogiendo la visión de Postgrado ingeniería (2020), generalmente las aguas residuales industriales se tratan de aguas negras a evacuar que posteriormente son descargadas al medio ambiente. Por tanto, han de pasar por plantas de tratamiento para que el impacto en la naturaleza sea el menor posible. En concreto, son vertidas a ríos y mares tras una depuración parcial en la que se intenta eliminar la mayor cantidad de sustancias contaminantes posible.

- **Aguas de lavado de autos**

En un artículo que revisa los tratamientos fisicoquímicos de efluentes usados en el lavado de vehículos (Carrasquero et al. 2015), los autores concluyen que el lavado de vehículos es una de las industrias que generan un mayor impacto ambiental en cuanto a uso de agua nos referimos como consecuencia del uso desmedido de agua potable y la

descarga de aguas residuales que se realiza sin tratamiento previo alguno de las mismas. Este tipo de actividad se encuentra en aumento debido al creciente aumento de vehículos. Además, la inversión que necesitan este tipo de empresas es pequeña, sobre todo si se cuenta con aguas subterráneas disponibles.

- **Aguas domesticas o urbanas**

Para Eduardoño (s.f) las poblaciones humanas representan uno de los riesgos más grandes para las fuentes hídricas, debido a su contaminación con aguas residuales que las poblaciones producen y son vertidas sobre la superficie de las aguas a través de los sistemas de alcantarillado

Para distinguir las aguas residuales urbanas de las aguas industriales Laura F. Zarza (2022) afirma que las aguas residuales urbanas constan principalmente de papel, jabón, orina, heces y detergentes. Los desechos industriales, en cambio, son variados y dependen de los procesos específicos del sector del que proceden. En algunos casos, los residuos industriales son liberados directamente sobre los ríos y mares.

- **Usos para las aguas reutilizables**

Las aguas residuales tratadas tienen diferentes usos en la industria alimentaria y manufacturera, como también en otras áreas donde se haga uso del agua, a continuación, se resaltará los usos que puede tener el agua residual tratada los cuales son:

- **Riego agrícola**: El suelo puede nutrirse con los desechos de las aguas negras. De hecho, es frecuente su uso en semilleros y cultivos (Banco mundial, 2020).
- **En el ámbito industrial**: Las aguas residuales tratadas también pueden servir para la refrigeración de depósitos y tanques, así como para la alimentación de calderas (Veolia, 2021).

- **Riego de zonas verdes**: Similar al riego agrícola, pero se realiza en cementerios, campos de golf o los bosques urbanos que pueden aprovechar este tipo de agua (Hidrotec, 2018).
- **Recarga de acuíferos**: (Incluyendo humedales, entre otros.) Cuando los acuíferos se vacían, es importante rellenarlos con agua para que el suelo se mantenga estable (Veolia, 2021).
- **Incendios forestales**: Para apagar incendios forestales como los que se producen en temporadas de sequía.
- **Limpieza de calles.**
- **Construcción.**

4.4 Ventajas de la reutilización de aguas residuales

- ***Ventajas de la economía circular del agua***

En general la economía circular del agua mejora los resultados económicos al tiempo que se reduce el gasto de recursos. Una gran ventaja, de acuerdo con la Fundación para la Economía Circular (2017), es que su puesta en operación se hace "identificando y creando nuevas oportunidades de crecimiento económico e impulsando a la innovación y la competitividad".

Una economía circular fomenta la protección del medio ambiente y contribuye a garantizar la disponibilidad de materias primas. Lecciona (2021) afirma que la economía circular del agua genera ahorro de los costos de fabricación y fomenta productos de consumo más responsables, duraderos y eficientes.

- ***Ventajas de la implementación de sistemas de reutilización***

En particular los textos de Colubris (2018) y Biorem (s.f) recogen y presentan las ventajas de la implementación de sistemas de reutilización de aguas residuales industriales que a través del análisis se han identificado

- Reducción de generación de residuos.
- Descontaminación de aguas residuales.
- Vertimiento seguro y respetuoso con el medio ambiente.
- Protección del medio ambiente y de la salud pública.
- Posibilita usar el agua residual tratada en servicios comerciales o domésticos en labores de limpieza o decorativas o de lavado.
- Aumento en la sostenibilidad.

4.5 Procesos de Tratamiento de aguas residuales

Estos son los procesos de tratamiento de aguas residuales más comunes encontrados en la bibliografía.

Tratamiento Físico Químico:

Jhuesa (2020) indica que generalmente el tratamiento físico químico consiste en el ajuste del pH, coagulación, floculación y procesos de sedimentación o flotación. El objetivo del tratamiento físico químico es modificar las propiedades físicas de las partículas contaminantes mediante la adición de productos químicos que eliminan impurezas de afluentes o de aguas residuales.

Tratamiento de filtración

El tratamiento de filtración es ampliamente utilizado en muchas aplicaciones de reutilización de aguas residuales y en procesos comerciales/industriales. Spena afirma que:

Se encarga de hacer pasar el agua a través de un medio poroso con el objetivo de conservar la mayor cantidad posible de materia en suspensión, en los tratamientos primarios se encarga de la eliminación de los sólidos en suspensión que se presentan en las aguas residuales. (2016)

La filtración en el tratamiento de agua asegura un costo operativo reducido en los sistemas de tratamiento de agua. De hecho, “normalmente hay varios pasos de filtrado y tratamiento en estas aplicaciones para garantizar que el agua tratada cumpla con el estándar de descarga o reutilización requerido” (Genesis Water Technologies, 2019). Las aplicaciones industriales que involucran agua y aceite en su producción requieren una filtración previa debido a la gran cantidad de sólidos en suspensión. Aplicaciones típicas de este tipo, se dan en industria como: alimentos, textiles o refinerías.

Ósmosis inversa

En el proceso de ósmosis inversa el agua avanza por una serie de tuberías a elevada presión y atraviesa una serie de mallas o membranas concéntricas de diferentes tamaños que atrapan las partículas contaminantes, no debe confundirse con el filtrado físico. Diaz et al. (2003) define este proceso como:

Una tecnología de membrana en la cual el solvente (agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. La OI elimina prácticamente todas las sales y los solutos de bajo peso molecular. Se considera una eliminación prácticamente total de todas las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Debido a esto, las membranas de OI son la elección cuando se necesita agua muy pura o de bebida, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar. (p. 217)

El proceso de ósmosis inversa da la vuelta al proceso tradicional añadiendo presión en el extremo de la solución concentrada, eliminando las partículas disueltas. Siguiendo a Ferrovial (2022), este proceso busca vencer la presión osmótica, ya que, todo sistema que implica dos líquidos y una membrana semipermeable tiende a fluir de forma tal que el líquido gana partículas solubles y se concentra con el paso del tiempo.

4.6 Empresas en Colombia comprometidas con la sostenibilidad hídrica

En este apartado se presentan cinco casos de empresas de distintos sectores de la industria Colombiana que implementan políticas internas en torno al cuidado del medio ambiente y de los recursos hídricos que emplean en sus labores; como lo es la Industria cervecera Bavaria, siendo empresa cervecera más grande de Colombia, en su informe sobre sostenibilidad (Industria cervecera Bavaria, 2021) comenta en torno al agua qué: En los últimos seis años se ha reducido el consumo de agua por hectolitro de cerveza en un 27%, lo que equivale a un ahorro de agua de 1.122 piscinas olímpicas por año.

Este logro es principalmente gracias al debido aprovechamiento que se le da al agua lluvia en sus operaciones. Además, más del 90% de los residuos que generan son reutilizados en otras industrias. Bavaria entiende que el agua es vital para el presente y el futuro del país, y que es parte fundamental de la Industria cervecera, de hecho, la cerveza está elaborada en más del 90% con agua, otra de estas industrias que apuesta al mejoramiento del medio ambiente es la Industria Petrolera Ecopetrol**,** la cual apoya la reutilización de aguas residuales industriales como estrategia para disminuir los volúmenes de captaciones de agua fresca y vertimientos, Por esta razón, han implementado iniciativas encaminadas a aumentar los niveles de reutilización y recirculación de agua en sus instalaciones.

Esto permitió que en 2020 se reutilizaran 96,5 millones de metros cúbicos (m3) de agua, equivalentes al 65% del volumen total de agua requerida para operación. según datos de Ecopetrol (2021). Ecopetrol maneja dos tipos de reutilización, Reutilización de agua captada y Reutilización de aguas de producción, por otro lado, en actividades de perforación se reutilizan aguas residuales domésticas e industriales que después de pasar por tratamientos terciarios (ósmosis inversa y desmineralización) se utilizan

nuevamente en la elaboración de lodo de perforación, lavado de equipos, agua de refrigeración para las bombas y usos industriales.

También es el caso de la Multinacional PepsiCo, la cual tiene como objetivo principal lograr cero vertimientos de agua, es una de las grandes metas que tiene la multinacional PepsiCo y gracias a una innovación que están implementando en la planta industrial de Funza (Cundinamarca), la compañía ha dado pasos de gigante para alcanzar este objetivo.

Tatiana Feged (Portafolio.co, 2019), coordinadora de sustentabilidad ambiental de la compañía, explica que el programa llamado "Cero Descargas Líquidas" busca reducir a cero el indicador de vertimientos de agua, a través de un sistema de recolección y tratamiento que permite recircular el 90% del agua que se utiliza en los diferentes procesos industriales de la planta. Este proceso migra de una economía lineal a una economía circular y garantiza que el agua sea utilizada de una forma responsable y eficiente.

El sistema está compuesto por un minucioso proceso de tratamiento de aguas residuales, seguido por dos procesos de filtración del agua (ósmosis inversa) y evaporación del agua, un procedimiento que es único en Colombia. Esto permite recuperar un alto porcentaje del agua que se usa en la manufactura, para que sea recirculada nuevamente en los procesos de la planta.

"La implementación de este sistema ha traído beneficios económicos y ambientales significativos, puesto que PepsiCo no está captando aguas de fuentes hídricas como quebradas, ríos, lagunas u otros (Portafolio.co, 2019), seguidamente se encuentra otra industria que ha implementado un sistema de reutilización de agua.

Esta industria nombrada Alimentos Polar recientemente se ha interesado por la protección del agua debido a la reciente ola de movimientos ambientalistas y las

crecientes evidencias del agotamiento de agua que ya aqueja a cientos de poblaciones y dificulta la producción de distintas industrias, ha generado un interés en el sector industrial por procurar su preservación e implementar proyectos sostenibles.

Alimentos Polar Colombia es una empresa que ha incursionado en el cuidado del agua a través de su política de agua implementada desde el año 2013 en la planta productiva de Facatativá, con la que buscan la sostenibilidad del agua en sus procesos de producción de alimentos. Adicionalmente, en los últimos cinco años la compañía ha invertido más de 1.000 millones de pesos en proyectos de control ambiental (Empresas Polar, 2019).

La planta de tratamiento de aguas residuales de la compañía tiene en funcionamiento un equipo denominado Scrubber (Portafolio, 2019), cuya función es humedecer la cascarilla que resultante del proceso de desgerminación del maíz/avena. La humectación se hace con agua que ya ha sido tratada (reutilizada) y, por ende, se logra un ahorro promedio de 300 metros cúbicos de agua potable, lo que corresponde a un ahorro de $1.199.100. Anualmente esto corresponde a alrededor de 3.600 metros cúbicos.

Por último, se encontró una empresa dedicada a generar crecimiento e innovación en las construcciones del país, la empresa Cementos Cemex dedicada al sector de la construcción establece que el agua es un componente principal del concreto representando en promedio un 19% del volumen de la mezcla. También es usada para la refrigeración de cemento durante su producción, el lavado de los agregados y la limpieza de plantas y equipos, incluidos los camiones mezcladores de concreto.

“El 75% de las plantas de cemento utilizan sistemas de recirculación de agua” (Cemex, 2017). Estos sistemas evitan el consumo de agua potable que proviene del acueducto y reducen vertimientos a cuerpos de agua.

4.7 Modelo de reutilización de aguas residuales industriales.

Como resultado de la información consultada y presentada previamente se elaboró una propuesta de modelo de reutilización de aguas residuales industriales cuyo propósito es principalmente disminuir el uso excesivo de agua en la labor de la industria, contribuir a la protección del medio ambiente y cuidar los afluentes reduciendo las cantidades de vertimiento de aguas residuales.

Según Safbon (2022), alineado con los propósitos de esta propuesta, "La implementación de estos sistemas contribuye a la sostenibilidad, el equilibrio del medio ambiente y el crecimiento de la economía empresarial que integra estos sistemas en sus procesos". Por esa razón, se formula un modelo que permita una apropiada recolección, tratamiento, almacenamiento y reutilización de las aguas residuales:

1. **Desarenador.**

Por lo general, el tratamiento de las aguas residuales implica varios pasos para eliminar las impurezas y garantizar que la descarga final del efluente cumpla con las especificaciones reglamentarias (Boss Tech, 2020).

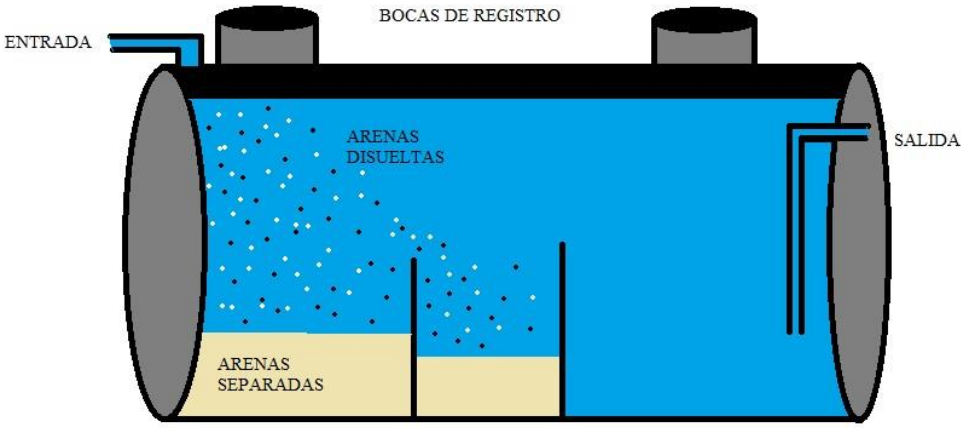
Los desarenadores se utilizan para eliminar los sólidos en suspensión de los efluentes de procesos líquidos para mejorar la calidad de las aguas residuales. Según W&W Ingeniería (2020) "en este proceso debe liberarse de todos los materiales (residuos sólidos) como arena, lodos, madera, plásticos, entre otros." (2020). Para ello el agua a reutilizar pasará por un tanque en el cual se removerá la mayor cantidad de sólidos suspendidos o de mayor volumen.

El desarenador de caudales bajos es un dispositivo que almacena las arenas y lodos. Al llenarse o al cumplir un determinado tiempo se debe realizarle un mantenimiento, en el cual se debe limpiar y dejar vacío. Finalmente, este debe ser transportado y debidamente desechado según su procedencia o las actividades de la

industria en las que se usó, algunos de estos desechos pueden ser usados como abono en la industria agronómica.

Figura 1

Desarenador



Nota. Desarenador, del autor.

2. Trampa de grasas

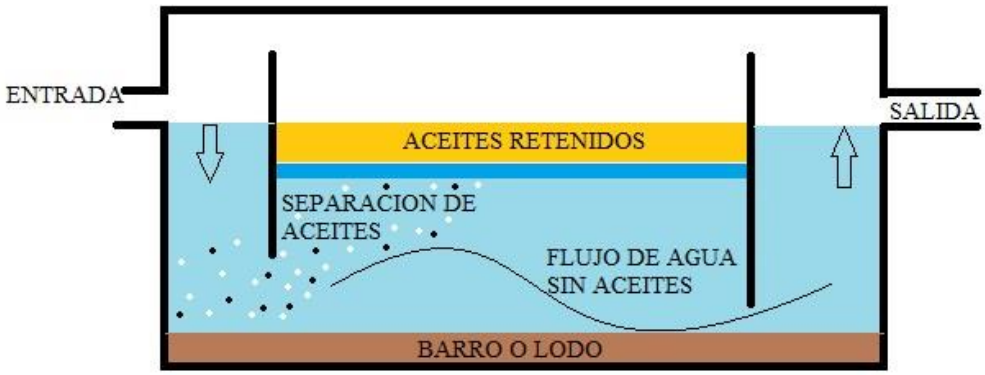
De acuerdo con Pallomaro (2009), una trampa de grasas es un dispositivo especial fabricado en acero inoxidable que generalmente se utiliza para separar los residuos sólidos y las grasas. Las trampas de grasa se implementan tradicionalmente en diferentes establecimientos como: hoteles, negocios de comidas rápidas, plantas de producción y en diferentes aplicaciones y procesos industriales.

Una trampa de grasa funciona conectando la tubería por la que circula el agua una trampa donde retendrá por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación el material graso. “La trampa de grasas tiene dos compartimentos, ambos separados por una rejilla de acero inoxidable encargada de no dejar pasar sólidos” (Wastechcostarica, 2016). En el compartimiento más grande, por donde llegan los líquidos con sólidos disueltos, la grasa se separa al ser más liviana que el agua, en el último compartimento saldrá el agua limpia o lista para el siguiente proceso.

Su diseño busca evitar que las grasas y aceites lleguen a los desagües lo cual puede provocar problemas a largo plazo ya que la grasa obstruye los drenajes. “Generalmente son fabricadas en acero o cemento, sus dimensiones irán en proporción a las necesidades de cada establecimiento (Quima, 2018)”. No se debe conectar a aguas sanitarias o aguas negras, ya que, se debe separar los residuos sólidos.

Figura 2

Trampa de Grasas

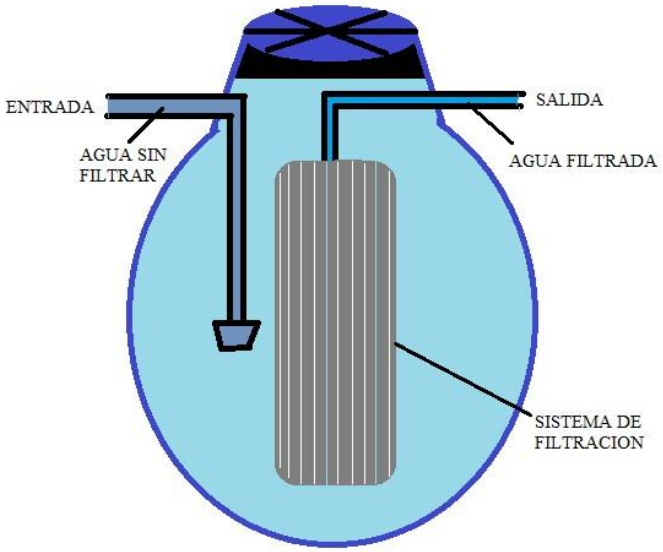


Nota. Trampa de Grasas, del autor.

3. Filtración

Figura 3

Filtro de Agua Residual



Nota. Filtro de agua, elaboración propia.

El objetivo de la filtración es conservar la mayor cantidad posible de materia en suspensión y la turbidez, para esto se circula el agua a través de una serie de rejillas y mallas. Los filtros de agua industriales se utilizan para erradicar las impurezas del agua en aplicaciones industriales y funcionan eliminando partículas del agua o de las corrientes de aguas residuales, muchos tipos de filtros de agua industriales se pueden usar para eliminar sólidos suspendidos.

Sin embargo, DISIN (2019) advierte que hay muchos casos en los que solo un cierto número y tipo de filtro de agua industrial es adecuado. Es importante tener en cuenta el volumen de impurezas en el agua, si el agua necesita un filtrado continuo o intermitente, el número de sólidos en suspensión en el agua, el tamaño de las partículas buscadas en el agua después de la filtración, entre otras. Además, este paso del proceso es una segunda filtración pues se encuentra después del desarenado, y, así, se garantiza

tener un agua menos turbia y eliminar cualquier vector que pueda generar mal olor durante la etapa de almacenamiento.

El mantenimiento de este dispositivo se debe hacer al mismo tiempo que el del desarenador para que sus desechos puedan ser debidamente tratados. Además, este filtro cuenta con un tubo de depuración donde se almacenan los desechos ya separados del agua, facilitando su limpieza y alargando su vida útil.

4. Almacenamiento

Figura 4

Tanque de Almacenamiento de 10.000 litros.



Nota. Adaptada de Filtro de Tanque de 10000 Litros, de Homecenter, (2021) (https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/category/cat1670268//)

Una vez que el agua ha pasado por el desarenador y el filtro, esta llega al tanque de almacenamiento donde se concentra toda el agua ya tratada para su reutilización industrial. El tanque de almacenamiento es una estructura con dos funciones: "almacenar la cantidad suficiente de agua para satisfacer la demanda y regular la presión adecuada en el sistema de distribución dando así un servicio eficiente" (USAID, 2016).

Este sistema contará con dos tanques de capacidad de 10.000 litros cada uno. Además, tendrá un sistema de bombeo automático para una mejor circulación del agua, por las áreas en las que sea usada.

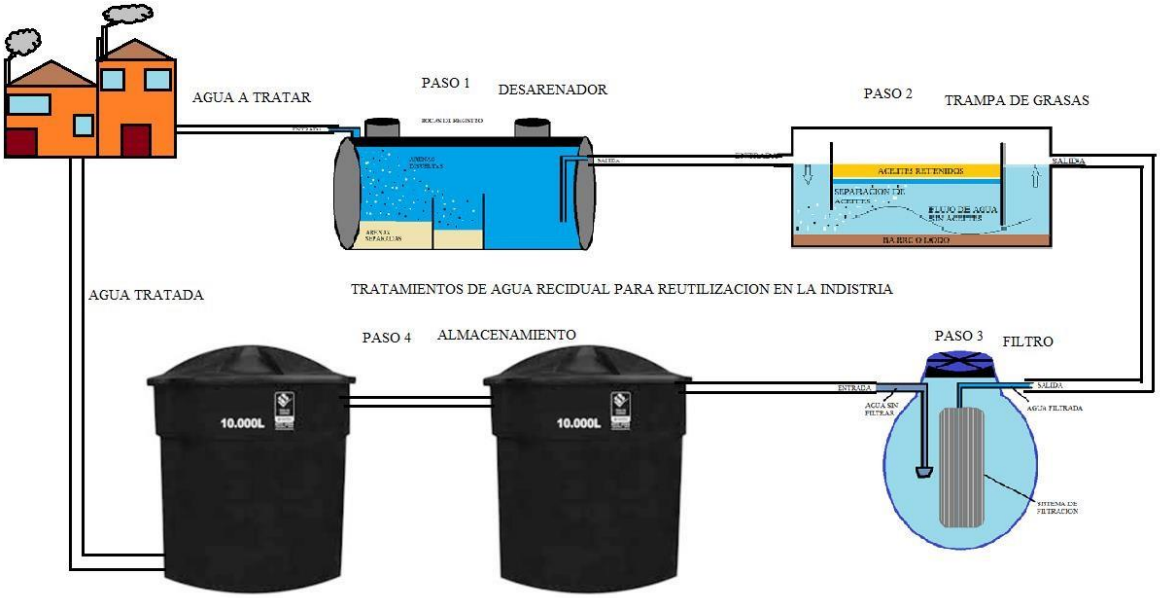
Las aguas reutilizadas podrán ser usadas varias veces, pero por normas de salubridad y para evitar la proliferación de bacterias infecciosas se deberán depurar de manera responsable o en un último uso como riego de cultivos, según su procedencia o las actividades en las que fueron usadas. Dado el caso en el que el agua residual no pueda servir como riego deberá ser tratada un Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) para evitar generar daños al medio ambiente y, además, seguir con el proceso de recuperación de los ríos que han sido usados para el vertimiento de las aguas residuales tratadas.

5. Distribución

Por último, tenemos la distribución de las aguas residuales tratadas en la industria, las cuales serán usadas en los procesos donde es necesario el uso de agua en mayor cantidad para generar mayor aprovechamiento y lograr disminuir el uso excesivo de agua potable. La reutilización trae consigo una reducción en los costos de materia prima, fomenta el cuidado del agua y la preservación del medio ambiente. Cabe resaltar que estos pasos para el tratamiento de aguas residuales en la industria pueden variar según las especificaciones e intereses de la industria que quiera implementarlo. De igual manera varía según el volumen (m3) de agua a reutilizar, ya que, este puede ser compacto o de gran tamaño según el consumo mensual o diario de la industria.

Figura 5

Sistema de Reutilización de Aguas Residuales Industriales



Nota. Distribución, tanque de 10000 Litros, de Homecenter y elaboración propia.

En la figura 5 se puede observar un sistema de tratamiento de agua residual industrial pensado para industrias que manipulan alimentos, desde su cosecha hasta un producto final. El sistema cuenta con una capacidad de almacenamiento de 20.000 litros, un desarenador con capacidad de 500 litros, una trampa de grasas con una capacidad de 500 litros y un filtro con capacidad de 500 litros.

Este modelo fue diseñado con el objetivo de tratar la mayor cantidad de agua posible y, por lo tanto, cuenta con un almacenamiento preventivo de gran capacidad que se podrá usar en caso de cortes de agua o rotura de tubería principal, cabe resaltar que el agua tratada no es agua potable para consumo humano y solo se usará en procesos de producción específicos.

Ventajas Sistema de Reutilización de Aguas Residuales Industriales

Las ventajas derivadas de la implementación de un sistema como este serían:

- Preservación y cuidado de afluentes naturales.
- Reducción de costos en el suministro de agua.
- Mejoramiento de la sostenibilidad de las comunidades locales.
- Los beneficios del uso de la trampa grasas ayudan a un fácil mantenimiento del sistema, además, de evitar obstrucciones a largo plazo en las tuberías de distribución.
- Minimización de los impactos ambientales.

5. Discusión

En nuestro país la reutilización del agua no es notable, no obstante, algunas multinacionales implementan la reutilización de agua residual y promueven en las comunidades aledañas el cuidado y la preservación de humedales, páramos y ríos. Es importante considerar que a largo plazo la reutilización de aguas residuales permitiría la eventual recuperación de afluentes que se han utilizado para vertimiento. Sin embargo, hace falta tiempo, trabajo y disposición para llevar a cabo la implementación integral de estos sistemas.

De acuerdo con Isotools (2018), dar a conocer el sistema de reutilización de aguas residuales en mayor proporción e importancia genera un mejor desarrollo ambiental y una sostenibilidad fuerte. Lo anterior, teniendo en cuenta que el agua residual ya tratada se puede emplear en un nuevo ciclo productivo y/o darle distintos usos, en lugar de destinarla al vertimiento.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) presentaron la resolución 1256 del 23 de noviembre de 2021, que reglamenta el uso de aguas residuales en el país, una alternativa para zonas de escasez del líquido y a la que podrán aplicar las empresas de acueducto y otros usuarios de este elemento. Esta resolución es un instrumento valioso en el marco del uso sostenible del recurso hídrico y permite fomentar un mayor aprovechamiento de los recursos naturales, bajo el modelo de la economía circular, que promueve el reciclaje, la reducción y la reutilización (Minambiente, 2022).

Como consideraciones se tiene que la tendencia a nivel mundial está orientada hacia la economía circular como consecuencia de lo insostenible que se ha vuelto el modelo tradicional de producción, el agotamiento de materias primas y la acumulación de residuos. Como tal no se encontraron desventajas de la implementación de sistemas

de reutilización de aguas residuales industriales; queda en duda si esto está relacionado a la poca disponibilidad de información técnica y específica sobre los casos de implementación de estos sistemas a nivel nacional.

6. Conclusiones

La inadecuada depuración de aguas contaminantes en los afluentes, la insuficiencia de plantas de tratamientos y el desconocimiento de los efectos negativos que produce el vertimiento de aguas residuales sin un adecuado tratamiento en afluentes son problemas considerables. Teniendo en cuenta que, en palabras de Héctor Rodriguez:

> "La primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada y cantidad suficiente. Ya logrado este objetivo, surge otro no menos importante que consiste en la adecuada eliminación de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de enfermedades y trastornos del medioambiente (2017).

Se ha venido difundiendo la preocupación por el medio ambiente y la calidad y disponibilidad de recursos hídricos. Recientemente han comenzado a aparecer alternativas para resolver estas situaciones problemáticas de manera ambientalmente amigable y sostenible.

En efecto, la reutilización de aguas residuales es una alternativa para solventar las problemáticas medioambientales, ya que disminuye la cantidad de desechos sólidos en los afluentes y acuíferos. Además, reduce el consumo hídrico excesivo a nivel industrial, pues el sistema de reutilización tiene diferentes tratamientos que son efectivos para poder darle un nuevo uso industrial a las aguas residuales.

La implementación de un sistema de reutilización de aguas residuales contribuye a la disminución de contaminantes en los afluentes, puesto que la reutilización evita que llegue a vertederos, calles, campos, ríos, mares, y sectores aledaños. De esta manera podemos evidenciar que al momento de poner en práctica el uso de este sistema se obtendrá "una disminución significativa del mal uso del agua y del cambio climático"

(Scidevnet, 2016). Por ende, se debe incentivar y promover que la reutilización del agua sea mayor, de esta forma se generan cambios que a través del tiempo son notables en los diferentes aspectos medioambientales.

Los sistemas de reutilización de aguas residuales son ajustables a diferentes entornos industriales y tipos de actividades puesto que no requieren de inversión excesiva para su uso y mantenimiento, además, según la Ley 142 (1994) brinda grandes beneficios económicos a las industrias, entre los que se encuentra la reducción en los costos de la prestación del servicio público de acueducto en la industria que lo implementa.

7. Recomendaciones

Se debe incentivar y promover la reutilización del agua, teniendo alternativas como implementaciones u equipos que generen bajo consumo, de esta forma se generan cambios que a través del tiempo son notables en los diferentes aspectos medioambientales, puesto que, la reutilización evita que llegue a vertederos, calles, campos, ríos, mares, y/o sectores aledaños que se ven beneficiados de las fuentes hídricas las cuales podrían estar siendo contaminada.

Un claro ejemplo de estas implementaciones es hacer uso de aireadores y reductores de presión, los cuales ayudan a disminuir cierta cantidad de agua en un determinado tiempo, además, se puede dar aprovechamiento del agua ya usada para el lavado de ropa proveniente de la lavadora y esta ser usada en las descargas del baño.

8. Referencias

Acción Contra el Hambre. (2017, marzo 21). *Aguas residuales: ¿qué son y cómo afectan a los refugiados?* Acción contra el Hambre. https://www.accioncontraelhambre.org/es/que-son-aguas-residuales-y-comoafectan-a-los-refugiados

Acuatecnica. (2017, junio 5). *La situación del tratamiento de aguas residuales Colombia | Acuatécnica*. Acuatecnica. https://acuatecnica.com/la-situacion-deltratamiento-aguas-residuales-colombia/

Banco Mundial. (2020, marzo 19). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. Banco Mundial. https://www.bancomundial.org/es/news/pressrelease/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-peoplethe-environment-and-economies-says-world-bank

Biorem. (s.f). *Beneficios del Tratamiento de Aguas Residuales – Soluciones Biorem*. Biorem. https://solucionesbiorem.com/beneficios-del-tratamiento-de-aguasresiduales/

Boss Tech. (2020). *Desarenadores de agua: ¿qué son y cómo funcionan?* Boss Tech. https://bosstech.pe/que-son-desarenadores-agua/

Carrasquero, S., Terán, K., Mas y Rubi, M., Colina, G., & Díaz, A. (2015, diciembre). Evaluación de un tratamiento fisicoquímico en efluentes provenientes del lavado de vehículos para su reutilización. *Impacto científico, 10*(2), 122-139. CLASE. https://biblat.unam.mx/es/revista/impacto-cientifico/articulo/evaluacion-de-untratamiento-fisicoquimico-en-efluentes-provenientes-del-lavado-de-vehiculospara-su-reutilizacion

Cemex. (2016). *Soluciones que impulsan al desarrollo. Informe de desarrollo sostenible*. https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757628/cemexcolombia-informe-sostenibilidad-2016.pdf/1f257a8c-a8b9-eabf-991bbb105d9b3504

Cemex. (2017). *Gestión del agua*. https://www.cemexcolombia.com/sostenibilidad/gestion-ambiental/gestion-delagua

Colubris. (2018). *Ventajas de las aguas residuales*. Colubris Cleantech. https://www.colubriscleantech.com/es-es/quienes-somos/noticias-yeventos/noticias/5-ventajas-de-las-aguas-residuales

Coordinadora Latinoamericana y del Caribe de Pequeños Productores y Trabajadores de Comercio Justo. (2017). *Manual de uso sostenible del agua por productores de comercio justo*. https://www.clac-comerciojusto.org/wpcontent/uploads/2018/03/Manual-de-uso-sostenible-de-agua-por-productoresdel-Comercio-Justo-ok.pdf

Díaz, C., Fall, C., Quentin, E., Moleón, M. d. C., Esteller, V., Garrido, S., Vázquez, C., & Pulido, D. (2003). La reutilización de las aguas residuales. In *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (pp. 212-223). RIPDA-CYTED. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_19.pdf

DISIN. (2019). *Qué es un filtro de agua industrial y por qué lo necesita*. Disin. https://www.disin.com/que-es-un-filtro-de-agua-industrial-y-por-que-lonecesita/

Ecolec Fundación. (2022). *Economía circular*. Fundación Ecolec. https://ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/

Ecopetrol. (2021, febrero 12). *Gestión integral del agua*. Portal Ecopetrol.

https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/ResponsabilidadEtiqueta/Medio%20ambiente/gestion-integral-del-agua

Eduardoño Ambiental. (s.f). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales*. Eduardoño. https://www.eduardono.com/ambiental/blog/blogdetalles/tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-e-industriales-1

Ellen Macarthur Foundation. (2017). *Economía Circular*. Economía Circular. https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto

Empresas Polar. (2019). *Consumo sustentable*. Empresas Polar. https://empresaspolar.com/consumo-sustentable

Estrucplan. (2000, enero 1). *Composición de las Aguas Residuales*. Estrucplan. https://estrucplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/

Europlast. (2020). *Desarenador*. Europlast. https://www.europlast-sl.com/depuracionaguas-residuales/desarenador/

Ferrovial. (2022). *Ósmosis inversa: Qué es, para qué sirve y su proceso*. Ferrovial. https://www.ferrovial.com/es/recursos/osmosis-inversa/

Fundación para la Economía Circular. (2017). *Economía Circular*. Fundación Economía Circular. https://economiacircular.org/economia-circular/

Genesis Water Technologies. (2019, agosto 16). *Importancia de la filtración en el tratamiento del agua para la reutilización de aguas de proceso y aguas residuales*. Genesis Water Technologies. https://es.genesiswatertech.com/blogpost/importance-of-filtration-in-water-treatment-for-process-water-wastewaterreuse/

Guerra, L. P. (2019). *Metodología para la reutilización de aguas lluvias y grises en edificaciones* [Tesis]. Bogotá, Colombia.

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23395/1/Metodolog%C3%ADa-para-la-reutilizaci%C3%B3n-de-aguas-lluvias-y-grises-en-edificaciones.pdf

Hidrotec. (2018, septiembre 17). *Cómo aprovechar aguas residuales industriales y domésticas*. Hidrotec. https://www.hidrotec.com/blog/aprovechar-aguasresiduales-industriales-domesticas/

Homecenter. (2021). *Tanques de agua*. https://www.homecenter.com.co/homecenterco/category/cat1670268/

IGME. (n.d.). Capítulo 2. Reutilización de las aguas residuales. In *NUEVAS TECNOLOGIAS PARA EL SANEAMIENTO, DEPURACION Y REUTILIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA DE ALICANTE* (pp. 7-14). https://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/libro33/pdf/lib33/cap_2_a.pdf

Industria Cervecera Bavaria. (2021). *Sostenibilidad*. Bavaria. https://www.bavaria.co/tags/sostenibilidad

Isotools. (2018, octubre 30). *Aspectos fundamentales de la sostenibilidad ambiental*. ISOTools. https://www.isotools.org/2018/10/30/aspectos-fundamentalessostenibilidad-ambiental/

Jhuesa. (2020). *Tratamiento Físico Químico*. J Huesa. https://jhuesa.com/tecnologias/tratamiento-fisico-quimico

Lecciona. (2021, diciembre 17). *10 Beneficios de la Economía Circular - Lecciona Colombia*. Cursos virtuales con Certificado Lecciona Colombia. https://www.lecciona.com.co/10-beneficios-de-la-economia-circular/

Ley 142 de 1994. (1994, Julio 11). *Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.* (Diario Oficial N 41.433 ed.) [Ley].

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752

Loayza, J. (2009). La problemática del agua y el tratamiento de aguas residuales industriales. *Revista Virtualpro, 86*. https://www.virtualpro.co/editoriales/20090301-ed.pdf

Minambiente. (2022, Enero 20). *Minambiente y ANDI lanzaron resolución que permite el reúso de aguas residuales*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recursohidrico/minambiente-y-andi-lanzaron-resolucion-que-permite-el-reuso-de-aguasresiduales/

Ósmosis inversa: Qué es, para qué sirve y su proceso. (2022). Ferrovial. https://www.ferrovial.com/es/recursos/osmosis-inversa/

Pallomaro. (2009, enero 8). *Trampa de grasas: ideal para proteger instalaciones sanitarias en su restaurante*. Pallomaro. https://pallomaro.com/diseno_cocinas_industriales/trampa-de-grasas-ideal-paraproteger-instalaciones-sanitarias-en-su-restaurante/

Paredes, J. (2013). *Importancia del agua*. https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html

Portafolio. (2019, Julio 21). *La innovadora apuesta de PepsiCo con la que recircula el 90% del agua*. Portafolio. https://www.portafolio.co/negocios/empresas/lainnovadora-apuesta-de-pepsico-con-la-que-reutiliza-el-100-del-agua-531205 Portafolio. (2019, abril 9). *Alimentos Polar y su apuesta por la protección del agua*. Portafolio. https://www.portafolio.co/negocios/empresas/alimentos-polar-y-suapuesta-por-la-proteccion-del-agua-528380

Postgrado Ingeniería. (2020, septiembre 1). *Aguas industriales: componentes y tratamientos - Postgrado Ingeniería*. Escuela Postgrado de Ingeniería y Arquitectura. https://postgradoingenieria.com/aguas-industriales-componentesy-tratamientos/

Pure Aqua Inc. (s.f). *Filtros de agua | Industriales y Comerciales*. Pure Aqua Inc. https://es.pureaqua.com/filtracion-de-agua/

Quima. (2018, abril 10). *Trampas de Grasa ¿Qué son y cómo funcionan? - QUIMA*. Quima. https://quima.com/blogs/blog/trampas-de-grasa

Rede América. (2020, marzo 18). *La economía circular del agua*. Redeamerica.org. https://www.redeamerica.org/Noticias/Detalle/ArtMID/1370/ArticleID/2057/Laeconom237%20a-circular-del-agua

Repsol. (2022). *Qué es la economía circular y por qué es importante*. Repsol. https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/economia-circular/index.cshtml

Resolución 631 de 2015. (2015, marzo 17). *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones* [Ley]. Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015. http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf

Rodríguez, H. (2017, marzo 13). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. iAgua. https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residualesy-efectos-contaminantes

SafBon. (2022). *La Reutilización del Agua*. SafBon Water Technology. https://www.safbonwater.com/la-reutilizacion-del-agua/

Santander Universidades. (2022, marzo 9). *Sostenibilidad, definición, tipos y ejemplos | Blog Becas Santander*. Becas Santander. https://www.becassantander.com/es/blog/que-es-la-sostenibilidad.html

Scidev. (2016, marzo 7). *Colombia crea sistema nacional de cambio climático - América Latina y el Caribe*. SciDev.Net. https://www.scidev.net/americalatina/news/colombia-crea-sistema-nacional-de-cambio-climatico/

Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. (2015, noviembre 20). *Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua*. Aguasresiduales.info. https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-susefectos-en-la-calidad-del-agua

Sostenibilidad Para Todos. (2019). *¿Cómo conseguirá la sostenibilidad salvar el planeta?* Sostenibilidad para todos. https://www.sostenibilidad.com/desarrollosostenible/que-es-la-sostenibilidad/?_adin=02021864894

Sumstock. (2022). *Dibujado A Mano Ilustración De La Fábrica Con Humo Negro De La Chimenea Ilustraciones Svg, Vectoriales, Clip Art Vectorizado Libre De Derechos. Image 71722404.* 123RF. https://es.123rf.com/photo_71722404_dibujado-a-mano-ilustraci%C3%B3n-dela-f%C3%A1brica-con-humo-negro-de-la-chimenea.html

Torres, A. (2018). *Análisis de Aguas Residuales* [Diapositivas de PowerPoint]. http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf

UN. (2014, Noviembre 24). *Agua y desarrollo sostenible | Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015*. The United Nations.

https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml

USAID (2016): Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad. Tegucigalpa (Honduras): United States Agency for International Development (USAID), Manual 23, Servicios Públicos, caja de herramientas 2. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/USAID%202016.%20Manual%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20agua%20por%20gravedad..pdf

Veolia. (2021, enero 5). *Aguas residuales: cómo se reutilizan y cuál es su importancia*. Veolia Water Technologies. https://golatam.veoliawatertechnologies.com/es/blog/aguas-residuales-como-sereutilizan-y-cual-es-su-importancia

Wastechcostarica. (2016, febrero 24). *¿Qué es una Trampa de Grasas y para qué sirve?* WASTECH Costa Rica. https://wastechcr.com/2016/02/24/trampas-de-grasa/

W&W Ingeniería. (2020). *Desarenador de Caudal Bjao*. https://wwingenierialtda.com/desarenador-para-bajos-caudales/

Zarza, L. F. (2022). *¿Qué son las aguas residuales?* iAgua. https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales