Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras distribuir, combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial y, a pesar que son nuevas obras deben siempre rendir crédito y ser no comerciales, no están obligadas a licenciar sus obras derivadas bajo los mismos términos.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS A REDUCIR DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Presentado por:

ASTRID MELANY SIGUAS CARMELINO

Autor del Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 11% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 01 de setiembre del 2021

SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

TESIS:

"CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS A REDUCIR DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE"

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach. ALVITES YAÑEZ, YULIANA CARLA
Bach. SIGUAS CARMELINO, ASTRID MELANY

ASESOR:

Ing. TOLEDO HUAMAN, JUAN ALFREDO

ICA - PERÚ
2019

DEDICATORIA

Carla Alvites

A mis padres, porque todo lo que soy se lo debo a ellos, por el estímulo y el apoyo incondicional en todo momento, y por ser ellos la inspiración para finalizar este proyecto.

Astrid Siguas

Este trabajo va dedicado a mi familia, a mis padres por haberme forjado en la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ellos, gracias por su amor, apoyo y comprensión. Gracias, mamá y papá.

RESUMEN

En el Perú de hoy en día se observa una falencia en lo concerniente a normas propias que reglamenten el uso de las aguas de residuo que tienen como origen las plantas de tratamiento de agua potable en diversos lugares del país, lo que origina una serie de prácticas dudosas tales como descargar en cauces naturales. Estas descargas no están contempladas en el reglamento de descargas de líquidos y efluentes en cuerpos de aguas de superficies.

Esta situación de vertimientos ha ocasionado y sigue ocasionando problemas de contaminación ambiental, además de atoros y cortes en los cauces. La falta de monitoreos y de control de cómo pueden verterse, qué contenidos debieran reducirse es una consecuencia lógica de la ausencia de disposiciones que reglamenten su adecuada manipulación, ya que lo más importante es que es un riesgo para la salud de las poblaciones, personas y animales de crianza.

Se tiene como meta principal especificar los procesos, así como los equipos que deben utilizarse en el tratamiento de las aguas residuales. Este trabajo de tesis se ha centrado en primer lugar en la caracterización de las aguas residuales y a partir de ello fijar los valores de los parámetros más importantes que deben reducirse.

Para lograr estos objetivos se llevó a cabo una búsqueda en la bibliografía, así como el registro de los respectivos antecedentes enfocándose en los objetivos enunciados. Por último, se establece un procedimiento o procesos para llevar a cabo el tratamiento adecuado a los límites admisibles en la normatividad vigente en los respectivos sectores.

INDICE

RESUMEN **02**

INDICE **03**

INTRODUCCIÓN **05**

CAPÍTULO I FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN **06**

1.1. Situación problemática 06

1.2. El problema de investigación 07

1.3. Hipótesis de la investigación 07

1.4. Objetivos de la investigación 08

1.4.1. Objetivo general 08

1.4.2. Objetivos específicos 08

1.5. Justificación e importancia de la investigación 08

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO **11**

2.1. Antecedentes 11

2.2. Bases teóricas 14

2.2.1. Aguas residuales 14

2.2.2. Tratamiento de agua potable 16

2.2.3. Esquema de una E.T.A.P. 18

2.3. Marco conceptual 24

2.3.1. Tratamiento de aguas 24

2.3.1. Desinfección del agua 26

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN **29**

3.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación 29

3.1.1. Tipo de investigación 29

3.1.2. Nivel de investigación 29

3.1.3. Diseño 29

3.2. Población y muestra de investigación 29

3.2.1 Población 29

3.2.2 Muestra 29

3.3. Variables e indicadores 30

3.3.1. Variable independiente 30

3.3.2. Variable dependiente 30

3.4 Técnicas de recolección de información 30

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de resultados 30

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31

4.1. Resultados, análisis y discusión 31

4.1.1. La empresa 31

4.1.1.1. Descripción del proceso 33

4.1.1.2. Etapas del proceso 33

4.1.2. Etapa de filtrado 37

4.1.3. Filtro 37

4.1.4. Retrolavado 41

4.1.5. Características del agua residual 44

CONCLUSIONES 62

RECOMENDACIONES 63

BIBLIOGRAFÍA 64

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son las aguas que ya se han utilizado. En él se suspenden algunas sustancias elaboradas con agua limpia. El tratamiento de las aguas residuales es una forma muy importante de proteger el medio ambiente.

Existen muchas razones por las que ello es una prioridad importante:

1. Cuidar el hábitat de las especies.

2. Calidad de vida y actividades recreativas.

3. La salud.

En el ciclo del agua de hogares y fábricas, el control de la calidad del agua obliga a las comunidades organizadas a buscar agua natural de calidad adecuada. Durante el ciclo de evacuación, obliga a las ciudades, los pueblos y la industria a regresar a una fuente común de suministro, a saber, agua usada y efluentes de aguas residuales de calidad aceptable. Como parte de la gestión de los recursos hídricos, el control de la calidad del agua requiere apoyo público y técnico, que generalmente solo está disponible en una sociedad bien disciplinada e industrialmente madura. En coordinación con el control de calidad, también debe haber suficiente información sobre la naturaleza y la capacidad de las fuentes de agua naturales: su hidrología y geología y, lo que es más importante, sus cualidades físicas, químicas y biológicas.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

El problema de la gestión inadecuada de las aguas residuales no solo afecta a la salud humana, sino que también está relacionado con la contaminación del aire, el suelo, las aguas superficiales y subterráneas, que suele ser la fuente de suministro de agua potable. Estos recursos hídricos están contaminados por la entrada de lixiviados sin tratar (agua cruda). Uno de los mayores problemas es el tratamiento de las aguas residuales; el tratamiento primario es un proceso que se utiliza para eliminar los sólidos del agua contaminada. También en el tratamiento siguiente o secundario, se reduce el volumen de materia orgánica por parte de las bacterias, es decir, se reduce la DBO, y finalmente el tratamiento terciario, en el que todas las trazas no solo son materia orgánica persistente, sino también elementos químicos, como la sal, pesticidas, nitratos y fosfatos.

1.2. El problema de investigación

En general, la gestión real de las aguas residuales producidas por las plantas de tratamiento de agua potable no pretende mejorar las características de estos residuos para su reprocesamiento; es una práctica común en países donde estos residuos líquidos se depositan en vías fluviales, lo que puede activar carreteras en embancamientos y obstáculos; algunos parámetros pueden tener efectos ambientales adversos porque los organismos acuáticos tienen un efecto disuasorio (Metcalf & Eddy, Inc, 1995).

La reducción de variables y parámetros críticos dará como resultado la producción de residuos sólidos y efluentes que tienen una composición adecuada a las partículas y elementos extraídos del agua tratada y por supuesto con la adición de reactivos químicos, como coagulantes, polielectrolitos. etc. se agregan durante el proceso.

El problema se plantea en base a la pregunta: **¿Es posible caracterizar los parámetros a reducir de las aguas residuales de los procesos de tratamiento de agua potable?**

1.3. Hipótesis de la investigación

Es posible la caracterización de los parámetros a reducir de las aguas residuales del proceso de tratamiento de agua potable.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar los parámetros a reducir de las aguas residuales del proceso de tratamiento de agua potable.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar las opciones para la disposición y tratamiento de residuales, tanto sólidos como líquidos.
- Especificar las ventajas del procesamiento, recuperación y reuso de los residuos en el proceso como fuera del proceso.
- Explicar los problemas ambientales y sanitarios que sufre el receptor de residuales líquidos que no cumplen con los parámetros establecidos para el tratamiento de agua potable.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

Una de las limitaciones del uso agrícola de los lodos y biosólidos producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales es sus propiedades microbianas y parasitarias. El tratamiento de aguas residuales produce biosólidos y lodos, según el grado de tratamiento. El primero es parte del descriptor de proceso y el término se ha utilizado hasta que cumple los criterios de uso útil. Los biosólidos son lodos que pueden utilizarse eficazmente después de la estabilización (Metcalf y Eddy, 2003 El tipo de tratamiento aplicado depende de los ingredientes y su disponibilidad, o de la forma final de tratamiento. Los biosólidos y los lodos se pueden utilizar en la agricultura porque pueden aumentar el contenido de materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes (Andreoli et al., 2001).

Sin embargo, los desechos pueden contener sustancias tóxicas como metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, selenio, zinc) (Ramírezetal., 2007) y microorganismos patógenos. (Guzman y Campos, 200). Además, su aplicación inadecuada puede afectar negativamente el crecimiento y producción de determinadas especies vegetales (Ramírez y Pérez, 2006). La información confiable obtenida muestra que el calamar no tiene un tipo de manejo de aguas residuales, por lo que este estudio debe realizarse sobre el tratamiento adecuado de las aguas residuales de calamar.

Las aguas residuales contienen muchos compuestos orgánicos biodegradables (60% a 88%) y plásticos biodegradables, que se componen principalmente de poblaciones microbianas inestables, que pueden dañar el medio ambiente si no se manejan adecuadamente. La cantidad de lodos producidos por el sistema de tratamiento. Varía según distintos parámetros, como los sistemas de tratamiento biológico que incluyen procesos aeróbicos o anaeróbicos. El sólido final formado en el proceso aeróbico puede ser el doble que el sólido en el proceso anaeróbico.

La viabilidad económica es posible si el proyecto trata el tratamiento y el uso como parte integral, y considera los costos de la tierra, el transporte de agua tratada o reutilizada, el procesamiento y el rendimiento de los cultivos cuenta. Sin tierra, muchos proyectos pueden no ser factibles y aumentará el costo de transporte de agua a áreas remotas.

La responsabilidad del tratamiento y uso adecuado de las aguas residuales de una forma u otra solo puede ser asumida por una "unidad de producción" a escala comercial porque debe evaluarse su viabilidad económica y técnica. Económica y financieramente, esto es difícil de lograr. Los proyectos de tratamiento y utilización de aguas residuales agrícolas a pequeña escala a menudo causan conflictos entre los residentes. La mayoría de las personas apoyan la necesidad de tratamiento de aguas residuales, pero no quieren que este proceso ocurra en áreas cercanas a la comunidad. Esta situación provocó retrasos y paralización del proyecto. La oposición vecinal ejerció presión política sobre las autoridades y las autoridades decidieron adoptar puntos de vista populistas y eventualmente revocaron sus permisos para realizar trabajos u operar fábricas. La negativa de los ciudadanos a utilizar aguas residuales se basa a menudo en la idea de la negativa a excretar heces y el miedo a las enfermedades infecciosas.

En otros casos, la eliminación se debe a los olores y la reproducción de mosquitos causados por algunas fallas en la planta de procesamiento. Esta es otra razón para enfatizar la necesidad de personal calificado para asegurar la eficiencia del proceso.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Como antecedentes tenemos diferentes trabajos realizados por diversos autores respecto al tratamiento y uso de las aguas residuales domésticas.

Antecedentes Internacionales

El trabajo de Mahamud M. Gutiérrez A. y Sastre H. sobre *La depuración de aguas: métodos de tratamiento* lleva a cabo una revisión de los diferentes métodos de tratamiento de los biosólidos obtenidos en las estaciones depuradoras de aguas residuales.

Primero, explicaremos los procesos de descomposición, pasteurización, secado y compostaje. Su objetivo principal es estabilizar los lodos para su posterior uso. En segundo lugar, se proponen métodos para eliminar la mayor cantidad de materia orgánica posible, como la oxidación y la combustión en la fase acuosa (Mahamud, Gutiérrez, & Sastre, 1996).

Producido en una planta de tratamiento de aguas residuales e incorporado a los ensayos realizados en el estudio de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas específicas de los biosólidos en los estudios Adriana María Quinchía y Dora María Carmona, de manera que se puedan determinar propiedades inocuas. Biosólidos compuestos de materiales que cumplen con los estándares de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad.

Los biosólidos de suelos degradados se utilizan para determinar el aporte del material al medio ambiente y determinar la proporción que es más directamente aplicable a la restauración de áreas tropicales degradadas sin actividades agrícolas o ganaderas (Quinchía & Carmona, 2004).

Gian Paolo Dáguer G. en su estudio Gestión de biosólidos en Colombia (Dáguer, 2003) dice, el tratamiento de aguas residuales produce subproductos, como lodos, que deben ser tratados para convertirse en biosólidos. Estos materiales deben caracterizarse de acuerdo a su uso en actividades agrícolas y no agrícolas, tales como rellenos sanitarios, actividades forestales y revestimientos de rellenos sanitarios (Dáguer, 2003).

Artículos de Manuel Mahamud López, Antonio Gutiérrez Lavín, Herminio Sastre Andrés Agua purificada de biosólidos: una aproximación al problema. Tratamiento: La introducción al tratamiento de aguas residuales sigue a la presentación de varias razones que demuestran la importancia de un adecuado tratamiento y manejo de sólidos biológicos. Los problemas regulatorios relacionados con el uso y el destino de los biosólidos en Europa y Estados Unidos se han resuelto y algunas condiciones futuras pueden afectar el uso y el destino de los biosólidos. (Mahamud, Gutiérrez, & Sastre, 1996).

Desde 1977, el Centro de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales de los Estados Unidos (CEPIS), con sede en Perú, ha estado estudiando sistemas de lagunas estables para la reutilización del agua en una variedad de actividades agrícolas. El Servicio de Agua Potable Sanitaria de Lima (SEDAPAL) realizó un estudio sobre la reutilización de aguas residuales de riego en zonas áridas del sur de Lima. Este proyecto fue desarrollado originalmente en 1985 por la empresa israelí Tahar.

Antecedentes Nacionales

A nivel Nacional: Espinoza (2010), “Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores” Tesis para optar el Grado de Máster en gestión ambiental, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura. El cual tiene como objetivo de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, que reemplace a las lagunas de estabilización existentes, utilizando el área disponible actual, para su posterior rehusó en el distrito de Villa El Salvador, permitiendo así reducir la contaminación por desagües del océano Pacífico en la bahía de Miraflores y mejorar la salud de la población. Diagnóstico y evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento actual, por lagunas de estabilización. Selección de la alternativa adecuada desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Explicando el dimensionamiento de las instalaciones propuestas y la calidad del efluente a lograr según normas locales.

La Universidad Nacional de Mayor de San Marcos (UNMSM), hizo un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en la ciudad Universitaria, con el propósito de tratar el agua residual y controlar la contaminación del agua, el interés de aplicar estos sistemas naturales está basado, en la conservación de los recursos asociados con la energía y la química que son opuestos a los sistemas convencionales. Obteniendo como resultado el rehusó de las aguas tratadas para el riego de áreas verdes, jardines, del estadio Universitario y para los servicios de limpieza de la ciudad Universitaria el proyecto fue ejecutado en el Año 2006.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Varios problemas ambientales relacionados con el agua se deben al deterioro de la calidad del agua debido al comportamiento humano durante el uso, la contaminación y la descarga. Las aguas residuales deben ser todo aquello que sea resultado de la actividad humana. Debido a la gran cantidad de agua y su contaminación, las autoridades exigen que esta agua sea tratada antes de ser descargada o reutilizada.

Las aguas residuales de plantas químicas, farmacéuticas y de teñido a menudo contienen cantidades significativas de compuestos orgánicos no biodegradables. La lucha contra estos contaminantes tóxicos no biodegradables requiere un pretratamiento previo a la medicación biológica, que generalmente es la solución de medicación más económica en metáfora con otros procedimientos. Las propiedades del jugo restante, como el valor del pH, la conductividad o la agudeza de los compuestos inhibidores, juegan un papel fundamental en la degradación biológica de los contaminantes. Las moléculas orgánicas colectivas son fácilmente biodegradables, aunque algunas moléculas son biorresistentes o resistentes a la biodegradación. Dependiendo del tipo y extensión de la contaminación, la descontaminación usando métodos de tratamiento convencionales puede ser difícil y económicamente costosa. En tales casos, no se recomiendan procesos biológicos únicos y requieren un tratamiento previo o posterior.

Elegir la combinación adecuada significa que se tienen en cuenta diferentes aspectos técnicos y económicos. Hasta hace unos años, la naturaleza se consideraba esencialmente la mejor instalación de procesamiento y se desconocían los resultados a mediano y largo plazo.

La tecnología de producción ha evolucionado y liberado compuestos desconocidos en las aguas residuales hace unos años, aún no se conoce del todo el tratamiento más adecuado y se están evaluando sus efectos sobre el medio ambiente natural. El tratamiento de aguas residuales se utiliza cada vez más para permitir el reciclaje de agua en el proceso de fabricación. Las aguas residuales industriales pueden contener una amplia variedad de productos químicos nocivos para el medio ambiente y se pueden dividir en dos categorías básicas: inorgánicas y orgánicas. Los compuestos inorgánicos generalmente pueden convertirse en compuestos de bajo riesgo mediante procesos redox o separarse de las aguas residuales por precipitación para producir una solución concentrada de lodos o contaminantes.

Los compuestos orgánicos a menudo se tratan biológica, químicamente o por oxidación térmica y se convierten en productos de oxidación como CO2 y H2O. Como se muestra, generalmente se clasifican como biodegradables, duraderos o ignífugos. Los distintos procesos de tratamiento de aguas residuales industriales se dividen en procesos de tratamiento primario, secundario y terciario. El manejo físico se utiliza a menudo en el tratamiento primario para eliminar sedimentos y sólidos flotantes presentes en las aguas residuales.

El tratamiento secundario utiliza procesos biológicos y químicos para eliminar ciertos compuestos orgánicos y metales del agua. Los tratamientos terciarios implican procesos más complejos para eliminar contaminantes que no pueden separarse de las aguas residuales mediante métodos de tratamiento convencionales y para filtrar aguas residuales que deben cumplir con límites de emisión muy estrictos.

2.2.2. Tratamiento de agua potable

El objetivo de ETAP es eliminar los sólidos en suspensión y las sustancias lisantes que afecten a las propiedades físicas, químicas y sensoriales, y eliminar las bacterias y otros microorganismos que pueden tener graves efectos sobre la salud. Esto se consigue mediante un proceso que finalmente nos permitirá proporcionar agua de calidad sanitaria apta para el consumo humano (Comunidad de Madrid, 2012).

El tratamiento del agua es físico-químico y biológico, es un proceso de la naturaleza que elimina los microorganismos potencialmente dañinos para el proceso de consumo. El proceso de purificación de agua requiere el uso de métodos adecuados para garantizar la calidad del agua cruda tratada (dependiendo de la naturaleza del agua disponible; diferentes composiciones requieren un tipo de tratamiento para ser realizado. Sí, u otro).

Estos diferentes procesos y métodos de tratamiento se llevan a cabo en las denominadas plantas de tratamiento de agua potable. Como se mencionó al principio, además de que no existe un modelo de ETAP único, estos también varían mucho en función de las propiedades del agua, por lo que se puede utilizar este tratamiento (Comunidad de Madrid, 2012).

En general, la reducción de tamaño grueso, la coagulación / floculación, la decantación y la filtración son procesos habituales en la gran mayoría de ETAP, así como el tratamiento con productos químicos. (Ayuntamiento de Madrid, 2012).

No obstante, encontrarás plantas en las que se debe realizar un tratamiento con carbón activado debido a la materia orgánica, plantas en las que se utiliza gas cloro como desinfectante, plantas en las que se utiliza ozono como desinfectante final por la presencia de patógenos, determinados sistemas de ósmosis inversa, la presencia de metales en el agua, etc.

Por tanto, y para determinar el esquema que utilizaremos para desarrollar este texto, consideraremos los siguientes pasos en el proceso de depuración:

a) Captación.

b) Pretratamiento.

c) Desarenado.

d) Decantación.

e) Filtración.

f) Postratamiento/desinfección.

El ozono es otro producto peligroso que se utiliza en las fábricas modernas. Debido a la complejidad de la instalación y el mantenimiento, es costoso y arriesgado, y es complicado pero eficiente de implementar. (Comunidad de Madrid, 2012).

Figura 1. Sistema de ozonización (Comunidad de Madrid, 2012).

2.2.3. Esquema de una E.T.A.P.

Una vez hemos visto el proceso de depuración, veremos el esquema que seguiremos, que es el siguiente:

Captación

Es el inicio del proceso y consiste en recoger el agua de un embalse, presa, lago o similar y bombearla al ETAP para iniciar el proceso de limpieza.

Muchas instalaciones están ubicadas cerca de presas y embalses para minimizar el costo de instalar bombas para impulsar el agua. Esta agua recogida se bombea al ETAP a través de una red de tuberías habilitada para tal fin. En esta red encontramos depósitos, sitios de cloración, etc. lugares de los que también hablaremos. (Comunidad de Madrid, 2012).

Pretratamiento

Por pretratamiento nos referimos a las primeras fases del proceso de limpieza, que suele consistir en un molido grueso y diversos tratamientos con productos químicos para eliminar sólidos, sustancias orgánicas, microorganismos, corregir el valor de pH, etc (Comunidad de Madrid, 2012).

Figura 2. Dosificación de productos químicos sobre agua bruta (Comunidad de Madrid, 2012).

El más común es el uso de cloro, ozono o permanganato de potasio en este proceso de pretratamiento, aunque la variedad en esta primera etapa es enorme según el tipo de ETAP y el agua a tratar.

Luego de este “pretratamiento” inicial, se lleva a cabo un proceso de floculación / coagulación para remover sustancias coloidales adicionando sustancias químicas que contienen cargas eléctricas de diferente polaridad que atraen y unen estas partículas, aumentando su peso y haciéndolas más fáciles de decantar es más fácil ya que podemos ver en la imagen de abajo. (Comunidad de Madrid, 2012)

Figura 3. Materia orgánica acumulada en zona de pretratamiento (Comunidad de Madrid, 2012)

Como principales floculantes encontramos carbonato cálcico, sulfato de aluminio, polielectrolito, cloruro férrico, etc.

Desarenado

Antes de que el agua entre en la zona de sedimentación, se somete a un proceso de aireación en el que es posible sedimentar las partículas más pequeñas para poder sacarlas del agua a tratar. (Comunidad de Madrid, 2012)

Figura 4. Línea de desarenado (Comunidad de Madrid, 2012)

Este proceso se realiza soplando bombas que generan mucho aire para que el agua se remueva y luego se viertan los sólidos más pequeños.

El nivel de ruido es muy alto, con algunos modelos superando los 100 dB, por lo que hay que tener más cuidado. (Comunidad de Madrid, 2012).

Decantación

Por decantación nos referimos al proceso en el que las partículas presentes en el agua se depositan por gravedad. De esta forma se pueden separar la mayoría de los compuestos orgánicos y metálicos, así como los sólidos suspendidos en el agua misma. En las Figuras 5 y 6 se pueden ver varios ejemplos de decantadores.

Figura 5. Decantador circular. (Comunidad de Madrid, 2012)

Figura 6. Decantador rectangular. (Comunidad de Madrid, 2012)

Filtración

Fase en la que se eliminan las partículas más pequeñas que aún se encuentran en nuestra agua. Esto generalmente se hace en una serie de cámaras que contienen el material filtrante a través del cual fluye el agua. Este material se compone de arena, lecho mixto (con antracita) o carbón activado. De esta forma, las aguas turbias mejoran sus condiciones al pasar por estos materiales filtrantes. En estos filtros, se desarrollan bacterias auxiliares beneficiosas para ayudar a eliminar los parásitos patógenos que pueda tener el agua. Además del agua en la que pueden producirse pesticidas, algas, etc., también se puede realizar una filtración con carbón activado. provocando malos olores y aromas.

Figura 7. Torres de carbón activado. (Comunidad de Madrid, 2012)

Postratamiento/desinfección

En algunos sistemas, se agrega un desinfectante al agua después de la filtración, lo que asegura su calidad microbiológica y la convierte en agua potable. Para ello se pueden utilizar diferentes productos. El más común es el cloro, ya sea en comprimidos disueltos en agua (hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio) o en botellas de 100, 500 o 1000 kg en forma de cloro gaseoso. El cloro es un desinfectante bastante eficaz y económico para tratar y depurar agua, aunque su uso en forma de gas no es tan económico como lo es en comprimidos..

Figura 8. Instalación de gas cloro. (Comunidad de Madrid, 2012)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas residuales implica una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan los contaminantes de las aguas residuales utilizadas por los seres humanos. La solución más común para la gestión de la contaminación de las aguas residuales es tratar las aguas residuales en una fábrica, donde se realiza gran parte de la captura de contaminantes, dejando una parte natural en el agua receptora. Por lo tanto, el nivel de tratamiento requerido depende de la capacidad natural del receptor para limpiarse a sí mismo. Al mismo tiempo, la capacidad de autolimpieza natural depende principalmente de la capacidad del cuerpo receptor, el contenido de oxígeno y la capacidad del cuerpo para reoxigenarse. (Romero Rojas, 2010).

Por tanto, el propósito del tratamiento de aguas residuales es producir aguas residuales que se puedan reutilizar en el medio ambiente, y los residuos sólidos o lodos, también conocidos como sólidos biológicos o lodos, son aptos para su tratamiento o reutilización. Las aguas residuales se generan en instalaciones residenciales, institucionales, comerciales e industriales. Por ejemplo, se puede eliminar en un punto creado por fosas sépticas u otras plantas de tratamiento de aguas residuales, o se puede recolectar y transportar a través de una red de tuberías. Posiblemente una bomba para una planta de tratamiento de aguas residuales municipal (Romero Rojas, 2010).

Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de las emisiones regulares están sujetos a las reglas y estándares locales, estatales y federales, incluidas las reglas y regulaciones.

Algunos contaminantes industriales presentes en las aguas residuales a menudo requieren procesos de tratamiento especiales (Romero Rojas, 2010).

El tratamiento de las aguas residuales comienza con la separación física de los grandes sólidos, los llamados residuos, del flujo a través de un sistema de rejilla o tamiz, que también se puede triturar con equipos especiales. A continuación, se utiliza un descalcificador para separar los sólidos pequeños y muy densos como la arena, seguido de una sedimentación previa o un tratamiento similar para separar los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales (Romero Rojas, 2010).

La reacción de precipitación se utiliza principalmente para eliminar el metal fundido, para eliminar el plomo y el fósforo. Luego, usando bacterias apropiadas, convierta gradualmente el biomaterial soluble en biomaterial sólido. Estas bacterias se encuentran generalmente en el agua. Cuando la biomasa se separa o elimina, el proceso se conoce como precipitación secundaria y el agua tratada puede someterse a otros procesos conocidos como tratamiento terciario, como esterilización y filtración.

El sistema de drenaje final puede drenarse o devolverse a cuerpos de agua naturales como arroyos, ríos, bahías u otros entornos como suelo superficial o suelo subterráneo. Los biosólidos aislados luego se tratan y neutralizan antes de desecharse o reutilizarse adecuadamente. (Romero Rojas, 2010).

2.3.1. Desinfección del agua

La reacción de precipitación se utiliza principalmente para eliminar el metal fundido, para eliminar el plomo y el fósforo. Luego, usando bacterias apropiadas, convierta gradualmente el biomaterial soluble en biomaterial sólido. Estas bacterias se encuentran generalmente en el agua.

Cuando la biomasa se separa o elimina, el proceso se conoce como precipitación secundaria y el agua tratada puede someterse a otros procesos conocidos como tratamiento terciario, como esterilización y filtración. El sistema de drenaje final puede drenarse o devolverse a cuerpos de agua naturales como arroyos, ríos, bahías u otros entornos como suelo superficial o suelo subterráneo. Los biosólidos aislados luego se tratan y neutralizan antes de desecharse o reutilizarse adecuadamente: (Romero Rojas, 2010).

El propósito de la desinfección es garantizar la calidad microbiológica del agua y garantizar la seguridad de la salud del consumidor. Su principio de acción es eliminar los patógenos que pueden causar enfermedades, y su mecanismo de acción es la desinfección en agua. Esto se puede hacer de dos maneras: (Metcalf & Eddy, Inc, 1995).

- Eliminar microorganismos: Separe los microorganismos del agua mediante métodos físicos como coagulación, condensación, filtración.
- Inactivación de microorganismos: Los mecanismos que conducen a la inactivación de patógenos son: (Metcalf & Eddy, Inc, 1995).

a) Destruye la pared celular de los microorganismos o cambia la permeabilidad de la célula para penetrar en la pared celular.
b) La reacción de enzimas con microorganismos inhibe el proceso de metabolismo del azúcar, provocando la muerte de organismos vivos.
c) Oxidación y destrucción de materia orgánica en agua, remoción de fuentes alimenticias por microorganismos (Metcalf & Eddy, Inc, 1995).

Fases:

- Desinfección primaria: Eliminación de patógenos y materia orgánica en el agua de la planta de tratamiento.
- Desinfección secundaria: Evita que se lleve a cabo la aparición de patógenos durante la distribución del agua, desde la salida de la refinería hasta el consumidor; esto se hace asegurando la presencia de desinfectante residual después de la esterilización, desde todo el sistema de distribución hasta el grifo del consumidor. (Romero Rojas, 2010).

La desinfección no destruye todos los microorganismos existentes, por lo que no debe confundirse con la esterilización; la desinfección consiste en inactivar los microorganismos patógenos para lograr una calidad del agua apta para el consumo humano; y la esterilización consiste en destruir todos los microorganismos existentes, y se requieren dosis más altas de desinfección Agente, lo que aumenta los costos y produce subproductos no deseados y sabor desagradable (Orozco Jaramillo, 2014).

Hay que tener en cuenta que no existe desinfectante ni tecnología perfecta, lo más adecuado es elegir la tecnología disponible que mejor se adapte a las condiciones de la zona: población, recursos, restricciones, etc .; la desinfección no debe sustituir a otras medidas de mejora de la anterior. calidad del agua; para que la desinfección sea efectiva, el agua debe tener la calidad más baja y no contiene partículas coloidales que puedan causar turbidez y color, lo que puede dificultar el efecto de desinfección. (Orozco Jaramillo, 2014).

Es muy importante mezclar y dispersar completamente el desinfectante por todo el cuerpo de agua para que el tratamiento sea uniforme y no pierda su efectividad; la mayoría de los desinfectantes producen subproductos de desinfección, algunos de los cuales son cancerígenos; por lo tanto, existen riesgos potenciales asociados, Sin embargo, el riesgo es muy bajo en comparación con el peligro causado por el agua potable sin esterilizar.: (Orozco Jaramillo, 2014).

Los equipos de desinfección son diferentes a otras partes del sistema y están conectados a los operadores y usuarios mismos; los desinfectantes, especialmente el cloro, pueden producir sabores y olores desagradables para los consumidores, y provocar rechazo por parte de la comunidad, por lo que debe estar en contra de la toda la sociedad. (Orozco Jaramillo, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo de tesis, el Tipo de la investigación desarrollada es Aplicada.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de estudio es Descriptiva – Correlacional.

Descriptiva: Se caracterizan los parámetros a reducir de las aguas residuales del proceso de tratamiento de agua potable.

Correlacional: Se pretende saber cómo se relacionan estos parámetros de las aguas residuales del proceso de tratamiento de aguas potable.

3.1.3. Diseño

El diseño de la investigación es Experimental.

3.2. Población y muestra de investigación.

3.2.1 Población

La población está constituida por los procesos de tratamiento de agua potable.

3.2.2 Muestra

La muestra está conformada por las aguas residuales del tratamiento de agua potable de la empresa SEDA AYACUCHO.

3.3. Variables e indicadores

3.3.3. Variable independiente

V1 = Caracterización de los parámetros a reducir.

3.3.4. Variable dependiente

V2 = Las aguas residuales del proceso de tratamiento de agua potable.

3.4 Técnicas de recolección de información

La técnica que se utilizo fue la observación para la determinación de los parámetros a reducir en las aguas residuales del proceso de tratamiento de agua potable.

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de resultados

Principalmente las técnicas que se aplicaron fueron las heurísticas y las deductivas-inductivas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados, análisis y discusión

4.1.1. La Empresa

SEDA Ayacucho S.A., cuenta con dos plantas ubicadas en la comunidad de Quicapata del distrito del Carmen, se dedica a brindar el servicio de saneamiento de agua potable, alcantarillado y servicios de laboratorio. En la planta N° 02, se capta y se trata el agua hasta su potabilización y en la planta N° 01 se recoge el agua potable que llega de la planta N° 02 para ser clorada nuevamente, bombeada hacia 2 tanques elevados y ser distribuida a la población. Aquí también se encuentra la administración, la gerencia, el laboratorio y además se realizan los pagos de los pobladores por el servicio.

La planta tiene un caudal de diseño de 158 l/s. El agua potable, se genera mediante la captación de agua cruda superficial de 2 fuentes (Sistema ex proyecto rio Cachi y Sistema Chiara). En promedio mensual, la planta recibe 335 599 m3 de agua cruda y tiene una producción de 324 000 m3 de agua potable. Además, cuenta con 05 unidades de presedimentación, 03 unidades de floculación, 03 unidades de decantación, 07 unidades de filtración y una cisterna de 280 m3 donde se desinfecta el agua.

La tabla siguiente presentada a continuación detalla la producción de agua potable desde abril 2018 a abril 2019 de la PTAP N° 02 de SEDA Ayacucho.

Tabla N° 01. Producción de agua potable planta N° 2 desde abril 2018 – abril 2019 en m^3

Mes	**Caudal ingreso (l/s)**	**Agua cruda ingreso**	**Agua tratada**
Abril	114	287 342	276 702
Mayo	123	333 925	321 535
Junio	126	330 991	319 161
Julio	126	335 860	324 240
Agosto	135	341 975	329 655
Septiembre	158	383 262	372 762
Octubre	129	384 591	372 441
Noviembre	140	384 596	372 016
Diciembre	138	386 682	374 322
Enero	146	386 946	374 706
Febrero	137	378 112	365 602
Marzo	138	406 238	393 498
Abril	131	372 709	360 819
Total	---	**4 713 229**	**4 557 459**

Fuente: SEDA Ayacucho

En la tabla 01, se aprecia el caudal de ingreso de agua a planta, así como el agua de ingreso a planta y la producción de agua potable. Como se observa actualmente la planta produce 4 557 459 m^3 de agua destinada al consumo de los pobladores del distrito de Ayacucho.

4.1.1.1 Descripción del proceso

La producción de agua potable se genera iniciando por la captación de agua cruda y un tratamiento convencional. Finalizado el proceso, el agua potable se bombea al reservorio de 100 m^3. Mediante tuberías de 14’ y 16’ conduce el agua hacia las 2 pozas de almacenamiento de capacidades de 1 674 m^3 en planta N° 01. Posteriormente el agua es clorada y bombeada hacia los reservorios elevados de 450 m^3 y 3 000 m^3 para su distribución a la población.

4.1.1.2 Etapas del proceso

- **Captación.** Se realiza a través de una compuerta que divide a la PTAP del canal san Romualdo. Al ingreso, el agua pasa por unas rejas que separan ingreso de material sólido grande que acompaña al agua cruda. Inmediatamente después se le agrega sulfato de aluminio para la precipitación de arena disuelta en el agua.
- **Presedimentación.** En esta etapa se promueve la precipitación de partículas sólidas. El agua ingresa a través de unos orificios de 20 y 10 cm mientras que la arena al chocar con la pared de concreto de la unidad se asienta al fondo de la unidad. Luego el agua sigue su curso hasta la siguiente canaleta parshall. La siguiente etapa es coagulación.
- **Coagulación.** La dosis de sulfato de aluminio se aplica en la canaleta parshall donde se produce un mezclado homogéneo para promover la precipitación de la materia orgánica, coloides.

- **Floculación.** Esta unidad los flocs o flóculos crecen para su precipitación o caída del agua sucia y luego sean eliminadas en el siguiente proceso.
- **Decantación.** En esta unidad se depositan toda la materia en suspensión por gravedad. Para ello se reduce la velocidad del agua hasta que las partículas se precipiten y se deposite el lodo en bandejas.
- **Filtración convencional.** Se realiza a través de 7 unidades formada cada una por dos secciones, donde el agua por gravedad pasa a través de lechos formado por arena y grava. Se recolecta mediante una tubería y pasa al siguiente proceso.
- **Desinfección.** El trabajador de la planta inyecta cloro gas en la tubería en un tiempo determinado en las tuberías de recolección de agua filtrada. Aquí se eliminan los gérmenes causantes de enfermedades en la población consumista. El personal tiene un tiempo determinado para llevar a cabo este proceso.
- **Envió a PTAP N° 01.** Desinfectada el agua, es enviada hacia la planta N° 01, para luego ser distribuida.

La siguiente figura presenta el proceso de producción de agua potable de la planta SEDA Ayacucho.

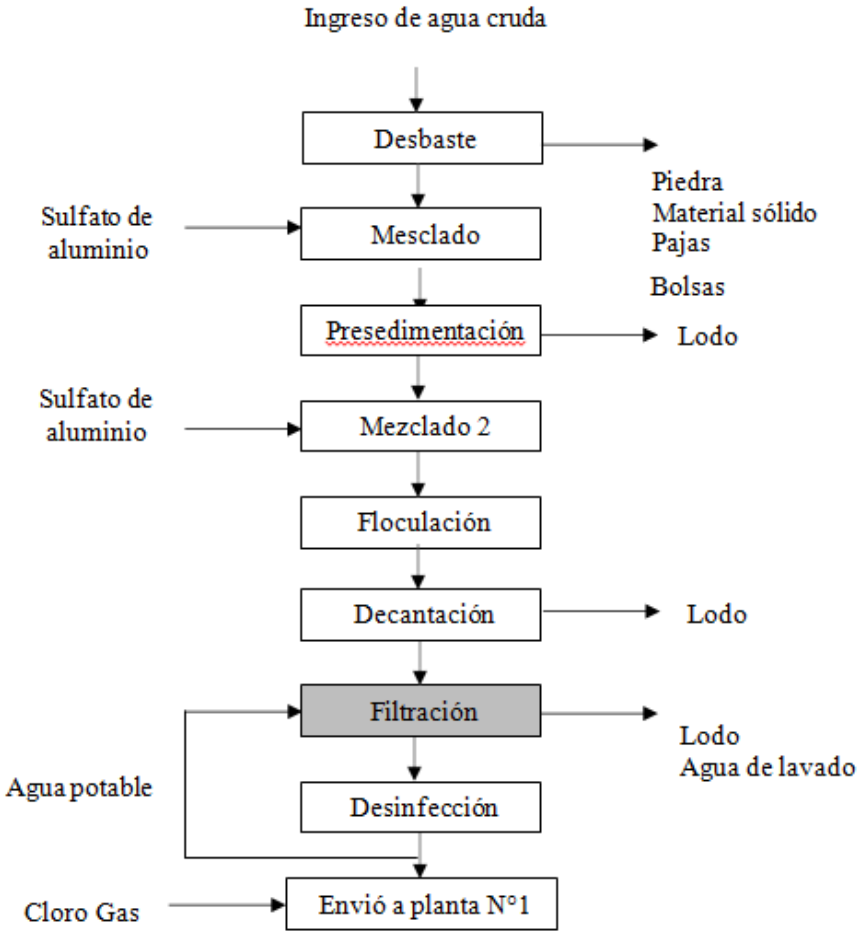

Figura N° 9. Diagrama de bloques del proceso productivo de agua potable

Fuente: SEDA Ayacucho

La figura N° 9 muestra el flujo productivo de agua potable de la empresa. A partir del proceso de Filtración se hace un control de lavado para la limpieza de los filtros que consiste en regresar agua en tratamiento para remover los lodos sedimentados en la cámara de los filtros con el fin de producir agua que cumpla ciertos parámetros para el consumo humano, también muestran los insumos y los diferentes residuos generados a lo largo del proceso el cual inicia con el ingreso de agua cruda hasta su distribución a la población.

El agua potable presenta las siguientes características que se observan en la tablaN° 06 mostrada a continuación:

Tabla N° 02. Características de ingreso y salida de agua en PTAP N° 02

Parámetro	Unidad medida	Ingreso a planta	Salida planta
Cloro libre	ppm	---	1,20
Turbidez	NTU	551	2,56
pH	---	7,9	7,48
Conductividad	µS/cm	310	
Color	UCV	7	3
SO4	Mg/l	0	0
NO3	Mg/l	0	0
Fierro	Mg/l	0	0
Magnesio	Mg/l	0	0
Cobre	Mg/l	0	0
Sodio Zinc	Mg/l	0	0
Aluminio	Mg/l	0,0076	0,036
Coliformes Totales	UFC/100ml	9,40E+0,2	0
Coliformes fecales	UFC/100ml	1,71E+0,2	0
R.H	UFC/100ml	0	3

Fuente: SEDA Ayacucho

En la tabla anterior se observa las características del agua de ingreso a planta. Se nota ausencia de nitratos y nitritos en su composición, al igual que fierro, magnesio, entre otros. En base a esta información, solo se tomó en cuenta parámetros relevantes en el análisis del **agua de lavado de filtros.** A su vez, se observa la composición del agua potable (agua de salida), características que determinan su calidad.

Como todo proceso, genera desechos, los desechos generados productos del tratamiento de agua potable son:

Material Sólido. Es el material ajeno al agua de ingreso a la planta como bolsas, pajas, piedras, ramas entre otros.

Lodos. Los lodos generados en la PTAP es el sedimento seco o pastoso en el que se concentran los sólidos sedimentados o decantados del agua en tratamiento.

Agua de lavado de filtro. El agua de lavado de filtro, tema central de esta investigación es el agua usada para lavar los filtros y remover el lodo acumulado en estas unidades. El agua de lavado de los filtros se produce justamente en la etapa de filtrado y para conocer más acerca de esta agua residual, se detalla esta etapa del proceso y en que consiste la limpieza de filtros como sigue a continuación.

4.1.2 Etapa de filtrado

Uno de los principales problemas de la planta de tratamiento de agua potable N° 02, es el volumen considerablemente alto de agua en tratamiento que utiliza en el lavado de los 7 filtros del proceso para eliminar lodos acumulados. La limpieza de las unidades se realiza cotidianamente. En un lapso de cada 3 horas se lava un filtro con el único propósito es proporcionar un tratamiento de calidad de agua que pueda cumplir con los estándares y normativas nacionales e internacionales de DIGESA (Dirección Regional de la Salud) y las OMS (Organización Mundial de la Salud).

4.1.3 Filtro

Las unidades de filtración cuentan con una batería de 7 filtros. El medio filtrante constituido por arena con diámetro efectivo de 0,50 mm y un espesor de 0,80 m, la cama de soporte es grava de tamaño de 2” y de espesor 0,30 m. El agua filtrada de cada unidad se recolecta en un canal común. El sistema de lavado de cada uno de los filtros es agua que producen los demás filtros de la batería y se lava con carga hidráulica. La siguiente figura muestra las diferentes partes del filtro de la planta de planta de tratamiento.

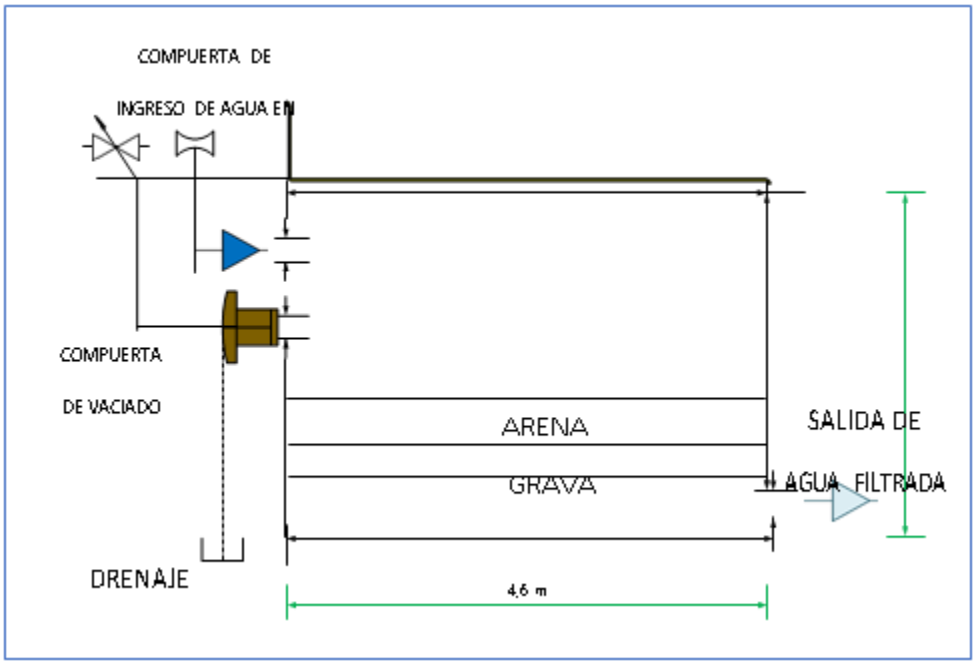

Figura N° 10. Esquema de filtro convencional

Elaboración propia

En la figura N° 10, se observa cómo está compuesta la unidad de filtro convencional. Cada filtro se divide en 2 celdas de filtración que comparten el mismo lecho filtrante. En la parte inferior del filtro se ubica la cámara donde se depositan el agua filtrada para su posterior desinfección y envío a Planta N° 01 para su posterior distribución.

Durante la limpieza de cada filtro, el agua que contiene es eliminada. La cantidadde agua eliminada es igual a la capacidad del filtro que es:

Agua de vaciado AV = 39,47 m^3

Agua de vaciado es agua en tratamiento que ha llegado hasta la filtración, uno de los últimos procesos del tratamiento de agua potable. Se desecha por una compuerta subterránea para el mantenimiento del filtro.

Agua de retrolavado o lavado (AL)

Para estimar el volumen de agua de retrolavado de los filtros fue necesario considerar los siguientes datos:

- Las dimensiones de las unidades
- Número de filtros
- Caudal de ingreso a planta
- Tiempo de lavado
- Volumen de agua de vaciado
- Volumen de agua de lavado.

Ingreso de caudal de agua

De acuerdo con la tabla N° 01 (pág. 32) el caudal más alto de agua de ingresaa planta es: 158 l/s**.** Si dividimos el caudal de ingreso entre el número de unidadesque son 7 obtendremos el volumen de agua de ingreso a cada filtro como se muestra a continuación.

$$\frac{158\,\mathrm{l/s}}{7\ \mathrm{filtros}} = 22,57\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s}} = 81,26\,\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}}$$

Volumen ingreso agua en cada filtro:

$$22,57\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{S}} = 81,26\,\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}}$$

Para calcular el agua de lavado (AL) de filtros: **AL= T x V**

Donde:

T= tiempo de lavado de filtros.

V= volumen de agua de lavado.

Cálculo:

Tiempo de lavado: 15 minutos

Volumen ingreso agua en cada filtro

$$\mathbf{81{,}26\ m^3 \text{----------} 1h = 60\ minutos}$$

$$\mathbf{AL \text{----------} 15\ minutos}$$

$$\mathbf{AL = 20{,}31\ m^3}$$

A continuación, se presenta el volumen de agua usada en el lavado de los filtros de la planta de tratamiento.

$$\mathbf{ARF = [AL + AV]\ x\ NF}$$

Donde:

ARF= agua residual filtro

AL= Agua de Lavado.

AV= Agua vaciado.

NF= Número de filtros

Remplazando

AV= 39,47

AR=20,31

NF= 7

$$\mathbf{ARF} = (20{,}31\mathrm{m}^3 + 39{,}47\mathrm{m}^3)\ \mathrm{x}7$$

$$\mathbf{ARF} = 418{,}49\ \mathrm{m}^3$$

Los resultados obtenidos se resumen a continuación en la tabla N° 03

Tabla N° 03. Resumen - agua usada en lavado de filtros / día

Ítem	Unidad
Tiempo de lavado	15 minutos
Agua usada de lavado	20,31 m^3
Agua de vaciado de filtro	39,47 m^3
Total, agua lavado x filtro	59,78 m^3
Número de filtros	7
Total, agua residual	418,49 m^3

Con los datos obtenidos en la tabla anterior, se estimó que el volumen de agua utilizada diariamente para limpieza de las unidades de filtración es **418,49 m3.**

4.1.4 Retrolavado

Se cierra la compuerta de ingreso de agua al filtro. Inmediatamente se abre la compuerta de drenaje para que el agua contenida en la unidad de filtración sea evacuada. Agua potable que ya ha sido filtrada regresa desde el tanque de almacenamiento a través de la misma tubería para remover los lodos acumulados en la unidad, lavando el filtro desde abajo hacia arriba. El agua de lavado es descargada a 2 buzones designados para estas unidades. Una vez limpio el filtro, se abre nuevamente la válvula de ingreso de agua para continuar con el proceso de tratamiento en curso. El agua de lavado cuyo contenido es lodo y aditivos químicos del tratamiento una vez en los buzones es vertida al dren La 715 - Eureka.

Primero. La válvula principal se abre para permitir el ingreso de agua potable desde el tanque de almacenamiento. A continuación, se cierra la válvula de ingreso de agua de proceso a la unidad de filtro. Esto evita que el agua decantada ingrese a la unidad de filtración. El filtrado se realiza hasta que el nivel del agua en la unidad disminuya así se evita escape de arena.

Segundo. Se lava una celda primero y luego la siguiente. Entonces se abre la válvula de lavado de dicha celda para que el agua sucia contenida en ella sea descargada al buzón. De la misma forma se procede a lavar la celda N° 02

Tercero. Se cierra la válvula de drenaje del agua de lavados y se abre la de ingreso de agua decantada para su filtración.

En la figura N° 11 presentada a continuación se observa el proceso de retrolavado de filtros.

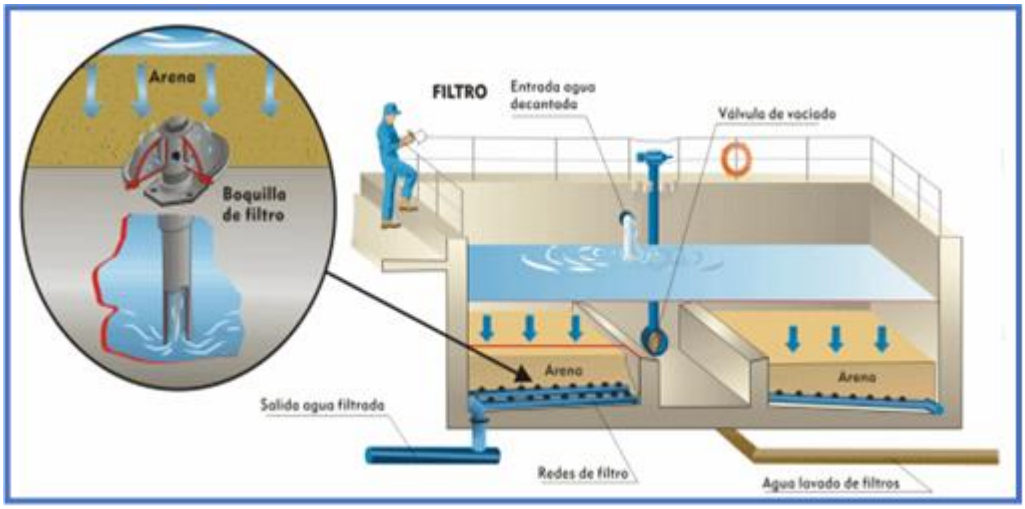

Figura N° 11. Proceso de retrolavado de filtros

Fuente: http://www.elaguapotable.com

En la figura anterior se puede observar la entrada de agua de la etapa de decantación, así como también la tubería de salida del agua filtrada y la tubería de salida del agua de lavado de filtros.

En la tabla siguiente N° 04 se presenta el control operativo de la producción de agua potable en SEDA Ayacucho realizado en el intervalo de meses abril 2018 - abril 2019, así como también el consumo de agua de lavado de filtros.

Tabla N° 04. Control operativo de lavado de filtros PTAP N° 02 - periodo abril 2017 – abril 2018 en m^3

Mes	Caudal ingreso l/s	Agua en planta N°02	Uso de agua para lavados	Agua tratada
Abril	114	287 342	10 640	276 702
Mayo	123	333 925	12 390	321 535
Junio	126	330 991	11 830	319 161
Julio	126	335 860	11 620	324 240
Agosto	130	341 975	12 320	329 655
Septiembre	158	383 262	10 500	372 762
Octubre	129	384 591	12 150	372 441
Noviembre	140	384 596	12 580	372 016
Diciembre	138	386 682	12 360	374 322
Enero	146	386 946	12 440	374 706
Febrero	137	378 112	12 510	365 602
Marzo	138	406 238	12 740	393 498
Abril	131	372 709	11 890	360 819
TOTAL	---	**4 713 229**	**155 770**	**4 557 459**

Fuente: SEDA Ayacucho

Diariamente la planta de tratamiento de agua potable N° 02 elimina en promedio 420 m^3 de agua. En su equivalente significa 420 000 litros/día - 17 500 litros/hora - 291,66 litros/minuto. Según la organización mundial de la salud una persona utiliza 50 litros/día para satisfacer todas sus necesidades. Reutilizar agua para consumo humano cubre la necesidad de 8 400 habitantes de la zona.

En temporadas de escasez de agua, los agricultores de los caseríos aledaños suelen perder sus cosechas o comprar cisternas de agua para regar sus cultivos. Reutilizar el agua para regadío podrá significar un beneficio para ellos, aparte del fácil acceso. Pese a que SEDA Ayacucho trabaja con una eficiencia de producción estimada del 90%, se plantea que puede operar bajo el concepto de “cero descargas”.

4.1.5. Características del agua residual

La empresa prestadora de servicios de saneamiento SEDA Ayacucho utiliza agua en tratamiento para la limpieza de sus filtros. El agua de lavado luego resultante posee concentraciones de sustancias químicas por lo que se debe conocer el estado de los indicadores antes de realizarse el tratamiento adecuado.

Muestreo

La toma de muestra del agua de lavado de filtro de la PTAP N° 02 de SEDA Ayacucho se efectuó con el propósito de conocer su composición fisicoquímica y microbiológica, por ello fue necesario realizar muestras representativas del agua residual y de esta manera obtener resultados confiables.

A continuación, se describe el procedimiento que se realizó durante la toma de muestras del agua de retrolavado para determinar su composición.

El punto de toma de muestra fue la planta de tratamiento N° 02 de SEDA Ayacucho. el recojo de la muestra se extrajo del filtro número 4.

Ubicado el punto de monitoreo, se realizó el recojo de la muestra de agua. Se realizó una muestra para el análisis fisicoquímico y una para el análisis microbiológico.

La muestra de agua residual se recogió durante el lavado del filtro con la ayuda de un operario de planta. El tipo de muestreo fue simple, debido a que la muestra fue tomada en un punto determinado (filtro N° 04). Para el análisis fisicoquímico, la muestra se recogió en un frasco de polietileno esterilizado de 500 ml y fue llevado al laboratorio de control de calidad de SEDA Ayacucho. A la muestra se analizó DBO5, Aluminio Residual, Sólidos suspendidos, conductividad, pH, Coliformes totales, temperatura y cobre.

Para su análisis microbiológico, la muestra se recogió en un frasco de polietileno esterilizado de 2 litros y fue llevado al laboratorio del instituto CESDE. Se le realizó análisis de coliformes termotolerantes, coliformes fecales, patógenos, salmonella, insectos y helmintos, entre otros.

El Envase utilizado en la toma de muestra para ambos análisis fue siempre frasco polietileno limpio y seco proporcionado por el Laboratorio.

El propósito de ambas muestras fue conocer la calidad del agua de retrolavado de filtro a través de la cantidad de materia orgánica e inorgánica que presenta. Además de los microbios, virus, parásitos que pueda contener. Esta información ayudo a elegir el tratamiento más conveniente para su aprovechamiento.

Resultado de análisis fisicoquímico de agua residual

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico realizado al agua residual de lavado de filtros de PTAP N°02 SEDA Ayacucho se muestra a continuación la siguiente tabla N° 05.

Tabla N° 05. Resultado de análisis fisicoquímicos de agua de lavado de filtros.

Parámetros	Unidad de medida	Resultado de análisis
Aluminio Residual	mg/l	0,45
Cobre	mg/l	0,09
Hierro	mg/l	0,07
Conductividad	µs/cm	398
$DBO_{(5)}$	mg/l	8,07
pH	---	7,80
Temperatura	°C	25,4
Turbiedad	NTU	525
SST	mg/l	4 500

Fuente: SEDA AYACUCHO S.A.

El efluente presenta aluminio residual 0,45 mg/l y DBO5 en 8,07 mg/l. también contiene un registro alto de turbidez (525 NTU) y sólidos suspendidos 4 500 mg/l. Se observó durante el muestreo que los sólidos se precipitaron rápidamente producto del contenido de aluminio en el agua residual añadido durante potabilización, observando agua limpia en la parte superior y tierra asentada en la parte inferior de la muestra.

Aproximadamente el tiempo en recojo de muestras y su llevada hasta el laboratorio fue de 10 minutos aproximadamente, cumpliendo los lineamientos que dispone DIGESA para la conservación de muestras de agua.

Resultados de análisis microbiológicos de agua residual

Los resultados obtenidos en el análisis microbiológico realizado al agua residual de lavado de filtros de PTAP N°02 SEDA Ayacucho se muestra a continuación la siguiente tabla N° 06.

Tabla N° 06. Resultado de análisis microbiológico

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	UFC/100 ml	480
Coliformes Fecales	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	UFC/ 100 ml	120
Bacterias Patógenas Salmonella	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	NMP/ 100 ml	Ausente
Enterococos	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	NMP/ 100 ml	Ausente
Levaduras	cultivo directo en placa Reconocimiento de Colonias	Límite/ml= $1x10^3$	Ausente
Mohos Contaminantes Y/ OPatógenos	cultivo directo en placa Reconocimiento de Colonias y Micelios	---	Ausente
Huevos, Larvas, Pupas Y/OAdultos De Insectos	Cultivo en Placa Reconocimiento de Colonias y Micelios	---	Ausente
Huevos, Larvas, Quistes Y/O Adultos De Gusanos Nematodos (Helmintos)	Observación Microscópica	---	Ausente
Protistas parásitos en su forma de quistes y/o adultos	Organismo/ml	---	Ausente

Fuente: Laboratorio

Según los resultados obtenidos del ensayo microbiológico (bacteriológico, micológico y parasitológico) realizada al agua de retrolavado de filtro, se observa que presenta aceptable calidad microbiológica. Los microorganismos determinados no refieren riesgo sanitario alguno. Los parámetros indicados de color pertenecen a la variedad insectos y helmintos.

Parámetros relevantes que reducir del agua residual

El resultado de los análisis fisicoquímicos del agua residual de lavado de filtros se comparó con la norma en vigencia actual de Estándares de Calidad

Ambiental (ECA) de Agua, decretados por el MINAM, así como se muestra a continuación en las siguientes tablas.

Tabla N° 07. Estándares de calidad ambiental - aguas destinadas a la producción de agua potable - A2

Parámetro	**Unidad**	**Resultado análisis**	**Norma ECA**
Aluminio Residual	mg/l	0,45	5
Cobre	mg/l	0,09	2
Hierro	Mg/l	0,07	1
Conductividad	µs/cm	398	1600
DBO (5)	mg/l	**8,07**	5
pH	---	7,80	5,5 - 9,0
Temperatura	°C	25,40	∆3
Turbiedad	NTU	**525**	100
SST	mg/l	**4 500**	---

Fuente: Ministerio del ambiente – SEDA Ayacucho

En la tabla N° 07 se comparó el análisis fisicoquímico realizado al agua de retrolavado de filtros respecto a los estándares de calidad que exige la norma para la categoría A2 (Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional). La tabla indica que el agua producto de la limpieza de los filtros no se puede regresar a cabecera de la PTAP y darle un tratamiento convencional, por motivo que sobrepasa los ECA -Categoría A2, en la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5) y Turbiedad (NTU). Sería necesario entonces usar un sistema de tratamiento con tecnología avanzada para reutilizar el agua de retrolavado.

En la siguiente tabla N° 08, se presentan la comparación del resultado del análisis fisicoquímico del agua de retrolavado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento Avanzado – categoría A3.

Tabla N° 08. Estándares de calidad ambiental - aguas destinadas a la producción de agua potable - A3

Parámetros	**Unidad**	**Resultado análisis**	**Norma ECA**
Aluminio Residual	mg/l	0,44	5
Cobre	mg/l	0,09	2
Hierro	mg/l	0, 07	5
Conductividad	mg/l	398	---
DBO (5)	mg/l	8,07	10
pH	---	7,80	5,5 - 9,0
Temperatura	°C	25,40	---
Turbiedad	NTU	525	---
SST	mg/l	4 500	---

Fuente: Ministerio del ambiente – SEDA Ayacucho

Categoría A3. Aguas destinadas a la producción de agua potable con tratamiento avanzado. La tabla N° 08, muestra la comparación de los parámetros físicos químicos encontrados en el agua de lavado de filtros de SEDA Ayacucho. junto a los Estándares de Calidad Ambiental que deben caracterizar al agua para ser potabilizada con un tratamiento avanzado.

Por lo tanto, se demuestra que el agua procedente del lavado de filtros cumple con los ECA establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) categoría A3, por lo que para su tratamiento es necesario usar tecnología avanzada en vez de una convencional.

Debido a la calidad del agua residual, lo ideal sería tratarla y destinarla para consumo humano, sin embargo, para que esta agua residual cumpla con los lineamientos y sea apta para consumo humano se deben reducir sus parámetros para que su calidad cumpla con los límites máximos permisibles exigidos por la norma peruana decretada por DIGESA.

La siguiente tabla N° 09, presenta comparación entre el análisis microbiológico y Estándares de calidad categoría A3 - Agua apta para ser potabilizada.

Tabla N° 09. Comparación análisis microbiológico vs ECAS aguas a ser potabilizadas A3

Parámetro	**Unidad**	**Resultado análisis**	**Norma ECA**
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	UFC/100 ml	480	2000
Coliformes Fecales	UFC/ 100 ml	120	2000
Bacterias Patógenas Salmonella	NMP/ 100 ml	Ausente	---
Enterococos	NMP/ 100 ml	Ausente	---
Levaduras	Límite/ml= $1x10^3$	Ausente	---
Mohos Contaminantes y/o Patógenos	---	Ausente	---
Huevos, Larvas, Pupas y/o Adultos de Insectos contaminantes y/o patógenos	Organismo/ml	Ausente	---
Huevos, Larvas, Quistes, Adultos Gusanos Nematodos (Helmintos)	Organismo/ml	Ausente	---
Protistas parásitos en su forma de quistes y/o adultos	Organismo/ml	Ausente	---

Fuente: Dirección Regional de Salud (DIGESA)

De acuerdo con la tabla N° 09, se demostró que el agua de retrolavado de filtro, cumple con los estándares de calidad señalados por la normativa peruana para su tratamiento con tecnología avanzada para su posible potabilización.

La finalidad del tratamiento del agua de lavado de filtro es potabilizarla y venderla como agua de consumo humano. por ello se utilizó el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, mediante el cual se aprueba los “estándares de calidad para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamientos convencionales y avanzados” y bajo el articulo 3 y subcategoría A, en donde se determina los requisitos que deben cumplirse para aquellas aguas que previo “tratamiento” son destinadas al consumo humano.

El agua de lavado de filtro se compara con límites máximos permisibles de aguas aptas para el consumo humano según la norma, con la finalidad de cuantificar en cuanto debe ser reducida el parámetro para que cumpla dichas condiciones de ingesta humana.

Por ejemplo, si comparamos la turbidez que contiene el agua de lavado (525 NTU)

- No cumple con el requisito de composición para su potabilización con tratamiento convencional, pues la norma (categoría A - 2) indica mínimo 100 NTU.
- Si cumple con el requisito para su tratamiento con tecnología avanzada (categoría A-3) como ultrafiltración, la cual indica que la turbidez puede ser mayor a 500 NTU.

Los límites máximos permisibles indican que el agua tratada debe tener 5 NTU para que sea aprobada para su consumo. Entonces la cantidad que debe ser reducida de NTU en el agua de lavado debe ser mayor a 520 NTU, para asegurar su calidad. Esto indica que se debe reducir en 99% el nivel de turbidez lo que implica utilizar una tecnología que pueda proporcionar estas características al agua después de su tratamiento.

Entonces la comparación de los parámetros del agua de lavado de filtros con los límites máximos permisibles de agua de consumo humano permite:

Saber el porcentaje que debe ser reducido el parámetro analizado para seleccionar una tecnología de tratamiento con dicha característica de eliminación.

El propósito del tratamiento de agua es darle el mejor uso posible, que es destinarla al consumo humano. Por ello no solamente se compara con los estándares de calidad, pues estos solo son requisitos para un tratamiento avanzado, en cambio los límites máximos permisibles indican hasta donde debe llegar el agua tratada en su composición para su aprovechamiento.

En la siguiente tabla N° 10, se presenta los parámetros a reducir del agua de retrolavado de filtro para cumplir los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y DIGESA.

Tabla N° 10. Comparación de análisis fisicoquímico agua lavado filtros vs LMP de agua potable

Parámetros	**Unidad**	**Resultado Análisis**	**Norma LMP**
Aluminio Residual	mg/l	**0,44**	0,02
Cobre	mg/l	0,09	2
Hierro	mg/l	0, 07	0,3
Conductividad	mg/l	398	1500
DBO5	mg/l	**8,07**	No Aplica
pH	---	7,80	5,5 - 9,0
Temperatura	°C	25,40	---
Turbiedad	NTU	**525**	5
SST	mg/l	**4 500**	---

De acuerdo con la tabla N°10 observamos parámetros que deben ser reducidos (negrita) en el tratamiento, así como otros parámetros que se encuentran dentro de los lineamientos de agua potable.

En el caso del aluminio residual, su ingesta por vía oral podría producir toxicidad aguda en el ser humano. Es un factor de riesgo para el desarrollo o aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. Se reconocen los efectos beneficiosos del uso de aluminio como coagulante en el tratamiento del agua. Teniendo esto en cuenta, y también los posibles efectos perjudiciales para la salud del aluminio (es decir, su posible neurotoxicidad) es necesario reducir la presencia de este elemento en el agua.

En el caso del DBO5, la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica. Contribuye a la proliferación de bacterias. Este parámetro deberá ser reducido a 0 para el aprovechamiento del agua residual.

En el caso de la turbidez, no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 UNT para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de procesos.

El resultado de los análisis microbiológicos realizados al agua residual de lavado de filtros se comparó con la norma en vigencia actual de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua, decretados por el MINAM asi como se muestra a continuación en las siguientes tablas.

A continuación, se presenta la tabla N°11 donde se compara los parámetros del análisis microbiológico con LMP de agua apta para consumo humano.

Tabla N° 11. Comparación de resultados de análisis microbiológico vs LMP

Parámetro	**Unidad**	**Resultado**	**Norma LMP**
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	UFC/100 ml	**480**	0
Coliformes Fecales	UFC/ 100 ml	**120**	0
Bacterias Patógenas Salmonella	NMP/ 100 ml	Ausente	0
Enterococos	NMP/ 100 ml	Ausente	0
Levaduras	Límite/ml= $1x10^3$	Ausente	0
Mohos Contaminantes y/o Patógenos	---	Ausente	0
Huevos, Larvas, Pupas y/o Adultos de Insectos contaminantes y/o patógenos	Organismo/ml	Ausente	0
Huevos, Larvas, Quistes Y/O Adultos De Gusanos Nematodos (Helmintos)	Organismo/ml	Ausente	0
Protistas parásitos en su forma de quistes y/o adultos	Organismo/ml	Ausente	0

Elaboración propia

UFC= Unidades formadas por colonias

Técnica NMP por tubos múltiples = < 1,8/100 ml

Como se puede notar en la tabla anterior, el agua de retrolavado de filtros presenta ligera contaminación fecal, por lo deben ser reducidos a cero durante su tratamiento si se desea aprovechar el agua para consumo.

En el caso de coliformes termotolerantes, en la mayoría de las aguas, el género predominante es Escherichia. Se considera que Escherichia coli es el indicador de contaminación fecal más adecuado. Se debe eliminar estos microorganismos debido a que repercute directamente en la salud del ser humano y animales.

Debe haber ausencia de coliformes totales inmediatamente después de la desinfección, pues la presencia de estos microorganismos indica que el tratamiento es inadecuado.

A continuación, se presenta la tabla resumen del análisis fisicoquímico y microbiológico de los parámetros que deben ser reducidos para el aprovechamiento del agua en el consumo humano.

Tabla N° 12. Resumen de parámetros a reducir de agua de lavado

Parámetro	**Unidad**	**Resultado de análisis**
Aluminio Residual	mg/l	0,44
DBO (5)	mg/l	8,07
Turbiedad	NTU	525
SST	mg/l	4 500
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	UFC/100 ml	480
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	120

Elaboración propia

En la tabla anterior, observamos solo los parámetros que deben ser reducidos y en algunos casos eliminados en su totalidad. En vista de los parámetros observados anteriormente, tanto en el análisis fisicoquímico como en el microbiológico, se determinó lo siguiente:

- El valor del Aluminio Residual obtenido en el análisis fisicoquímico es un valor que requiere tratamiento con tecnología avanzada. Su valor está dentro de los lineamientos de los Estándares de Calidad del Ministerio del Ambiente (MINAM) que establece el valor de 5 mg/l para su tratamiento. Sin embargo, para su adaptabilidad al consumo humano su valor debe reducirse a menos de 0,2 mg/l asi como lo establece la organización mundial de la salud por su potencial peligro en la salud de las personas.

- El valor de la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) obtenido del análisis fisicoquímico de agua de retrolavado fue de 8,48 mg/l. Este resultado se encuentra dentro de las especificaciones de los Estándares de Calidad categoría A3 - aguas destinadas a ser potabilizadas con tecnología avanzada. A3. DBO5 es una principal característica de las aguas residuales y provoca una serie de reacciones negativas en las disposiciones finales. Debe trabajarse en reducir este resultado obtenido a cero.

- El resultado de Turbidez en el agua residual de retrolavado expresado en NTU, es muy elevado, sin embargo, se encuentra dentro de las especificaciones de los Estándares de calidad categoría A3 - aguas destinadas a ser potabilizadas con tecnología avanzada.

El valor de 517 NTU que se registró, indica que es necesaria su reducción debido a que turbidez es el principal causante de proteger a los microorganismos de los efectos de desinfección. La OMS indica 5 NTU como valor en aguas de consumo humano. Por esta razón la turbiedad en uno de los parámetros más importantes a reducir con el sistema de tratamiento.

- El valor Temperatura del agua de retrolavado de filtro es de 25,40 °C. Aunque no se registra dato sobre Estándares de Calidad para este parámetro, una temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión. El valor obtenido es óptimo para un tratamiento con tecnología avanzada.

- El resultado de cobre fue de 0,09 mg/l. Este valor cantidad está muy por debajo del estándar de calidad por lo que se considera un parámetro estable y poca preocupación.

- El contenido Hierro del efluente tiene valor de 0,07 mg/l considerado no influyente en la elección del sistema de tratamiento porque no supera los lineamientos de estándares de calidad que deben tener aguas destinadas al tratamiento para consumo humano. Inclusive no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de aguas aptas para la ingesta humana cuyo valor es 0,3 mg/l según DIGESA.

- La conductividad eléctrica en el agua de retrolavado resulto tener un valor de 398 µs/cm. Aunque no hay registro de Estándares de Calidad categoría A3 para su tratamiento con tecnología avanzada, la OMS si establece límite máximo permisible (LMP) de 1 500 µs/cm en agua potable. la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, por lo tanto, el valor obtenido resulta ser óptimo para su tratamiento.

- El contenido de sólidos suspendidos totales en el agua de lavado de filtros es 4 500 mg/l. aunque no existe especificación alguna en los ECAS - Categoría A2 y A3. Este parámetro es una de las principales características del agua de lavado de filtros. Fue muy importante en el balance de materia.

- El contenido de Bacterias Termotolerantes en el agua residual de 420 UFC/ml es un indicador que se encuentra dentro de los lineamientos los ECAS - categoría A3 para ser potabilizada. Aunque el valor es aceptable, éste debería reducirse a cero para el aprovechamiento del agua residual.

- El registro de bacterias patógenas, Enterococos, Mohos Contaminantes, Insectos Y Helmintos resulto ausente, siendo favorable para su aprovechamiento sobre todo en el consumo humano previo tratamiento.

Finalmente se concluye que, las aguas residuales (provenientes del lavado de filtros) generados en la planta de tratamiento de agua potable N°2 de SEDA Ayacucho, deben pasar por un tratamiento con tecnología avanzada para reducir la carga química, microbiana y orgánica de su estructura. Principalmente debemos buscar reducir el aluminio, el DBO y la turbidez.

¿Qué tratamiento se puede utilizar para reducir la concentración de aluminio residual?

Tenemos dos tratamientos:

- El intercambio iónico y la desmineralización son algunos métodos potenciales para removerlo del agua. es el proceso a través del cual los iones en solución se transfieren a una matriz sólida que, a su vez liberan iones de un tipo diferente, pero de la misma carga. El intercambio iónico es un proceso de separación física en la que los iones intercambiados no se modifiquen químicamente. Las principales ventajas de intercambio iónico son la recuperación del valor del metal, la selectividad, menos volumen de lodos producidos y la reunión de las especificaciones de descarga estrictas.
- La ósmosis inversa también es un método para la eliminación del aluminio del agua, esto cuando los valores están por debajo de 0.05 mg / l. Este método se ha vuelto mucho más competitivo por el costo de operación. Es un proceso de permeación a través de membrana para la separación por difusión controlada o cribado. Tiene la capacidad de seleccionar elementos de tan solo 0.0001 mm, lo que le otorga un amplio abanico de capacidades de tratamiento.

¿Qué tratamiento se puede utilizar para reducir la concentración DBO?

- El tratamiento con ozono es muy efectivo en la oxidación de materia orgánica. El ozono es una forma alotrópica de oxígeno que se distingue del oxígeno común en que la molécula está formada por tres átomos en vez de dos. Esto le confiere un poderoso poder oxidante por lo que resulta un tratamiento efectivo y eficaz para disminuir el DBO y DQO. Para realizar el tratamiento de reducción de demanda química de oxígeno lo más apropiado es dimensionar correctamente la producción mínima necesaria de ozono, así como el tiempo medio de contacto para conseguir la eliminación de DQO prevista. El tratamiento con ozono, en definitiva, disminuye la carga orgánica presente en el agua. elimina olor y color y produce una desinfección total de los microorganismos que puedan estar presentes.

CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al agua de lavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable SEDA Ayacucho S.A. y su comparación con la normativa peruana vigente con el propósito de aprovecharla en el consumo humano, nos permitió caracterizar los parámetros que deben ser reducidos para que se logre dicho propósito. Aluminio residual en 0,44 mg/l, turbidez 525 mg/l, solidos suspendidos 4 500 mg/l, presencia de coliformes termotolerantes y coliforme fecales son los parámetros del agua residual que deben ser reducidos. También se determinó que para reducir estos parámetros exclusivamente es necesario utilizar tecnología avanzada de tratamiento.

Mediante el método factores ponderados, se determinó la tecnología de osmosis inversa como el tratamiento ideal para reducir el contenido negativo relevante del agua de lavado y como desinfectante el ozono. La selección del tratamiento se realizó en base a las diferentes características, ventajas y desventajas de cada sistema de tratamiento.

El diseño del sistema de tratamiento se basó en 4 procesos más. La sedimentación primaria, coagulación floculación y sedimentación secundaria redujeron a gran escala turbidez.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar variedades de aditivos naturales coagulantes para su utilización en la reducción de sólidos, turbidez, y otras sustancias contenidas el agua.
- En lo concerniente a la manipulación final de los sólidos se recomienda preparar un plan integral donde se plantee el aprovechamiento de este material, para elaborar productos de aceptación comercial o para usarlos en aplicaciones a los suelos, y únicamente lo que quede de los sólidos se deberán disponer en relleno.

BIBLIOGRAFÍA

Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies.* Woburn, Massachusetts: Butterworth-Heinemann.

Dáguer, G. (2003). Gestión de los biosólidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre. *Curso Internacional de Restauración de Canteras y el Uso de Biosólidos* (p. 6). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Goncalves, A. E. (2004). *Incorporation of Sludges from a Water Treatment Plant in Cement Mortars.* Retrieved from Repositório Cientifico do LNEC: http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/bitstream/123456789/17671/2/Paper278_barcelona04.pdf

Kurita Water Industries Ltd. (1999). *Kurita Handbook of Water Treatment.* Tokyo: Kurita Water Industries Ltd.

López Hernández, J. E., & et al. (2017). *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.* México: GIZ México.

Mahamud, M., Gutiérrez, A., & Sastre, H. (1996, Setiembre). Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de tratamiento. *Ingeniería del Agua, 3*(3), 45-54.

Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de aguas industriales.* Madrid: McGraw-Hill.

Orozco Jaramillo, Á. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y Diseño.* Medellín: ACODAL.

Quinchía, A., & Carmona, D. (2004). *Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada (Tesis de Grado).* Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín.

Romero Rojas, J. A. (2010). *Traramiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño.* Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Spellman, F. (2003). *Handbook of water & wastewater treatment plant operations.* Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

Torres, P. H. (2012). *Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos.* Retrieved from Revista ingeniería de construcción: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300003