

Design of a biofilter with *Caesalpinia spinosa* mucilage to reduce the turbidity of the surface waters of the Pollo River, Otuzco, Peru. 2021

Mariano José Del Castillo Sagastegui, Ing. Ambiental¹, Jessica Marleny Luján Rojas, Mg.², Grant Ilich Llaque Fernández, Mg.³, Marlon Walter Valderrama Puscan, Mg.⁴, Flor Alicia Calvanapón Alva, Mg.⁵

¹Universidad Privada del Norte, Perú,
mardelcas_99@hotmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú,
marlon.valderrama@upn.pe

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, flor.calvanapon@upn.pe

Abstract– *The objective of this research is to design a biofilter with Caesalpinia spinosa mucilage to reduce the turbidity of the surface waters of the Pollo River, province of Otuzco, La Libertad region. Studies were analyzed where data related to the parameter of turbidity, color, pH, suspended solids, BOD and COD were extracted from water from different rivers, which were treated with natural coagulants from different plant species. In the proposed methodology, the economic and sustainable aspects were considered, the total cost and the viability of its use, the installation of the biofilter, the training for its domestic use, and finally the quantity and quality obtained from treated water. As a result, a viable and economical 3D biofilter design was created, consisting of a main treatment tank with a DC motor, a treated water reserve tank and filter meshes. Concluding with the investigation, the physicochemical parameters of the Pollo river micro-basin were diagnosed and a biofilter design with natural coagulant was created to treat the existing problem.*

Keywords-- *Biofilter, natural coagulants, surface water, quality parameters.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.22>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Design of a biofilter with *Caesalpinia spinosa* mucilage to reduce the turbidity of the surface waters of the Pollo River, Otuzco, Peru. 2021

Diseño de biofiltro con mucilago de *Caesalpinia spinosa* para reducir la turbidez de las aguas superficiales del rio pollo, Otuzco, Perú. 2021

Mariano José Del Castillo Sagastegui, Ing. Ambiental¹, Jessica Marleny Luján Rojas, Mg.², Grant Ilich Llaque Fernández, Mg.³, Marlon Walter Valderrama Puscan, Mg.⁴, Flor Alicia Calvanapón Alva, Mg.⁵

¹Universidad Privada del Norte, Perú,
mardelcas_99@hotmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú,
marlon.valderrama@upn.pe

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, flor.calvanapon@upn.pe

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. 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

Abstract– The objective of this research is to design a biofilter with *Caesalpinia spinosa* mucilage to reduce the turbidity of the surface waters of the Pollo River, province of Otuzco, La Libertad region. Studies were analyzed where data related to the parameter of turbidity, color, pH, suspended solids, BOD and COD were extracted from water from different rivers, which were treated with natural coagulants from different plant species. In

the proposed methodology, the economic and sustainable aspects were considered, the total cost and the viability of its use, the installation of the biofilter, the training for its domestic use, and finally the quantity and quality obtained from treated water. As a result, a viable and economical 3D biofilter design was created, consisting of a main treatment tank with a DC motor, a treated water reserve tank and filter meshes. Concluding with the investigation, the physicochemical parameters of the Pollo river micro-basin were diagnosed and a biofilter design with natural coagulant was created to treat the existing problem.

Keywords-- Biofilter, natural coagulants, surface water, quality parameters.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los compuestos más abundantes en la superficie terrestre es el agua, cubriendo la mayor parte de dicha superficie. No obstante, muchos factores disminuyen la disponibilidad del agua que puede ser de consumo humano, ya sean factores económicos, sociales o políticos [1].

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 [2]. 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 [3].

Según la Organización Mundial de la Salud, 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 [4]. 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.

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 [5].

Por otro lado, el gobierno Ecuatoriano debe afrontar con problemas de contaminación en sus ríos y lagos ocasionada por las industrias, el sector agrícola y doméstico 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 [6].

Para llevar a cabo dicha tecnología limpia se necesitan de especies vegetales con el fin de conseguir 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. [7]

En el Perú el Ministerio del Ambiente (MINAM) indica que las fuentes de agua superficial disponibles 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 [8]. 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 [3].

Asimismo, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) revela que en las últimas 2 décadas se consiguieron grandes avances en lo que respecta a potabilización y saneamiento de agua en el Perú, siendo más prominente este avance en las áreas rurales [9].

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), con el fin de realizar la evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Moche, 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 [10]. 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.

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 de 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 [11].

Uno de los parámetros más importantes a evaluar en el agua es el potencial de hidrogeno o pH, este indicador permite saber la alcalinidad del agua [12], es decir la capacidad del líquido de neutralizar las cargas de ácidos, es muy importante a tener en cuenta en el tratamiento del agua debido a que reacciona con los agentes coagulantes durante el proceso de coagulación [13].

Por otro lado, la Organización Internacional de Normalización define al parámetro de turbidez como la disminución de la transparencia del agua ocasionada por las partículas de materia orgánica e inorgánica suspendidas [14]. Asimismo, los sólidos disueltos son toda la materia que se encuentra disuelta en el medio y no se pueden calcular de manera directa [15].

Teniendo en cuenta los fundamentos mencionados de los parámetros de calidad de agua y la existencia de estudios que al analizar el estado en que se encuentran dichos parámetros físicos, químicos y biológicos obtuvieron como resultado valores que sobrepasan los límites se puede afirmar que las aguas del Río Pollo están alteradas y representa una problemática de suma importancia para la población de Otuzco [16].

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.

II. METODOLOGIA

Este estudio posee un enfoque cuantitativo debido a que 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.. Esta 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.

Se 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 2021. 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.

Se elaboró una base de datos con la información recolectada según los criterios especificados de inclusión con el objetivo de 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 analizaron estudios previos, teniendo los datos y dimensiones óptimas, se procedió a adaptar un diseño en 3D de un biofiltro viable y económico para el tratamiento de la turbidez en las aguas del río Pollo. Posteriormente se sintetizó la información de investigaciones previas que buscaban resaltar la problemática existente en el recurso hídrico obteniendo 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.

Para proponer el diseño del biofiltro, se planteó 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.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

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 y Gutiérrez [11], 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 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 [17] [18] [11] con los Estándares de Calidad ambiental. 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 [8]. 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 [17] [18] [11] en sus monitoreos de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Pollo, presentando los valores pertenecientes al mismo en la tabla I.

TABLA I
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO POLLO.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS 2015 - 2019
Conductividad	(μS/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

El alto grado de contaminación de las aguas del río Pollo encuentra su explicación en el estudio de Banchon 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. [19]

Como se puede apreciar en la Tabla I, 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, 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 [20]. Asimismo, Bravo y Gutiérrez 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. [11]

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.

En la tabla II 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 [21], tuvo el mayor porcentaje de remoción, mientras que una investigación similar trabajó con *Solanum tuberosum*, *Manihot Esculenta* y *Opuntia ficus-indica* obtuvieron el menor porcentaje. [22]

TABLA II
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE DIFERENTES RÍOS, SEGÚN INSUMO UTILIZADO DE CADA ESPECIE VEGETAL EMPLEADA COMO COAGULANTE NATURAL.

Estos datos presentados concuerdan con estudios que afirman 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. [23]

Los polímeros naturales más importantes se encuentran en semillas, tubérculos y raíces [23]. 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).

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 III 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 IV.

TABLA III
 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 (minuto)
		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</i>	1 ppm	200	150	-

Insumo utilizado	Especie vegetal	% Remoción de turbidez
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
CÁSCARA	<i>Manihot esculenta</i>	30.5
	<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
	<i>Prunus persica</i>	92.95

<i>esculenta</i>				
<i>Aloe vera</i>	1800 ppm	100	50	15
<i>Caesalpinia spinosa</i>	15 ppm	300	40	20

TABLA IV
 EFECTOS DEL TRATAMIENTO CON COAGULANTES NATURALES
 EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE RÍOS SEGÚN LAS ESPECIES
 VEGETALES ESTUDIADAS.

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

Estudios tuvieron 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 [24]. De igual forma se realizó un tratamiento con un coagulante hecho a partir de la semilla de *Ipomoea*

incarnata o “campanita”, que resultó ser eficaz al remover el 99.18% de la turbidez en el agua. [25]

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% [11]. Los resultados indican que el almidón de yuca es uno de los agentes naturales que más turbiedad removió debido a su grupo funcional que permite la desestabilización de suspensiones coloidales. [26]

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. Asimismo, teniendo en cuenta la estrecha relación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua, al reducir la turbidez se estaría reduciendo de igual forma la carga biológica y los químicos que pueden estar aferrados a las partículas suspendidas en el agua, logrando un tratamiento completo. [5]

La especie vegetal *Caesalpinia spinosa* en estudios anteriores 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 [21]. Este resultado encuentra su explicación en la información brindada por 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. [27]

Sin embargo, para el tratamiento de agua se utilizó 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 de otro estudio similar el cual alcanzó una remoción de turbidez del 99.38% [21]. Esto se debe a las diferentes concentraciones utilizadas, los diferentes tiempos de agitación en la prueba de jarras y las revoluciones por minuto. Además, está demostrado 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. [11]

Finalmente se desarrolló una propuesta de diseño de biofiltro teniendo en cuenta y adaptando un diseño [16], este se basa en la teoría descrita que 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. [28]

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 figura 1.

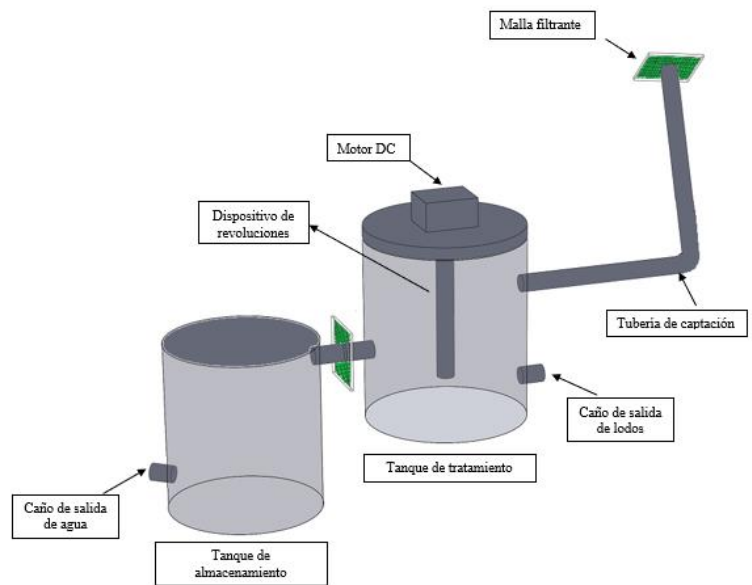


Fig. 1. Diseño completo del biofiltro

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 que 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. [29]

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 neutralización de carga por los polímeros del coagulante, ya que estos llevan 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. [23]

Para establecer la dosis de coagulante, las revoluciones y los tiempos se tuvieron en cuenta los resultados óptimos de estudios previos [11]. Los investigadores Ramírez y Jaramillo 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. [30]

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 se espera que al final de cada proceso se generen 10 litros de agua tratada, cada proceso tomará aproximadamente 86 minutos, por lo tanto, en 24 horas se puede obtener 167 Litros de agua tratada si se realiza un proceso constante y continuo. [16]

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 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. [10]

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 V se detallan los aspectos principales de la propuesta

TABLA V
PROPUESTA DE DISEÑO DE BIOFILTRO USANDO ESPECIE CAESALPINIA SPINOSA PARA REDUCIR LA TURBIDEZ DEL RIO POLLO, REGIÓN LA LIBERTAD

Propuesta de diseño de biofiltro usando especie <i>Caesalpinia spinosa</i> para reducir la turbidez del río Pollo, región La Libertad		
Objetivos	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.
Localización	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 Km ² . El río Pollo discurre por el lado Este de la ciudad que altitudinalmente se halla entre los 2492 y 4110 msnm.	
Alcance	El proyecto está dirigido a los pobladores aledaños que consumen las aguas del río Pollo.	
Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Crear una propuesta viable de diseño de biofiltro usando especie <i>Caesalpinia spinosa</i> 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. 	

Este diseño buscó solucionar la problemática existente 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. [10]

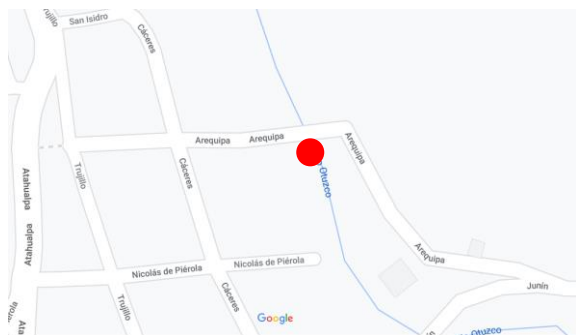


Fig 2. Punto de aplicación del diseño

Teniendo en cuenta que en estudios determinaron que el tercer punto de muestreo, las inmediaciones del puente Arequipa evidenciado en la figura 2, 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. [10]

TABLA VI
COSTOS DIRECTOS UNITARIOS DE INVERSIÓN PARA LLEVAR A CABO
LA PROPUESTA

COSTOS UNITARIOS				
Unidad de medida		Cantidad	Costo unitario (soles)	Costo total (soles)
	Personal			60
Mano de obra	h/h	2	30	60
Materia prima e insumos				
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	80	80
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
Costo directo total				378

Considerando que en la metodología se plantea utilizar un motor de corriente continua que alcance las 300 RPM, se puede deducir que será un motor de 12V, esto permite realizar los cálculos para determinar los costos operativos para cada proceso de tratamiento, teniendo en cuenta el precio de la electricidad establecido por Hidrandina SA.

- Consumo de motor 12V: 800 mA \rightarrow 0.8 A \rightarrow 0.0096 kW

- Precio de la electricidad en un hogar (kW/h): S/ 0.8015
- Duración del proceso de tratamiento: 86 min = 1.43 h

Costo operativo del motor por hora:

$$1 \text{ kW/h} \rightarrow \text{S/ } 0.8015$$

$$0.0096 \text{ kW/h} \rightarrow x$$

$$x = \text{S/ } 0.00769$$

Costo operativo del motor por tratamiento:

$$1 \text{ h} \rightarrow \text{S/ } 0.00769$$

$$1.43 \text{ h} \rightarrow x$$

$$x = \text{S/ } 0.0109$$

Por lo tanto, se calcula que para cada proceso de tratamiento, al durar 86 minutos, el servicio de luz costará aproximadamente S/ 0.0109 (\$ 0.0028) dando como resultado 10 litros de agua tratada.

Como se puede apreciar en la tabla VI, el costo total de este proyecto sería de S/ 378 (\$ 95.83 al cambio de moneda actual), 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. Antecedentes 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. [11]

IV. 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

- [1] R. Marín, "Dinámica fisicoquímica de aguas" en *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*, 2ª ed. Díaz de Santos. [En línea]. Disponible en: <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788490522103.pdf>
- [2] Organización de las Naciones Unidas (ONU). Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida", 2015. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>
- [3] R. Olivero, I. Mercado y L. Montes "Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucilago del nopal *Opuntia ficus-indica*". *Producción + Limpia*, Vol. 8 N°1, pp. 19-27.
- [4] Organización Mundial de la Salud (OMS). Análisis y evaluación mundiales del saneamiento y el agua potable. Panorama de la salud OECD, 2012. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/4a7e30c6-es/index.html?itemId=/content/component/4a7e30c6-es>
- [5] S. Aguirre, N. Piraneque y R. Cruz "Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia". *Información Tecnológica*, Vol. 29 N°3, pp. 59 – 70.
- [6] D. Bermeo y F. Salazar "Diseño de un biofiltro de mucilago de tuna (*Opuntia Ficus- Indica*) para remover arsénico". Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/5399>
- [7] M. Bravo "Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales". Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.udistrital.edu.co/handle/11349/5609>
- [8] Ministerio del Ambiente (MINAM). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, 2017. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- [9] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Perú: mapa del déficit de agua y saneamiento básico a nivel distrital, 2010. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0867/libro.pdf
- [10] P. Salirrosas. "Calidad de ecosistema del río Pollo (Otuzco- La Libertad) en base a Indicadores bióticos y abióticos durante abril - octubre 2013". Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4362>
- [11] M. Bravo y J. Gutiérrez "Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara)". Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3275>
- [12] A. Maldonado "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 de grado, Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2683>
- [13] L. Calle y C. Zambrano "Optimización del proceso de floculación y coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas". Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22162>
- [14] D. Acebo y A. Hernández "Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida". *Revista CINEC, Ciencias Biológicas*, Vol. 44 N°1, pp. 2 – 13.
- [15] M. Veintimilla "Caracterización de aguas residuales domésticas generadas en la parroquia Tachina del cantón Esmeraldas". Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Esmeraldas, Ecuador, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/433>
- [16] P. Gil "Diseño de un biofiltro de mucilago de tuna (*Opuntia Ficus- Indica*) para remover arsénico". Tesis de grado, Universidad San Pedro, Chimbote, Perú, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/5399>
- [17] Autoridad Nacional del Agua (ANA). Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Moche – La Libertad, 2014. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2229?show=full>
- [18] Autoridad Nacional del Agua (ANA). Resultados del monitoreo 2019 de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Moche, 2019. Disponible en: <http://sial.segat.gob.pe/documentos/resultados-monitoreo-2019-calidad-agua-superficial-cuenca-rio-moche>
- [19] C. Banchon, R. Baquerizo, D. Muñoz y L. Zambrano "Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales". *Enfoque UTE*, Vol. 7 N°4, pp. 111-126.
- [20] T. Navarro "Impacto antrópico sobre la calidad del agua del río Pollo, Otuzco, La Libertad, Perú, 2018". Tesis de grado, Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, Perú, 2019 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12940>
- [21] S. Vilavila "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 de grado, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1830>
- [22] A. Neciosup, I. Valderrama y M. Nole "Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco". *Investigación estadística*, Vol. 2 N°1, pp. 12-19.
- [23] L. Barriga y K. Sabino "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". Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16197>
- [24] H. Barbaran, J. López y J. Chico "Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*Prunus persica*) y palta (*Persea americana*)". *SAGASTEGUIANA*, Vol. 5 N°1, pp. 7-16.
- [25] N. Cabrera, A. Hernández, E. Simancas, J. Ayala y K. Almanza "Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el

- tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias”. *Scientia et Technica*, Vol. 22 N°1, pp. 109-112, 2017.
- [26]B. Vásquez y T. Zapata “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”. Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12681>
- [27]ALNICOLSA S.A.C. “Goma de tara– Ficha técnica”. 2020, Disponible en: <https://taninos.tripod.com/FichaTecnica.htm>
- [28]K. Chuquipul y M. Rojas “Tratamiento del agua residual industrial mediante biofiltros y floculantes orgánicos por etapas, Puente Piedra-2019”. Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61481>
- [29] Solís A. “Hidráulica y de sistemas de riego: filtración de agua para riego”. 2017, Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/70190/secme-11279_1.pdf;jsessionid=57A156D0FF40FEFA4E3471D337FE538F?sequence=1
- [30]H. Ramírez y J. Jaramillo “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”. *Revista Facultad de ciencias básicas*, Vol. 11 N°2, pp. 136-153, 2015.