

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“DISEÑO DE BIOFILTRO CON MUCILAGO DE  
*CAESALPINIA SPINOSA* PARA REDUCIR LA  
TURBIDEZ DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL  
RIO POLLO, OTUZCO, PERÚ 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

Mariano Jose Del Castillo Sagastegui

Asesor:

Mg. Grant Illich Llaque Fernández

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6793-775X>

Mg. Jessica Marleny Lujan Rojas

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8781-4231>

Trujillo - Perú

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Wilberto Effio Quezada	<b>42298402</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Luis Alva Díaz	<b>43679478</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Liana Cárdenas Gutiérrez	<b>40221041</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## DEDICATORIA

A mis padres por brindarme los valores y el apoyo para ser la persona que hoy en día soy, a mis hermanos por estar siempre ahí para apoyarme, a mi familia y amigos por demostrarme que uno siempre cuenta con sus seres queridos.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme gozar de una buena familia y de poder llevar una carrera profesional, agradezco a los profesores que me inculcaron sus enseñanzas para poder ser un buen futuro profesional.

## Tabla de contenido

<b>JURADO CALIFICADOR.....</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>4</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>5</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>62</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros físico-químicos del agua superficial del río Pollo.....	33
<b>Tabla 2.</b> Tratamiento de las aguas superficiales de diferentes ríos según especies vegetales, autor, concentración optima y parámetros físico-químicos.....	36
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de remoción de turbidez de las aguas superficiales de diferentes ríos, según insumo utilizado de cada especie vegetal empleada como coagulante natural.....	37
<b>Tabla 4.</b> Aspectos del tratamiento de las aguas superficiales de diferentes ríos según la especie vegetal, concentración o dosis óptima, revoluciones por minuto y tiempo de reposo.....	38
<b>Tabla 5.</b> Efectos del tratamiento con coagulantes naturales en las aguas superficiales de ríos según las especies vegetales estudiadas.....	39
<b>Tabla 6.</b> Propuesta de diseño de biofiltro usando especie <i>Caesalpinia spinosa</i> para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad.....	42
<b>Tabla 7.</b> Estándares de calidad establecidos para la subcategoría A-A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.....	75
<b>Tabla 8.</b> Costos directos unitarios de inversión para llevar a cabo la propuesta.....	85

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de tesis propositiva .....	26
<b>Figura 2.</b> Flujograma del proceso de recolección de datos.....	31
<b>Figura 3.</b> Diseño de biofiltro.....	41
<b>Figura 4.</b> Concentración óptima de cada especie vegetal expresado en el diagrama de cajas y bigotes.....	71
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de remoción de turbidez según las especies vegetales representado en un gráfico de cajas y bigotes.....	71
<b>Figura 6.</b> Mapa de Río Pollo en La Libertad en Otuzco.....	77
<b>Figura 7.</b> Recorrido del Río Pollo, Otuzco, La Libertad.....	77
<b>Figura 8.</b> Punto de aplicación del diseño.....	78
<b>Figura 9.</b> Flujograma de obtención de goma de tara.....	79
<b>Figura 10.</b> Flujograma del proceso de tratamiento.....	83
<b>Figura 11.</b> Dimensiones del tanque de reserva.....	87
<b>Figura 12.</b> Dimensiones del tanque de tratamiento.....	88
<b>Figura 13.</b> Tubería principal de captación del agua de río.....	89
<b>Figura 14.</b> Conectores de tanques.....	89
<b>Figura 15.</b> Marco para malla de plástico.....	90
<b>Figura 16.</b> Dispositivo de revoluciones.....	91
<b>Figura 17.</b> Tanque de tratamiento y rotor.....	92
<b>Figura 18.</b> Modelo completo de biofiltro.....	93
<b>Figura 19.</b> Diseño de biofiltro completo – perspectiva.....	94

## RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo diseñar un biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez de las aguas superficiales del río Pollo, provincia de Otuzco región La libertad. Se analizaron estudios donde se extrajeron datos relacionados al parámetro de turbidez, color, pH, sólidos suspendidos, DBO y DQO de aguas de diferentes ríos, los cuales fueron tratados con coagulantes naturales de diferentes especies vegetales. En la metodología propuesta se consideró el aspecto económico y sustentable, el costo total y la viabilidad de su uso, la instalación del biofiltro, la capacitación para su uso doméstico, y por último la cantidad y calidad obtenida de agua tratada. Se propuso el mucilago de semillas de *Caesalpinia spinosa* con un 99.3 % de efectividad para reducir la turbidez en aguas superficiales, como la mejor opción para el tratamiento. Como resultado se creó un diseño de un biofiltro viable y económico en 3D compuesto por un tanque principal de tratamiento con un motor DC, un tanque de reserva del agua tratada y mallas filtrantes. Concluyendo con la investigación, se diagnosticaron los parámetros fisicoquímicos de la microcuenca del río Pollo y se creó un diseño de biofiltro con coagulante natural para tratar la problemática existente.

**Palabras clave:** Biofiltro, coagulantes naturales, aguas superficiales, parámetros de calidad



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El decenio internacional del agua realizado por la Organización de Naciones Unidas (ONU) indica que la calidad de cualquier fuente de agua ya sean superficial o subterránea está relacionado a los aspectos naturales y a la acción de los humanos. La calidad del agua es capaz de ser determinada al comparar los parámetros físico químicos de dicho recurso con las normas o Estándares de calidad establecidos por la autoridad correspondiente. (ONU, 2015)

Uno de los principales problemas a nivel global que disminuyen la calidad del agua es el aumento excesivo de los niveles de nutrientes en este recurso debido al vertimiento de efluentes industriales y domiciliarios, lo cual afecta sustancialmente a los usos del agua. (Olivero, 2013)

Las fuentes de recurso hídrico disminuyen debido a que el agua contaminada no puede ser utilizada para el consumo o uso humano ni para fines industriales o de la agricultura. Los efluentes generados por las actividades del ser humano son descargados a cuerpos de agua tales como ríos o lagos, generando una gran contaminación en estos. Esta contaminación se ve potenciada debido al acelerado crecimiento poblacional y a la expansión urbana, generando impactos negativos en los recursos hídricos, y por consiguiente en las personas. (Olivero, 2013)

Según la Organización Mundial de la Salud (2012), la ausencia de agua segura para el uso humano es una de las problemáticas principales a nivel mundial, debido a que la décima parte de enfermedades en el mundo se podría prevenir mejorando la calidad y el abastecimiento del agua. Debido a la polución el agua de ríos contiene polvo, microorganismos, virus y demás impurezas que resultan dañinas para la salud del ser

humano. Es por esto que el uso de coagulantes naturales es una importante alternativa segura para el importante proceso fisicoquímico en el tratamiento de aguas. (Olivero, 2013)

En la actualidad han surgido tecnologías limpias como alternativa al tratamiento de aguas, sin embargo, en Colombia existen territorios que presentan limitaciones y no tienen acceso a sistemas de agua con la calidad aceptable para el consumo humano. La vulnerabilidad de algunos sectores que se da como consecuencia de la variedad de ecosistemas y actividades llevadas a cabo en la cuenca del río Magdalena, principal sistema fluvial de Colombia, genera una gran preocupación debido a que los esenciales procesos biofísicos presentan modificaciones tales como la erosión, la contaminación y los cambios del flujo hídrico, aumentando así la inseguridad territorial al ser más de 128 municipios ribereños los que descargan sus efluentes sin tratamiento a este río principal. (Aguirre, 2018)

Teniendo en cuenta esto, los Ministerios del ambiente, vivienda y desarrollo territorial y de la protección social, consignaron la resolución 2115 en la que se desarrolló un indicador del nivel de ocurrencia de enfermedades que estén relacionadas con el incumplimiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos usados en el agua para consumo humano denominado IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua) calculado a partir de parámetros establecidos. (Aguirre, 2018)

El gobierno Ecuatoriano debe afrontar con problemas de contaminación en sus ríos y lagos ocasionada por las industrias, el sector agrícola y domestico los cuales vierten sus efluentes a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento previo. En Ecuador existen muchas industrias que afectan directamente a la calidad de los ríos, siendo las principales las textiles, de alimentos, de celulosa y las industrias petroquímicas. Como

medida ante esta problemática se propuso concientizar por medio de las instituciones del gobierno a las industrias sobre su impacto negativo en las aguas del país. (Bermeo y Salazar, 2013)

El Ministerio del Ambiente (MINAM) indica que las fuentes de agua superficial disponibles en el Perú son en gran parte abundantes, al tener en cuenta su desigual distribución en el territorio. No obstante, su calidad se encuentra en críticas condiciones en algunas regiones hidrográficas. El escaso tratamiento de las aguas residuales domésticas, el derrame de aguas residuales no tratadas, el mal manejo de los residuos sólidos, los pasivos ambientales y las características naturales son las principales causas que afectan a la calidad del agua en el país. Asimismo, con respecto a la calidad de las aguas superficiales, queda claro que el excesivo crecimiento poblacional de las ciudades genera gran deterioro ambiental del agua en las fuentes naturales, causado por el vertimiento de efluentes industriales y domésticos. (MINAM, 2016)

También existe la descarga constante de otros tipos de efluentes residuales contaminantes, tales como los pasivos ambientales y los residuos de las actividades económicas, las cuales terminan vertiéndose en fuentes de agua. Por otro lado, una irresponsable disposición de los residuos sólidos genera impactos negativos directa o indirectamente en los cuerpos de agua. Estas fuentes que afectan a la calidad del agua fueron registradas por la Autoridad Nacional del Agua, a través de la identificación de fuentes contaminantes por vertiente. (MINAM, 2016)

En la evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río moche, realizada por la Autoridad Nacional del Agua, se tomaron en cuenta los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la categoría 3 de los

Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA), para realizar la evaluación de la calidad del agua de la cuenca del río Moche.

Esta cuenca es de suma importancia en la región de La Libertad ya que comprende gran parte de sus provincias, está conformada por su río principal Moche el cual nace del río Santa Catalina, y está conectado a lagunas y ríos tributarios a lo largo de su recorrido. Como resultado de dicha evaluación de los parámetros tomados en cuenta en los recursos hídricos pertenecientes al ámbito de la cuenca del río Moche, se identificaron 14 parámetros que incumplieron los ECA para Agua, representando una problemática al significar que una cuenca de gran importancia para la región no cumple con los estándares de calidad establecidos. (ANA, 2014)

La cuenca del río Moche es el punto de convergencia de una gran cantidad de ríos que discurren por las ciudades de la región La Libertad. Uno los ríos que la conforman es la microcuenca del Río Pollo ubicada al este de la ciudad de Otuzco a una altura de entre 2492 y 4110 msnm, resultando un recurso hídrico de gran importancia para la población aledaña y de igual forma creándose una problemática de contaminación debido a la actividad antropogénica que conlleva a la descarga de efluentes sin tratamiento y arrojo de basura a las aguas de la microcuenca. (Salirrosas, 2014)

Estudios antecedentes han analizado el estado en el que se encuentran los parámetros físicos, químicos y biológicos teniendo como resultado valores que sobrepasan los límites debido a la alteración que genera la contaminación producto de las actividades agropecuarias, la minería informal y los desechos generados por la población. Se puede concluir que las aguas del Río Pollo están alteradas y representa una problemática de suma importancia para la población de Otuzco. (Salirrosas, 2014)

Teniendo en cuenta el problema descrito, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo se

puede reducir la turbidez de las aguas superficiales del río Pollo? Se partió analizando algunos estudios como el artículo científico desarrollado por Guzmán (2013), se tuvo como objetivo principal realizar un diseño eficaz de biofiltro a base de mucilago de tara para tratar las aguas del río Pollo. La metodología fue de tipo cuantitativa, en donde se realizó una investigación documental.

El estudio de Ramírez y Jaramillo (2015) tuvo el objetivo de realizar una revisión que sirva como base para la investigación y el conocimiento de sustancias naturales y sus aplicaciones para realizar tratamiento de agua. Los resultados indican que la *Moringa oleífera* y una variedad de cactus son los agentes naturales más utilizados y estudiados globalmente debido a su gran capacidad y eficaz aplicación en el proceso de coagulación del agua, además de poseer una actividad antimicrobiana que los hace factibles para la desinfección. Esto representa una opción sostenible y ambiental para las comunidades que no pueden acceder a agua de buena calidad debido a sus condiciones socioeconómicas.

El propósito de Banchon (2016) fue enfatizar los más actuales avances de la coagulación con el uso de sustancias naturales, un campo tecnológico considerado ancestral en el tratamiento de aguas. Como conclusión del estudio se detalla que el uso de estas sustancias vegetales, a través de su efecto en las propiedades electrocinéticas, permite desestabilizar las partículas coloidales haciendo que estas se sedimenten y el grado de turbidez en el agua sea reducido drásticamente. Además, debido a las características fisicoquímicas de los lodos residuales que son producto de los coagulantes naturales, se promueve su aprovechamiento a modo de biosólidos.

López (2018) en su tesis planteó como objetivo principal evaluar la eficacia del cactus *Opuntia ficus-indica* al ser usado como coagulante natural de origen vegetal con el fin

de reducir la turbidez presente en muestras de agua elaboradas en laboratorio. Los resultados demuestran que con la aplicación de estas sustancias naturales se removió la turbiedad del 58% al 86% y se establece un pH óptimo de 9 para todos los grados de turbidez. Se concluyo que el sulfato de aluminio remueve un mayor porcentaje de la turbiedad en el agua, sin embargo, genero un aumento en la conductividad y altero el pH de las muestras, estos efectos no se evidenciaron al usar el coagulante natural.

El objetivo del estudio de Choque (2018) fue determinar y evaluar la efectividad de 3 tipos diferentes de cactus al tratar aguas residuales hechas artificialmente. Se aplicaron diferentes dosis en los 3 tipos de coagulantes junto con solventes, dando como resultado un aumento considerable en la capacidad clarificante y el grado de remoción, siendo el San Pedro la especie con mejores resultados. Además, luego del tratamiento la dureza y la alcalinidad del agua permanecieron sin cambios significativos, a diferencia del pH que aumento de 6.61 a 7.58.

La finalidad de la investigación de Cabrera (2017) se basó en demostrar las cualidades coagulantes de la especie *Ipomoea incarnata* al ser usada con el fin de clarificar las aguas residuales de origen industrial. Con el fin de demostrar y comprobar estas propiedades se extrajo el coagulante teniendo en cuenta el grado de remoción de coagulantes comunes sintéticos, se utilizó el método de prueba de jarras para el estudio. Como resultado se determinó que el coagulante usado a partir del polvo de semillas de la *Ipomoea incarnata* es eficaz para el tratamiento, ya que removió el 99.18% de turbidez del agua, evidenciando así la ventaja que suponen los coagulantes de origen natural en comparación a los sintéticos.

El artículo científico Feria (2014) propuso evaluar la eficacia de un extracto de semilla de *Moringa oleífera* usado como coagulante natural para el tratamiento de

aguas del río Sinú, la más importante fuente de agua potable del departamento de Córdoba, Colombia. Como resultado se obtuvo gran eficacia en la remoción de turbiedad siendo mayor al 90%. Sin embargo, para las muestras con menor grado de turbidez las eficacias fueron también menores. Como conclusión se resalta que para el tratamiento de la calidad del agua cruda del río Sinú, una importante fuente del recurso hídrico, el uso de la *Moringa oleífera* resulta ser una alternativa eficiente, económica y segura.

Barbarán (2017) se planteó como finalidad de su estudio el determinar la eficacia de los coagulantes naturales extraídos de semillas de durazno y palta para la remoción de turbidez, como alternativa de solución a los problemas que las épocas de lluvia generan en la calidad del agua del río Santa. Los resultados obtenidos demuestran que las semillas de durazno tienen mayor grado de eficacia que las de palta para la remoción de la turbidez de las aguas superficiales del río Santa, siendo una opción viable y limpia para los problemas en su potabilización generados por las lluvias.

El artículo de Aguirre (2018) buscó determinar la eficacia de sustancias naturales extraídas de Moringa, Cactus, Maíz y Neem a modo de coagulantes naturales para el tratamiento de la calidad de agua del río Magdalena, una de las más importantes fuentes de agua de Colombia de la cual las comunidades del corregimiento de Palermo se abastecen. Al establecer dosis óptimas, velocidades y tiempos de coagulación y usar el método de prueba de jarras, se concluyó que las sustancias estudiadas son eficientes para el tratamiento de la calidad de las aguas del río, representando una alternativa sostenible y económicamente viable, ya que no alteran el pH del agua.

Camacho (2019) en su investigación propuso realizar un estudio de carácter comparativo usando dos tipos de coagulantes, sulfato de aluminio y cascara de papa,

para la clarificación de aguas de un humedal natural, con el fin de garantizar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. Con los resultados se concluyó que ambos coagulantes afectaron positivamente en la remoción de turbidez del agua de ciénaga, impulsando el uso de estas sustancias para asegurar el tratamiento de la calidad de aguas superficiales.

El propósito de Sandoval (2013) fue comparar la eficacia de soluciones extraídas de Moringa Oleífera y sulfato de aluminio para la coagulación de agua, respondiendo a la problemática mundial que representa la falta de agua con la calidad que permita su consumo y disponibilidad. Se concluye que el tratamiento con Moringa oleífera tiene similar eficacia con el sulfato de alúmina para la mejoría de calidad de aguas superficiales, dando lugar a posibles posteriores investigaciones sustituyendo al tratamiento químico.

Trujillo (2014) propuso como finalidad de su estudio aumentar la calidad de agua originaria de fuentes naturales al remover la turbidez de esta usando almidón de plátano como agente coagulador natural. Como resultado de la investigación, se resalta que la calidad del agua fue mejorada con el uso de almidón de plátano gracias a su eficaz acción coagulante, sin embargo, la sedimentación de las partículas del agua fue lenta.

Los autores Chuquipul y Rojas (2019) enfocaron su investigación a diseñar un biofiltro con residuos de cáscaras de piña y yuca, previamente sometidas a procesos de secado, triturado y tamizado como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Luego de armar el mecanismo de biofiltro con diferentes capas de material orgánico se tuvo como resultado un efecto favorable al reducir los elevados valores de los parámetros físico químicos del agua.

Gil (2018) en su estudio se planteó por objetivo determinar los efectos al emplear



el coagulante floculante natural de mucílago de tuna con respecto a la reducción de arsénico en las aguas del Río Huandoval, Centro poblado Sacaycacha a través de un biofiltro conformado con un motor adaptado para 50 y 100 para luego ser almacenados en una cisterna. Obteniendo resultados favorables de entre un 50 a 75% de remoción de acuerdo a la dosis administrada y las activaciones térmicas.

Hernández et. Al. (2021) se propuso plantear como tratamiento la implementación de un biofiltro conformado por dos partes, la primera con piedra pómez que contengan biopelículas de *Saccharomyces cerevisiae* en su superficie porosa y la segunda con biocarbón. Los resultados obtenidos demostraron que el óptimo tratamiento fue con el biofiltro hecho con biopelículas con 48 horas de maduración y biocarbón como empaque, obteniendo 100% de remoción de la carga orgánica.

Los estudios previos mencionan como solución el uso de las tecnologías limpias, es decir, por ejemplo: el uso de coagulantes naturales. Teniendo en cuenta ello, nació la propuesta de usar la especie *Caesalpinia spinosa* en el tratamiento del río Pollo en Perú, con el fin de conocer detalladamente los diferentes efectos que se producen en el agua al emplear sustancias naturales como coagulantes e identificar los más favorables para la mejoría de la calidad de este recurso hídrico sumamente importante. (Ramírez y Jaramillo, 2015)

Uno de los parámetros más importantes cuando se evalúa la calidad de las aguas para el consumo humano es la turbidez. No solo se ve estéticamente mal una agua turbia, también indica la existencia de contaminación por agentes químicos, físicos o microbiológicos. Este parámetro se basa en medir la transmisión de luz en el agua, funcionando como una regla para medir la calidad de materia suspendida y su unidad son la Unidad de Turbidez Nefelométrica (NTU). (Barriga y Sabino, 2020)

El potencial de hidrógeno o pH es un parámetro indicador que permite saber si una sustancia es básica, ácida o neutra. Este parámetro se calcula teniendo en cuenta los iones de hidrogeno y su concentración, factor del cual dependen reacciones biológicas y químicas. Un agua demasiado ácida o básica puede llegar a afectar la salud de las personas que lo consumen y, de igual forma, tiene gran influencia en el proceso de coagulación y floculación por lo que se necesita un pH específico para cada tipo de coagulante. (Maldonado, 2018)

El parámetro de color está relacionado a la turbidez, sus posibles causas son la presencia de material orgánico o residuos de carácter industrial, la presencia de este parámetro no siempre es un aspecto de gravedad a tratar, pero la apariencia turbia del agua puede llegar a ser un problema para las comunidades. El color se expresa como unidades platino cobalto (UPC). (Maldonado, 2018)

Se conoce por coagulante a los compuestos, ya sean químicos o naturales, que pueden reaccionar con la alcalinidad y otros componentes del agua para poder crear un precipitado absorbente y de gran tamaño. Dicho precipitado es insoluble y lo conforman pequeñas masas que se han ido aglomerando por acción del mismo agente coagulante. (Barriga y Sabino, 2020)

La coagulación se fundamenta en la neutralización de carga, esto lleva a la congregación de la materia que está suspendida en el agua. Por otro lado, la floculación es el proceso de agitación de dicha masa o coagulo con la finalidad de que estos aumenten de tamaño y se facilite su sedimentación. El resultado de las partículas que se juntan en masas de pequeño tamaño, con un peso específico superior al agua, son conocidos como flóculos. Es proceso es utilizado para remover el nivel de turbidez orgánica e inorgánica con lenta sedimentación, para la remoción del color aparente y

verdadero, así como también la eliminación de algas, plancton, virus, bacterias y organismos patógenos. Esta remoción constituye la desaparición de impurezas que afectan negativamente al pH y se encuentran dispersas en el agua. (Barriga y Sabino, 2020)

Luego de la formación de flóculos sigue el proceso de sedimentación, este proceso se basa en la remoción de las partículas suspendidas en un líquido por medio de la acción gravitacional, dichas partículas se hunden al tener un peso específico mayor al fluido en el que flotan, resultando en la clarificación de este. (Gil, 2018)

Como producto del tratamiento de las aguas se obtienen los lodos sedimentados, la disposición de estos representa un costo adicional y además requieren procedimientos para ser tratados tales como la incineración o digestión. Sin embargo, estos lodos pueden ser aprovechados ya sea para la nutrición de los vegetales en la agricultura o como mejoramiento de suelos debido a su valiosa carga orgánica. (Chuquipul y Rojas, 2019)

Los coagulantes naturales y químicos cumplen su función durante el proceso inicial de coagulación. Asimismo, es común el usar coagulantes de origen vegetal como coadyuvantes en el proceso del tratamiento, teniendo como resultado una mejora en las características de sedimentación de los flóculos. (Barriga y Sabino, 2020)

Los coagulantes naturales son sustancias que se disuelven en el agua, provienen de materia de origen animal o vegetal estos funcionan de manera parecida a los coagulantes de origen sintético, creando aglomerados con las partículas suspendidas que se encuentran en el agua cruda, haciendo más fácil el proceso de sedimentación y disminuyendo el grado de turbidez inicial del agua. Asimismo, ciertos coagulantes tienen propiedades antimicrobianas, logrando así la eliminación o reducción de los

elementos patógenos que suelen causar enfermedades al ser consumidos. (Ramírez y Jaramillo, 2015)

El aumento en el desarrollo y el mayor uso de estas sustancias naturales, extraídas de microorganismos, animales o vegetales se debe a que son biodegradables y no representan daño alguno para la salud de los seres humanos, además, genera una menor cantidad de lodos residuales, siendo este volumen un 30% menor a los producidos empleando coagulantes de origen sintético. (Ramírez y Jaramillo, 2015)

Las especies vegetales usadas como materia prima, tales como la *Solanum Tuberosum*, *Prunus persica*, *Persea americana*, *Caesalpinia spinosa*, *Moringa oleífera*, *Austrocy lindropuntia floccosa* y la *Opuntia ficus-indica* encuentran su razón de uso en los polímeros orgánicos naturales que las componen. Dichos agentes coagulantes activos son en su mayoría proteínas o polisacáridos, estos tienen una eficaz capacidad de coagulación y floculación de una amplia variedad de contaminantes que se pueden encontrar en el agua. Esto lleva a describirlos como una fuente alternativa y sumamente viable que no está lo suficientemente explorada. (Bravo, 2017)

Los polímeros naturales más importantes se encuentran en semillas, tubérculos y raíces, se compone por dos componentes de glucosa: la amilopectina y la amilosa. Se debe determinar con anterioridad la cantidad del agente coagulante que se suministrará durante el tratamiento del agua, lo cual se conoce como dosis óptima. Dicha dosis a una concentración determinada permitirá formar flóculos más compactados y una mayor velocidad de sedimentación, esto dará como resultado un alto porcentaje de reducción del parámetro de turbidez. (Barriga y Sabino, 2020)

El proceso para la obtención del coagulante de origen vegetal normalmente consiste en la recolección de la especie con la que se planea trabajar, luego se procesa el vegetal

para obtener el insumo con el que se hará el coagulante, ya sea cortándolo o moliéndolo. Este material obtenido es llevado a una máquina de secado, a fin de llevar el insumo a una alta temperatura durante una determinada cantidad de tiempo. Luego de ser secado pasa a un mortero para ser triturado, con el fin de convertirlo en un polvo fino. Este polvo es tamizado para su posterior almacenamiento según el tamaño de las partículas obtenidas. (Barriga y Sabino, 2020)

El proceso físico en el cual los sólidos son separados a través de un medio poroso se llama filtración, cuando se trata de un medio líquido se retienen los sólidos de un tamaño mayor al de la porosidad y pasan las partículas de menor tamaño y el líquido. Para el tratamiento de aguas de río y su captación se utilizan generalmente las mallas filtrantes, este elemento retiene los residuos orgánicos e inorgánicos de gran tamaño. (Solís, 2017)

La *Caesalpinia spinosa*, también conocida como “tara”, es una especie de leguminosa sudamericana que tiene una suma importancia económica y biológica. El mucilago se encuentra dentro del endospermo de la semilla, esta parte es donde se reservan los nutrientes para el desarrollo del embrión, las semillas miden aproximadamente 0.7 cm y el endospermo conforma un 24% de su peso total. Para separar eficazmente el mucilago, también llamado “goma” una vez procesado, se utilizan procesos mecánicos y térmicos, una vez obtenido el endospermo separado se muele a un tamaño de partículas finas y se comercializa como goma de tara. (ALNICOLSA, 2020)

La goma obtenida de las semillas de la tara es un polvo de color claro que actúa como espesante cuando se mezcla con el agua, es un polisacárido de alto peso molecular conformado por manosa y galactosa. Al calentar una solución con esta goma

se acelera su potencial de viscosidad, aunque su viscosidad en agua fría es mayor a la de otras gomas de uso industrial. Se debe tener en cuenta que usando este coagulante natural se tienen altas viscosidades a mínimas concentraciones, ya que si sobrepasa el 1% de concentración la viscosidad alcanzada podría ser excesiva. Por otro lado, funciona en un rango amplio de pH, teniendo una viscosidad constante entre un rango de 1 – 10.5, aunque el rango óptimo para acelerar el proceso de coagulación es de 7.5 – 9 de pH. (ALNICOLSA, 2020)

Los biofiltros son mecanismos formados por una capa filtrante biológicamente activa, que eliminan una gran cantidad de agentes contaminantes que provienen de una corriente ya sea de aire o de agua, a través de procesos biológicos. Este dispositivo puede funcionar como un aparato que retiene las partículas suspendidas en el flujo y como base para la actividad biológica. (Chuquipul y Rojas, 2019)

La calidad del agua en la actualidad representa una importante preocupación para el desarrollo del mundo, debido a que las fuentes superficiales de agua y su calidad se encuentran en riesgo por la creciente contaminación, esto tiene graves consecuencias en la salud de los seres humanos, en especial en los niños, siendo así un obstáculo para el pleno desarrollo sostenible de naciones y comunidades. (Ramírez y Jaramillo, 2015)

El progreso de actividades humanas tales como la ganadería, la agricultura y las industrias, sumados a un descontrolado crecimiento y desarrollo de ciudades debido a la falta de normas y programas para estos aspectos de cambio da lugar a las condiciones esenciales para que la contaminación avance, sometiendo a las fuentes de recursos hídricos factores contaminantes físicos, químicos y biológicos. Teniendo en cuenta las condiciones en las que se encuentra la calidad de los recursos hídricos se requieren urgentes medidas para la descontaminación del agua, buscando alternativas en base

investigaciones previas para un tratamiento que asegura la mejoría de la calidad de este recurso. (Ramírez y Jaramillo, 2015)

Para asegurar la conservación de la calidad del medio ambiente se han establecido los Estándares de Calidad Ambiental a través del MINAM. Estos ECAs determinan los valores máximos permitidos de los agentes contaminantes en el medio, ya sea agua, aire, etc. El decreto supremo 004-2017-MINAM fija los niveles máximos de concentración de las sustancias, elementos, parámetros fisicoquímicos y biológicos, que se pueden encontrar en un cuerpo receptor de agua que no representen ningún daño o riesgo importante para el medio ambiente y la salud de las personas. Estos estándares aprobados pueden ser aplicados a los cuerpos de agua que se encuentren dentro de la región (MINAM, 2016)

Uno de los parámetros de mayor importancia en la calidad del agua para consumo humano es la turbidez. Además de tener un impacto negativo en la apariencia del agua para quienes la consumen, también puede indicar la existencia de una gran carga de contaminación por microorganismos o por sustancias químicas adheridas al agua, esto significa que habrá una mayor dificultad al realizar un tratamiento efectivo de desinfección. Este indicador mide los niveles de transmitancia de la luz en el agua, pudiendo determinar la calidad en relación a la materia suspendida coloidal y residual. (Barriga y Sabino, 2020)

Los propósitos descritos fundamentaron el objetivo de esta investigación, que es diseñar un biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez de las aguas superficiales del río Pollo provincia de Otuzco región La libertad, Perú 2021. Teniendo como objetivos específicos el diagnosticar los parámetros físico químicos pertenecientes al río Pollo, documentar los efectos de los coagulantes

naturales en los parámetros físico químicos de las aguas superficiales contaminadas, y finalmente formular una metodología para el uso del biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez de las aguas del río Pollo.

En esta investigación no se cuenta con hipótesis por ser una propuesta y, como lo explica Charaja (2011), no manipula las variables de la investigación al no someterlas a pruebas de experimentación.

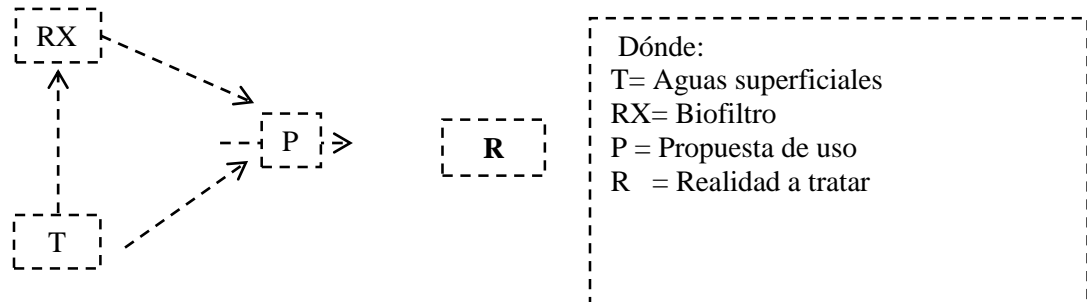


## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El presente estudio posee un enfoque cuantitativo debido a que, como explica APA (2016) en su guía para enfocar una tesis, se basa en la recolección de información y datos con medición numérica con el fin de responder preguntas de investigación en la interpretación de los efectos de los coagulantes naturales en la calidad de aguas superficiales. Por otro lado, es de diseño no experimental, ya que se realiza sin manipular deliberadamente variables. El fundamento de este diseño es explicado por Francisco Charaja (2011), el cual explica que las variables no se manipulan debido a que se presenta una solución a la problemática descrita, sin ser sometida a una experimentación. De igual forma, este estudio presenta un corte transversal debido a que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Asimismo, tiene por propósito principal el describir variables y analizarlas en un momento dado.

**Figura 1**

*Diagrama de tesis propositiva*



La presente investigación es de carácter descriptivo debido a que se enfoca en una realidad y su principal característica es la de elaborar una interpretación correcta de la variable calidad de aguas superficiales y coagulantes naturales (Mejía, 2020).

Según Toledo (2016), la población de una investigación está compuesta por todos los elementos que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de investigación. Tiene la característica de ser medida, cuantificada y estudiada, pudiendo catalogarse como finita o infinita. Esta se debe delimitar claramente en torno a sus características de contenido, lugar y tiempo.

Esta investigación consideró una población de tipo finita, ya que está formada por un limitado número de elementos que constituyen los estudios, el cual está conformado por todas las investigaciones de uso de coagulantes naturales en las aguas superficiales realizadas entre el 2010 y el 2020.

Según Zita (2018), la muestra es una parte representativa de una población donde sus elementos comparten características comunes o similares. Para poder obtener la muestra se empleó el método no probabilístico, dicho método consiste en seleccionar

a los individuos que convienen al investigador, los cuales serán las investigaciones de uso de coagulantes naturales en las aguas superficiales de los departamentos de Perú, realizadas entre el 2010 y el 2021. Para determinar la muestra se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

**a. Criterio de inclusión:** Artículos científicos publicados entre el 2010 y el 2021, que utilicen coagulantes naturales para el tratamiento de aguas superficiales de ríos pertenecientes a departamentos del Perú.

**b. Criterio de exclusión:** Fueron excluidos aquellos artículos publicados con anterioridad al año 2010, usaron únicamente coagulantes de origen químico, se realizaron en cuerpos de agua no superficiales y si las investigaciones no fueron realizadas en Perú.

Teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión para obtener la muestra, se procedió a determinar los métodos, técnicas de investigación e instrumentos de recolección.

A través del método inductivo – deductivo se logró analizar las variables del estudio y crear una solución con significancia científica, como lo es el tratamiento del agua de río con coagulantes naturales. El método inductivo es una forma de razonar partiendo de una serie de observaciones particulares que permiten la producción de leyes y conclusiones generales. Se basa en la observación de hechos y fenómenos y tiene el objetivo de generar nuevo conocimiento. Por otro lado, el método deductivo es una forma de razonar y explicar la realidad partiendo de leyes o teorías generales hacia casos particulares. (Arrieta, 2018)

Según Raffino (2020), las técnicas de investigación son el conjunto de

herramientas, procedimientos e instrumentos utilizados para obtener información y conocimiento. Se utilizan de acuerdo a los protocolos establecidos en cada metodología determinada. Las técnicas de investigación son las herramientas y procedimientos disponibles para un investigador cualquiera, que le permiten obtener datos e información. Sin embargo, no garantizan que la interpretación o las conclusiones obtenidas sean correctas o las que se buscaban.

Debido a esto, la técnica usada para la recolección de información en el estudio fue la observación y análisis documental de las investigaciones científicas sobre el uso de coagulantes naturales en aguas superficiales de los departamentos del Perú realizadas entre los años 2010 y 2021.

Los instrumentos de investigación son los recursos que el investigador puede utilizar para abordar problemas y fenómenos y extraer información de ellos: formularios en papel, dispositivos mecánicos y electrónicos que se utilizan para recoger datos o información sobre un problema o fenómeno determinado. El autor Oscar López (2011) indica que los instrumentos son un recurso del que puede valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. Dentro de cada instrumento pueden distinguirse dos aspectos diferentes: una forma y un contenido.

El instrumento utilizado para el recojo de información fue un registro de datos e información evidenciado en el Anexo 1, el cual se basó en las investigaciones científicas sobre el uso de coagulantes naturales en aguas superficiales realizadas entre los años 2010 y 2021.

Se elaboró una base de datos con la información recolectada según los criterios especificados de inclusión, a través de la plataforma Google académico como

biblioteca científica. El objetivo de esta base de datos es contar con información y datos acerca de los diferentes efectos favorables de los coagulantes naturales en la calidad de aguas superficiales de los departamentos del Perú en los cuales se realizaron los estudios, en un periodo determinado de tiempo. Se tuvieron en cuenta los parámetros estudiados en cada investigación, siendo estos el pH, la turbidez, los Sólidos Suspendidos Totales, el color, el DBO y DQO.

Con la finalidad de llevar a cabo el objetivo general se analizaron estudios antecedentes y, teniendo los datos y dimensiones óptimas, se procedió a crear un diseño en 3D de un biofiltro viable y económico para el tratamiento de la turbidez en las aguas del río Pollo. Dicho diseño se compone de un tanque principal de tratamiento con un motor DC, un tanque de reserva del agua tratada, mallas filtrantes y las tuberías conectoras entre cada tanque.

Para cumplir con el primer objetivo establecido, el diagnóstico de las características físico químicas del río Pollo, se sintetizó la información de investigaciones previas que buscaban resaltar la problemática existente en el recurso hídrico obtenido datos de los parámetros químicos, biológicos y físicos de las aguas de dicho río.

Para documentar los efectos de los coagulantes naturales en los parámetros físico químicos de las aguas superficiales contaminadas se utilizó la recolección y análisis de documentos sobre el uso de dichos agentes naturales en el tratamiento de la contaminación presente en aguas de diferentes ríos. Luego de recolectar la información se procedió a organizar los datos en tablas según el segundo objetivo propuesto, según características como la especie vegetal que se utilizó como insumo para el coagulante, la concentración óptima utilizada y los distintos parámetros

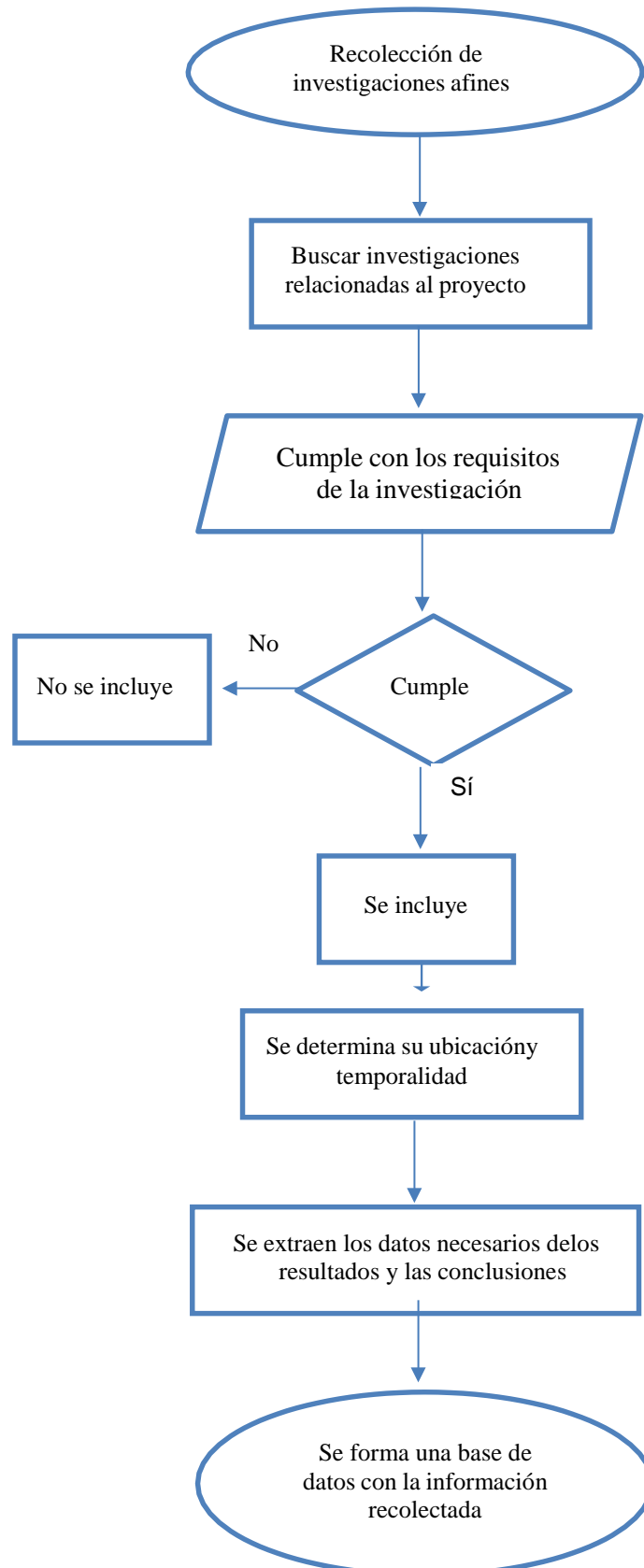
físico-químicos estudiados, siendo estos el pH, turbidez, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda biológica de oxígeno, Demanda química de oxígeno y el color.

Cada estudio tuvo un enfoque diferente al utilizar los coagulantes naturales, sin embargo, todos buscaron lograr la reducción o remoción de los parámetros antes mencionados y luego de analizar la efectividad de cada especie vegetal se optó por usar el mucilago de *Caesalpinia spinosa* para el desarrollo del diseño.

Para proponer el diseño del biofiltro, se plantea utilizar el diseño creado en 3D con el programa SOLIDWORKS (versión libre) del biofiltro teniendo en cuenta el caudal máximo del río, así como también las dimensiones de diseño y datos óptimos de los antecedentes estudiados, aplicándolos a la realidad por tratar. El diseño consta de 1 tanque de tratamiento, 1 tanque de almacenamiento del agua tratada, tuberías y mallas de plástico filtrantes y un motor DC para la agitación en el tratamiento. Luego se formó la metodología para implementar dicho diseño considerando el aspecto económico y sustentable, cuanto resulta el costo total y la viabilidad de su uso, la instalación del biofiltro, la capacitación para su uso doméstico y la cantidad obtenida de agua tratada. Esta propuesta de diseño se evidencia en el ANEXO 8.

**Figura 2**

*Flujograma del proceso de recolección de datos*



Con el fin de determinar la validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados, se obtuvo el visto bueno del asesor.

Con respecto al análisis estadístico, los datos de los trabajos científicos sobre el uso de coagulantes naturales en aguas superficiales realizadas entre los años 2010 y 2021, fueron evaluados con el uso del análisis estadístico descriptivo, obteniendo promedios y frecuencias con el programa estadístico SPSS IBM versión 26 (versión libre), esto con el fin de ordenar los datos e información obtenida a través de gráficos y tablas.

La información fue organizada en el programa Excel 2019 (versión libre) y se utilizó el programa SPSS IBM versión 26 (versión libre) para la elaboración de tablas y gráficos de carácter estadístico, permitiendo así la descripción de los resultados finales de las variables y fenómenos estudiados. Para realizar la redacción del informe de investigación se utilizó el programa Word 2019, contando con el paquete Microsoft Office Professional plus 2019. Para la elaboración de los modelos en 3D se utilizó el programa SOLIDWORKS 2017 (versión libre)

Todas las fuentes consideradas y consultadas en este estudio fueron citadas según la normativa APA séptima versión, esta información tendrá únicamente fines académicos, respetando los valores y teniendo como base el método científico. Toda la información perteneciente a la base de datos del presente proyecto ha sido tomada teniendo en cuenta su validez científica, respetando su valor e importancia tanto en el ámbito social como en el desarrollo científico.



### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### Diagnóstico de los parámetros fisicoquímicos pertenecientes al río Pollo

Para diagnosticar los parámetros físico químicos se tuvieron en cuenta los ECA establecidos por el MINAM en el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, Categoría 1 y 3 (Anexo 5 y 6). Se consideró la categoría 3 para evaluar estas aguas debido a que se busca conseguir una calidad con la cual se pueda utilizar para riegos de cultivos y bebida de animales. Con respecto a la categoría 1, se plantea la posibilidad que luego de pasar por los debidos tratamientos el agua se pueda usar para el consumo humano.

De igual forma, debido a la suma importancia y precisión que representa, se analizaron los resultados de la investigación de la Autoridad Nacional del Agua en los años 2015 y 2019, y de Bravo M. y Gutiérrez J. (2016), en sus monitoreos de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Pollo, presentando los valores pertenecientes al mismo en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Parámetros físico-químicos del agua superficial del río Pollo.*

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS 2015 - 2019
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	814.7 - 597,7
Oxígeno disuelto	mg/L	7.96 - 6.98
Turbidez	NTU	42.6*
Potencial de hidrogeno	pH	8.44 - 8.9
Temperatura	°C	16.6 - 17.43
Aceites y grasas	mg/L	< 1,0
DBO5	mg/L	3 - 5
DQO	mg/L	6 - 12

Sólidos suspendidos totales	mg/L	41
-----------------------------	------	----

---

Fuente: Informe del ANA (2015 y 2019), Bravo M. y Gutiérrez J. (2016) \*

### **Análisis de los efectos de los coagulantes naturales en los parámetros físico químicos de las aguas superficiales contaminadas**

Para evidenciar los efectos de los coagulantes naturales en los parámetros físico químicos de las aguas superficiales, se consideraron las especies vegetales que fueron *Aloe vera* “penca sábila”, *Austrocylindropuntia floccosa* “huaraco”, *Caesalpinia spinosa* “tara”, *Manihot esculenta* “yuca”, *Moringa oleifera* “moringa”, *Musa × paradisiaca* “plátano”, *Opuntia ficus-indica* “penca”, *Persea americana* “palta”, *Prunus persica* “durazno”, *Solanum phureja* “papa criolla” y *Solanum tuberosum* “papa”. Se tomaron en cuenta los parámetros tratados en los estudios recolectados y los resultados que el tratamiento tuvo en estos, como el porcentaje de remoción de turbidez o sólidos suspendidos totales, de igual forma se consideró la concentración óptima del coagulante natural aplicada en los tratamientos; estos resultados se pueden evidenciar en la Tabla 2.

En la tabla 3 se presentan las especies vegetales y sus diferentes insumos usados para generar los coagulantes naturales (mucilago). Cabe mencionar, que la especie *Caesalpinia spinosa* en la investigación de Vilavila (2018), tuvo el mayor porcentaje de remoción, mientras que Neciosup et al. (2019) trabajó con *Solanum tuberosum*, *Manihot Esculenta* y *Opuntia ficus-indica* obtuvieron el menor porcentaje.

Las Revoluciones por minuto (RPM), la concentración o dosis óptima y el tiempo de reposo para la sedimentación son factores sumamente importantes que afectan el resultado del tratamiento; en la tabla 4 se especifican estas condiciones para cada una de las especies vegetales estudiadas. Al puntualizar los diferentes efectos que los coagulantes producen en la calidad de las aguas superficiales de los ríos obtiene una lista referencial de dichos efectos, evidenciada en la tabla 5.

**Tabla 2**

*Tratamiento de las aguas superficiales de diferentes ríos según especies vegetales, autor, concentración óptima y parámetros físico-químicos*

Autor	Especie vegetal	Concentración o dosis óptima	pH final	PARÁMETROS				
				% Remoción de turbidez	% Remoción de SST	% Remoción de DBO	% Remoción de DQO	% Reducción de color
Neciosup et al.	<i>Solanum tuberosum</i>		-	30.5	-	-	-	-
	<i>Manihot esculenta</i>	250000 ppm	-	30.5	-	-	-	-
	<i>Opuntia ficus-indica</i>	250000 ppm	-	30.5	-	-	-	-
Barriga L. y Sabino K.	<i>Solanum Tuberosum</i>	30 ppm	-	86.69	-	-	-	-
Barbaran et al.	<i>Prunus persica</i>	15 ppm	6.4	92.95	60.65	-	-	-
	<i>Persea americana</i>	5 ppm	6.7	48.92	19.77	-	-	-
Bravo M. y Gutiérrez J.	<i>Caesalpinia spinosa</i>	3000 ppm	-	79.06	17.07	43.51	38	-
Vásquez B. y Zapata T.	<i>Manihot esculenta</i>	30 ppm	-	84.68	-	-	-	-
	<i>Musa × paradisiaca</i>	30 ppm	-	81.79	-	-	-	-
	<i>Solanum phureja</i>	30 ppm	-	83.53	-	-	-	-
Vela C.	<i>Moringa oleifera</i>	20 ml	-	93.1	-	-	-	-
Maldonado A.	<i>Manihot esculenta</i>	1 ppm	-	53.57	-	-	-	48
Chávez J.	<i>Austrocylindropuntia floccosa</i>	80 ml	-	89.05	-	-	-	-
Morales J.	<i>Aloe vera</i>	1800 ppm	-	60.14	-	-	-	-
Vilavila S.	<i>Caesalpinia spinosa</i>	15 ppm	7.51	99.38	-	-	-	-

**Tabla 3**

*Porcentaje de remoción de turbidez de las aguas superficiales de diferentes ríos, según insumo utilizado de cada especie vegetal empleada como coagulante natural.*

<b>Insumo utilizado</b>	<b>Especie vegetal</b>	<b>% Remoción de turbidez</b>
ALMIDÓN	<i>Manihot esculenta</i>	84.68
	<i>Manihot esculenta</i>	53.57
	<i>Musa × paradisiaca</i>	81.79
	<i>Solanum phureja</i>	83.53
	<i>Manihot esculenta</i>	30.5
CÁSCARA	<i>Opuntia ficus-indica</i>	30.5
	<i>Solanum Tuberosum</i>	86.69
	<i>Solanum tuberosum</i>	30.5
MEDULA	<i>Austrocylindropuntia floccosa</i>	89.05
MUCILAGO	<i>Aloe vera</i>	60.14
	<i>Moringa oleifera</i>	93.1
	<i>Caesalpinia spinosa</i>	99.38
	<i>Caesalpinia spinosa</i>	79.06
SEMILLA	<i>Persea americana</i>	48.92
	<i>Prunus persica</i>	92.95

**Tabla 4**

*Aspectos del tratamiento de las aguas superficiales de diferentes ríos según la especie vegetal, concentración o dosis óptima, revoluciones por minuto y tiempo de reposo.*

Especie vegetal	Concentración o dosis óptima (ppm)	Revoluciones por minuto (RPM)		Tiempo de reposo (minutos)
		Velocidad Rápida	Velocidad Lenta	
<i>Solanum Tuberosum</i>	30 ppm	100	40	-
<i>Caesalpinia spinosa</i>	3000 ppm	300	45	60
<i>Manihot esculenta</i>	30 ppm	200	25	30
<i>Musa × paradisiaca</i>	30 ppm	200	25	30
<i>Solanum phureja</i>	30 ppm	200	25	30
<i>Moringa oleifera</i>	20 ml	300	80	60
<i>Manihot esculenta</i>	1 ppm	200	150	-
<i>Aloe vera</i>	1800 ppm	100	50	15
<i>Caesalpinia spinosa</i>	15 ppm	300	40	20

**Tabla 5**

*Efectos del tratamiento con coagulantes naturales en las aguas superficiales de ríos según las especies vegetales estudiadas.*

<b>Especie vegetal</b>	<b>Efectos</b>
<i>Aloe vera</i>	
<i>Austrocylindropuntia floccosa</i>	
<i>Caesalpinia spinosa</i>	
<i>Manihot esculenta</i>	
<i>Moringa oleifera</i>	
<i>Musa × paradisiaca</i>	
<i>Opuntia ficus-indica</i>	
<i>Persea americana</i>	
<i>Prunus persica</i>	
<i>Solanum phureja</i>	
<i>Solanum tuberosum</i>	
<i>Prunus persica</i>	
<i>Persea americana</i>	
<i>Caesalpinia spinosa</i>	
<i>Persea americana</i>	
<i>Caesalpinia spinosa</i>	
<i>Prunus persica</i>	
<i>Manihot esculenta</i>	
<i>Caesalpinia spinosa</i>	
	Remoción de la turbidez
	Reducción de SST
	Neutralización de pH
	Reducción de color
	Reducción de DBO y DQO

## Diseño del biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa*

Se realizó un diseño económico y viable de biofiltro, constituido primeramente por una tubería de captación colocada en el cauce del río, contando con una malla plástica filtrante para evitar el ingreso de residuos sólidos grandes; tales como hojas y basura. Dicha tubería lleva el agua al tanque de tratamiento en el cual se añade el mucilago de tara y con el uso de un motor de corriente continua conectado a un sistema giratorio se lleva a cabo el proceso de coagulación. Finalmente, los lodos generados en el proceso se desechan por un caño colado en la parte inferior del tanque y el agua tratada pasa por una malla filtrante para llegar al tanque de almacenamiento, el cual llevará una tapa para protegerse de los elementos y un caño para facilitar la salida del agua tratada.

De igual forma, los tanques se deberán colocar a aproximadamente 1.20 metros de altura sobre el suelo para su fácil manipulación y evitar el ingreso de animales o agentes indeseados.

El largo de la tubería de captación dependerá de la cercanía de la vivienda al río, para los propósitos de este proyecto se tomará como punto de referencia el punto de muestreo más contaminado del estudio de Salirrosas (2014), en las inmediaciones del puente Arequipa ubicado en las coordenadas 7°54'00.5"S 78°34'00.3"W, por lo que la tubería de captación podrá medir aproximadamente hasta 10 metros de largo.

Este diseño se planificó teniendo en cuenta el caudal máximo de diseño y el caudal medio del río Pollo obtenido en el estudio de Idelfonso y Zarate (2020), siendo estos factores de 42.77 m<sup>3</sup>/s y 4.97 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

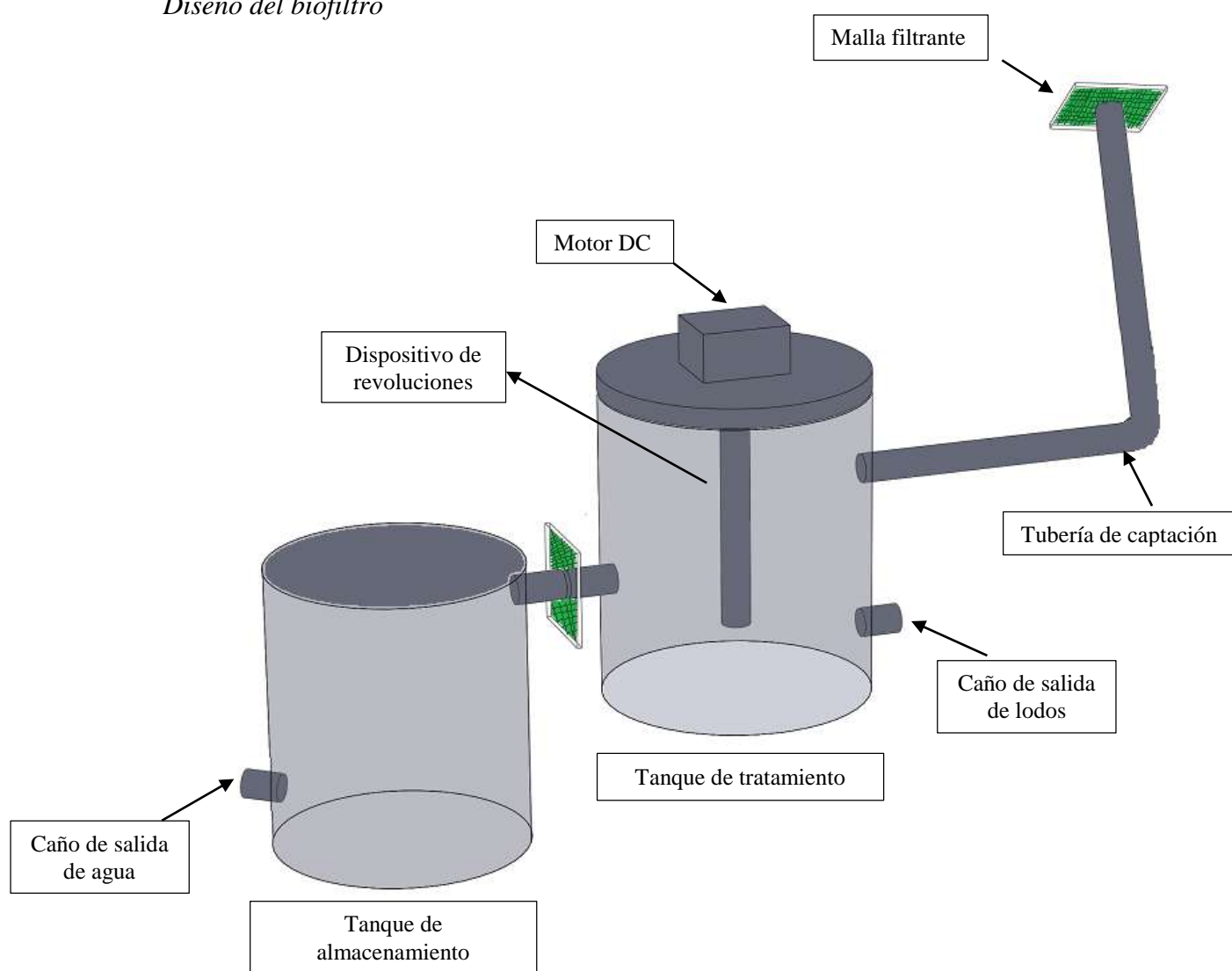


### Metodología para el uso del biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa*

Para establecer la propuesta metodológica del diseño de biofiltro empleado, se optó por el uso de *Caesalpinia spinosa* “tara” y se buscó aplicar el mucilago que envuelve a las semillas para reducir la turbidez de las aguas superficiales contaminadas del río Pollo. En la tabla 6 se detallan los aspectos principales de la propuesta

**Figura 3**

*Diseño del biofiltro*



**Tabla 6**

*Propuesta de diseño de biofiltro usando especie Caesalpinia spinosa para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad*

---

**Propuesta de diseño de biofiltro usando especie *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad**

---

**Resumen**

Las fuentes de aguas superficiales tales como los ríos son de extrema importancia para el sustento de las actividades de las comunidades, tal es el caso del río Pollo, situado a 1 hora y media de la ciudad de Trujillo, La Libertad. Es bien sabido que este río sufre de un grave problema de contaminación que no ha cambiado con el pasar de los años, los pobladores arrojan su basura y vierten los efluentes resultantes de las actividades como el lavado de ropa, de igual forma, los alcantarillados y las vertientes de las industrias desembocan en dicho río. Todos estos factores conllevan a una alteración en los parámetros físicos, químicos y biológicos que determinan si las aguas pueden ser usadas para el consumo humano, riego de plantas o bebida de animales. Es por esto que se crea un diseño y propuesta de un biofiltro usando como base la especie *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad.

---

En el estudio realizado por Bejarano en el 2018 tuvo por objetivo, determinar la calidad del agua de la microcuenca del río Pollo - Distrito de Otuzco, empleando como bioindicadores a macroinvertebrados acuáticos. El desarrollo involucró el uso de tres puntos de muestreo. Se concluyó que la calidad del agua de la microcuenca, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en los puntos de muestreo PM1 y PM2 es de regular calidad, y en el PM3 posee una calidad pésima.

**Antecedentes**

En el año 2014, Salirrosas determinó que las aguas superficiales de la cuenca del río Pollo, tienen variaciones altas por perturbaciones por contaminación, como resultado de la actividad agropecuaria, que arrastra sedimentos desde fuentes difusas como tierras agrícolas y poco forestadas, poblaciones y minería informal; midiéndose concentraciones significativas de nitrógeno, fosfato, nitratos, amonio y O<sub>2</sub> disuelto. Se concluyó que las aguas del río Pollo se encuentran altamente alteradas, principalmente en la tercera estación estudiada.

Bravo y Gutiérrez 2016 tuvieron como objetivo en su estudio el evaluar la utilización de la Tara (*Caesalpinia Spinosa*) como un coagulante natural para descontaminar aguas de río, recolectando agua natural del río Pollo. Se diseñó un método para la extracción del insumo, se obtuvo la concentración óptima de coagulante y las velocidades de agitación más efectivas.

Gil en el 2018 diseñó un biofiltro en base a un coagulante natural para el tratamiento de las aguas de río, estableciendo una metodología y dimensiones óptimas para el funcionamiento del mecanismo.

<b>Objetivos</b>	General	Proponer el diseño de biofiltro usando especie <i>Caesalpinia spinosa</i> para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad	
	Específicos	Delimitar la zona de aplicación del biofiltro en el río Pollo, La Libertad. Formar una metodología con el biofiltro para tratar la problemática de contaminación.	
<b>Localización</b>	El río Pollo se encuentra ubicado en la provincia de Otuzco, ciudad localizada en las coordenadas 7°53'54" de Latitud Sur y a 78°33'45" de Longitud Oeste, sobre una superficie de 444.10 Km2. El río Pollo discurre por el lado Este de la ciudad que altitudinalmente se halla entre los 2492 y 4110 msnm.		
<b>Alcance</b>	El proyecto está dirigido a los pobladores aledaños que consumen las aguas del río Pollo.		
<b>Plan de acción</b>	Elaboración del coagulante	Para la elaboración del coagulante, se obtendrá el insumo de goma de la empresa AGROBAYER, luego se pesará la cantidad necesaria para preparar las concentraciones óptimas, una vez pesado se disuelve en un vaso con agua destilada hasta obtener una solución gelatinosa y homogénea.	
	Diseño del biofiltro	Parámetros de diseño	Para el funcionamiento óptimo del biofiltro se deben cumplir con dimensiones y concentraciones determinadas, con este fin se adaptó el diseño de Gil 2018 para el biofiltro y de Bravo y Gutiérrez 2016 para las dosis de coagulante y revoluciones por minuto.
		Descripción de equipos	Tanque de captación Tanque de tratamiento

	Motor DC	Tuberías
Criterios de diseño	El criterio del diseño será directamente relacionado a las necesidades de la comunidad que sufre la problemática a tratar, determinando los litros necesarios para las actividades y las dimensiones requeridas para llegar a dicho volumen.	
Dimensionamiento	Los tanques de captación y almacenamiento tendrán una capacidad de 10 litros, mientras que el de tratamiento será de 15 litros.	
Área de instalación	El área mínima requerida para establecer el biofiltro será de 5 m <sup>2</sup>	

### Resultados esperados

- Crear una propuesta viable de diseño de biofiltro usando especie *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad para resolver la problemática de contaminación que afecta a las aguas y a los pobladores que la consumen.
- Reducir los valores de turbidez de las aguas contaminadas a un nivel aceptable bajo al ser comparado con los Estándares de Calidad de Agua (Categoría 3) establecidos por el MINAM.

## CAPÍTULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

En la presente investigación se analizaron datos y estudios que demuestran que los coagulantes naturales tienen efectos positivos en la calidad de las aguas superficiales de los ríos, ya sea reduciendo los niveles de turbidez o neutralizando el pH para llevar los parámetros a niveles permitidos por los Estándares de calidad establecidos. Según lo asevera Bravo (2017), esto los convierte en una alternativa viable y ecológica a los químicos que se suelen usar en la industria, ya que cumplen con su función y tienen un impacto negativo para la salud de los seres vivos.

Respondiendo al objetivo principal de la investigación, teniendo en cuenta los diseños creados por Gil P. (2018), se diseñó un biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa*, estando conformado por 2 rejillas filtrantes de plástico, 1 tanque de tratamiento, 1 tanque de reserva y un motor de corriente continua y accesorios que permitan las revoluciones necesarias para llevar a cabo la homogenización del tratamiento, todos estos elementos se pueden apreciar en las Figuras 13 – 21.

El primer marco con la malla será ubicado en la tubería de captación del agua del río y funcionará como primer filtro ante los sólidos de gran tamaño; tales como, hojas o basura que se encuentren en el río y permita que al agua fluya sin obstáculos. La segunda se colocará entre el tanque de tratamiento y almacenamiento, teniendo como función el retener algún flóculo que no se haya sedimentado.

El proceso de filtración física se basa en la teoría de Solís (2017), quien explica que la filtración es el proceso físico en el cual los sólidos son separados a través de un medio poroso, cuando se trata de un medio líquido se retienen los sólidos de un tamaño mayor al de la porosidad y pasan las partículas de menor tamaño y el líquido.

El tanque de tratamiento donde se llevará el proceso de coagulación utilizando 25 ml de la solución de mucilago de Tara por cada litro de agua, tiene una capacidad de 15 Litros y contará con un caño en la parte inferior para desechar los lodos generados en el proceso. En el centro de la tapa de este tanque se colocará un mecanismo de agitación que funciona con un motor de corriente continua a velocidad rápida de 300 RPM por 90 minutos y luego a 45 RPM por 25 minutos, para luego dejar sedimentando por 1 hora.

El funcionamiento de este diseño se fundamenta en la teoría expuesta por Barriga y Sabino (2020), quien postula que la neutralización de carga por los polímeros del coagulante lleva a la congregación de la materia que se encuentra suspendida y disuelta en el agua; por otro lado, la floculación es el proceso de agitación de dicha masa o coagulo con la finalidad de que estos aumenten de tamaño y se facilite su sedimentación. El resultado de las partículas que se juntan en masas de pequeño tamaño, con un peso específico superior al agua, son conocidos como flóculos. Esta remoción constituye la desaparición de impurezas que afectan negativamente al pH y se encuentran dispersas en el agua.

Para establecer la dosis de coagulante, las revoluciones y los tiempos se tuvieron en cuenta los resultados óptimos del estudio de Bravo y Gutiérrez (2016). Los investigadores Ramírez y Jaramillo (2015) sostienen que el mezclado rápido tiene por objetivo dispersar el insumo coagulante que fue añadido al agua y disminuir las fuerzas repulsivas de las partículas facilitando así la coagulación de estas. Por otro lado, el mezclado lento tiene el fin de mantener la mezcla de los componentes del agua y permitir la formación de grandes flóculos.

El tanque de reserva tiene una capacidad de 10 litros, el agua tratada se

almacenará en este recipiente para su posterior uso en el riego de vegetales bebida de animales. Teniendo en cuenta el diseño de Gil (2018), se espera que al final de cada proceso se generen 10 litros de agua tratada, cada proceso tomará aproximadamente 86 minutos.

Respondiendo al primer objetivo específico, con el fin de diagnosticar la calidad de las aguas del río Pollo se contrastaron los resultados de los análisis de la Autoridad Nacional del Agua (2019) y, de Bravo y Gutiérrez (2016) con los Estándares de Calidad ambiental presentados en el Anexo 5 y 6.

El alto grado de contaminación de las aguas del río Pollo encuentra su explicación en el estudio de Banchon (2016), el cual explica que un gran porcentaje de agua es utilizado para la agricultura y las industrias, esto genera una gran cantidad de efluentes con agentes químicos, físicos y biológicos contaminantes que son vertidos a las aguas de ríos y lagos sin algún tratamiento previo.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, los niveles del potencial de hidrógeno en las aguas estudiadas son de 8.9 y por lo tanto se encuentran fuera límites de 6.5 – 8.5 establecidos en la categoría 1 y 3, de igual manera, la turbidez al ser de 42.6 NTU sobrepasa los límites establecidos de 5 NTU para aguas que pueden ser potabilizadas por desinfección. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, el diagnóstico para la cuenca del río Pollo es que se encuentra contaminado por la acción antropogénica.

De igual forma, Navarro (2019), asevera que la microcuenca del río Pollo se encuentra en un pésimo estado ya que sobrepasa los límites y no cumple con los estándares de calidad, debido a que se obtuvieron resultados de 8.6 en pH y valores de coliformes totales de 920000 NMP/100ml y termotolerantes de 79000 NMP/100 ml en las aguas de la zona de muestreo 3. Asimismo, Guerrero y Gutiérrez (2016) también

obtuvieron niveles de DBO5 de 455 mg/L, DQO de 821 mg/L siendo los límites 15 mg/L y de 40 mg/L respectivamente.

Respondiendo al segundo objetivo específico, se documentaron los distintos efectos positivos de los coagulantes naturales en los parámetros físico químicos de las aguas superficiales contaminadas, estos datos presentados concuerdan con el estudio de Barriga y Sabino (2020), que afirma que los coagulantes naturales pueden tener un rendimiento igual o aún mejor a los de origen químico; asimismo presentan un valor agregado debido a su biodegradabilidad y nulo factor de riesgo para la salud humana, convirtiendo a estos coagulantes en el método más viable para el tratamiento de la calidad de aguas.

Como lo explica Barriga y Sabino (2020) los polímeros naturales más importantes se encuentran en semillas, tubérculos y raíces. Se debe determinar con anterioridad la cantidad del agente coagulante que se suministrará durante el tratamiento del agua, lo cual se conoce como dosis óptima. Dicha dosis a una concentración determinada permitirá formar flóculos más compactados y una mayor velocidad de sedimentación, esto dará como resultado un alto porcentaje de reducción del parámetro de turbidez. Por otro lado, la turbidez indica la existencia de contaminación por agentes químicos, físicos o microbiológicos. Se basa en calcular la transmisión de luz en el agua, funcionando como una regla para medir la calidad de materia suspendida y se mide en Unidad de Turbidez Nefelométrica (NTU por sus siglas en inglés).

El estudio de Maldonado (2018) asevera que el potencial de hidrógeno o pH es un parámetro de suma importancia que permite saber si una sustancia es básica, ácida



o neutra. Este parámetro tiene gran influencia en el proceso de coagulación y floculación por lo que se necesita un pH específico para cada tipo de coagulante. De igual forma explica que el parámetro de color está relacionado a la turbidez, sus posibles causas son la presencia de material orgánico o residuos de carácter industrial y se expresa como unidades platino cobalto (UPC).

Barriga y Sabino (2020) demostraron que el coagulante a base de harina de cáscara mostró un alto rendimiento como coadyuvante en la reducción de turbiedad, reduciendo altamente la dosis de sulfato de aluminio y cumpliendo su función, removiendo un 86.69% de la turbidez del agua. Contrastando con los resultados de López (2018) esta reducción de la dosis del coagulante químico resulta beneficiosa ya que, aunque cumpla su función, genera aumentos en la conductividad y el pH del agua, efectos que no se generan al usar coagulantes naturales.

La investigación de Barbaran et al (2017) tuvo como resultado que el coagulante de semilla de durazno resulta ser efectivo para la investigación, reduciendo en gran medida la turbidez y los sólidos suspendidos, y aumentando el pH a un nivel aceptable. De igual forma Cabrera (2017) utilizó un coagulante hecho a partir de la semilla de *Ipomoea incarnata* o “campanita”, que resultó ser eficaz en el tratamiento al remover el 99.18% de la turbidez en el agua.

Bravo y Gutiérrez (2016), determinaron que para obtener un eficaz resultado de remoción en la turbidez la concentración óptima de coagulante fue de 3000 ppm a un pH neutro, bajo estas condiciones se obtuvieron porcentajes de remoción de hasta 79.06%. Los resultados de Vásquez y Zapata (2019) indican que el almidón de yuca es el que más turbiedad removió, destacando como el más beneficioso debido a su grupo funcional que permite la desestabilización de suspensiones coloidales.

En el estudio de Vela (2016) se determinó que el coagulante natural tuvo un efecto favorable en la remoción de turbidez del agua llevando los valores iniciales de 297 NTU a un valor mínimo de 20.5 NTU a una concentración de 20 ml. Este efecto se repite en el estudio de Feria (2014), donde se removió un 90% de turbidez del río Sinú utilizando un extracto de semilla de moringa, concluyendo que puede ser una alternativa viable para el tratamiento del río antes mencionado.

Maldonado (2018) indica que la acción clarificante del coagulante a base de almidón de yuca logró reducir el color de agua a 70 UPC, representando un 48% de remoción del color, por otro lado, se logró reducir el parámetro de turbidez hasta un valor de 10.59 NTU. De igual forma Camacho (2019) utilizó el almidón de la papa y alcanzó aclarar las aguas de un humedal, ambos estudios utilizaron el alto contenido de polímero en los vegetales para lograr la coagulación y floculación de las partículas suspendidas en el agua.

Las pruebas de laboratorio del estudio de Chávez (2016) indicaron que la turbidez inicial era de 41.1 NTU. Luego de tratar las aguas con 80 ml del coagulante natural a una concentración de 1% se redujo la turbidez hasta un valor mínimo de 4.5 NTU, demostrando sus efectos positivos en el tratamiento de aguas.

El estudio de Vilavila (2018) tuvo como resultado que la goma de tara demostró ser superior al coagulante inorgánico, llevando el nivel de turbidez a un mínimo valor promedio de 1.09 NTU a una concentración de 15 mg/L, asimismo, logró amortiguar el cambio de pH llevándolo a 7.51. El efecto en el pH es similar a los resultados de Choque (2018), el cual además de reducir la turbidez del agua, logró aumentar el pH 7.58, colocándolo entre el rango aceptado por los Estándares de calidad sin alterar negativamente los otros parámetros del agua.

El estudio de Trujillo (2014) presentó complicaciones en el proceso de sedimentación debido a la lentitud con la que las partículas caían, esto demuestra que a pesar de los altos porcentajes de remoción de valores presenciados en el estudio no siempre se llegará a los resultados esperados, ya que mientras menor es la turbidez del agua más difícil resultara la remoción de las partículas.

Teniendo en cuenta las complicaciones en el procedimiento, Sandoval (2013) sugiere que para los tratamientos que no cumplieron pueden llegar a los resultados deseados añadiendo o modificando criterios como la velocidad de mezcla o el tiempo de sedimentación de los coagulantes, asimismo, pueden ser usados como coadyuvantes en el uso de coagulantes químicos, reduciendo considerablemente la concentración de dichos insumos.

Como lo asegura Aguirre (2018) todos estos efectos mencionados llevan a determinar que estas sustancias naturales son eficientes para tratar la problemática de contaminación en los ríos, ya que a diferencia de los químicos no altera de manera negativa los parámetros del agua ni representa ningún daño a las poblaciones o animales la consuman.

La especie vegetal *Caesalpinia spinosa* en el estudio realizado por Vilavila (2018) tuvo el mayor porcentaje de remoción de turbidez de todas las diferentes especies estudiadas en el presente proyecto, para llegar a este porcentaje se formó el coagulante natural a base de las semillas del mucilago de tara. Este resultado encuentra su explicación en la información brindada por ALNICOLSA S.A.C., se detalla que al procesar las semillas de la tara se obtiene un polisacárido útil como espesante con agua y como reactivo de adsorción y ligador de hidrógeno. La goma de tara para fines de coagulación es elaborada del endospermo de la semilla, estando constituida por

galactosa y manosa.

Sin embargo, Bravo y Gutiérrez (2016) utilizaron el mismo coagulante a base de tara para reducir la turbidez de las aguas del río Pollo, obteniendo un porcentaje de remoción final de 79.06%, este porcentaje resulta ser menor al del estudio de Vilavila (2018) el cual alcanzó una remoción de turbidez del 99.38%. Esto se debe a las diferentes concentraciones utilizadas, los diferentes tiempos de agitación en la prueba de jarras y las revoluciones por minuto. Además, Bravo y Gutiérrez (2016) asevera que mientras mayor sea la turbidez en el agua mayor será el porcentaje de remoción de esta, por lo cual recomienda aplicar el tratamiento cuando el cauce del río sea mayor y venga con más sedimentos y partículas.

Respondiendo al tercer y último objetivo, se desarrolló una propuesta de diseño de biofiltro teniendo en cuenta el diseño de Gil P (2018), este diseño se basa en la teoría descrita por Chuquipul y Rojas (2019), la cual dicta que los biofiltros son mecanismos formados por un agente orgánico filtrante, que elimina elementos contaminantes que provienen de una corriente ya sea de aire o de agua, a través de procesos biológicos.

Este diseño buscó solucionar la problemática que Salirrosas (2014) explica, ya que el río Pollo se encuentra a través de la ciudad de Otuzco, resultando en un recurso hídrico de gran importancia para la población aledaña y de igual forma creándose una problemática de contaminación debido a la actividad antropogénica que conlleva a la descarga de efluentes sin tratamiento y arrojo de basura a las aguas de la microcuenca.

Como subproducto de este proceso de tratamiento se generarán los lodos sedimentados, Banchon (2016) explica que, debido a sus características fisicoquímicas, los lodos residuales que son producto de los coagulantes naturales, se pueden aprovechar a modo de biosólidos.

Teniendo en cuenta que en el estudio de Salirrosas (2014) se determinó que el tercer punto de muestreo, las inmediaciones del puente Arequipa (Figura 8), es el más contaminado y se tomará como punto de referencia para el presente diseño. Esto debido a la cercanía con los pobladores al ser un punto recurrido y en el cual se arrojan todo tipo de desperdicios.

Como se puede apreciar en la tabla 8 (ANEXO 8), el costo total de este proyecto sería de 348 soles, este monto resulta viable debido a que es una suma mínima de dinero teniendo en cuenta los beneficios que produce; tales como el agua tratada para el riego de las plantas y bebida de animales y los lodos generados que pueden ser utilizados como abono para plantas. Así lo confirma Bravo y Gutiérrez (2016), quienes sostienen que luego del tratamiento correcto el agua podría ser usada con fines de regadío y para consumo de animales, lo cual representaría una gran ayuda para los habitantes de la zona que utilizan esta agua y, además, tienen gran disponibilidad de la *Caesalpinia spinosa* ya que es originaria de La Libertad.

Como se mencionó líneas arriba, Gil (2018) creó un diseño de biofiltro con un motor para la agitación del agua una vez empezado el tratamiento, se obtuvieron resultados de 75% de remoción de turbidez con la dosis de coagulante suministrada, Hernández et. Al. (2021) aplicó una variación al biofiltro al incluir piedra pómez que contengan biopelículas de *Saccharomyces cerevisiae* lo cual resultó en un 100% de remoción de la materia orgánica en el agua, probando ser un método eficaz.

Teniendo en cuenta los resultados se evidenciaron algunas implicaciones de interés académico y práctico, este estudio ha permitido la creación de una base de datos con investigaciones propias de departamentos del Perú, creando una referencia para próximos estudios sobre coagulantes naturales en aguas superficiales del país, aporta

a promover la generación de nuevas investigaciones y estudios que utilicen a los coagulantes de origen vegetal, beneficiosos para el medio ambiente y la salud de las personas, como insumo principal.

Asimismo, se logró diseñar un biofiltro para el tratamiento de las aguas del río Pollo en el departamento de La Libertad en base de los conocimientos adquiridos y poder así beneficiar a los pobladores aledaños al río y al medio ambiente de dicho departamento. Finalmente, motiva a próximos proyectos a tener en cuenta este tipo de coagulantes y sus beneficios para la calidad del agua y la salud de las personas para evitar usar los insumos químicos estándares.

Para futuras investigaciones se recomienda tener en cuenta las familias de las especies utilizadas en las investigaciones para su clasificación y comparación entre dichos grupos, resultando en tablas organizadas y categorizadas según las especies investigadas.

## CONCLUSIONES

Concluyendo con la investigación, se diagnosticaron los parámetros fisicoquímicos de la microcuenca del río Pollo, obteniendo valores que exceden los límites y estándares de calidad establecidos en el Decreto Supremo 004- 2017 MINAM, resaltando así la problemática a solucionar con la propuesta de uso de coagulantes naturales.

Se documentaron los efectos de los coagulantes naturales en las aguas superficiales de los ríos, tratando la problemática al llevar los parámetros físico químicos a niveles aceptables. Teniendo en cuenta los estudios analizados, la especie *Caesalpinia spinosa* “Tara” demostró ser la más eficaz para los propósitos de la investigación.

Se elaboró un diseño de biofiltro para el aprovechamiento de los coagulantes naturales y sus efectos favorables en la calidad de las aguas superficiales del río Pollo, utilizando como insumo principal el mucilago de tara extraído de las semillas de la especie vegetal a la *Caesalpinia spinosa*, ubicando el área de tratamiento en el cauce de la microcuenca.

Las limitaciones al realizar la investigación fueron la escasez de proyectos en los que se utilizaron coagulantes naturales y biofiltros para tratar aguas superficiales en el Perú, significando una dificultad al momento de crear la base de datos e información. Por otro lado, buscar la homogeneidad entre las investigaciones elegidas, es decir, procurar que tengan los mismos o similares parámetros estudiados para organizar los datos resulta un factor limitante al realizar la investigación.

## REFERENCIAS

- Aguirre S., et al (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica*, vol. 29 (3), 59 – 70.
- ALNICOLSA S.A.C. (2020). Goma de tara– Ficha técnica. Recuperado el 07/11/2022 de <http://taninos.tripod.com/goma.htm#:~:text=La%20goma%20de%20tara%20es%20un%20polisac%C3%A1rido%20soluble%20en%20agua,familia%20de%20las%20Caesalpinaceae%20leguminosas>.
- ANA (2014). Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Moche – La Libertad, febrero 2014.
- ANA (2019). RESULTADOS DEL MONITOREO 2019 DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO MOCHE. Informe técnico N° 033-2020.
- Arrieta E. (2018). Método inductivo y deductivo. Recuperado el 07/11/2020 de <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
- Banchon C., et al (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, vol. 7 (4), 111-126
- Barbaran H., et al (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus persica*) y palta (*Persea americana*). *SAGASTEGUIANA*, vol. 5 (1), 7-16.
- Barriga L. y Sabino K. (2020). Influencia de la Velocidad de Agitación y Concentración del Almidón de Cáscara de Papa (*Solanum Tuberosum*) como coadyuvante del Sulfato de Aluminio en la Remoción de Turbidez de las Aguas del Canal Madre



Chavimochic. Biblioteca digital, Universidad Nacional de Trujillo.

Bejarano A. (2018). Calidad del agua de la microcuenca del Río Pollo - distrito de Otuzco, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *ISSN, vol. 4 (1)*.

Bermeo D. y Salazar F. (2013). Diseño de un biofiltro de mucílago de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*) para remover arsénico. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil.

Bravo M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. (Proyecto de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas)

Bravo M. y Gutiérrez J. (2016). Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara). Biblioteca digital, Universidad Nacional de Trujillo.

Cabrera N., et al. (2017). Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica, Vol. 22, No. 1, 109-112*.

Camacho Oviedo, H., et al. (2019). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación E Innovación En Ingenierías, 8(1), 100-111*.

Charaja F. (2011). El MAPIC en la metodología de investigación. *Sagitario Impresores Puno Perú*.

Chávez J. (2016). Eficiencia del Coagulante a base de Huaraco (*Austrocylindropuntia floccosa*) en la disminución de la turbiedad en las aguas de la laguna Yanacocha – Pasco. Tesis. Universidad Cesar Vallejo.

Choque D., et al (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química, vol. 38 (2), 298-309*

- Chuquipul K. y Rojas M. (2019). Tratamiento del agua residual industrial mediante biofiltros y floculantes orgánicos por etapas, Puente Piedra-2019. Tesis. Universidad Cesar Vallejo.
- Dzul M. (2010). Aplicación básica de los métodos científicos. Recuperado el 14/11/2020 de [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI\\_Presentaciones/licenciatura\\_en\\_mercadotecnia/fundamentos\\_de\\_metodologia\\_investigacion/PRES38.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf)
- Feria J., et al (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, vol. 9 (1), 9-22.
- Gil P. (2018). Diseño de un biofiltro de mucílago de tuna (*Opuntia Ficus- Indica*) para remover arsénico. Tesis. Universidad San Pedro.
- Guzmán, L. et al (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *U.D.C.A Act. y Div. Cient.*, vol. 16 (1). 253-254.
- Hernández I. et al (2021). Tratamiento de agua residual de beneficio de café mediante un biofiltro de bajo costo. *Revista Ingeniantes 2021 Año 8 No. 1 Vol. 1*
- Idelfonso H. y Zarate P. (2020). Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca - Distrito Otuzco La Libertad.
- López M. (2018). Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas. (Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3541/lopez-perezmalena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- López O. (2011). Medición, técnicas e instrumentos de investigación. Recuperado el

08/11/2020 de <https://es.slideshare.net/oscarlopezregalado/instrumentos-de-investigacin-9217795>

Maldonado A. (2018). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín. Tesis. Universidad Nacional de San Martín.

Mardojai (2017). Exitosa campaña de erradicación de basura e inservibles hubo en río Pollo. Recuperado el 14/11/2020 de <https://enfocesperu.com/exitosa-campana-de-erradicacion-de-basura-e-inservibles-hubo-en-rio-pollo/>

Mejía T. (2020). Investigación descriptiva: características, técnicas, ejemplos. Recuperado el 14/11/2020 de <https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/>

MINAM (2016). Estudio de desempeño ambiental. <http://www.minam.gob.pe/esda/partes-dos-capitulo-8-agua/>

Morales J. (2018). Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano – Oxapampa – 2018. Tesis. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Municipalidad Provincial de Otuzco (2016). Información demográfica. Recuperado el 14/11/2020 de <https://muniotuzco.gob.pe/la-ciudad/informacion-demografica/>

Navarro T. (2019). Impacto antrópico sobre la calidad del agua del río Pollo, Otuzco, La Libertad, Perú, 2018. Tesis. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, ESCUELA DE POSGRADO, UNIDAD DE POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS.

Neciosup A., et al (2019). Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco. *Investigación*

*estadística. 2(1), 12-19.*

Normas APA (2016). ¿Cómo enfocar la tesis? Enfoque cuantitativo y cualitativo.

Recuperado el 13/11/2020 de <http://normasapa.net/tesis-enfoque-cuantitativo-cualitativo/>

Olivero R., et al (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia, vol. 8 (1), 19-27.*

OMS. (2012). Análisis y evaluación mundiales del saneamiento y el agua potable. *Panorama de la salud OECD.*

ONU. (2015). Decenio internacional para la acción “El agua fuente de vida”. *WM., vol.3 – 2015.*

Raffino E. (2020). ¿Qué son las técnicas de investigación? Recuperado el 08/11/2020 de <https://concepto.de/tecnicas-de-investigacion/>

Ramírez H. y Jaramillo J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de ciencias básicas, vol. 11 (2), 136-153.*

RPP (2013). Proyecto integral de agua potable busca descontaminar río Pollo. Recuperado el 13/11/2020 de <https://blogdelagua.com/actualidad/proyecto-integral-de-agua-potable-busca-descontaminar-rio-pollo/>

Salirrosas P. (2014). Calidad de ecosistema del río Pollo (Otuzco- La Libertad) en base a Indicadores bióticos y abióticos durante abril-octubre 2013. Biblioteca digital, Universidad Nacional de Trujillo.

Sandoval M., et al. (2013). *Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería. 17(2), 93- 101*

Solís A. (2017). “Hidráulica y de sistemas de riego: filtración de agua para riego”. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Toledo N. (2016). Técnicas de Investigación Cualitativas y Cuantitativas. Recuperado el 07/11/2020 de <https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf>
- Trujillo D., et al (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *ION*, vol. 27 (1), 17- 34.
- Vásquez B. y Zapata T. (2019). Influencia del tipo y dosificación de almidones naturales obtenidos de yuca blanca, plátano verde y papa amarilla, sobre el grado de turbidez en agua de riego de la empresa AGUALIMA, mediante el proceso de coagulación – floculación. Biblioteca digital, Universidad Nacional de Trujillo.
- Vela C. (2016). Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural *Moringa oleífera* en aguas obtenidas del rio ALTO CHICAMA, puente INGÓN, TRUJILLO 2016. Tesis. Universidad Cesar Vallejo.
- Vilavila S. (2018). Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018. Tesis. Universidad Peruana Unión.
- Zita A. (2018). Población y muestra. Recuperado el 07/11/2020 de <https://www.diferenciador.com/poblacion-y muestra/>

**BASE DE DATOS**

N°	Autor	Año	Título	DEPARTAMENTO
1	Neciosup Obando Aurora Rosa, Valderrama Ramos Isidoro, Nole Burgos Miguel Ángel	2019	Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco	La Libertad
2	Barriga Leytón, Leslie Herminia; Sabino Graus, Katheryne Del Pilar	2020	Influencia de la Velocidad de Agitación y Concentración del Almidón de Cáscara de Papa ( <i>Solanum Tuberosum</i> ) como Coadyuvante del Sulfato de Aluminio en la Remoción de Turbidez de las Aguas del Canal Madre Chavimochic	La Libertad
3	Hellen Barbarán Silva, Jhanny López Chávez, Julio Chico Ruíz	2017	REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DE AGUA CON COAGULANTES NATURALES OBTENIDOS DE SEMILLAS DE DURAZNO ( <i>Prunus persica</i> ) Y PALTA ( <i>Persea americana</i> )	La Libertad
4	Bravo Guerrero, Milagros María De Fátima; Gutiérrez López, Jorge Luis	2016	Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Río Pollo en Otuzco empleando semillas de <i>Caesalpinia spinosa</i> (Tara)	La Libertad
5	Vásquez Torres, Breidy Tatiana; Zapata Llontop, Tatiana Soledad	2019	INFLUENCIA DEL TIPO Y DOSIFICACIÓN DE ALMIDONES NATURALES OBTENIDOS DE YUCA BLANCA, PLÁTANO VERDE Y PAPA AMARILLA, SOBRE EL GRADO DE TURBIDEZ EN AGUA DE RIEGO DE LA EMPRESA AGUALIMA, MEDIANTE EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN	La Libertad
6	Vela Arévalo, Cintya Tamara	2016	Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural <i>Moringa oleifera</i> en aguas obtenidas del río ALTO CHICAMA, puente INGÓN, TRUJILLO 2016	La Libertad
7	Maldonado Ushiñahua, Arnold Rafael	2018	Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín	San Martín
8	Chávez Acosta, Janet del Pilar	2016	Eficiencia del Coagulante a base de Huaraco ( <i>Austrocy lindropuntia floccosa</i> ) en la disminución de la turbiedad en las aguas de la laguna Yanacochoa – Pasco	Pasco
9	Morales Osorio, Jenny Angela	2018	Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano – Oxapampa - 2018	Pasco
10	Vilavila Morales, Samira Blanca	2018	Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018	Puno

**ANEXO 2**

**Matriz de consistencia**

**Título:** “DISEÑO DE BIOFILTRO CON MUCILAGO DE *Caesalpinia spinosa* PARA REDUCIR LA TURBIDEZ DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO POLLO, OTUZCO, PERÚ 2021“

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>POBLACION</b>
¿Cómo se puede reducir la turbidez de las aguas superficiales del río Pollo?	<p><b>General:</b></p> <p>Diseñar un biofiltro con mucilago de <i>Caesalpinia spinosa</i> para reducir la turbidez de las aguas superficiales del río Pollo provincia de Otuzco región La libertad</p> <p><b>Específico:</b></p> <p>-Diagnosticar los parámetros físico químicos pertenecientes al río Pollo</p> <p>-Documentar los efectos de los coagulantes naturales en los parámetros físico químicos de las aguas superficiales contaminadas</p> <p>-Formular una metodología para el uso del biofiltro con mucilago de <i>Caesalpinia spinosa</i> para reducir la turbidez de</p>	<p><b>Variable fáctica:</b></p> <p>Turbidez de aguas superficiales</p> <p><b>Tema:</b></p> <p>Coagulantes naturales</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Descriptiva propositiva</p> <hr/> <p><b>Diseño:</b></p> <p>No experimental, descriptivo.</p> <hr/> <p><b>Técnica:</b></p> <p>Observación y análisis documental</p>	<p><b>Población:</b></p> <p>Investigaciones de uso de coagulantes naturales en las aguas superficiales realizadas entre el 2010 y el 2021.</p> <hr/> <p><b>Instrumento:</b></p> <p>Registro de datos e información</p> <hr/> <p><b>Muestra:</b></p> <p>Investigaciones de uso de coagulantes</p>

las aguas del río Pollo.

**Propuesta:**

Diseño de  
Biofiltro

**Método de análisis de**

**datos:**

Análisis estadístico  
descriptivo

naturales en las aguas  
superficiales de los  
departamentos de  
Perú, realizadas entre  
el 2010 y el 2021



### ANEXO 3

#### *Matriz de operacionalización de variables*

**Título:** DISEÑO DE BIOFILTRO CON MUCILAGO DE *Caesalpinia spinosa* PARA REDUCIR LA TURBIDEZ DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO POLLO, OTUZCO, PERÚ 2021

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
<b>VARIABLE FACTICA:</b> Turbidez de aguas superficiales	La calidad del agua en la actualidad representa una importante preocupación para el desarrollo del mundo, debido a que las fuentes superficiales de agua y su calidad se encuentran en riesgo por la creciente contaminación, esto tiene graves consecuencias en la salud de los seres humanos.  (Ramírez H. y Jaramillo J., 2015)	Parámetros que indican que el agua cumple con los Estándares de Calidad Ambiental de Agua.	Turbidez	UNT	<b>INTERVALO</b>
<b>TEMA:</b> Coagulantes naturales	Los coagulantes naturales son sustancias que se disuelven en el agua, provienen de materia de origen animal o vegetal estos funcionan de manera parecida a los coagulantes de origen sintético, creando aglomerados con las partículas suspendidas que se encuentran en el agua cruda, haciendo más fácil el proceso de sedimentación y disminuyendo el grado de turbidez inicial del agua.	Principal extracto que proviene de materiales vegetales u orgánicos.	Cantidad de suministrada, Velocidad de agitación y tiempo de coagulación	mg/L, RPM Y min.	<b>INTERVALO</b>

<b>PROPUESTA:</b>	Los biofiltros son mecanismos formados por una capa filtrante biológicamente activa, que eliminan una gran cantidad de agentes contaminantes que provienen de una corriente ya sea de aire o de agua, a través de procesos biológicos. Este dispositivo puede funcionar como un aparato que retiene las partículas suspendidas en el flujo y como base para la actividad biológica. (Chuquipul y Rojas, 2019)	Mecanismo de depuración de agua	de Centímetros, Litros.	<b>NOMINAL</b>
Diseño de biofiltro		volumen		

---

**ANEXO 4**  
**Matriz de instrumentos**

**Título:** DISEÑO DE BIOFILTRO CON MUCILAGO DE *Caesalpinia spinosa* PARA REDUCIR LA TURBIDEZ DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO POLLO, OTUZCO, PERÚ 2021

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	ITEMS	OPCION DE RESPUESTA				
				Nunc a	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
Turbidez y calidad de aguas superficiales	Turbidez, color, potencial de Hidrogeno	UNT, Pt/co, pH	Según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, ¿Esrecomendable tomar en cuenta el parámetro de turbidez para considerar una buena calidad del agua?				X	
			Según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, ¿Esrecomendable tomar en cuenta el parámetro de color para considerar una buena calidad del agua?					X

---

Según los Estándares de Calidad Ambiental para  
Agua, ¿Es recomendable tomar en cuenta el parámetro  
de pH para considerar una buena calidad del agua?

X

Coagulantes naturales	Cantidad suministrada, velocidad de agitación y tiempo de coagulación	mg/L, RPM y min.	¿Las investigaciones científicas detallan la cantidad suministrada de coagulante?	X
			¿Las investigaciones científicas detallan la velocidad de agitación?	X
			¿Las investigaciones científicas detallan el tiempo de coagulación?	X

### ANEXO 5

Estándares de Calidad Categoría 1 – Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas

a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2
Cloruros	mg/L	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5
Dureza	mg/L	500	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20
Fenoles	mg/L	0,003	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (d)	mg/L	3	3
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000
Sulfatos	mg/L	250	500
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Turbiedad	UNT	5	100

**ANEXO 6**  
Estándares de Calidad Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq$ 4		$\geq$ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta$ 3		$\Delta$ 3
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

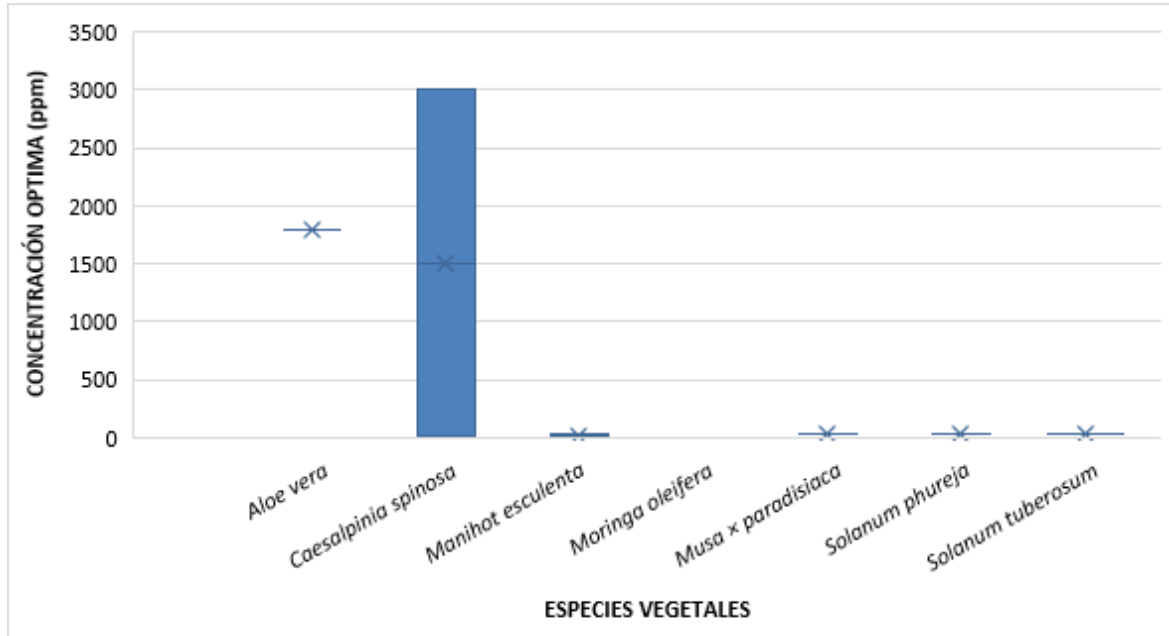
Nota: Entiéndase por riego no restringido al riego de alimentos que se consumen crudos.

Asimismo, las aguas para riego restringido son para alimentos que se consumen cocidos.

**ANEXO 7**

**Figura 4**

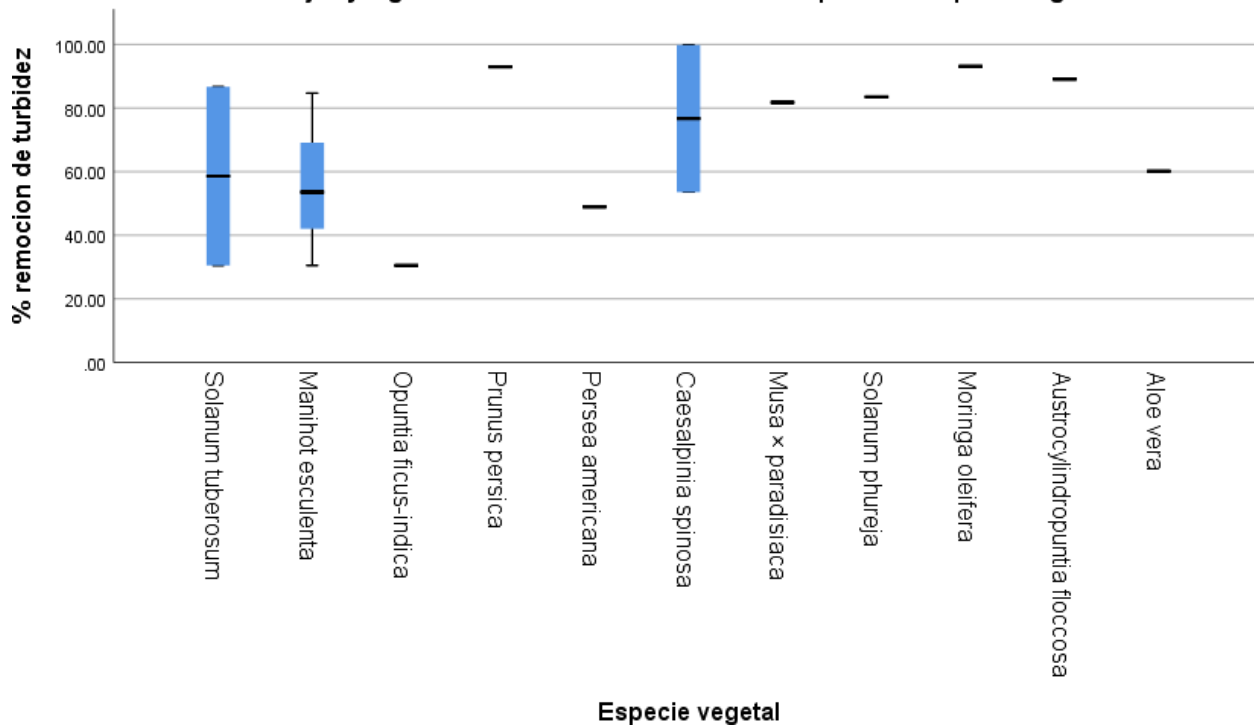
Concentración óptima de cada especie vegetal expresado en el diagrama de cajas y bigotes



**Figura 5**

Porcentaje de remoción de turbidez según las especies vegetales representado en un gráfico de cajas y bigotes

Gráfico de cajas y bigotes del % de remoción de turbidez por cada especie vegetal



## ANEXO 8. PROPUESTA

### PROPUESTA DE USO DE LA ESPECIE CAESALPINIA SPINOSA EN EL TRATAMIENTO DEL RÍO POLLO, REGIÓN LA LIBERTAD 2020

#### Resumen

Las fuentes de aguas superficiales tales como los ríos son de extrema importancia para el sustento de las actividades de las comunidades, tal es el caso del río Pollo, situado a 1 hora y media de la ciudad de Trujillo, La Libertad. Es bien sabido que en este río se sufre de un grave problema de contaminación que no ha cambiado con el pasar de los años, los pobladores arrojan su basura y vierten los efluentes resultantes de las actividades como el lavado de ropa, de igual forma, los alcantarillados y las vertientes de las industrias desembocan en dicho río. Todos estos factores conllevan a una alteración en los parámetros físicos, químicos y biológicos que determinan si las aguas pueden ser usadas para el consumo humano, riego de plantas o bebida de animales. Es por esto que se crea un diseño y propuesta de un biofiltro usando como base la especie *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad.

#### Alcance

Autoridad Nacional del

Agua Ministerio del

Ambiente Ministerio de

Salud

Gobierno regional de La

Libertad Municipalidad

Provincial de Otuzco



## Antecedentes

En el estudio realizado por Bejarano en el 2018 tuvo por objetivo, determinar la calidad del agua de la microcuenca del río Pollo - Distrito de Otuzco, empleando como bioindicadores a macroinvertebrados acuáticos. El desarrollo involucró el uso de tres puntos de muestreo (PM), de macroinvertebrados. Se concluyó que la calidad del agua de la microcuenca, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en los puntos de muestreo PM1 y PM2 es de regular calidad, y en el PM3 posee una calidad pésima. Los índices biológicos fueron comparados con las variables fisicoquímicas del agua de la microcuenca del río Pollo, encontrándose una relación directa de los niveles bajos de oxígeno disuelto con la inexistencia de macroinvertebrados acuáticos sensibles a ello.

En el año 2014, Salirrosas realizó una investigación titulada “Calidad de ecosistema del río Pollo (Otuzco- La Libertad) en base a Indicadores bióticos y abióticos durante abril- octubre 2013” con el fin de caracterizar la calidad del río teniendo en cuenta los parámetros físicos como temperatura, químicos como el pH, la vegetación ribereña, macroinvertebrados bentónicos y parámetros ex situ. Este estudio determinó que las aguas superficiales de la cuenca del río Pollo, tienen variaciones altas por perturbaciones por contaminación, como resultado de la actividad agropecuaria, que arrastra sedimentos desde fuentes difusas como tierras agrícolas y poco forestadas, poblaciones y minería informal; midiéndose concentraciones significativas de nitrógeno, fosfato, nitratos, amonio y O<sub>2</sub> disuelto. Se concluyó que las aguas del río Pollo se encuentran altamente alteradas, principalmente en la primera estación estudiada.

La Municipalidad Provincial de Otuzco, utilizando su Unidad de Gestión

Ambiental, realizaron en el año 2017 una campaña de intervención de limpieza al río Pollo, con el objetivo de sensibilizar a la población sobre este importante tema que representa la contaminación ambiental y para promover entre los ciudadanos la preservación y cuidado ecológico de estos afluentes del río Moche. Tan solo en la primera intervención lograron erradicar aproximadamente una tonelada de restos orgánicos e inorgánicos, desechos generados por las poblaciones aledañas al río.

El año 2014 se ejecutó proyecto Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado e Instalación de una Planta Compacta de Tratamiento de aguas residuales y educación sanitaria en el río Pollo, a través de la Municipalidad Provincial de Otuzco. Este proyecto que busca descontaminar las aguas del río tiene un presupuesto de 77 millones 483 mil soles, además la obra busca beneficiar a más de 7 mil 700 habitantes de la provincia.

### **Aspectos legales**

El Ministerio del ambiente aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y estableció disposiciones complementarias a través del decreto Supremo N° 004-2017- MINAM. Este decreto establece los valores de concentración de los parámetros físicos, químicos, biológicos y sustancias presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no signifiquen ningún riesgo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Para esta propuesta se ha considerado como marco e instrumento legal dichos Estándares de calidad, tomando en cuenta los valores establecidos para la categoría 3: Riego de plantas y bebida de animales y la categoría 1: Poblacional y Recreacional, subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

**Tabla 7**

*Estándares de calidad establecidos para la subcategoría A-A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Estándares de Calidad: A1</b>
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	15
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000
Turbiedad	UNT	5

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Proponer el diseño de biofiltro usando especie *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad

### **Objetivos específicos**

- Delimitar la zona de aplicación del biofiltro en el río Pollo, La Libertad.
- Formar una metodología con el biofiltro para tratar la problemática de contaminación.

### **Localización**

La presente propuesta se llevará a cabo en la Microcuenca del Río Pollo, que discurrey pasa por el lado Este de la ciudad de Otuzco que altitudinalmente se halla entre

los 2492 y 4110 msnm. En su trayecto de la microcuenca, discurre el Río Pollo, que, en su parte alta, presenta a sus riberas pendientes entre 10 y 30 grados de latitud, las que se continúan con formación de pajonales y algunos matorrales de asteráceas, ciperáceas y leguminosas. También existen algunos cultivos mayormente trigo, cebada y papa. Posee un caudal regular en los primeros 5 meses del año y es de recorrido corto, asimismo tiene un cauce estrecho y una corriente rápida. (Salirrosas, 2014)

Cabe resaltar que la Municipalidad Provincial de Otuzco detalla en la información demográfica que pasados los primeros cinco meses del año el caudal del río disminuye enormemente, este factor en conjunto con la cercanía del río Pollo a la ciudad de Otuzco convierte este cuerpo de agua en un basural utilizado por los pobladores.

La aplicación del diseño deberá ser llevada a cabo en las inmediaciones del puente Arequipa, un punto sumamente contaminado y cercano a las casas de los pobladores. Este punto de aplicación se observa en el gráfico 10.

## **Río pollo**

### **Latitud:**

-7.9

### **Longitud:**

-78.5667

**Figura 6**  
*Mapa de Río Pollo en La Libertad en Otuzco*



*Fuente: Dices.net*

**Figura 7**

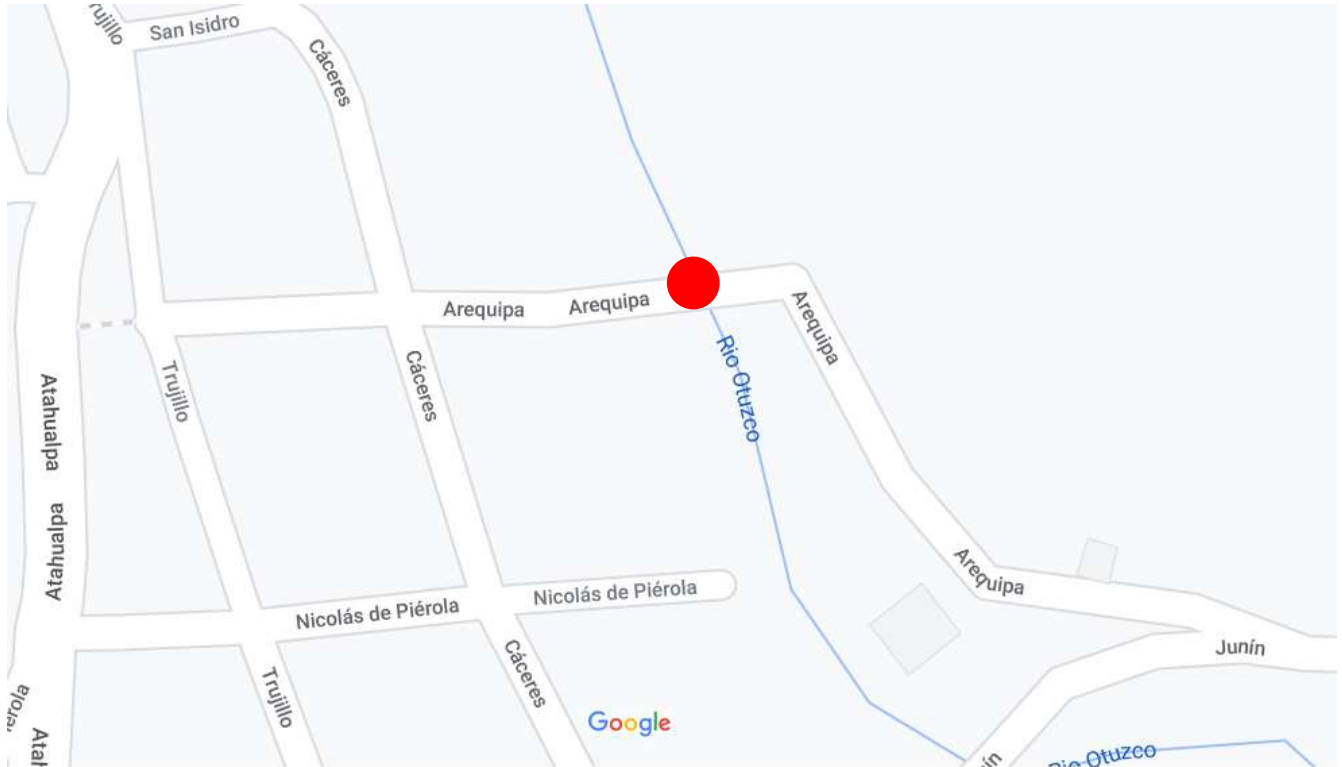
*Recorrido del Río Pollo, Otuzco, La Libertad*



*Fuente: Idelfonso H. y Zarate P. (2020)*

## Figura 8

*Punto de aplicación del diseño*



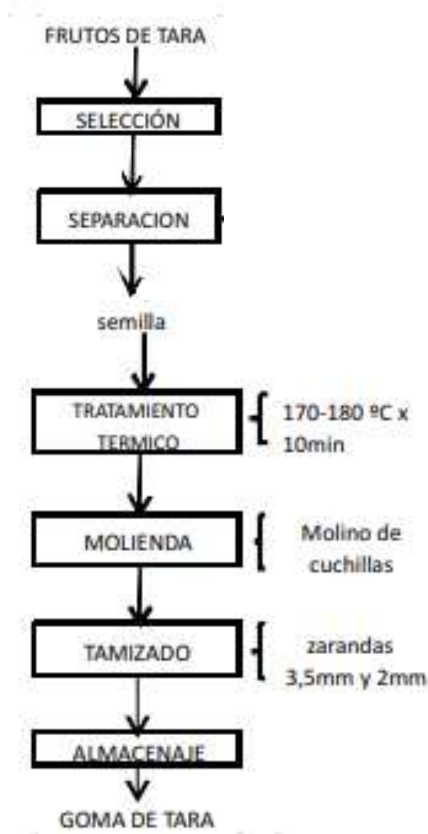
## Plan de trabajo

### Obtención del coagulante natural

Para obtener la goma de tara, insumo principal para la elaboración del coagulante, se acudirá a la agroindustria AGROBAYER, ubicada en Huamachuco. Se comprará la cantidad necesaria, la elaboración de dicho insumo se detalla en la figura 9.

## Figura 9

### Flujograma de obtención de goma de tara



Teniendo en cuenta el estudio de Bravo y Gutiérrez (2016), se pesará en una balanza 0.075 gramos de la goma de tara y posteriormente se disolverá en un recipiente con 25 ml de agua destilada, con el fin de conseguir la solución óptima de una concentración de 3000 ppm.

## Diseño del biofiltro

### Materiales y equipos

- 1 Balde de plástico con tapa, capacidad de 15 litros con grifo
- 1 balde plástico con tapa, capacidad de 10 litros

- Silicona para plástico
- llaves de paso
- Adaptadores, taponos hembra, Ts, Unión universal, Tubería de media pulgada
- Cinta teflón
- Pegamento para tubería
- Motor DC
- Fuente DC de 5 voltios
- 1 switch
- 1 Jack
- 1 Cable de poder
- 1 Potenciómetro
- Caja de madera de 10 x 10 x 5 cm
- Silicona
- Engranajes
- Tornillos
- 2 marcos de madera de 10 x 10 cm
- Malla rejilla de plástico (3 mm)

### **Creación del diseño**

Tomando en referencia el diseño propuesto por Gil P (2018) se indica que el balde de 15 litros es el tanque de tratamiento, tiene dimensiones de 31.8 cm de alto y 27.6 cm de diámetro, este balde contará con un caño en la parte inferior para desechar los lodos generados y darle limpieza al sistema. El balde de 10 litros es el tanque de



reserva donde se almacenará el agua tratada, tiene dimensiones de 29 cm de alto y 26 cm de diámetro.

De igual forma, estas dimensiones fueron determinadas teniendo en cuenta el caudal máximo de diseño y el caudal medio del río Pollo obtenido en el estudio de Idelfonso y Zarate (2020), siendo estos factores de 42.77 m<sup>3</sup>/s y 4.97 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Se colocará la tubería principal de captación en el cauce del río con una extensión si es necesaria, esta tubería tendrá en la entrada un marco de madera con la malla filtrante de plástico con orificios de 3 mm para evitar el ingreso de sólidos grandes, de igual forma la tubería que lleva el agua tratada al tanque de reserva contará con el mismo filtro en caso exista alguna impureza en el agua.

Se harán orificios circulares en cada balde para conectarlos entre sí con las tuberías, se colocarán llaves de paso para controlar el agua que ingresa a cada tanque en medio de cada tubería.

Ambos tanques deberán estar a una altura por encima del suelo, para evitar el ingreso de animales o contaminación por algún agente externo, de igual forma, para que sea más fácil y accesible el manipularlo. Se optará por colocar el tanque de tratamiento a 1.20 metros de altura aproximadamente, esto se puede lograr poniendo el tanque sobre un soporte como una mesa.

La agitación para el tratamiento del agua se realizará a través de un motor de corriente continua, conectado con un Jack de corriente alterna de 220 y una fuente DC, dicha fuente irá conectada a un interruptor conectado a un potenciómetro que permitirá variar las revoluciones por minuto. Para simular la prueba de jarras se armó una tubería de 25 cm de alto y 3 cm de diámetro con paletas de 5 cm, este mecanismo irá ubicado

en el punto medio de la tapa del tanque de tratamiento y se conectara al motor con un adaptador y un engranaje.

### **Funcionamiento del tratamiento.**

Primeramente, se deberá esperar a que el tanque de biofiltro se llene hasta 12 Litros y se procederá a agregar 300 ml de la solución coagulante, debido a que la dosis por cada litro es de 25 ml. Posteriormente se encenderá el motor y el mecanismo de agitación para proceder con el proceso de agitación rápida a 300 rpm por 90 segundos. De manera inmediata se continua con el agitado lento de 45 rpm por 25 minutos. Luego de finalizar el proceso de agitación en ambas velocidades se apaga el motor y se dejará sedimentando por 1 hora.

Finalmente se abre la llave de paso para llenar el tanque de reserva con el agua tratada y realizar los análisis correspondientes de turbidez, verificando que cumpla con los estándares de calidad establecidos por el Ministerio del ambiente.

Una vez terminado el proceso se procederá a realizar el desecho de los lodos almacenados al fondo del tanque de tratamiento por medio del caño ubicado en la parte inferior. Estos lodos se pueden almacenar y, ya que no contienen productos químicos al haber sido tratada el agua con coagulantes naturales, posteriormente pueden ser usados como abono para plantas.

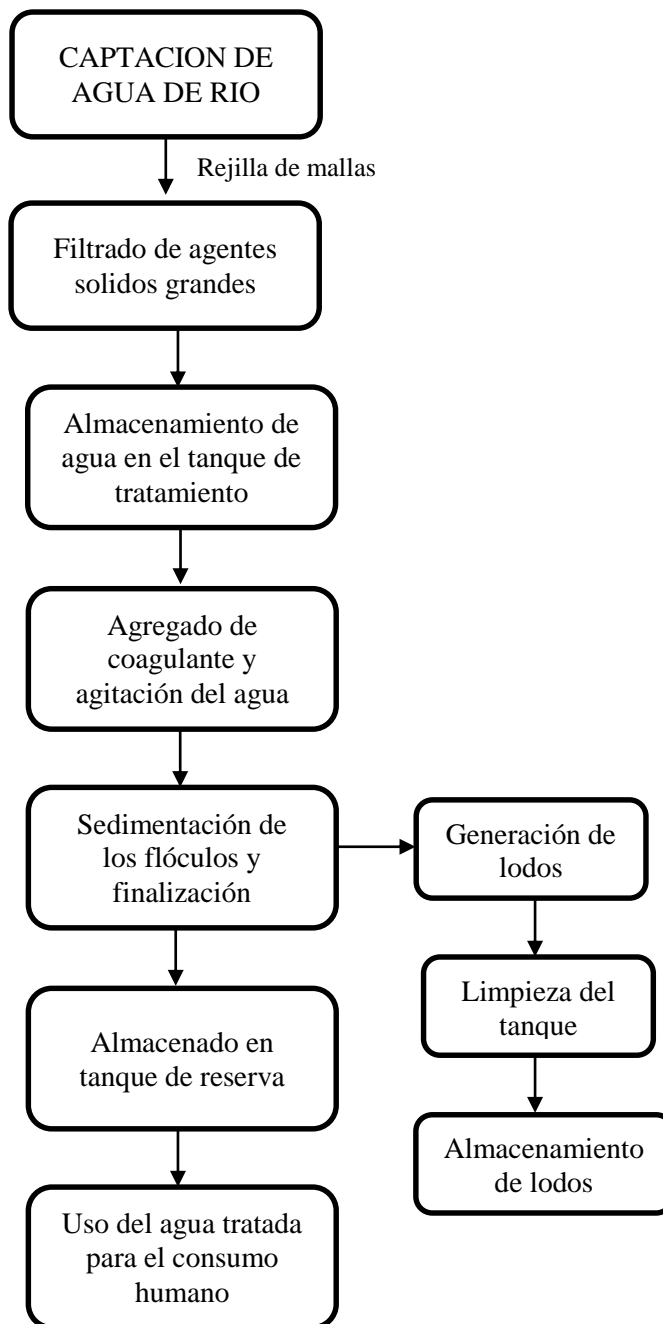
De este procedimiento se espera la obtención de 10 Litros de agua tratada al termino de cada proceso, teniendo en cuenta que cada proceso toma en total un aproximado de 86 minutos, en 24 horas se puede obtener 167 Litros de agua tratada si se realiza un proceso constante y continuo.

<b>86 minutos</b>	<b>→</b>	<b>10 Litros</b>
<b>1440 minutos</b>	<b>→</b>	<b>??? Litros</b>
		<b>(24 horas)</b>

=  $(1440 * 10) / 86$  → 167 Litros / 24 horas

**Figura 10**

*Flujograma del proceso de tratamiento*



### **Limpieza y disposición de los lodos.**

Al término de cada proceso de coagulación se generarán lodos sedimentados en el fondo del tanque de tratamiento, estos lodos deberán ser retirados luego de realizar 8 procesos de tratamiento para evitar la acumulación masiva y deterioro del sistema de tratamiento. Estos lodos podrán ser almacenados luego de ser retirados del tanque y, según sus características, podrán ser utilizados como abono para la nutrición de los cultivos de los pobladores que usen el sistema de tratamiento.

### **Evaluación económica de la propuesta**

El costo del tratamiento del agua depende de la ubicación y los insumos que serán utilizados en la propuesta. La especie vegetal elegida para el tratamiento es la *Caesalpinia spinosa* y de esta planta se extrae la llamada goma o mucilago de tara de sus semillas, para obtener este insumo se propone como proveedor los productores artesanales del departamento de La Libertad, de esta forma se apoya a los fabricantes y se obtiene un precio viable.

De igual forma, los materiales para la construcción del sistema tales como los baldes de plástico o los tubos de PVC son de fácil acceso y de un precio económico.

**Tabla 8**

*Costos directos unitarios de inversión para llevar a cabo la propuesta*

<b>COSTOS UNITARIOS</b>				
	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (soles)</b>	<b>Costo total (soles)</b>
<b>Personal</b>				60
Mano de obra	h/h	2	S/30	60
<b>Materia prima e insumos</b>				
Goma de tara	kg	3	30	90
Malla rejilla de plástico	metro	1	10	10
Baldes de plástico	UND	2	13	26
Motor DC y accesorios	UND	1	50	50
Tuberías PVC	metros	4	10	40
Caño de agua	UND	1	2	2
Pegamento, clavos y accesorios	UND	1	50	50
Tubo y paletas de plástico	UND	1	20	20
<b>Costo directo total</b>				<b>348</b>

**Fuente: Elaboración propia**

## **Calidad del agua esperada**

El objetivo de este diseño es que las aguas tratadas por medio del biofiltro se encuentren dentro de los parámetros establecidos en los Estándares de Calidad de agua – Categoría 3: Riego de plantas y bebida de animales. De ser el caso, si se es posible alcanzar la calidad necesaria para la subcategoría 1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, el agua podrá ser destinada al consumo humano luego del tratamiento de desinfección requerido, aumentando así el alcance de este proyecto.

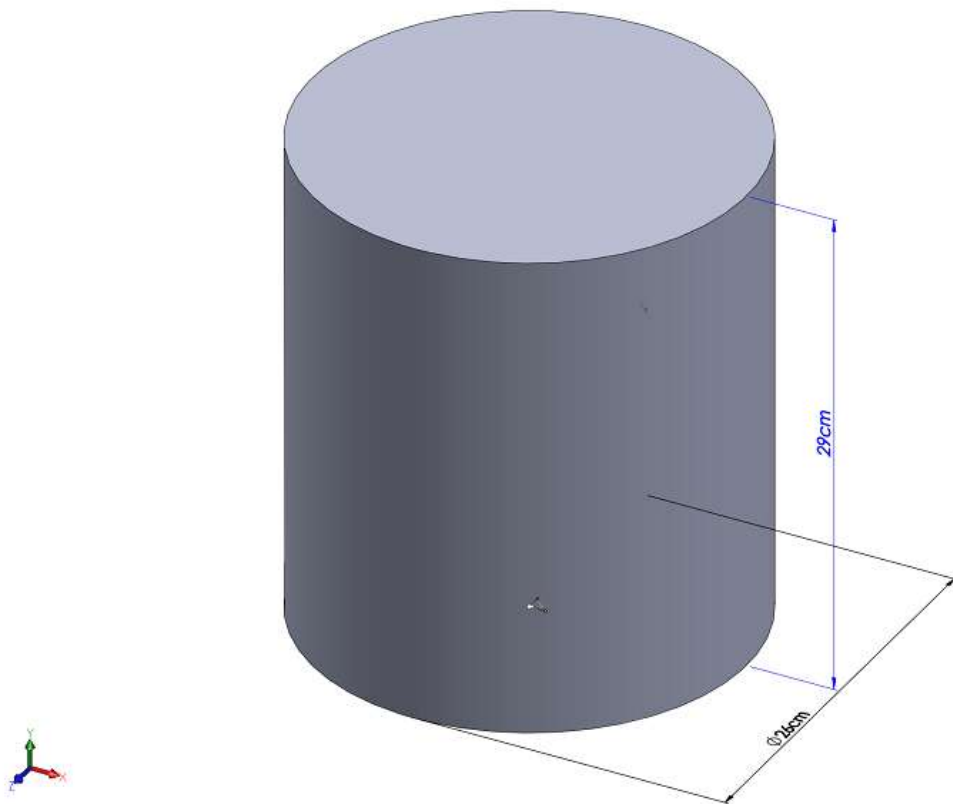
Las dosificaciones y factores en la agitación para el tratamiento del presente diseño se basaron en los aplicados por Bravo y Gutiérrez (2016), teniendo en cuenta que dichos autores plantean que se debe adicionar más coagulante cuando menor sea la turbidez del agua para alcanzar un tratamiento óptimo. Es por esto que se esperan resultados iguales o mejores a los del estudio mencionado, siendo que en este se obtuvo una remoción de 66.19% a 79.06%, resultando una turbidez final de 9.36

## Diseño del biofiltro

Utilizando el programa SOLIDWORKS 2017 se creó un diseño de biofiltro formado por 2 tanques principales, las tuberías que los conectan, las mallas para filtrar sólidos y el motor que permitirá las revoluciones necesarias para el tratamiento.

### Figura 11

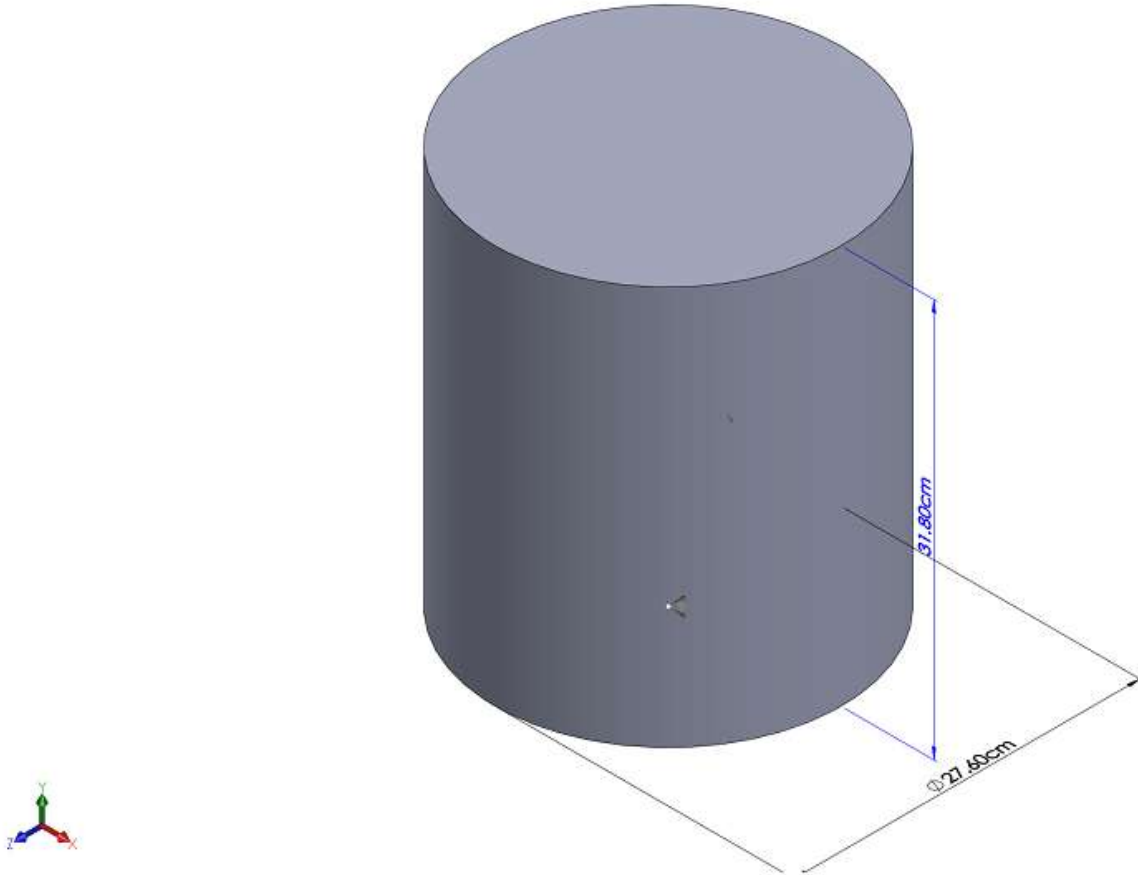
*Dimensiones del tanque de reserva*



**Nota: Capacidad de volumen de 10 Litros**

## Figura 12

*Dimensiones del tanque de tratamiento*

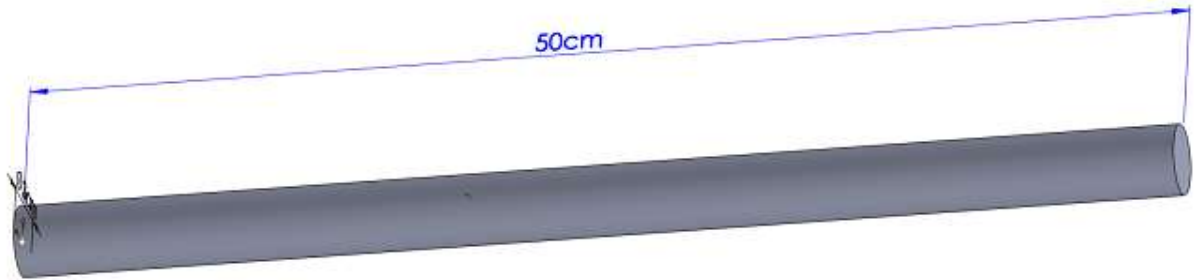


Nota: Capacidad de volumen de 15 litros



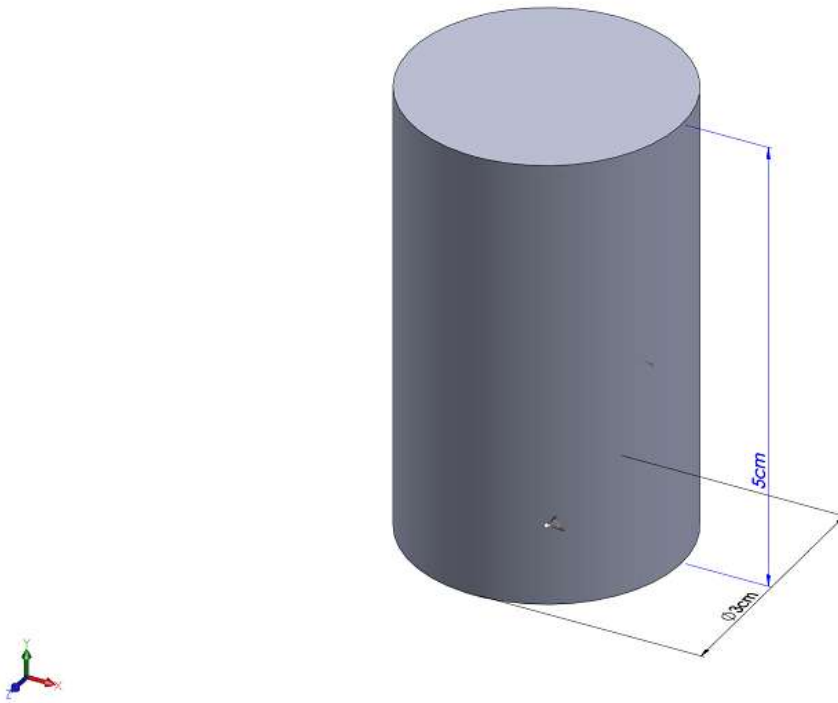
**Figura 13**

*Tubería principal de captación del agua de río*



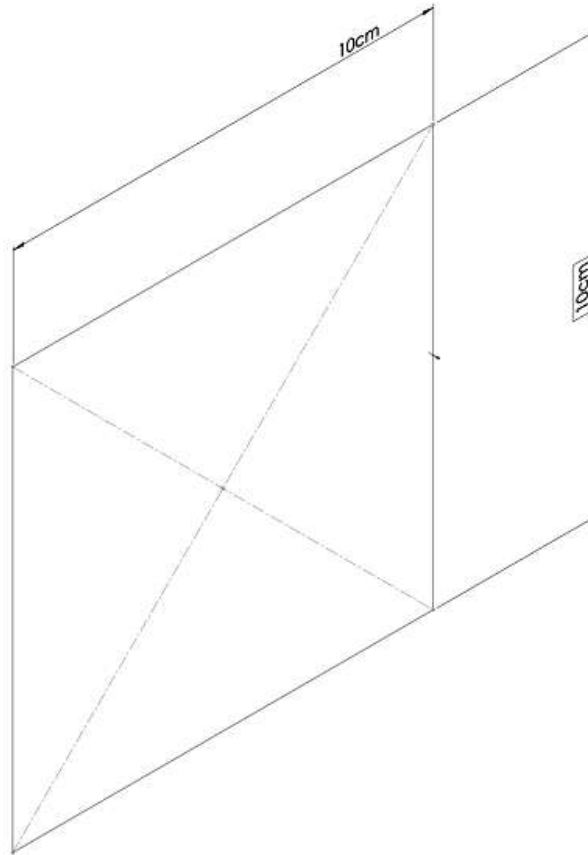
**Figura 14**

*Conectores de tanques*



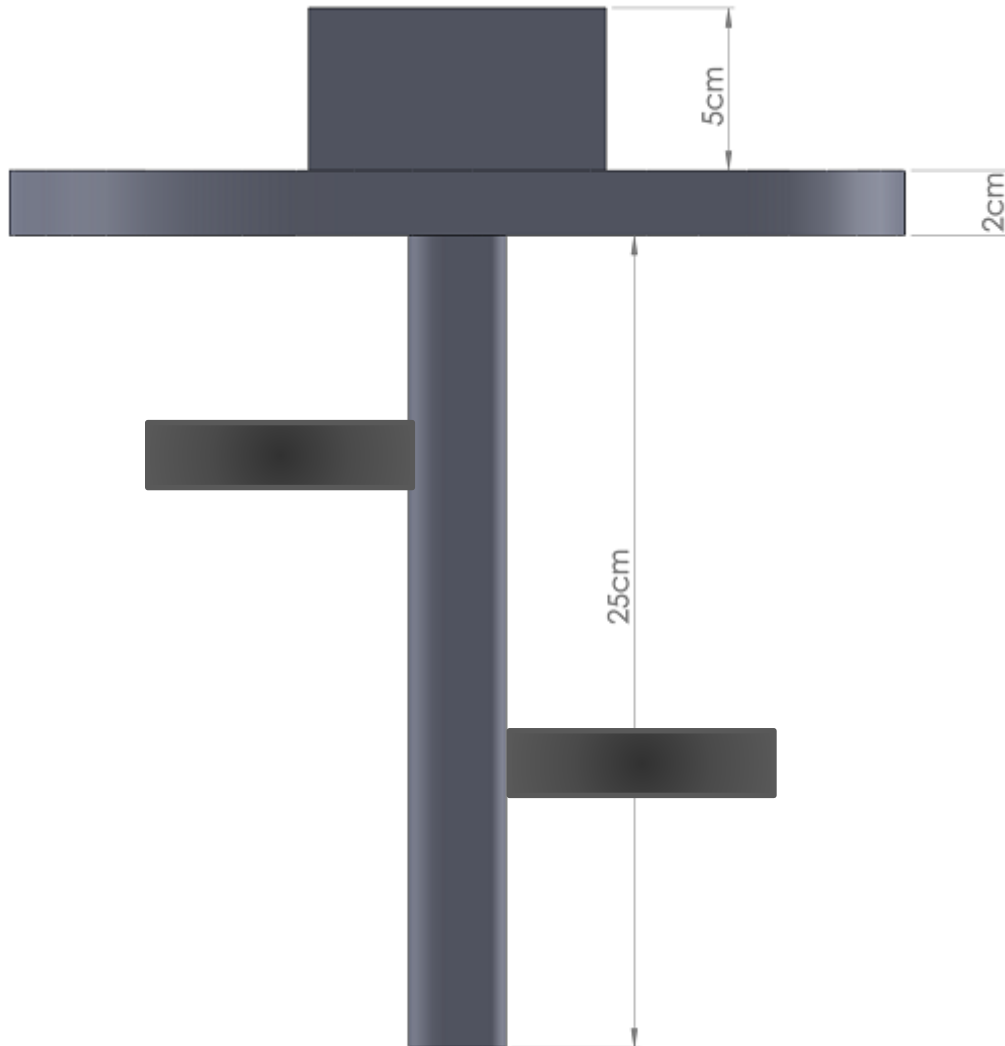
**Figura 15**

*Marco para la malla de plástico*



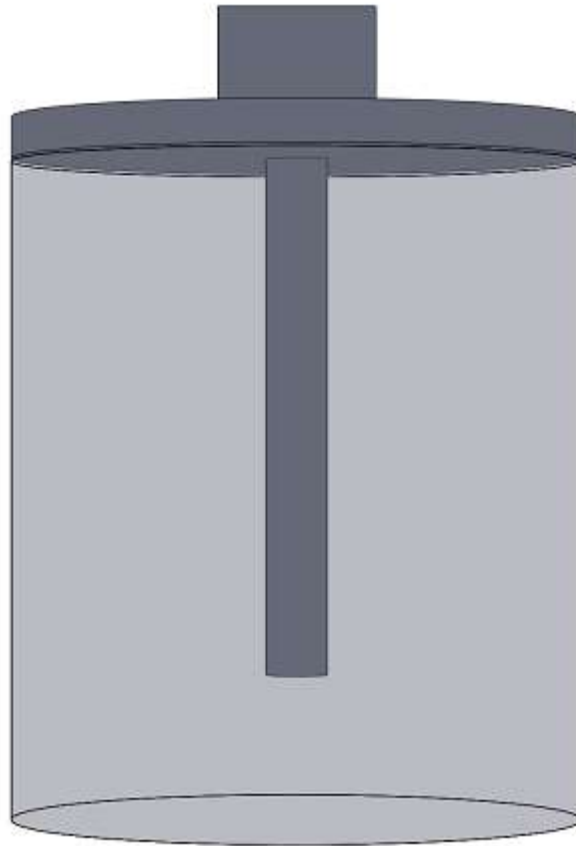
**Figura 16**

*Dispositivo de revoluciones*



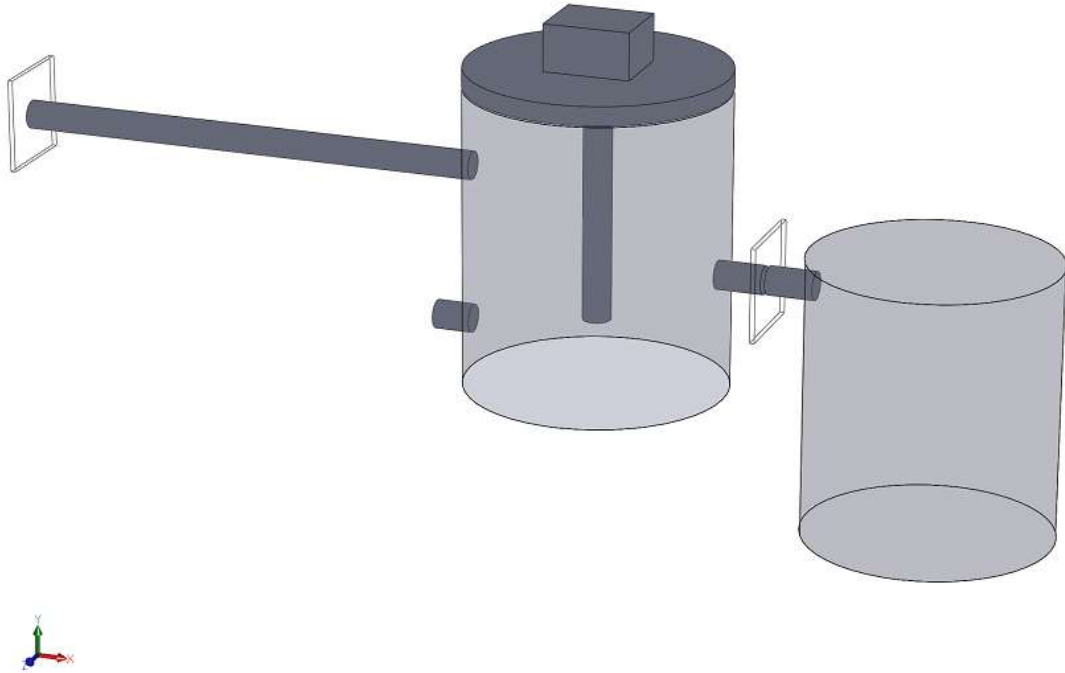
**Figura 17**

*Tanque de tratamiento y motor*



**Figura 18**

*Modelo completo de biofiltro*



## Figura 19

*Diseño de biofiltro completo – perspectiva*

