



Tratamiento Bio-Físico-Químico de Aguas Residuales

Juan Manuel Lara Ramírez

Angie Tatiana Pabón Fonseca

Diplomado en Ingeniería Ambiental y Herramientas Aplicadas en Recursos Hídricos

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

2022



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Tratamiento Bio-Físico-Químico de Aguas Residuales

Juan Manuel Lara Ramírez

Angie Tatiana Pabón Fonseca

Monografía de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Julio Isaac Maldonado Maldonado

Ingeniero Civil

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

2022



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Resumen

El agua es un recurso importante y vital para los seres humanos ya sea que se trate de su consumo o de sus actividades diarias. Como cualquier recurso este no es ilimitado sino todo lo contrario y actualmente se presenta una gran crisis alrededor del mundo por su escasez. A esta problemática se le debe sumar la gran contaminación presente en los ríos, mares, e inclusive humedales, que hacen más evidente la gravedad de esta situación y que genera una gran preocupación sobre el problema del agua en los años futuros.

El impacto ambiental genera grandes cambios que resultan ser negativos por lo que surge la necesidad de contrarrestar o mitigar el impacto negativo, y es aquí donde entra la importancia de realizar un adecuado manejo de aguas servidas o residuales y su tratamiento.

En vista de que hoy en día la preocupación por el medio ambiente ha ido creciendo, las personas han buscado alternativas naturales y que se disminuya el uso de químicos y este campo no ha sido la excepción. Ya que para tratar el agua es indispensable el uso de químicos con el fin de remover sus contaminantes, se han investigado alternativas naturales que cumplan la misma función, que generen los mismos resultados, pero con un menor impacto. Además, se ha implementado el uso de tecnologías como la nanorobotica para reducir costos y optimizar procesos durante el tratamiento.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Abstract

Water is an important and vital resource for human beings, whether it is for consumption or daily activities. Like any resource, it is not unlimited but quite the opposite and currently there is a great crisis around the world due to its scarcity. To this problem must be added the great contamination present in rivers, seas, and even wetlands, which make the seriousness of this situation more evident and which generates great concern about the water problem in future years.

The environmental impact generates great changes that turn out to be negative, which is why the need to counteract or mitigate the negative impact arises, and this is where the importance of proper management of sewage or wastewater and its treatment comes in.

Given that nowadays concern for the environment has been growing, people have sought natural alternatives and that the use of chemicals has decreased, and this field has not been the exception. Since the use of chemicals is essential to treat water in order to remove its contaminants, natural alternatives have been investigated that fulfill the same function, that generate the same results, but with less impact. In addition, the use of technologies such as nanorobotics has been implemented to reduce costs and optimize processes during treatment.



INTRODUCCIÓN

El agua es indispensables y vitales para los seres vivos, pues sin este no existiría la vida tal y como la conocemos. A lo largo de los años se ha venido presentando cierta preocupación por el uso que se le está dando al agua, ya que como se sabe, esta no es un recurso renovable y aun así se ha estado desperdiciando deliberadamente, dándole un uso inadecuado e incommensurable. Es por esto que se han venido implementando diferentes actividades que promueven el uso consiente y adecuado del agua, ya que no solo estamos acabado con este vital recurso, sino que estamos contaminando la naturaleza al desechar las aguas que se utilizan diariamente, llevando consigo contaminantes que promueven la degradación del medio ambiente y afectan a los seres vivos.

Gracias a los avances científicos e ingenieriles que se han logrado, se han adoptado nuevas formas y actividades que permiten mitigar en gran medida el impacto negativo que nosotros mismos hemos causado, como lo es el tratamiento del agua, bien sea para el agua que se va a utilizar conocida como agua potable, o como la que ya se utilizó que se denomina aguas servidas o residuales. Cabe destacar que estos avances en la civilización como la revolución industrian han traído consigo un impacto negativo mayor, debido a la gran demanda de agua para sus procesos de operación y la gran cantidad de contaminantes que generan.

Es por esto que hoy en día, existen normas que regulan las emisiones y generaciones de sustancias contaminantes que puedan afectar el medio ambiente por parte de las industrias, que



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



obligan a cambiar o modificar sus procesos e infraestructura de manera que mitigue esta contaminación, y así mismos reglamentos que determinan los parámetros mínimos de la calidad del agua que debe ser dispuesta a un cuerpo hídrico y la que se destina para el consumo humano. Debido a esto se desarrollaron procesos tanto de potabilización del agua como los procesos del tratamiento de las aguas servidas o residuales, los cuales se llevan a cabo en diferentes instalaciones como lo son las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), y la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) correspondientemente. En estas instalaciones se realizan diferentes tratamientos mediante procesos físicos, químicos y biológicos para lograr cumplir su propósito y cumplir con los estándares y reglamentaciones establecidas.

En este documento se mostrará de manera general los diferentes tipos de procesos antes mencionados que se utilizan en el tratamiento del agua, además de esto se mostrará las etapas y unidades que se realizan en el correcto tratamiento del agua residual, el cual se divide en etapas como la etapa de tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamientos terciarios o complementarios. Adicional a esto, y gracias a una exhaustiva investigación realizada, se presentará unas series de tratamientos físico-químicos complementarios, alternativos e innovadores que se están estudiando actualmente, con el fin de hacer más óptimos y sustentables estos procesos para un mejor tratamiento de aguas residuales.





TABLA DE CONTENIDO

1.	El Agua	16
1.1	Aguas Naturales.	16
1.1.1	<i>Aguas Superficiales.</i>	17
	Aguas superficiales Continentales.	17
	<i>Aguas Lóticas.</i>	17
	<i>Aguas Lénticas.</i>	17
	Aguas de Transición.	18
	<i>Los Estuarios.</i>	18
	<i>Salinas Costeras.</i>	18
	<i>Lagunas Costeras.</i>	18
	Aguas Costeras.....	18
1.1.2	<i>Aguas Subterráneas.</i>	19
	Clasificación según el Ciclo Hidrológico:	19
	<i>Aguas Meteóricas.</i>	19
	<i>Aguas fósiles.</i>	19
	<i>Aguas juveniles o magmáticas.</i>	19



Clasificación según la zona donde se encuentran:	19
<i>Aguas edáficas:</i>	19
<i>Aguas freáticas:</i>	20
<i>Aguas suspendidas:</i>	20
<i>Aguas confinadas:</i>	20
<i>Aguas artesianas:</i>	20
1.1.3 <i>Aguas Atmosféricas.</i>	20
Trayectoria horizontal.	21
Trayectoria vertical.	21
1.2 Aguas Residuales	21
1.2.1 <i>Aguas residuales domésticas.</i>	21
1.2.2 <i>Aguas residuales industriales.</i>	22
1.2.3 <i>Aguas residuales agrícolas.</i>	23
1.2.4 <i>Aguas residuales municipales.</i>	24
2. Tratamiento de Aguas	24
2.1 Tipos de Tratamientos de Agua	25
2.1.1 <i>Tratamientos Físicos</i>	26



Cribado o tamizado.....	27
Centrifugación.....	27
Aireación.....	27
Decantación.....	28
<i>Presedimentación.....</i>	<i>28</i>
<i>Desarenado.....</i>	<i>28</i>
<i>Sedimentación.....</i>	<i>29</i>
Filtración.....	30
<i>Macro-Filtración.....</i>	<i>30</i>
<i>Microfiltración.....</i>	<i>31</i>
<i>Ultrafiltración.....</i>	<i>31</i>
Desinfección Física.....	31
<i>Radiación U.V. o Luz Ultravioleta.....</i>	<i>31</i>
<i>Pasteurización.....</i>	<i>31</i>
2.1.2 <i>Tratamientos Químicos.....</i>	<i>32</i>
Precloración.....	32
Neutralización.....	33



Aireación.....	33
Coagulación.	34
Floculación.....	35
Suavización.	35
Desinfección química.....	36
<i>Cloración.</i>	36
<i>Ozonización.....</i>	37
<i>Ionización.....</i>	38
2.1.3 <i>Tratamientos Microbiológicos</i>	38
Biodegradación de la materia orgánica.....	38
Desinfección con filtración lenta.	39
Oxidación bioquímica.....	39
2.2 Tratamiento para la Potabilización del Agua	40
<i>Captación.....</i>	40
<i>Pretratamiento.</i>	41
Cribado.....	41
Desarenado.....	41



Coagulación.	41
Floculación.....	41
Decantación.....	42
<i>Filtración.</i>	<i>42</i>
<i>Cloración y alcalinización.....</i>	<i>42</i>
<i>Distribución.</i>	<i>42</i>
2.3 Tratamiento de Aguas Residuales.....	43
2.3.1 <i>Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales.....</i>	<i>43</i>
Etapa 1: Tratamientos Preliminares o Pretratamientos.....	43
<i>Cribado.</i>	<i>44</i>
<i>Tamices Estáticos.....</i>	<i>44</i>
<i>Trituradores de canal.</i>	<i>44</i>
<i>Tanques de igualación y homogeneización.</i>	<i>45</i>
<i>Desarenadores.</i>	<i>45</i>
Etapa 2: Tratamiento primario.....	46
<i>Sedimentación primaria.....</i>	<i>46</i>
<i>Digestor anaerobio.</i>	<i>48</i>



<i>Lagunas de estabilización</i>	48
<i>Laguna aerobia</i>	49
Etapla 3: Tratamientos Secundarios.....	49
<i>Coagulación y floculación</i>	50
<i>Sedimentador secundario</i>	50
Etapla 4: Tratamiento complementario.....	51
<i>Desinfección</i>	51
3. Nuevas Investigaciones para el tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales	52
3.1 Filtración.....	52
3.1.1. Filtración de Aguas Industriales por Membrana de Nanodiamantes.....	52
3.1.1 Limpieza de Aguas Residuales por medio de nanorrobots.....	53
3.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales mediante haces de electrones.....	54
3.2 Coagulación-floculación.....	55
3.2.1 Nanocristales de celulosa altamente cargados aplicados como floculante para el tratamiento del agua.....	56
3.2.2 Reininger.....	57



3.2.3	<i>Almidón de Yuca (Manihot esculenta Crantz) como coadyuvante en el proceso de Coagulación-floculación de aguas residuales domésticas:</i>	58
3.2.4	<i>Cactus lefaria.</i>	59
3.2.5	<i>Almidón de plátano.</i>	59
3.2.6	<i>Almidón de papa.</i>	60
3.2.7	<i>Huesos bovinos.</i>	60
4.	<i>Propuesta de una PTAR implementando nuevos coagulantes</i>	61
4.1	<i>Etapas 1: Pretratamiento:</i>	62
	<i>Paso 1. Rejilas.</i>	62
	<i>Paso 2. Desarenado.</i>	62
	<i>Paso 3. Canaleta Parshall.</i>	62
4.2	<i>Etapas 2: Tratamientos primarios.</i>	63
	<i>Paso 4. Reactor UASB.</i>	63
4.3	<i>Etapas 3. Tratamientos secundarios.</i>	63
	<i>Paso 5. Mezclador rápido.</i>	63
	<i>Paso 6. Floculador hidráulico.</i>	63
	<i>Paso 7. Sedimentador secundario.</i>	63



4.4	Etapa 4. Tratamiento complementario	64
	<i>Paso 8. Desinfección con cloro.</i>	<i>64</i>
5.	CONCLUSIONES	65
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia



LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Ilustración 1. Tipos de Sedimentación según concentración de partículas	30
Ilustración 2. Proceso para la potabilización del agua	40
Ilustración 3. Reactor UASB.....	47
Ilustración 4. Resultados del tratamiento mediante haces de electrones.....	54
Ilustración 5. Irradiación en el tratamiento de Agua Residual de la industria Textil.....	55
Ilustración 6. Nanocristales de celulosa	57
Ilustración 7. Reininger y resultados en el tratamiento de aguas residuales	58
Ilustración 8. Proceso para la extracción de la muestra de almidón de yuca	58
Ilustración 9. Proceso para la extracción de muestra de hueso bovino	60
Ilustración 10. Diagrama de flujo de proceso de Tratamiento de Agua Residual.....	61



TRATAMIENTO BIO-FISICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES

1. El Agua

Como es sabido alrededor de un 70% de la superficie del planeta se encuentra cubierta de agua, sin embargo, el 90,6% de esta corresponde a agua salada, cuyo consumo resulta ser perjudicial para el ser humano y solamente un 3,5% corresponde a agua dulce de los cuales el 70% se encuentra congelada en glaciares y casquetas polares. El agua es un recurso natural de suma importancia e indispensable para la subsistencia de todos los seres bióticos del planeta, sin embargo, es un recurso limitado ya que del agua existente en todo el planeta solamente 0,025% es apropiada para el consumo del hombre. Esta es sumamente importante ya que su acción en la superficie terrestre garantiza la vida en todo el planeta, modera el clima y diluye contaminantes. (Acciona,2020)

1.1 Aguas Naturales.

Las aguas naturales son aquellas que no han sido intervenidas por el ser humano, por lo tanto, sus propiedades originales siguen intactas o no han sido modificadas (Infojardín, 2021). Estas aguas se entienden como un sistema no homogéneo y con cierto grado de complejidad que se constituye por una fase acuosa, una gaseosa y una o más fases sólidas y se componen por iones, gases, materia orgánica y especies inorgánicas (Canales, 2016). Estas pueden ser de diferente naturaleza o diferentes tipos según su origen y se pueden clasificar en 3 tipos



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



1.1.1 Aguas Superficiales.

Estas son aguas que se yacen sobre la superficie del suelo. Estas aguas pueden ser producto de las afloraciones de aguas subterráneas o bien por consecuencia de las precipitaciones y se pueden presentar de diferentes formas como aguas correntosas (que es el caso de los ríos) o aguas quietas (como lo son los lagos)

Aguas superficiales Continentales. Son aquellas aguas de la superficie terrestre que pueden ser quietas o correntosas y que a su vez se pueden dividir en dos tipos que son:

Aguas Lóticas. O también llamadas aguas corrientes, que son las que siempre están en movimiento hacia una dirección sin importar su velocidad, la cual varía constantemente por diferentes razones, como precipitación, aumento del caudal, entre otras. Aquí se pueden encontrar los sistemas como ríos, riachuelos, manantiales y arroyos.

Aguas Lénticas. Esta hace referencia a los cuerpos de agua quietas, estáticas o estancadas, que son aguas que permanecen “empozadas” y no se dirigen hacia algún lado, es decir que no fluyen. Esto se debe a que en estos cuerpos hídricos no existen entradas ni salidas a otros cuerpos de agua y esta es la razón por la cual su tasa de renovación de oxígeno es muy baja y promueve la formación de sedimentos en el fondo. Aquí podemos encontrar humedales, lagunas, lagos, charcas, estanques y pantanos.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Aguas de Transición.

Estas son masas o cuerpos de agua superficial (parcialmente salinas) que están próximas a la desembocadura de los ríos. Si bien son salinas, no son lo suficiente como para agregarle sabor al agua. Esta salinidad es consecuencia de la proximidad que tienen con las aguas costeras, pero que es notablemente influenciada por flujos de agua dulce. De esta se tiene los siguientes tipos:

Los Estuarios. Se producen cuando las aguas dulces que fluyen y desembocan en el mar, son invadidas por el mar y se mezclan con el agua salada por la influencia de mareas.

Salinas Costeras. Son minas de sal en donde posterior a la evaporación de una piscina de agua salada, se obtienen depósitos de sal que luego se procesa y comercializa.

Lagunas Costeras. Son cuerpos hídricos con poca profundidad que se encuentran separados de las aguas profundas marinas a través de una barrera natural.

Aguas Costeras.

Las aguas costeras son aquellas aguas superficiales que se encuentran situadas como su nombre lo indica, en las costas de los continentes, entre las aguas oceánicas y de transición, estas se delimitan desde una milla náutica partiendo del límite de las aguas territoriales hasta el límite con las aguas de transición.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



1.1.2 Aguas Subterráneas.

O también conocidas como manto acuífero, se refiere a todos los cuerpos de agua que se sitúan por debajo de la superficie terrestre y que forman parte del ciclo hidrológico por la infiltración. Estas se encuentran en los acuíferos, que son formaciones geológicas por medio de las cuales se conectan con las aguas superficiales y su contenido varía según las condiciones climáticas. Se pueden clasificar en diferentes tipos según el ciclo hidrológico o la zona.

Clasificación según el Ciclo Hidrológico:

Aguas Meteóricas. Son aguas que al entrar en el suelo son absorbidas por las plantas y estas a su vez las transpiran y evaporan hacia la atmósfera.

Aguas fósiles. Son aguas con grandes depósitos de sal que permanecen cautivas por acumulaciones geológicas y por lo tanto no se vinculan con el ciclo del agua.

Aguas juveniles o magmáticas. Son aguas que al tener un origen en zonas de gran profundidad pueden integrarse al ciclo hidrológico con la aparición de erupciones volcánicas o geiseres.

Clasificación según la zona donde se encuentran:

Aguas edáficas: Son aguas que se sitúan en la zona no saturada del subsuelo (o zona de aireación) y que por acción de la capilaridad de sus partículas (del suelo) es retenida, siendo sumamente importante para el acrecentamiento vegetativo.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Aguas freáticas: Estas aguas conforman la zona de saturación y son “acumulaciones subterráneas” de agua que se forman producto de la infiltración por las precipitaciones. Estas reposan por encima de la primera capa no permeable más o menos continua.

Aguas suspendidas: Se refiere a las aguas subterráneas que reposan a poca profundidad debajo de la superficie terrestre en zona de aireación

Aguas confinadas: Tal como lo indica su nombre son aguas que se encuentran “apresadas” entre dos capas no permeables continuas, que pueden referirse a una piscina o a aguas confinadas abiertas.

Aguas artesianas: Son aguas subterráneas de mayor profundidad que las demás que se presentan cuando en un cuerpo de agua existe una pendiente, por lo que el agua subterránea de la zona más baja se encuentra a una presión muy elevada. Estas aguas reposan en los pliegues sinclinales y monoclinales de las rocas.

1.1.3 Aguas Atmosféricas.

Hace parte del porcentaje de agua dulce del planeta y es el agua contenida en la atmósfera que aún no toca la corteza terrestre. Esta, debido a su pureza, se destaca como un agua de alta calidad y su origen puede ser producto de las nieblas, nubes bajas, lluvias, nieve, etc. Se pueden clasificar según su trayectoria.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Trayectoria horizontal. Hace referencia al movimiento en sentido horizontal que realiza. Aquí se pueden clasificar la niebla, la bruma y las nubes bajas.

Trayectoria vertical. El movimiento de estas se realiza de manera vertical descendente (Es decir que cae al suelo) y se pueden clasificar aquí el rocío, el sereno, las lloviznas, lluvias y nieve.

1.2 Aguas Residuales

Las aguas servidas o también llamadas aguas residuales son todas aquellas que son producto o están afectadas por el uso y/o disposición del ser humano y que pueden ser de diferente naturaleza, ya que pueden venir del uso doméstico (como duchas, lavaplatos, lavamanos, inodoros), uso industrial (de diferentes tipos de industrias como textil, agrícola, etc.) entre otros. Estas aguas se caracterizan por ser aguas contaminadas por diferentes tipos de residuos que varían según su uso y por lo tanto su calidad es deplorable, lo que las hace nocivas para el ser humano junto con los demás seres vivos y el medio ambiente, generando un impacto negativo en este y propiciando el deterioro del mismo.

1.2.1 Aguas residuales domésticas.

Son las aguas que se generan por el uso en diferentes actividades humanas dentro de cada una de las viviendas de las personas, tales actividades como de limpieza del hogar, el lavado de ropa, el uso en la cocina, el uso en las descargas sanitarias, las duchas, y demás actividades cotidianas que realizan los seres humanos en su día a día. Estas aguas se contaminan



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



por los diferentes químicos agentes contaminantes como jabones, también se encuentran materiales inorgánicos como bolsas plásticas, envolturas plásticas, etc. Y materiales orgánicos como restos de comidas, vegetales, materia fecal, etc. Dentro de los contaminantes que se desechan junto con las aguas residuales están gérmenes de origen fecal que pueden producir enfermedades, estos se producen dentro del sistema digestivo de las personas, y una parte de estos gérmenes pueden ser patógenos, se pueden determinar varios tipos de gérmenes como son los coliformes fecales, estos pueden causar enfermedades gastrointestinales como diarrea y vomito, también puede causar disentería, polio y hepatitis. (Zambrano y Saltos, 2009)

1.2.2 Aguas residuales industriales.

Se refiere a todas las aguas servidas en el ámbito de la industria como por ejemplo la industria cárnica, el agua es un factor importante y básico, ya que esta se utiliza primordialmente para la limpieza y el requerimiento mínimo de los estándares de higiene exigidos a esta industria, siendo los contaminantes la grasa, los agentes químicos de fumigo contra las plagas, en algunos casos los químicos que se utilizan para teñir las pieles, las hormonas, etc. (UNIAGUSTINA, 2019). De igual forma se utiliza el agua en los procesos de la industria de los lácteos, en la cual generan contaminantes como los sueros, las heces de la limpieza en los establos. De esta misma manera se generan aguas residuales contaminadas en todas las industrias como la industria de lácteos, la industria textil, industrias petroleras, industrias mineras, y demás. Todas estas industrias generan aguas residuales con una mayor contaminación en comparación con las aguas residuales, debido a que se generan gran cantidad de agentes químicos y contaminantes en los



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



diferentes procesos de operación, como en el caso de las industrias mineras que generan materiales pesados que llegan a ser altamente tóxico para los seres vivos, tales materiales como arsénico, cadmio, cobre, hierro, zinc, etc. Aunque en muchos casos a estas aguas no se realiza un tratamiento adecuado de estas aguas residuales, debido a la falta de estas instalaciones depuradoras de aguas residuales o industrias clandestinas como lo es el caso de las minas ilegales, estas aguas que van a dar a afluentes, generando un gran impacto negativo en los ecosistemas debido a la alta contaminación.

1.2.3 Aguas residuales agrícolas.

La industria agrícola es la industria que mayor consumo de agua dulce genera, con un porcentaje de utilización del 69% aproximadamente. Debido a que la aplicación del agua es la base fundamental en esta industria ya que todos los animales y plantas necesitan de agua para subsistir, siendo en el caso de las plantaciones, la necesidad de aplicación de agentes químicos que maximicen su productividad generando agua residual mediante el arrastre de sustancias por aguas lluvias y el riego de estas; y debido a la dificultad para lograr una adecuada conducción de esta agua residual hacia puntos de recolección, terminan vertiéndose en acuíferos, ríos, lagunas, entre otros, generando una contaminación ambiental considerable en los ecosistemas implicados. Por otra parte, el agua residual que se genera por la actividad bovina, porcina y demás, el contaminante es mayormente la materia fecal, debido a la limpieza de los corrales, establos, etc. en donde también se generan microorganismos como lo son los estreptococos fecales, que provienen de los sistemas digestivos de los animales de sangre caliente, estos provocan



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



enfermedades como infecciones de garganta, neumonía, sinusitis, y otras más que pueden alterar y afectar la salud.

1.2.4 Aguas residuales municipales.

Es la suma de todas las aguas residuales que resultan de las actividades domesticas e industriales que se recogen en los diferentes municipios, aquí es donde se combinan todas estas aguas y que deben ser conducidas a las plantas de tratamiento de agua residual para la depuración de los agentes contaminantes y nocivos para la naturaleza y los seres vivos.

2. Tratamiento de Aguas

Como se mencionó anteriormente, alrededor de un 70% de la superficie del planeta se encuentra cubierta de agua, sin embargo, el 90,6% de esta corresponde a agua salada, cuyo consumo resulta ser perjudicial para el ser humano y solamente un 3,5% corresponde a agua dulce, de la cual un 70% se encuentra congelada en glaciares y casquetas polares. El agua es un recurso indispensable pero limitado ya que del agua existente en todo el planeta solamente 0,025% es apropiada para el consumo humano. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), de cada 10 personas, 3 carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar.

Sumado a la escasez de agua (que afecta a más del 40% de la población mundial y que es una problemática que va creciendo a causa del calentamiento global) hay que resaltar el hecho de que las sequías y el estrés hídrico en todo el planeta solo empeoran esta situación, adicionando



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



además la grave contaminación de los cuerpos hídricos ya que más del 80% de las aguas residuales producto de la actividad humana son vertidas en los ríos o el mar. (Iagua, 2018)

En base a lo anterior es importante realizar un tratamiento del agua ya sea en aguas residuales para mitigar el impacto ambiental negativo que estas generan o un tratamiento para la potabilización de la misma si es que el objetivo es destinar esta agua al consumo humano, teniendo en cuenta la escasez de agua potable alrededor del mundo y que no todos los lugares cuentan con una fuente de agua dulce para su consumo, sino que deben tratar el agua salada para hacer uso de ella.

El tratamiento del agua es una serie de procesos que pueden ser de tipo físicos, químicos y biológicos que en conjunto se usan para reducir o eliminar del agua toda la contaminación allí presente, cuyo fin es la obtención de un agua que sea apta para el uso y consumo humano o animal o bien para el uso que se le vaya a dar. (Acnur, 2018)

2.1 Tipos de Tratamientos de Agua

Como seres humanos requerimos del agua no solamente para nuestro consumo sino para llevar a cabo actividades diarias y necesarias como ducharse, lavar, cocinar, entre otras. Además, grandes industrias que producen insumos de los que disponemos día a día también hacen uso de este recurso para llevar a cabo sus procesos. Es por esto que el gasto y contaminación de estas aguas se hace inevitable, pero es la manera en que se dispone lo que puede hacer un gran cambio. En muchos lugares estas aguas residuales producto de las actividades humanas e industrias no



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



reciben un tratamiento previo a su disposición final, y se opta por verterlas directamente a un cuerpo hídrico, generando grandes problemas al medio ambiente y sus ecosistemas y es aquí donde radica la importancia del tratamiento del agua residual. Así mismo cuando el agua se va a destinar al consumo humano esta no puede distribuirse a los hogares tal y como es captada, sino que debe pasar por una serie de procedimientos que hagan posible su potabilización de manera tal que cumpla con los estándares mínimos de la normativa del país y que no resulte perjudicial para el consumo humano.

Para llevar a cabo algún proceso para tratar el agua se tienen en cuenta diferentes tipos de tratamientos tales como físicos, químicos y microbiológicos, los cuales concluyen en el mismo objetivo que consiste en la eliminación de las impurezas y contaminación del agua, generando así un agua limpia, pura, inolora e incolora y que sea apta y segura para el ser humano y para el medio ambiente, esto según el uso que se le desee dar.

2.1.1 Tratamientos Físicos

Los tratamientos físicos son los procesos que se le realizan al agua para llegar a un determinado objetivo con enfoque en la disminución de desechos o impurezas en el agua, estos procesos no producen o generan sustancias nuevas, sino por el contrario lo que buscan es concentrar los contaminantes para una su posterior extracción. Entre estos tratamientos físicos encontramos: el cribado o tamizado, centrifugación, aireación, decantación, filtración, desinfección química, etc.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Cribado o tamizado. El cribado es un proceso físico o mecánico por el cual se busca en una primera instancia hacer una separación y remoción de objetos de gran tamaño que pueda traer el agua residual y que de cierta manera pudiesen interferir o afectar el funcionamiento de los equipos que se ubican aguas abajo. Este consiste en un sistema de rejillas que facilitan la remoción de grandes partículas mediante un “colado”, reteniendo así las partículas o sólidos flotantes de mayor tamaño y dejando pasar las partículas más pequeñas. Hay que aclarar que los residuos sólidos retenidos en esta etapa o proceso pueden ser de distinta naturaleza y debe garantizarse su transporte adecuado. (Hazen y Sawyer, 2011)

Centrifugación. Se refiere a un proceso mediante el cual se realiza la separación de partículas sólidas y/o grasas que existen en una suspensión generalmente líquida, tal como las aguas residuales, cuya separación se da por acción de una fuerza centrífuga (es decir, una fuerza dirigida hacia afuera de un punto central giratorio) mediante una diferencia de densidades. Este proceso se realiza mediante las centrífugas y puede emplearse también para desaguar lodos. Estas centrífugas representan un alto consumo de energía, pero resultan ser bastante eficientes. Existen principalmente dos tipos de centrífugas: las de voluta y las de cesta, las cuales operan continuamente y por cochadas respectivamente.

Aireación. La aireación es un proceso importante por el cual se da paso a la eliminación de componentes contaminantes en el agua, olores y sabores que se producen producto de los gases disueltos. Este proceso consiste de manera general en el mezclado del aire con el agua con el fin de eliminar los gases disueltos en la misma, aumentando la capacidad de degradación del





sistema y promoviendo el crecimiento de microorganismos no patógenos en el agua mediante el aprovechamiento del oxígeno, que a su vez oxida los compuestos como hierro y magnesio disueltos, y los convierte en hidróxidos férricos y mangánicos siendo estos últimos componentes insolubles.

Decantación. La decantación es un proceso físico en el que se busca realizar una separación de componentes con diferentes densidades (normalmente entre una sustancia líquida y una sólida) en el que el más denso se sitúa en el fondo por acción de la gravedad, dejando como resultado el agua clarificada en la parte superficial. Es así que mediante la decantación se hace una remoción del exceso de agua (que se puede ya sea recuperar y reciclar o se dispone) y una concentración de sólidos por medio de la sedimentación.

Presedimentación. Es un proceso cuyo propósito consiste principalmente en la remoción de gravas, arenas, limos y otros materiales sedimentables. Aquí se busca disminuir la velocidad del agua con el objetivo de que los sólidos suspendidos en ella se sedimenten por acción de la gravedad (Romero, 2002)

Desarenado. Proceso por el cual se busca la separación y eliminación de grasas, aceites, arenas mediante una estructura llamada “desarenador” cuya función consiste en obstaculizar el paso de partículas que sean más densas que el agua (como escombros y arenas). Esto se logra mediante la creación de paredes elevadas que permiten el paso del agua superficial y que dejan





los sedimentos en el fondo para que posteriormente estos últimos sean decantados y filtrados debidamente. (Hidrometálica, 2019)

Sedimentación. Su propósito principal es la remoción de sólidos sedimentables. Consiste en la separación de las partículas sólidas del medio acuoso, en el que las partículas con un peso mayor que el agua se depositan en el fondo del tanque por acción de la gravedad, aunque esto depende de la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. Existen diferentes tipos de sedimentación, tales como la Sedimentación tipo 1, que es un tipo de sedimentación libre, no interferida; Sedimentación tipo 2, en el que se tiene en cuenta las características y propiedades floculentas de la sedimentación y la suspensión de las partículas respectivamente; Sedimentación zonal es el proceso de sedimentación en el que las suspensiones de concentración intermedia de flóculos, manifiestan un asentamiento interferido por la cercanía existente entre las partículas; y la compresión es la que ocurre cuando la concentración de las partículas aumenta y están en contacto unas con otras y su peso es sostenido parcialmente por la masa compactada. (Romero, 2002).



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia

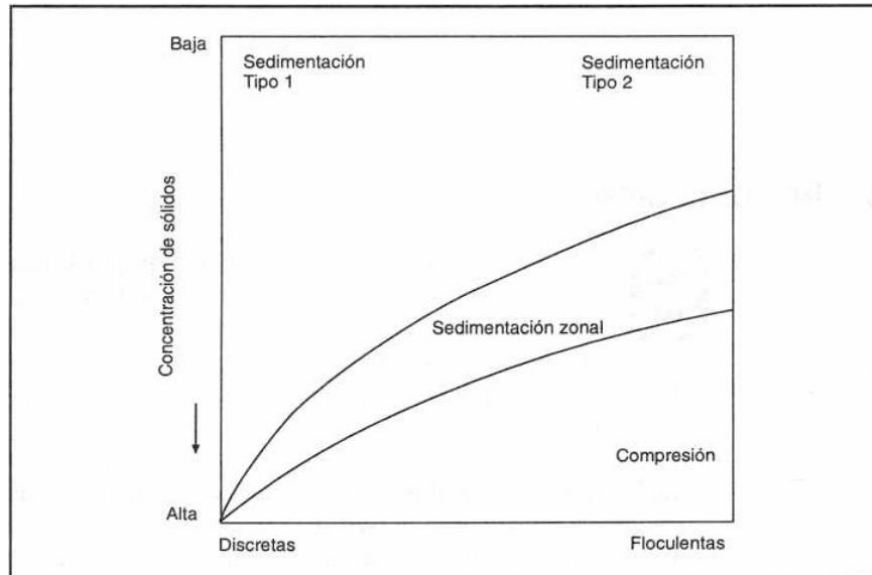


Ilustración 1. Tipos de Sedimentación según concentración de partículas

Fuente: Tomado de. (Romero, 2002)

Filtración. Su principal propósito consiste en la remoción de partículas o sólidos finos, material suspendido como flóculo, y metales oxidados y la mayoría de los microorganismos. Este procedimiento debe aplicarse para lograr la clarificación final del agua ya que si bien en etapas anteriores como lo son la coagulación y la sedimentación se alcanza a eliminar cerca de un 90% de la turbiedad y el color, una cierta cantidad de flóculos alcanza a pasar al tanque de sedimentación. (Romero, 2002)

Macro-Filtración. Proceso de filtración que se realiza mediante una membrana porosa a un nivel macro con el fin de eliminar los contaminantes suspendidos en un fluido.



Microfiltración. Es un proceso por el cual se realiza una filtración a un nivel micro, mediante una membrana microporosa con la que se realiza una eliminación de los contaminantes presentes en el fluido. Esta membrana tiene un tamaño de poro que oscila entre 0,1 a 1 micra. (PUREWATER, 2021)

Ultrafiltración. Aquí se lleva a cabo una separación igualmente por medio de una membrana semipermeable que con el uso de presión hidrostática fuerza el agua a través de la membrana y permite una separación de los sólidos (suspendidos o disueltos). (Zarza, 2020)

Desinfección Física. Es un proceso físico por el cual se busca destruir distintos microorganismos patógenos existentes en un medio para así impedir su multiplicación ya que estos pueden resultar nocivos para la salud del ser humano. (ALCORA, 2021)

Radiación U.V. o Luz Ultravioleta. Es una técnica de desinfección por radiación Ultravioleta o iluminación cuya acción es la de neutralizar los microorganismos cuando estos pasan a través de las lámparas ultravioletas o lámparas de silicio cuarzo. (TROJANUV, 2012) Esta alternativa resulta ser mejor que la desinfección con cloro en diferentes aspectos tales como que no representa riesgo para la comunidad ni el ambiente y además de que no es corrosivo. (PUREWATER, 2020)

Pasteurización. Es un proceso que se realiza con el fin de acabar con los microorganismos presentes en un medio sin alterar su composición y consiste en la elevación de





la temperatura durante un periodo de tiempo corto a aproximadamente 80 grados y luego enfriándolo rápidamente

2.1.2 Tratamientos Químicos

Los tratamientos químicos son los procesos que, por el contrario a los tratamientos físicos, estos si genera nuevas sustancias debido a que se realizan mediante la aplicación de químicos cuyo objetivo es interactuar con las sustancias y partículas que se encuentran en suspensión en el medio acuoso, de manera que se alteren permitiendo cumplir el objetivo que es optimizar y hacer más eficiente los procesos del tratamiento del agua, entre estos procesos de tratamientos químicos encontramos: Precloración, neutralización, aireación, coagulación y floculación, suavización, desinfección, etc. Estos tratamientos varían dependiendo del tratamiento que se desea realizar, bien sea el tratamiento para la potabilización del agua, o el tratamiento de aguas residuales.

Precloración. Este proceso que también se le conoce como peroxidación se realiza como acondicionamiento del agua para mejorar la eficiencia de las etapas posteriores del tratamiento de aguas, en este proceso de prefloración consiste agregar cloro al agua para generar oxidación de materiales ferroso oxidando el hierro, manganeso y sulfuros de hidrogeno, también oxida la materia orgánica y elimina los microorganismos como las bacterias, algas, etc. Permitiendo la mitigación del crecimiento biológico en las demás etapas del tratamiento del agua y su vez minimizar los malos olores y sabores. (Pain y Spuhler, 2018)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Neutralización. En el tratamiento del agua es necesario llevar un control y monitoreo del pH, ya que es una variable muy importante que permite determinar la efectividad que tendrán los procesos del tratamiento que se le hará al agua, es por esto que se debe ajustar el pH al agua, donde en las plantas de tratamiento se procura mantener un pH de 8 cuando entra al floculador para optimizar el comportamiento de los coagulantes para una mejor coagulación y floculación, y por ende un mejor rendimiento en todos los demás procesos del tratamiento.(Amaya, Cañón y Aviles, 2004)

Aireación. Los procesos de aireación como su nombre lo dice consiste en disponer el agua en contacto con el aire para disminuir concentraciones de dióxido de carbono, y demás sustancias volátiles como son los gases como el metano, cloro, amoníaco y demás gases que contaminan y generan malos olores en el agua, de igual forma para permitir la oxidación de sustancias como el hierro y el manganeso, en el caso de aireación para tratamiento de aguas residuales también se utiliza para permitir a la biodegradación aeróbica por medio de los microorganismos que se alimentan de la materia orgánica que se encuentra presente en el agua residual. Existen varios métodos para realzar el proceso de aireación, unos de los cuales son la aireación por bandejas múltiples, que consiste en bandejas con orificios y rellenas con material granular como piedras, grava, ladrillo triturado y demás, de manera que ayude a la eficiencia del intercambio de gases, sobre estas bandejas se hará pasar el agua que caerán de forma vertical sobre cada bandeja y al final se recogerán en un tanque de recolección. También está la aireación por caída de agua, mediante aireadores de fuente o surtidores los cuales consisten en una serie de





toberas que envían el agua verticalmente o con un grado de inclinación, cuyo propósito es generar una cierta dispersión del agua de manera que entre en contacto de manera más cercana con el aire. También se encuentra la aireación con aireadores en cascada y vertederos, este tipo de aireadores en cascada consisten en conducir el agua en laminas sobre escalones de concreto, entre mayor sea el área horizontal mayor será la eficiencia del intercambio de gases; la aireación en vertederos consiste en conducir el agua y dejarla caer a una altura determinada generando un resalto hidráulico, en donde la transferencia de gases ocurre durante la caída libre en la capa agua-aire, y esta se mejora en la caída turbulenta aguas abajo debido a la inclusión adicional de aire provocada por el chorro, para esto la altura “h” debe ser óptima para que esto suceda. Y por último se tienen los aireadores manuales que se utilizan para extraer el hierro y manganeso, este tipo de aireadores son cerrados y la aireación se realiza por medio de ventiladores, este aireador consiste en varios niveles por donde se hará pasar el agua en los cuales tendrán material granular como piedras y arenas gruesas que permitirán a su vez realizar una filtración, para por último disponer el agua en un tanque de recolección. (Romero, 2022)

Coagulación. Este proceso se basa en la adición de sales químicas al agua, que por lo general se encuentran cargadas positivamente, como lo pueden ser sales de aluminio, hierro o polielectrolitos. Esto se realiza debido a que en el agua se encuentran partículas suspendidas que resultan ser muy livianas y generalmente cargadas negativamente haciendo que se repelen entre sí impidiendo que formen partículas más grandes y densas, evitando la fácil decantación por sí mismas. Es por eso que se realiza esta adición de sales químicas, de manera que al interactuar



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



con las cargas negativas que tienen las partículas suspendidas, estas logren disminuir esa carga eléctrica y neutralizarlas, de manera que permita que las partículas ya no se repelen, sino que al entrar en contacto se junten entre sí formando conjuntos de estas de mayor tamaño y densidad, permitiendo una aceleración y optimización en los procesos de decantación y sedimentación de las partículas contaminantes. (OSE, 2018)

Floculación. En esta etapa del tratamiento del agua se realiza posterior a la etapa de coagulación, aquí se somete el agua a un movimiento lento, de manera que las partículas interaccionen entre sí y se unan formando los grupos de partículas de mayor tamaño y densidad denominados flóculos, de manera que facilite los procesos de decantación y filtración para eliminar la mayor cantidad de impurezas suspendidas en el agua. (LMI, 2022)

Suavización. Este proceso se realiza principalmente para eliminar las sales minerales que se encuentran contenidas en el agua como lo son el calcio y el magnesio los cuales representan un gran costo debido a los daños que ocasionan, ya que estas sales se encargan de crear incrustaciones o sarros corrosivos en las tuberías y equipos por donde pase el agua, ya que estas sales se van acumulando y sedimentando y posteriormente cuando la corrosión. Es por esto que se realiza la etapa de suavización en el tratamiento del agua, el método más común es por medio de esferas de polímero orgánico no soluble o resinas de intercambio iónico, estas esferas se encuentran cargadas negativamente atrayendo a los iones de las sustancias que provocan estas generaciones de calcificaciones o sarros, las cuales son generalmente calcio, hierro y magnesio. Se genera un intercambio iónico gracias a la resina, reemplazando estos iones de calcio,



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



magnesio y hierro que se encuentran suspendidos en el agua, por iones menos dañinos como lo es generalmente el sodio, evitando así los problemas antes mencionados. Cabe resaltar que existen otros procesos para realizar este ablandamiento o suavizamiento del agua como ablandamiento por tratamiento químico que se realiza mediante la adición de algunas sustancias químicas como cal, carbonato sódico y cal, y soda caustica o hidróxido sódico. (Moreira, 2016)

Desinfección química. Este proceso se realiza una vez el agua ha pasado por las etapas para su preparación como lo es la etapa de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y demás procesos que remueven en gran parte los agentes y partículas contaminantes y virus que se encuentran en el agua. Se realiza principalmente de tres maneras las cuales son la cloración, ozonización e ionización. (Arboleda, 2000)

Cloración. La cloración es uno de las practicas que generalmente se usan para realizar la desinfección química, ya que tiene muchas ventajas como la eficiencia, facilidad de aplicación y su gran capacidad de desinfección. Este proceso de cloración se realiza con cloro en su forma gaseosa, o sales de cloro, como lo es el hipocloroso de calcio o de sodio, añadiendo al agua en diferentes concentraciones previamente definidas. La eficiencia del cloro radica en los niveles de pH del agua, en donde es más eficiente en pH bajos, cabe recalcar que la turbidez del agua es un factor importante, ya que al ser demasiado turbia significa que tiene gran cantidad de materia orgánica y dentro de ella pueden haber virus y bacterias, las cuales no serán afectadas por el cloro en cualquier concentración. (del Barrio, 2015)





Ozonización. En este proceso de desinfección se utiliza como desinfectante el ozono, el cual es una forma alotrópica del oxígeno que resulta ser un oxidante muy energético. Tiene un poder oxidante de mayor eficacia que el cloro. El ozono se puede producir a partir de aire u oxígeno puro, este se obtiene mediante descargas eléctrica alternas de alta tensión y/o frecuencia entre dos electrodos separados por un medio dieléctrico que por lo general es vidrio. El utilizar este método de desinfección tiene consigo diferentes pros y contras, entre los pros podemos decir que a diferencia del cloro, el ozono tiene un mayor poder oxidante y desinfectante, este no produce trihalometanos y combate los que lo producen, requiere un tiempo y concentración menor para que realice una óptima desinfección, no altera el pH del agua, mejora la coagulación por lo que también suele usarse en la etapa de peroxidación y facilita la eliminación de metales como el hierro y manganeso, y así mismo minimizar los malos olores, sabores y el color del agua. Por otra parte tenemos sus contras como lo es su coste de operación y utilización que resulta ser mayor, puede ayudar a la formación de subproductos perjudiciales para el ser humano, los cuales se encuentran los bromatos y aldehídos, no tiene la capacidad de durar mucho tiempo el cual se necesita para el proceso de distribución, haciendo que sea necesario el empleo de cloro para mantener esta desinfección residual para la distribución; también puede causar corrosión en los equipos debido a la formación de óxido nítrico y ácido nítrico, y puede producir afectaciones a las personas debido a que es un oxidante fuerte, afectando en especial los ojos y pulmones.(Ramírez, 2005)





Ionización. Este proceso de ionización se basa en la liberación de iones de cobre y plata que resultan no perjudicar a la persona y el medio ambiente, estos iones de cobre son capaces de eliminar las algas, mientras que los iones de plata eliminan las bacterias y virus. Ambos iones se complementan entre sí, ya que para el caso de las bacterias y virus el ion de cobre cargado positivamente interactúa con las paredes de la membrana celular de las bacterias logrando debilitarlas, y permite que el ion de plata penetre la membrana celular ingresando al interior de la célula microbiana formando enlaces con las proteínas celulares y enzimas respiratorias, logrando así la desactivación total de la célula bacteriana. (Martínez et al., 2002)

2.1.3 Tratamientos Microbiológicos

Es un tipo de tratamiento en el que se llevan a cabo diferentes procesos en los que se utilizan los microorganismos para eliminar componentes solubles en agua. En estos procesos hace uso de la aptitud de los microorganismos de absorber tanto la materia orgánica como nutrientes que se encuentran disueltos en el agua residual (como lo es el nitrógeno y fósforo) para su propio crecimiento. Cuando estas se reproducen, se juntan entre ellos dando pie a la formación de flóculos de mayor tamaño con la masa suficiente como para poder decantarlos en un tiempo razonable. (Cordorchem, 2013)

Biodegradación de la materia orgánica. Se refiere a la capacidad metabólica de los organismos por medio de la cual se transforman los contaminantes orgánicos en compuestos menos peligrosos y en una cantidad menor, de manera tal que se pueden integrar más fácilmente





a ciclos bioquímicos naturales. Por medio de este proceso se permite que los microorganismos se alimenten de los compuestos xenobióticos o recalcitrantes de una manera controlada, permitiéndoles consumir contaminantes de los suelos y yacimientos de agua. (Posada y Mosquera, 2007)

Desinfección con filtración lenta. Es un tipo de filtro empleado para la eliminación de la turbiedad del agua, aunque si es diseñado y operado de manera apropiada se puede considerar como un sistema de desinfección del agua. En este paso se llevan a cabo diferentes procesos que pueden ser físicos o biológicos que conllevan a la destrucción de microorganismos patógenos que pueden ser nocivos para el ser humano. En este proceso no se hace uso de ningún químico, pero sí es necesario contar con un buen diseño y además un mantenimiento periódico con el fin de no alterar la capa microbiológica del filtro ni reducir su eficiencia. (Torres y Villanueva, 2014)

Oxidación bioquímica. Esta oxidación realiza la oxidación de una sustancia para romperla y poder formar otra u otras sustancias. Este proceso se les aplica a sustancias que son básicamente imposibles de extraer del agua sin ayuda de la oxidación, y los productos resultantes de este proceso se pueden retirar posteriormente mediante otros métodos como degradación, absorción, filtración, entre otros. (Synertech, 2021)



2.2 Tratamiento para la Potabilización del Agua

Cuando se habla de la potabilización del agua se hace referencia al tratamiento que se le da al agua para hacerla apta y segura para el uso humano y cuyo tratamiento está destinado a su consumo. En este tipo de tratamiento se desarrollan diferentes procesos o diferentes tipos de tratamiento para clarificar, limpiar y purificar el agua, de manera tal que cumpla con la normatividad y no resulte ser perjudicial para sus consumidores finales.

Este proceso de manera general sigue unos pasos que son los siguientes:



Ilustración 2. Proceso para la potabilización del agua

Fuente: Tomado de. (Google Imágenes)

Captación. Es un primer procedimiento en el que se recolecta el agua de un cuerpo hídrico y se transporta a la planta potabilizadora en donde se le darán los tratamientos necesarios



para que el agua no resulte perjudicial para el consumo. Este procedimiento se puede realizar mediante Aducción, en el que el agua es transportada por acción de la gravedad, y por Impulsión, en el que es necesario realizar el transporte a través de bombas.

Pretratamiento. En el pretratamiento entran procesos en los cuales se realizan unos procedimientos que, si bien ayudan a clarificar el agua, esta aún no está lista para su disposición final, en este pretratamiento entran procesos como:

Cribado. Que hace referencia a un proceso por el cual se “cuela” el agua, haciéndola pasar por medio de unas rejillas, mediante las cuales se remueven partículas de mayor tamaño, basuras, ramas, entre otras.

Desarenado. Es un proceso que se realiza mediante una estructura llamada desarenador, en la cual se usan paredes altas para obstaculizar el paso de las partículas con mayor densidad que el agua y que estas queden en el fondo, dejando el agua clarificada en la superficie.

Coagulación. Este proceso se da en la cámara de mezcla, en la cual se aplica un coagulante al agua para que los residuos o partículas creen coágulos que faciliten su remoción. Aquí se da una neutralización de las partículas mediante el floculante para que estas no se repelen entre ellas.

Floculación. Etapa en la que se aplica floculante al agua para que las partículas y polvo generen flóculos, que se van haciendo más grandes y se disponen en el fondo para facilitar su recolección por medio de la siguiente etapa del tratamiento. En este se hace





mover el agua en zigzag a ciertas velocidades para que las partículas choquen entre ellas y se vayan uniendo formando partículas más grandes.

Decantación. En este proceso mediante el reposo las partículas con mayor densidad que el agua se disponen en el fondo, es decir que se sedimentan y el agua clarificada queda en la superficie, por lo cual se puede realizar la separación de ambas por medio de la acción de la gravedad.

Filtración. En este paso se dirige el agua clarificada producto de la decantación y se hace pasar por unos filtros, mediante los cuales se terminan de eliminar las partículas más finas o flóculos que hayan quedado producto de procesos anteriores. Estos filtros de arena pueden ser de 2 clases, que son los de acción rápida y los de acción lenta; en ambos el agua desciende por acción de la gravedad, sin embargo, varía la velocidad con la que pasa.

Cloración y alcalinización. Es un proceso de desinfección del agua, que se puede realizar mediante el uso de cloro u ozono (el ozono tiene un mayor costo que el cloro, además de que el cloro garantiza una desinfección en todo el trayecto hasta con el fin de prevenir el crecimiento y desarrollo de microorganismos. Además, se implementa el uso de cal con el propósito de nivelar el PH del agua.

Distribución. Es la última fase en la que el agua potabilizada es trasladada a estaciones de bombeo, desde donde finalmente se distribuirá a los hogares para su debido uso. (Carrión, 2020)





2.3 Tratamiento de Aguas Residuales

Al igual que el tratamiento descrito anteriormente este también consiste en una serie de procesos tanto biológicos, físicos y químicos que se realizan con la finalidad de eliminar la contaminación presente en el agua producto de actividades ya sean industriales, agrícolas o del uso humano, es decir que se busca realizar una depuración de esta. El tipo de tratamiento que se le brinde al agua dependerá mucho de su origen, ya que por ejemplo si el agua es producto de actividades industriales requerirá procedimientos diferentes a si el agua es producto del uso doméstico. Para este tratamiento si bien se llevan a cabo procesos de la misma naturaleza que los utilizados en la potabilización del agua, estos cambian un poco, y además se llevan a cabo por etapas que se describirán a continuación.

2.3.1 Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales se puede dividir en 4 etapas, cada una de ellas cumple una función diferente, pero en conjunto funcionan para poder llevar a cabo la eliminación de todos los residuos, partículas y contaminantes que están presentes en el agua. Estas etapas son tratamientos primario, secundario y terciario y el pretratamiento.

Etapas 1: Tratamientos Preliminares o Pretratamientos

En esta etapa encontramos los tratamientos iniciales que se realizan antes de iniciar con el tratamiento “real” de depuración del agua, aquí se realizan funciones como la regulación del caudal del agua captada y se le realizará una primer separación y remoción de sólidos flotantes



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



de gran tamaño y suspendidos en el agua evitando taponamientos o alteraciones en los procesos siguientes. Adicional a esto se aprovecha para realizar una pre-aireación, permitiendo eliminar compuestos volátiles contenidos en el agua residual, facilitando la eliminación de malos olores. En este pretratamiento se llevan a cabo diferentes procesos físicos y químicos que facilitarán las siguientes etapas, tales como el cribado, tamizado, desarenado, entre otros.

Cribado. Su función es la de retener sólidos o partículas gruesas suspendidas en el agua o que floten en ella. Este consta de un sistema de rejillas por medio de las cuales pasa el agua captada y realiza una especie de colado, separando del agua que se va a tratar aquellas partículas de mayor tamaño que puedan retener estas rejillas.

Tamices Estáticos. Son filtros que permiten realizar un proceso de separación entre sólidos y líquidos y ayudan con la remoción de residuos gruesos contenidos en el agua. Este elemento es importante en las plantas de tratamiento de agua residual ya que en el agua captada para el tratamiento llegan muchos residuos de distinta naturaleza (basuras, ramas, toallas sanitarias, condones, textiles, etc.), y que no pueden eliminarse en el cribado. La separación de estos tamices varía entre 0,5mm y 1,5mm según la necesidad que se tenga. (Plástico B&R, 2022)

Trituradores de canal. Tal como lo indica su nombre, son un elemento que tritura los sólidos gruesos que contiene el agua residual, logrando así una reducción considerable en su tamaño, proceso que no solo facilita el tratamiento y depuración del agua, sino que garantiza la



protección de otros elementos de la planta de tratamiento ubicados aguas abajo. (Aguamarket, 2021)

Tanques de igualación y homogeneización. Es un tanque por medio del cual se trata de eliminar las diferencias de caudal o se regula el caudal para que este fluya constantemente a un caudal definido, que generalmente es el caudal de diseño de la planta de tratamiento y esto se logra a través de un proceso de igualación de caudales. Este proceso es importante ya que a lo largo del día los caudales son muy variables (por diferentes motivos) lo que desembocaría en el daño de algunos equipos durante el proceso, es por eso que se busca igualar estos caudales a el caudal de diseño, no solo por seguridad sino también por la facilidad que brinda al proceso del tratamiento de las aguas. Si este tanque está bien diseñado, permitirá una reducción en el tamaño de la planta, dimensionando mejor los equipos que se van a emplear y también homogeneizar el pH. (IQR, 2020)

Desarenadores. Los desarenadores son cámaras que se diseñan para permitir la separación de sólidos minerales por medio de la gravedad. Este cumple la función consiste en obstaculizar el paso de partículas que sean más densas que el agua como escombros y arenas mediante la fabricación de paredes elevadas que permiten el paso del agua superficial (agua clarificada) y que dejan los sedimentos en el fondo para que posteriormente estos últimos sean decantados y filtrados debidamente. (L16,17)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Etapa 2: Tratamiento primario.

En esta etapa se busca eliminar la mayor parte de los sólidos sedimentables y flotantes que residen suspendidos en el agua residual, y así mismo reducir la materia orgánica, de la cual se puede lograr un aprovechamiento, y a su vez optimizar los procesos del tratamiento biológico. En esta etapa encontramos los siguientes procesos:

Sedimentación primaria. En este primer proceso se realiza una sedimentación por medios físicos de la mayor parte de la materia orgánica y sedimentable por medio de la decantación de las partículas en suspensión en un sedimentador primario, este proceso se lleva a cabo en un tanque denominado tanque de cimentación con una duración de 2 a 3 hora, este tendrá una pendiente en el fondo de manera que las partículas sedimentadas se dirijan a un punto donde se extraerá esta materia orgánica y sedimentos para su posterior proceso de aprovechamiento. De igual forma se depurarán las partículas flotantes que se encuentren en la superficie. Este proceso removerá entre un entre un 50% y 65% de los sólidos suspendidos totales (SST).

Una vez realizado este proceso de tratamiento del agua residual en el sedimentador primario, estos lodos resultantes llenos de materia orgánica se conducen a los digestores, allí se le brindará un tratamiento a estos desechos para un aprovechamiento del material resultante que da como resultado biogás que resulta ser aprovechable, este proceso se puede realizar mediante dos clases de digestores, digestores anaerobios o digestores aerobios, resultando este último más





costoso debido al costo que conlleva la aplicación de oxígeno para su correcto funcionamiento. El más utilizado es el digestor anaerobio.

Reactor UASB. UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también conocido como RAFA Reactor Anaeróbico Flujo Ascendente a través de un Manto de lodos, desarrollado por Dr. Gatzke Lettinga (finales 1970) en la Universidad de Wageningen (Holanda).

Es un bioreactor anaeróbico de alta tasa y biomasa suspendida que operan con flujo continuo ascendente, es decir el afluente ingresa al reactor por el inferior de este, atravesando el manto de lodos donde se estabiliza parcialmente la materia orgánica. Por acción de los microorganismos que se encuentran en estos lodos agrupan esta materia orgánica en biogránulos, saliendo el efluente tratado por la parte superior junto con el biogás.

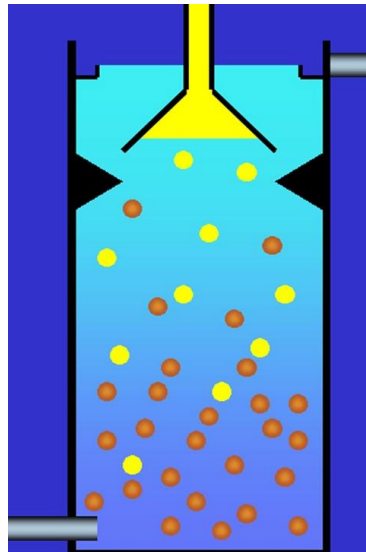


Ilustración 3. Reactor UASB



Fuente: Tomado de. Dr. Gatze Lettinga (1970)

Digestor anaerobio. Los digestores anaerobios consisten en tanque adecuados para almacenar los lodos resultantes después del proceso de la sedimentación primaria compuestos por cualquier tipo de biomasa residual como restos de comida, hojas, residuos ganaderos, etc. Este se basa en la digestión por medio la fermentación provocada por microorganismos aerobios en ausencia de oxígeno, este proceso de digestión da lugar a la generación de una mezcla de gases como lo es el metano y el dióxido de carbono en su mayor parte que es conocido como biogás; y lodos en donde se encuentran contenidos estos microorganismos que hacen posible la degradación de la materia orgánica (Acosta y Obaya, 2005). Gracias a este proceso se puede obtener productos aprovechables como lo es el biogás que puede ser aprovechado como combustible para calderas, calentadores, combustible para motores, etc.

Una vez el agua residual sale del sedimentador primario se conducen al siguiente proceso del tratamiento de aguas residuales denominado lagunas de estabilización.

Lagunas de estabilización. Las lagunas de estabilización son excavaciones no muy profundas que se realizan para el tratamiento del agua residual, aquí se realiza un proceso de auto purificación con ayuda de microorganismos biológicos que se alimenta y provocan la descomposición y sedimentación de la materia orgánica, y mediante cadenas tróficas se logra la eliminación de microorganismos patógenos que contaminan y generan un riesgo para los seres



vivos que vayan a entrar en contacto con esta agua en su posterior reinserción (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Las lagunas de estabilización pueden ser de tres tipos como lo son lagunas de estabilización aerobia, anaerobia y facultativa, para este caso del tratamiento se escoge como proceso siguiente la laguna aeróbica primaria.

Laguna aerobia. Estas lagunas aerobias o aeróbicas tienen una profundidad entre 1 a 1.5 metros y un tiempo de retención hidráulica de 20 a 30 días, estas lagunas permiten la degradación de la materia orgánica con ayuda de microorganismos aeróbicos, los cuales son microorganismos que requieren de oxígeno para vivir y poder realizar sus procesos biológicos de descomposición de la materia, para esto se necesita que se realice la aplicación de oxígeno bien sea mediante medio natural por algas, en donde por medio de la fotosíntesis liberan oxígeno al agua y los microorganismos aeróbicos lo utilizan para realizar la degradación aerobia de la materia orgánica, cuyo proceso produce la oxidación y la liberación de dióxido de carbono que será aprovechado por las algas, este relación se le denomina simbiosis. Otro proceso de aireación es la aireación mecánica en donde se inyecta aire al agua de manera que se añada oxígeno al agua para que los microorganismos aeróbicos cumplan su función (Vásquez, 2016).

Etapas 3: Tratamientos Secundarios.

En esta etapa del proceso del tratamiento de agua residuales se utilizan mayormente procesos químicos y biológicos para eliminar las partículas que no se pudieron eliminar en las



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



etapas anteriores, como es el caso de las partículas disueltas en estas aguas. En este punto el agua tiene características similares como las que se tratan para la potabilización del agua, es por esto que se pueden emplear algunos procesos que se utilizan allí, para llevar a cabo la remoción de partículas disueltas en el agua. Estos métodos son los siguientes.

Coagulación y floculación. En este proceso se adicionan sustancias coagulantes al agua generalmente sales de aluminio como lo es el sulfato de aluminio, cuya función principal es la de neutralizar las partículas disueltas en el agua que se encuentran cargadas negativamente como ya se mencionó anteriormente en este documento, de manera que se neutralicen sus cargas eléctricas para evitar que se repelen entre sí y por el contrario se unan mediante la interacción provocada por la agitación lenta del agua o floculación, dando como resultados aglomeraciones de estas partículas denominados flóculos.

Una vez formados estos flóculos se conduce esta agua a un sedimentador secundario para lograr la separación final de los flóculos de material contaminante y el agua.

Sedimentador secundario. Una vez se haya terminado el proceso de coagulación y floculación y se hayan formado los flóculos, se conduce el agua al sedimentador secundario donde ingresa por la parte baja, chocando con unos paneles cuya función es disminuir la velocidad del flujo y provocar la sedimentación de las partículas o flóculos formando lodo, separando así el agua del material contaminante removiendo aproximadamente el 90 a 95% de la



turbiedad del agua, la cual saldrá por la parte de arriba hacia que será conducidos a un tanque de almacenamiento para su posterior etapa de tratamiento.

Etapas 4: Tratamiento complementario

Posterior a este último proceso de sedimentación secundaria se realiza la etapa complementaria para desinfectar el agua, y así eliminar los microorganismos patógenos que en los procesos anteriores no se pudieron eliminar, existen varios métodos de desinfección como la desinfección por ozonización, ionización, y cloración, siendo esta ultima las más utilizada debido a sus grandes cualidades desinfectantes y su bajo costo.

Desinfección. En este proceso se realiza la aplicación de cloro gaseoso al agua cuyo propósito principal es eliminar los microorganismos y gérmenes patógenos que no se eliminaron de las etapas anteriores, ya que estos representan un peligro para la salud de las personas y demás seres vivos con los que entraran en contacto una vez el agua sea reintegrada a algún afluente o cuerpo hídrico.



3. Nuevas Investigaciones para el tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales

3.1 Filtración.

Esta consiste en un proceso físico por el cual, tal como su nombre lo indica, se filtra el medio acuoso con el fin de separar las partículas sólidas de este. Aquí se hace pasar el agua por medio de una superficie porosa y es un paso importante para poder eliminar los contaminantes suspendidos en el agua. Esta filtración por lo general se realiza mediante las membranas de Ósmosis inversa, que son membranas de alta densidad cuya función es la retención de solutos de bajo peso molecular.

3.1.1. Filtración de Aguas Industriales por Membrana de Nanodiamantes.

Cuando la membrana de Ósmosis inversa es sometida a altas temperaturas su funcionamiento se ve entorpecido y es por esto que para tratar aguas industriales que llegan con temperaturas muy elevadas, primero hay que realizarles un proceso de refrigeración, generando así un gasto energético elevado. En vista de esto se propone el uso de una membrana de nanodiamantes para la purificación de estas aguas, en reemplazo de la ósmosis inversa, ya que esta puede trabajar de manera óptima a altas temperaturas permitiendo tratar el agua industrial sin tener que pasar por un previo proceso de “enfriamiento”. Esta membrana es producto de investigadores de la Universidad de Alberta en Canadá, quienes buscaban opciones para hacer que las membranas funcionaran con agua a temperaturas muy altas. Para que los nanodiamantes pudieran soportar estas condiciones decidieron añadirle aminas y posterior a ello, un baño de



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



acetato de etilo para prevenir el aglutinamiento de los nanodiamantes. Por último, se añadió monómero, que al reaccionar con las aminas fija los nanodiamantes en la membrana.

Esta membrana resultó ser de gran eficiencia ya que se sometió a temperaturas de 75°C por 9 horas, tiempo durante el cual logró mantener un funcionamiento correcto. (Sociedad Química Americana, 2020)

3.1.1 Limpieza de Aguas Residuales por medio de nanorrobots.

Esta investigación se lleva a cabo en la Universidad de Química y Tecnología de Praga. Esta consiste en el uso de robos de 200 nanómetros de ancho que mediante el uso de campos magnéticos pueden ser controlados debido a que estos nanorrobots se encuentran magnetizados por la incorporación de partículas de óxido de hierro. Adicional a esto, emplean un polímero que hace posible la recolección de contaminantes en el agua. El funcionamiento de estos, además de lo ya mencionado, se basa en la temperatura del agua (son sensibles a la temperatura), ya que al estar a bajas temperaturas de más o menos 5°C estos permanecen dispersos en el agua, pero si la temperatura de esta se incrementa a 25°C, estos tienden a agruparse, permitiéndoles atrapar los contaminantes suspendidos en el agua y facilitando su extracción del agua mediante un imán.

Los resultados obtenidos mediante este método han resultado ser satisfactorios ya que según las pruebas realizadas en laboratorio se ha conseguido eliminar un 62% del arsénico presente en el agua, sustancia que resulta ser tóxica y contaminante de este medio. (Chen Ly, 2022)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



3.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales mediante haces de electrones.

Esta tecnología es implementada en la planta de Guanhua Knitting Factory en China, ya que es este el importador más grande de hilado, por lo que los el agua residual producto de esta industria está contaminado con colorantes cuyas moléculas no pueden ser descompuesta mediante el uso de bacterias o productos químicos. (Carley Willis, 2020)



Ilustración 4. Resultados del tratamiento mediante haces de electrones

Fuente: Tomado de. (OIEA, 2017)

Estos productos químicos empleados para la coloración de los textiles no pueden ser tratados por bacterias ya que estos poseen cadenas moleculares muy grandes, largas y complejas, y esto impide su degradación por medios convencionales. Es por esto que mediante el uso de

haces de electrones se pudieron descomponer estas sustancias en moléculas de menor tamaño que ahora sí pueden ser tratadas mediante medios convencionales como la descomposición por medio de bacterias. (OIEA, 2017)

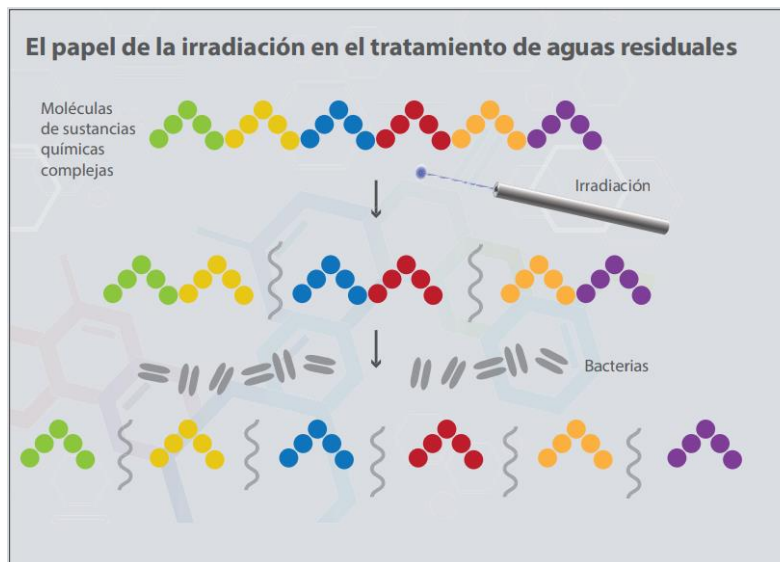


Ilustración 5. Irradiación en el tratamiento de Agua Residual de la industria Textil

Fuente: Tomado de. (OIEA, 2017)

3.2 Coagulación-floculación

Uno de los procesos fundamentales en el tratamiento de aguas es la floculación, aquí se lleva a cabo un proceso tanto químico (donde se aplica floculante) como físico, mediante el movimiento en “zigzag” que se realiza para que las partículas choquen entre sí permitiendo la formación de flóculos más grandes. A grandes rasgos el floculante (o coagulante) realiza la



acción de romper la estabilidad de los coloides y esto con ayuda del movimiento producto del movimiento hidráulico causa la colisión entre partículas, permitiendo la unión entre ellas.

Existen distintos tipos de polímeros que pueden clasificarse como coagulantes naturales o floculantes sintéticos, estos últimos si bien tienen un alto peso molecular, concentración y carga iónica, representan un costo elevado y no resultan ser amigables con el medio ambiente. Es por esto que los polímeros naturales se han investigado de manera más exhaustiva, para poder reemplazar a los polímeros sintéticos.

Estos coagulantes naturales (polímeros orgánicos) brindan ventajas en cuanto a los flóculos que forman, ya que estos forman una unión más fuerte entre sus partículas, son altamente resistentes al corte y además son menos sensibles a las variaciones de pH.

3.2.1 Nanocristales de celulosa altamente cargados aplicados como floculante para el tratamiento del agua

En los últimos años los nanocristales de celulosa han llamado la atención por sus propiedades, tales como su densidad baja, resistencia a la tracción alta, además de ser renovables y biodegradables. Estos pueden ser agentes floculantes de gran eficiencia por ser partículas rígidas de alta relación de aspecto. Adicional a esto su área de superficie externa de gran tamaño es modificable para crear sitios activos para la floculación, permitiendo la formación de flóculos en concentraciones bajas. Inicialmente los nanocristales de celulosa se injertaron con 4-vinilpiridina, pero el floculante resultó ser sensible al pH, por lo que no era funcional para el



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



tratamiento de aguas, pero sí resultaba útil para aplicaciones biomédicas. Posteriormente se introdujo otra modificación por Hasani et al., la cual cationizó los nanocristales de celulosa con cloruro de epoxi-propiltrimetilamonio, dando como resultado una dispersión electrostática estable.



Ilustración 6. Nanocristales de celulosa

Fuente: Tomado de. (Google Imágenes)

3.2.2 Reininger.

Reininger es un sistema diseñado por Binario Tech para el tratamiento y recuperación de aguas residuales mediante el uso de oxidación avanzada y electrocoagulación. El sistema se compone por 4 etapas que son la oxidación de la materia orgánica por medio del ozono, la electrocoagulación de la materia coloidal, la separación entre líquido y sólido y la desinfección con ozono. Este sistema resulta ser “portátil” ya que requiere un menor tamaño de empleado en sistemas de una planta de tratamiento y se probó en diferentes aguas residuales, arrojando



excelentes resultados en aguas contaminadas con hasta 15000mg/L de DBO y 10000mg/L de sólidos suspendidos. (Aravena, 2022)



Ilustración 7. Reininger y resultados en el tratamiento de aguas residuales

Fuente: Tomado de. (Aravena, 2022)

3.2.3 Almidón de Yuca (*Manihot esculenta Crantz*) como coadyuvante en el proceso de

Coagulación-floculación de aguas residuales domésticas:

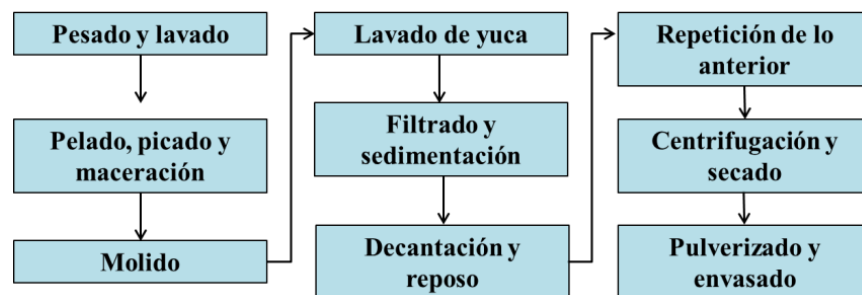


Ilustración 8. Proceso para la extracción de la muestra de almidón de yuca

Fuente: Tomado de. (Ortiz, 2018)



La imagen anterior describe el proceso a realizar para obtener la muestra a trabajar. Esta se inició con 10 kg de yuca hasta finalmente obtener un polvo que fue envasado posteriormente. En este proceso se ensayó el almidón de yuca como coadyuvante, por lo que este almidón fue mezclado con coagulantes floculantes para ser ensayado, dando como resultado una alta eficiencia en cuanto a la remoción de turbiedad y color. (Ortiz, 2018)

3.2.4 *Cactus lefaria.*

O también conocido como Cardón de Lefaria, es una especie de cactus que llega a alcanzar los 12 metros de altura. Este cactus como coadyuvante al ser mezclado con etanol y acetato de etilo ha sido de gran eficacia para el tratamiento de coagulación y floculación del agua, arrojando como resultado entre un 80% a 90% de remoción de la turbiedad. Es comúnmente usado en Venezuela y por lo general es empleado para el proceso de clarificación del agua residual. (Ortiz, 2018)

3.2.5 *Almidón de plátano.*

En estudios este ha demostrado ser un muy buen floculante pero que tiene como contra su lenta sedimentación en cuanto a la clarificación y cuya mayor eficiencia. Para llevar a cabo su extracción se debe tomar la muestra y pasar por un proceso que finaliza en su pulverización. Este puede alcanzar incluso una eficiencia del 94.6% de eficiencia al usar 150mg/L de coagulante y 40 rpm (en la prueba de jarras). (Tovar, 2020)

3.2.6 Almidón de papa.

Este coagulante se realiza a partir de residuos de la papa, se aplicaron a diferentes muestras de agua turbia dando como resultado una alta efectividad en cuanto a la eliminación de la turbidez del agua, obteniendo remociones con un porcentaje mayor al 97% antes de la filtración y posterior a esta se obtuvieron porcentajes superior al 99%. La mayor remoción se dio con una dosis óptima de 50 mg/L. (Carrasquero, 2017)

3.2.7 Huesos bovinos.

Este se fabrica a partir de los huesos de bovinos, extrayendo su médula y siguiendo el procedimiento mostrado en la imagen a continuación.

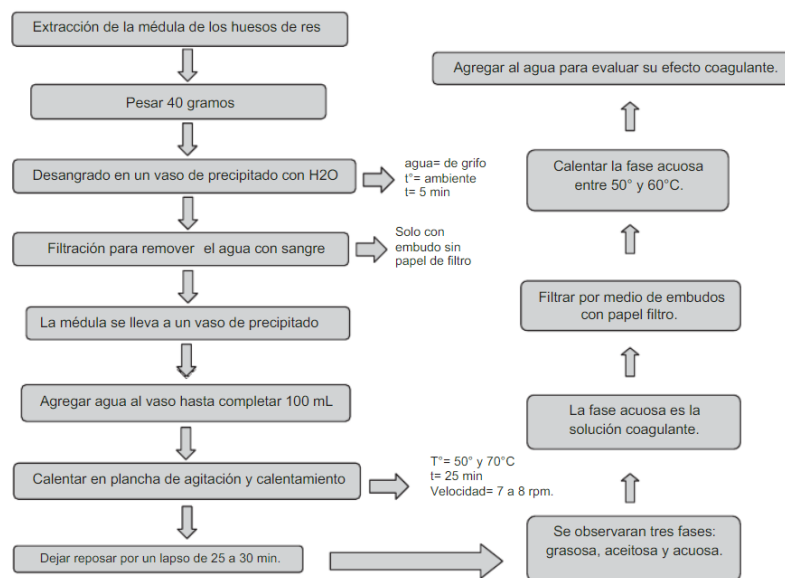


Ilustración 9. Proceso para la extracción de muestra de hueso bovino

Fuente: Tomado de. (Briceño, 2014)

El uso de estos huesos bovinos ha tenido grandes resultados ya que muestran una eficiencia en cuanto a remoción que está entre el 71% a 81% con una dosis óptima de 22 mg/L a 38mg/L (Ortiz, 2018)

4. Propuesta de una PTAR implementando tratamientos Bio-físico-químicos

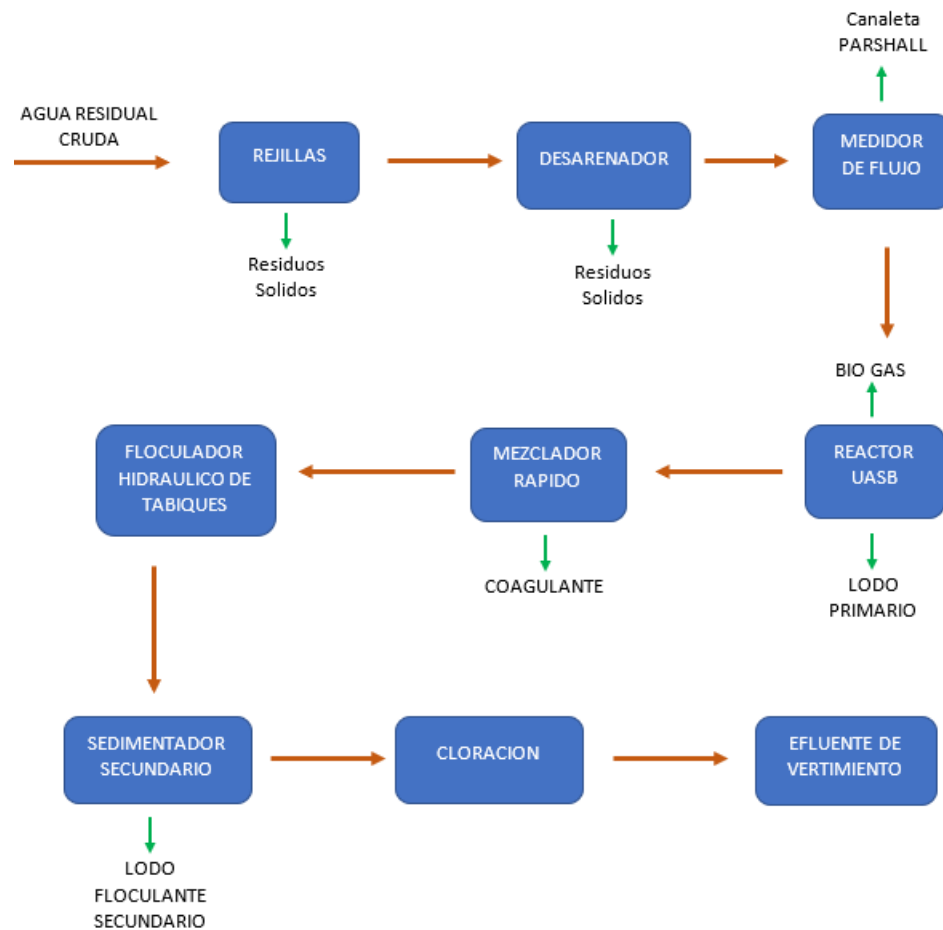


Ilustración 10. Diagrama de flujo de proceso de Tratamiento de Agua Residual

Fuente: Propia



Inicialmente se realiza la captación del agua que se va a tratar (aguas crudas), esta agua está llena de contaminantes por lo cual debe pasar por varios procesos que se clasificarán a continuación según su etapa.

4.1 Etapa 1: Pretratamiento:

Paso 1. Rejillas.

Como primera instancia en este tratamiento, el agua residual pasará a través de las rejillas, que realizarán una primera remoción de partículas de gran tamaño suspendidas en el agua o flotantes. Hay que recordar que el agua captada es agua residual por lo tanto puede contener basura, ramas, textiles, entre otros, que pueden afectar el funcionamiento o dañar los equipos ubicados aguas abajo.

Paso 2. Desarenado.

Este proceso, tal como lo indica su nombre, se encarga de la remoción de arenas que pueda contener el agua. Durante este proceso también pueden eliminarse todas aquellas partículas que pasaron las rejillas pero que al ser más densas que el agua, quedarán alojadas en el fondo, permitiendo así el paso de agua clarificada que queda en la superficie.

Paso 3. Canaleta Parshall.

En este paso se aprovechará la canaleta Parshall para hacer la medición del flujo o del caudal.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia



4.2 Etapa 2: Tratamientos primarios.

Paso 4. Reactor UASB.

Aquí el agua entra por la parte inferior del reactor, el cual es de flujo ascendente, por lo que el agua se dirigirá hacia la superficie, pasando por un manto de lodo que se encargará de filtrar el agua conforme lo atraviese. En este manto se agrupan microorganismos que forman biogránulos. Este procedimiento genera biogás y lodos, estos últimos irán a un tratamiento primario.

4.3 Etapa 3. Tratamientos secundarios

Paso 5. Mezclador rápido.

En este mezclador se añade el coagulante de Almidón de papa, con una dosis óptima de 50 mg/L (Según el ensayo de jarras), el cual permitirá neutralizar la carga de las partículas, evitando que se repelan entre sí.

Paso 6. Floculador hidráulico.

Posterior al mezclador rápido se da paso al floculador, en este se aplica una agitación al agua a diferentes velocidades (que van decreciendo) para que las partículas choquen entre sí y se creen flóculos de mayor tamaño.

Paso 7. Sedimentador secundario.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia



Al igual que el sedimentador primario, en este los flóculos se van al fondo del sedimentador generando un lodo floculante secundario.

4.4 Etapa 4. Tratamiento complementario

Paso 8. Desinfección con cloro.

Finalmente, en este último paso se utiliza la cloración que elimina todos los patógenos que no pudieron ser eliminados en etapas previas y concluye su disposición en el efluente de vertimiento.



5. CONCLUSIONES

Según la investigación llevada a cabo, existen diferentes tratamientos tanto físicos como químicos que están revolucionando el tratamiento de las aguas residuales, siendo estos de suma importancia ya que el deterioro del medio ambiente es un problema que nos afecta a todos y es por esto que se debe crear conciencia de su cuidado. El agua es un recurso escaso y limitado y además es vital para los seres vivos y es por esto que no debe “gastarse” deliberadamente y tirarla generando más contaminación. Aquí radica la importancia de su tratamiento.

Es evidente que las investigaciones van avanzando con el fin de que todos los tratamientos o procesos que se hagan sean lo menos nocivos para el medio ambiente. Si bien el uso de químicos ha dado excelentes resultados, estos resultan generando un impacto ambiental negativo, por lo que las investigaciones han llevado un enfoque hacia el uso de tratamientos orgánicos y naturales, los cuales han entregado muy buenos y en algunos casos excelentes resultados en cuando a la clarificación del agua, mostrando niveles de eficiencia incluso del más del 99%.

Los tratamientos físicos, por otra parte, han ido revolucionando mediante el uso de nuevas tecnologías (como la implementación de la robótica). Aquí se está buscando cambiar procesos mecánicos ya empleados, por tecnologías modernas e innovadoras que además de disminuir costos y mejorar procesos, reducen los tamaños de algunas partes del tratamiento, lo cual resulta ser más beneficioso.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



La generación de aguas residuales es inevitable ya que la mayoría de actividades que lleva a cabo el ser humano producen aguas de este tipo. El hecho de asearse, lavar e ir al baño son actividades que generan aguas residuales, es decir que aplican contaminantes al agua. Sumado a esto las grandes industrias que emplean grandes cantidades de agua y posterior a ello entregan esas mismas cantidades con contaminantes. La generación de aguas residuales es un problema que no se puede erradicar, pero sí se puede disminuir su impacto mediante el tratamiento previo a su disposición final.

El tratamiento de aguas residuales no va enfocado a la potabilización de estas (es decir, la finalidad aquí no es tomar aguas residuales y entregarlas para consumo), pero sí se busca, de ser posible, reutilizar esta misma agua en actividades que no involucren su consumo. Esto traería grandes beneficios ya que al tratar el agua esta no irá a contaminar cuerpos hídricos, y si se busca reutilizarla, generaría incluso un menor impacto.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Tratamiento de agua*. (n.d.). Acciona.com. Recuperado el 03 de diciembre de 2022 de https://www.accionacom.es/tratamiento-de-agua/?_adin=02021864894
2. Hazen and Sawyer (2011). Cribado y Estudios Hidráulicos de la Cámara de Llegada. *Autoridad Ambiental con Alternativas de desarrollo CAR*. Recuperado de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5aeb722d53187.pdf>
3. <https://es.slideshare.net/yueyamamototashitaakira/tratamiento-de-agua-cribado>
4. Aquae (27 de septiembre de 2020) Descubre la fuerza centrífuga y cómo funciona. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/la-fuerza-centrifuga/>
5. *Guía de Operaciones, Procesos e Instalaciones Industriales*. (s/f). Ujaen.es. Recuperado el 3 de diciembre de 2022, de <http://www4.ujaen.es/~ecastro/proyecto/operaciones/movimiento/centrifugacion.html>
6. Teamb. (11 de septiembre de 2019). La industria pesquera y el tratamiento de aguas. *Alternativa aplicada ambiental*. Recuperado de <https://teamb.com.mx/la-industria-pesquera-y-el-tratamiento-de-aguas/>.
7. Centrífugas para el sector de las aguas residuales. (16 de marzo de 2018). *Flottweg*. Recuperado de <https://www.flottweg.com/es/aplicaciones/aguas-residuales-urbanas/>



8. *Aireación*. (s/f). Gov.co. Proceso de aireación. *Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P*
Recuperado el 3 de diciembre de 2022, de
<http://www.aguasdebarrancabermeja.gov.co/index.php/nuestro-proceso/aireacion>.
9. Teamb. (25 de marzo de 2022). ¿Cómo es el proceso de aireación de aguas residuales?
Recuperado de <https://teamb.com.mx/como-es-el-proceso-de-aireacion-de-aguas-residuales/>
10. Aireación de aguas residuales: ¿por qué es tan importante? (2022, junio 27). *BossTech*.
Recuperado de <https://bosstech.pe/aireacion-aguas-residuales-importancia/>
11. Aireadores y su uso en el tratamiento de aguas residuales. (2020, enero 23). *BossTech*.
Recuperado de <https://bosstech.pe/tipos-aireadores-aguas-residuales/>
12. *Aireación de aguas residuales & Aireación de superficies*. (2017, agosto 11). DAS
Environmental Experts GmbH. Recuperado de <https://www.das-ee.com/es/tratamiento-de-efluentes/optimizacion-de-plantas/aireacion/>
13. *Plantas de Tratamiento de aguas Residuales Domesticas y Comerciales - Syner Tech SAS*. (16 de noviembre de 2022). Recuperado de <https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/decantadores-de-aguas-residuales>.
14. 1., P. (s/f). *Decantación industrial*. (09 de mayo de 2019). Tiendainvia.com. Recuperado de <https://www.tiendainvia.com/es/depositos-para-decantacion-de-aceite/2612-decantacion-industrial.html>
15. (S/f). (11 de enero de 2018). Gob.mx. Recuperado de
<http://www.cespm.gob.mx/pdf/pot3.pdf>





16. *¿Desarenador en Tratamiento de Aguas? ¿Qué es y Como Funciona?* (4 de febrero de 2021). Métodos de Separación de Mezclas. Recuperado de <https://metodosdeseparaciondemezclas.com/desarenador-en-tratamiento-de-aguas-residuales/#Que-es-un-Desarenador-y-Cual-es-su-funcion>
17. *Desarenador*. (26 de mayo de 2019). Hidrometalica.com. Recuperado de <https://www.hidrometalica.com/desarenador/>
18. *Guía de Operaciones, Procesos e Instalaciones Industriales*. (21 de diciembre de 2012). Ujaen.es. Recuperado el 4 de diciembre de 2022, de <http://www4.ujaen.es/~ecastro/proyecto/operaciones/movimiento/sedimentacion.html>.
19. PUREWATER, (25 de febrero de 2021). PUREWATER. Recuperado de <https://purewater.com.co/microfiltracion-ultrafiltracion>
20. Zarza, F., (23 de septiembre de 2020). iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-ultrafiltracion>
21. ALCORA, (23 de diciembre de 2021). ALCORA. Recuperado de <https://alcora.es/blog/diferencia-entre-desinfeccion-y-esterilizacion>
22. TROJANUV, (10 de diciembre de 2012). TROJANUV. Recuperado de <https://www.trojanuv.com/es/aplicaciones/aguasresiduales/>
23. PUREWATER, (26 de noviembre de 2020). PUREWATER. Recuperado de <https://purewater.com.co/sistemas-de-desinfeccion-de-agua-mediante-luz-ultra-violeta>





24. Condorchem envitech, (08 de abril de 2013). Condorchem envitech. Recuperado de <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>
25. Posada, L. y Mosquera, S., (2007). BIODEGRADACION DE LA MATERIA ORGANICA PRESENTE EN LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA EMPRESA DE PINTURA. (Tesis de grado). Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/362/LuisaFernanda_PosadaUribe_2007.pdf
26. Torres, C. y Villanueva, S., (2014). El filtro de arena lento: Manuel para el Armado, Instalación y Monitoreo. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
27. Synertech, (22 de abril de 2021). SYNERTECH. Recuperado de <https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/oxidacion-quimica-y-avanzada-para-aguas-residuales-industriales>
28. iagua, (02 de agosto de 2018). Iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/sabias-que-solo-0025-agua-tierra-es-potable-infografia-fundacion-aquae>
29. ACNUR Comité Español, (03 de octubre 2018). ACNUR. Recuperado de https://eacnur.org/blog/tratamiento-de-agua-importancia-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
30. https://www.accionaria.com/es/tratamiento-de-agua/?_adin=02021864894
31. Carrión, M.,(02 de enero de 2020). El Ágora diario del agua. Recuperado de <https://www.elagoradiario.com/open-data/infografias/como-funciona-una-potabilizadora/>





32. Fibras y Normas de Colombia S.A.S, (14 de febrero 2018). Blog Fibras y Normas de Colombia S.A.S. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/potabilizacion-definicion-etapas-del-proceso-e-importancia/>
33. OSE, (23 de julio de 2018). OSE. Recuperado de <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>
34. Romero, M., (2016). TRATAMIENTOS UTILIADOS EN POTABILIZACION DE AGUA. Universidad Rafael Landívar. Volumen (8).
35. LMI, (17 de noviembre de 2022). LMI. Recuperado de <https://www.lmipumps.com/es-co/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment>
36. Romero, J., (2002). PURIFICACION DEL AGUA. Colombia: Editorial Nomos S.A.
37. Arboleda, J., (2000). TEORIA DE LA PURIFICACION DEL AGUA. Colombia: Editorial Nomos S.A.
38. del Barrio, M., (2015). CLORACION FRENTE A OZONIZACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTBLE. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AMBOS PROCESOS. (Tesis de grado). Recuperado de [https://eprints.ucm.es/id/eprint/48546/1/MARIA%20DEL%20BARRIO%20VERGARA%20\(1\).pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/48546/1/MARIA%20DEL%20BARRIO%20VERGARA%20(1).pdf)
39. Ramírez, F., (2005). Tratamiento de Desinfección del Agua Potable. Recuperado de <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf>





40. Moreira, A., (2016). Consideraciones actuales sobre ablandamiento de agua. Revista Científica Dominio de las Ciencias, volumen (2), pp. 334-345
41. Silva, S., Martínez, E. y Álvarez, A., (2002). Tecnología alternativa compatible con el ambiente para el tratamiento de aguas de enfriamiento: ionización de plata y cobre. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, volumen (18), pp. 117-130
42. Pani, A., Spuhler, D., (2018), sswm. Recuperado de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/cloraci%C3%B3n-centralizada>
43. Amaya, W., Cañón, O. y Aviles, O., (2004). CONTROL DE pH PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, volumen (14), pp. 86-95.
44. Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. Módulo Arquitectura CUC, Vol.17 N°1, pp. 29-48.
45. Plásticos B&R. (24 de febrero de 2022). Plásticos B&R Ingeniería y Diseño. Recuperado de <https://www.plasticosbyr.com.co/Tamices-para-aguas-residuales>
46. Aguamarket, (2021). Aguamarket. Recuperado de <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=1144>
47. Sulzer, (24 de septiembre de 2020). Sulzer. Recuperado de <https://www.sulzer.com/es-es/spain/shared/products/channel-monster-open-channel-grinders>





48. Fibras y Normas de Colombia S.A.S, (04 de abril de 2020). Blog Fibras y Normas de Colombia S.A.S. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/tanque-de-igualacion-o-igualamiento>
49. IQR, (28 de junio de 2020). IQR INGENIERIA QUIMICA. Recuperado de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/06/que-es-un-tanque-de-igualacion.html>
50. Aeration Industries International, (24 de noviembre de 2020). Aeration Industries International. Recuperado de <https://www.aireo2.com/es/aplicaciones/homogenizacion-ecualizadores/>
51. Universidad Europea, (9 de diciembre de 2020). Universidad Europea. Recuperado de <https://sierterm.es/content/aguas-lenticas/>
52. Zarza, F., (15 de diciembre de 2021). iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-superficiales>
53. Zarza, F., (17 de diciembre de 2021). iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-salinas>
54. Zarza, F., (12 de diciembre de 2021). iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-continentales>
55. Zarza, F., (15 de diciembre de 2021). iagua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-costeras>
56. Cajal, A., (21 de agosto de 2017). ¿Qué son las aguas lólicas? Lifeder. Recuperado de <https://www.lifeder.com/aguas-loticas/>



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia



57. Infojardin, (28 de septiembre de 2021). Infojardin. Recuperado de <https://www.infojardin.com/glosario/agua-freatica/aguas-naturales.htm>
58. AQUAE, (16 de junio del 2021). AQAE FUNDACION. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/como-se-forma-agua-subterranea/>
59. Naqua, (28 de septiembre de 2020). ATMOSPHERIC SUPPLY NAQUA. Recuperado de <https://www.naquahs.com/sistemas-hydra/agua-atmosf%C3%A9rica/>
60. Márquez, A., (2020). Ecología verde. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-subterraneas-3159.html>
61. American Chemical Society. (09 de diciembre de 2020). “Sparkling” clean water from nanodiamond-embedded membrane filters. *Phys.org*. Recuperado de <https://phys.org/news/2020-12-nanodiamond-embedded-membrane-filters.html>
62. Tejada Tovar, C. N., Villabona Ortiz, A., Ortega Toro, R., Marta, M. A., & Licona Dager, N. (2020). Evaluación del uso de almidón de plátano como coagulante natural para la remoción de color y turbidez en agua para consumo humano. *Revista EIA*, 17(33), 33013 pp. 1–8. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1359>
63. Aravena,P., (2022) [Reiniger-Recuperación de aguas residuales]. Recuperado de <https://comunidad.socialab.com/challenges/A100/idea/150429>
64. Chen Ly. (1 de marzo de 2022). Nanorobots clean up contaminated water by grabbing hold of pollutants. *New Scientist*. Recuperado de <https://www.newscientist.com/article/2310105-nanorobots-clean-up-contaminated-water-by-grabbing-hold-of-pollutants/>





65. Willis C., (29 de junio de 2020). Con el apoyo del OIEA, china inaugura la mayor instalación del mundo para tratamiento de aguas residuales mediante haces de electrones. *Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA)*. Recuperado de <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/con-el-apoyo-del-oiea-china-inaugura-la-mayor-instalacion-del-mundo-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-haces-de-electrones#:~:text=P%C3%BAblico%20y%20Comunicaci%C3%B3n-,La%20mayor%20instalaci%C3%B3n%20del%20mundo%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas,China%20en%20junio%20de%202020>
66. Boletín del OIEA. (marzo de 2017). China inaugura la primera planta de aguas residuales que emplea radiación. *Ciencia y tecnología de la radiación*. Recuperado de <https://www.iaea.org/sites/default/files/5810809es.pdf>
67. Ortiz, V., (junio de 2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. Recuperado de <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/73/341>
68. Carrasquero, S., (09 de febrero de 2017). EFECTIVIDAD DE COAGULANTES OBTENIDOS DE RESIDUOS DE PAPA (*Sonalum tuberosum*) Y PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS. *Revista Facultad de Ciencias Básicas, Unimilitar*. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/1941/2454/>





69. Canales, R., (19 de enero de 2016). Composición química y tipos de aguas naturales.

Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Recuperado de

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa2/n3/e2.html>.

70. Briceño, R., (diciembre de 2014). Efectividad de una suspensión gelatinosa de huesos

bovinos en la clarificación de aguas con alta turbidez. Universidad del Zulia. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/341056960_EFECTIVIDAD_DE_UNA_SUSPENSION_GELATINOSA_DE_HUESOS_BOVINOS_EN_LA_CLARIFICACION_DE_AGUAS_CON_ALTA_TURBIDEZ



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia