



## FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE MUCÍLAGOS Y ALMIDONES NATURALES COMO COAGULANTES – FLOCULANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Stuart Díaz Aliaga

Victoria Isabel Tafur Izquierdo

Asesor:

M. Sc. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A Dios,  
quien nos da una oportunidad cada día  
de ser mejores personas  
y así poder disfrutar de su creación

## **AGRADECIMIENTO**

Al Mg. Ing. Juan Carlos Flores Cerna, nuestro asesor, por su dedicación y acompañamiento continuo en el desarrollo del presente trabajo de investigación

A la Mg. Ing. Magda Velásquez, docente y coordinadora de carrera, por su apoyo incondicional para el logro de nuestros objetivos profesionales

A familiares, compañeros y amigos que colaboraron de alguna u otra manera para el desarrollo y culminación exitosa del presente estudio.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios de investigaciones recopilados para la presente investigación	27
Tabla 2. Información de los parámetros que intervienen en la floculación y coagulación en el tratamiento de agua de los estudios recopilados	31
Tabla 3. Información de los parámetros a utilizar	33
Tabla 4. Resultados del coeficiente de correlación de Pearson aplicada	34
Tabla 5. Parámetros relacionados con la reducción de turbidez utilizando mucílagos de <i>Agave americana</i> , <i>Salvia hispanica</i> , <i>Aloe vera</i> , <i>Caesalpinia spinosa</i> , de los estudios seleccionados.	35
Tabla 6. Parámetros relacionados con la reducción de turbidez utilizando almidón de <i>Manihot esculenta</i> , de los estudios seleccionados	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Coffea arabica</i> .....	19
Figura 2. <i>Salvia hispanica</i> .....	19
Figura 3. <i>Manihot esculenta</i> .....	19
Figura 4. <i>Caesalpinia spinosa</i> .....	20
Figura 5. <i>Aloe vera</i> .....	20
Figura 6. <i>Agave americana</i> .....	21
Figura 7. <i>Eficacia de los diferentes mucílagos en remoción de la turbidez de agua</i> .....	37
Figura 8. <i>Eficacia de los diferentes almidones en remoción de turbidez de agua</i> .....	38

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de correlación de Karl Pearson.....	26
Ecuación 2. Porcentaje de remoción de turbidez.....	26

## RESUMEN

El presente estudio está enfocado en encontrar nuevas formas naturales de floculación y coagulación en el tratamiento de agua superficial, dando una alternativa nueva para minorar la utilización de productos químicos como el sulfato de aluminio para la floculación en el proceso de tratamiento de agua. Para esto se ha tomado estudios donde se aplican distintas especies de plantas tanto con almidones y mucílagos como son *Agave americana*, *Salvia hispanica*, *Aloe vera*, *Caesalpinia spinosa* y *Manihot esculenta*, para conocer su capacidad de floculación se hizo un análisis y comparación y una correlación entre ellos, de los resultados obtenidos de los ensayos con cada especie de planta representados en cuadros para su análisis. Como resultados se obtuvieron 96,45%; 89,92%; 99,45%; 46,62%; 92,87%; 81,81%; 83,66%; 52,74% y 97,94% de efectividad ante turbiedades diferentes respectivamente, llegando a la conclusión que los floculantes-coagulantes naturales son productos efectivos para el proceso de floculación en el tratamiento de agua, logrando altas remociones de turbidez tanto los almidones como los mucílagos, siendo tan efectivos como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico utilizados actualmente en el tratamiento de agua.

**Palabras clave:** Turbidez, almidón, mucílago, floculación, pH



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad uno de los temas de importancia para la población de cualquier zona del Perú es el agua, ya que es un elemento fundamental para cualquier tipo de vida y actividades antrópicas. Para obtener agua apta para el consumo humano, es necesario realizar diferentes procesos que van desde la sedimentación, clarificación, desinfección hasta lograr agua potable. En el proceso de potabilización del agua la floculación y coagulación que consiste en desestabilizar las partículas suspendidas, ionizarlas y luego aglomerarlas para luego formar los flóculos que por el peso que obtienen se sedimentan haciendo fácil su eliminación como lodos (SEDAPAL). El sulfato de aluminio es muy utilizado en el proceso de coagulación, pero un mal uso de éste, sobre todo en altas dosis puede ser perjudicial para la salud. Por esta razón, esta investigación busca evaluar los principales parámetros que se puedan reducir utilizando floculantes y coagulantes naturales como: El mucílago de *Opuntia Ficus indica* y así reducir los riesgos de usar sulfato de aluminio. La escasez de agua potable en los países en vías de desarrollo representa un problema cada día más grande, siendo necesario buscar nuevas y eficientes alternativas que mejoren la calidad del agua para consumo humano que sea de fácil acceso y obtención para las poblaciones marginales. Según informes publicados en el año 2 002 por las Naciones Unidas, el volumen total del agua en el planeta es de 1 400 millones de  $\text{km}^3$  aproximadamente, de los cuales el 2,25 % representa unos 35 millones de  $\text{km}^3$  de agua dulce.

Indicando que el 0,007 % del total del agua del planeta es agua accesible al hombre para su aprovechamiento. El agua dulce disponible no alcanza ni el 0,5 % de la totalidad del agua existente, el agua dulce se renueva por lluvia: 40 000 a 50 000 kilométricos cúbicos al año. El consumo mundial de agua se duplica cada 20 años (un

ritmo dos veces mayor que el crecimiento humano). Según información del Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), más de 1 100 millones de personas en el mundo carecen agua potable y 31 países padecen escasez de ella y dos de cada cinco personas no cuentan con instalaciones adecuadas de saneamiento. El Perú es un país privilegiado, cuenta con 1,89 % de la disponibilidad de agua dulce del mundo (ANA, 2 020) A nivel nacional, el Perú cuenta con tres cuencas hidrográficas cuya disponibilidad de agua dulce, es inversamente proporcional a la población que alberga. Es decir, que la costa tiene la mayor cantidad de población del país, sin embargo, tiene el menor porcentaje de agua dulce.

En la ciudad de Cajamarca, la planta de tratamiento de agua potable El Milagro es abastecida por los ríos: Grande y Porcón, que acarrear un volumen considerable de sedimentos; por lo que, registra mayores consumos de sulfato de aluminio de 13,17 g/m<sup>3</sup> para el río Porcón y 14,94 g/m<sup>3</sup> para el río Grande, especialmente en los meses de diciembre a marzo; además se hace uso de un polímero catiónico en épocas de turbiedades altas antes del ingreso del agua a la planta (SEDACAJ 2019).

Siendo necesario buscar nuevas alternativas que no impacten negativamente a la salud humana y al ambiente, como es la utilización de coagulantes - floculantes naturales disponibles en nuestro entorno como el *Agave americana*, *Salvia hispanica*, *Aloe vera*, *Caesalpinia spinosa*, *Manihot esculenta*, etc.

En un primer estudio realizado por Apaza H. (2 013) en su informe de “Investigación de tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa de la Universidad Católica Santa María de Arequipa”, en el que realiza un análisis fisicoquímico de las aguas del río Chili, demostrando la contaminación de esta fuente de agua, presentando los

siguientes valores: coliformes fecales entre valores de 17 000 000 y 22 000 000 NMP/100mL; también se identificó presencia de metales como Aluminio con una concentración de 0,952 mg/L, Hierro con 0,909 mg/L y Plomo con 0,026. Al evaluar el extracto de la tuna como coagulante - floculante se llegó a reducir la turbiedad del agua y una corrección de pH al 7,11, Fe 0,059 mg/L y Pb con 0,026 mg/L de Fe empleando una concentración al 80 % de extracto que resulta favorable ya que permitió que el resto de contaminantes se purifiquen realizando un filtrado. En un segundo estudio realizado por, Olivero. R; Aguas. Y; Mercado I; Casas D y Montes L. (2 014). En su estudio denominado “Utilización de Tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas”, como una opción natural en comparación al uso de sales minerales como el Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  para el tratamiento de agua, ya que muchas investigaciones han demostrado que este compuesto deja Aluminio residual; razón por la cual este estudio busca reducir su uso. Las pruebas se realizaron en laboratorio utilizando aguas del río Magdalena en Magangué Colombia y se demostró que el mucílago extraído de la tuna puede ser utilizado como floculante - coagulante natural para clarificar aguas crudas del río Magdalena, pues logró reducir la turbidez hasta en un 83.66%. Sin embargo, el alumbre es más eficiente. Este estudio nos demuestra que en los valores de pH y alcalinidad no hubo cambios de consideración después del proceso con el coagulante. Así en un tercer estudio realizado por Vázquez O. (1 994), nos presenta un coagulante natural aplicado a muestras de agua con metales pesados y color (preparadas sintéticamente), y agua residual doméstica; se extrajo coagulante de tres especies de *Opuntia*, se realizaron análisis fisicoquímicos de estos coagulantes que indicaron presencia de material orgánico y un alto contenido de materia inorgánica (sales), responsables de una buena función en el proceso de floculación - coagulación. De la

aplicación como coagulante y coadyuvante se obtuvo la formación de flocs casi inmediata y con características favorable (en tamaño principalmente), aun cuando en la sedimentación presentó algunas variaciones, confirmadas con las pruebas fisicoquímicas realizadas al sobrenadante, para las muestras con color y de agua residual doméstica. Para la remoción de metales pesados se obtuvo los siguientes resultados a pH de 6,5 (en forma de iones), para el plomo se logró una remoción de 83 % para el hierro de 80 % y para el zinc de 15 %. Con las pruebas a pH de 8,5 (en forma de hidróxidos) se obtuvieron remociones para el plomo de 78 % para el fierro de 86 % y para zinc de 50 %. En un cuarto estudio Castellanos *et al.*, (2 012) se evaluó el efecto floculante del mucílago de tuna sobre los sólidos suspendidos, en donde demostró ser efectivo en un 67 % en la remoción de la turbidez a una concentración de 30 ppm. Asimismo, en un quinto estudio Olivero R; Mercado I y Montes L. (2 013), se evaluó se comparó el mucílago de la tuna con el sulfato de aluminio mediante como coagulantes, mediante la prueba de jarras, utilizando una concentración de (35 y 40 mg/L). Concluyendo que con sulfato de aluminio se logró una remoción de 99,80 % y con *Opuntia ficus-indica* un 93,25 %. Asimismo, un sexto estudio Tejada, (2 015), analizó el efecto del uso del coagulante natural de la tuna en la calidad de agua, aplicando un diseño experimental completamente randomizado, comparando tratamientos, cada uno con 3 réplicas (15 lecturas), con dosis de 1g, 0,70 g, 0,50 g, 0,15 g, 0,10 g. Finalmente, concluyó que el uso de la tuna como coagulante natural tuvo un efecto positivo en los parámetros de oxígeno disuelto, pH y color de la calidad del agua. Como séptimo estudio Contreras. K. y Gutiérrez T. (2 015), quienes realizaron el estudio denominado “Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli La Oroya, utilizando el coagulante de Maguey (*Agave americana* L.) a nivel de laboratorio” que buscó remover el plomo de las aguas del efluente minero

Yauli - Oroya, utilizando el Maguey (*Agave americana* L.) como coagulante natural. Realizando secuencialmente los siguientes procesos: Secado, molido, tamizado, extracción de pigmentos, maceración, filtración del gel obtenido y liofilización. Una vez obtenido el coagulante, se procedió con el proceso del efluente minero en laboratorio utilizando el equipo de pruebas de jarras, mediante los procesos: De coagulación, floculación y sedimentación. Logrando reducir en un 97,15 % de remoción de Plomo. Coronado, F (2 018); desarrolló la investigación experimental que tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la *Agave americana* y el *Aloe vera* en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Lurín; realizando primeramente la caracterización biológica de estas aguas, previas al tratamiento, cuyos resultados sobrepasaron los ECAS; DBO<sub>5</sub> (50,30 mg/L) y la DQO (90,7 mg/L). Se utilizaron los coagulantes naturales: *Agave americana*, *Aloe vera* y *Agave americana* + *Aloe vera* en tres muestras con concentraciones: 0,6; 0,7 y 0,8 g/L respectivamente. Se obtuvo como resultado que la dosis y el tratamiento que permite la mayor eficiencia en la reducción de materia orgánica es el *Agave americana* con dosis de 0,6 g/L, disminuyendo la concentración de DBO<sub>5</sub> en 80,95 % y DQO en 80,95 %, siguiendo a ello el *Aloe vera* en un 79,66 % y 77,33 % y su combinación *Agave americana* + *Aloe vera*) en 75,84 % y 66,70%. En un octavo estudio de Dávila, C (2 017), quien fue el investigador responsable del estudio denominado “Evaluación de efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en los caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas año 2 016-2 017”, para lo cual, se realizó un estudio experimental sobre los ríos Llalla, Paria y Chacchan cuyas turbiedades máximas fueron 46,7; 52,3; y 78,2 NTU, sobre las cuales se utilizaron coagulantes naturales muy comunes en la zona como: taya, papa, mashua, penca azul y trigo; mediante la prueba de jarras se obtuvieron las dosis de 28,

37, 35, 36 y 45 mg/L con agua de pH de 7,5 a 8 con concentraciones de 3,2 a 5,3 %.

Después del experimento obteniendo valores de turbiedad por debajo de los 5 NTU (límite máximo exigido por la Ley), se obtuvo valores de eficiencia de 97, 93, 94, 90 y 89,9 % para los coagulantes de taya, mashua, papa, trigo y penca azul respectivamente. También, se alcanzaron remociones de sólidos disueltos de hasta 89 % en la taya y con un mínimo de 13,5 % para el trigo, pero alcanzan el valor exigido por la norma. En conclusión, se puede utilizar especies vegetales como coagulantes que pueden ser eficientes para remover la turbiedad de las aguas superficiales de los ríos antes mencionados, en épocas de lluvias y llegar a ser aptas para el consumo. En un noveno estudio realizado Musalan, 2 019; denominado “Evaluación de la actividad coagulante de los polifenoles extraídos de residuos de café (*Coffea arabica*)”, cuyo objetivo fue la búsqueda de un coagulante natural que logre reemplazar los compuestos metálicos que se usan actualmente y que pueden provocar impactos negativos a la salud. Para esto se evaluaron: pergamino, cáscara y café verde de trilla, obteniendo de la cáscara la mayor cantidad de polifenoles totales extraídos por el método de ultrasonido y cuantificados por el método Folin-Ciocateu. Para determinar el mejor método para alcanzar mayores concentraciones se tuvieron en cuenta el ultrasonido usado en la selección del residuo y la maceración, logrando obtener una concentración de polifenoles totales máxima de  $8,471 \pm 1,743$  mg GAE/Gbs por el método de maceración durante 30 horas con una proporción V:V de solvente de etanol agua en proporción V:V 50:50. Mediante un test de jarras se probó la eficiencia como coagulante del extracto de polifenoles obtenido en aguas sintéticas con pigmentos catiónicos. Utilizando un diseño de experimentos multifactorial en el que la concentración del extracto fue considerada e tres niveles y el pH con cuatro niveles. Obteniendo como resultado, para el cristal violeta se logra una remoción del 91,143 %

a pH 7,5 y para la remoción de azul de metileno el extracto de polifenoles alcanza un 72,692 % de remoción del color a un pH básico de 9,13. Como décimo antecedente Cendales W y Cañón O. (2 016), en su estudio denominado “Evaluación de la eficiencia del mucílago del café como coagulante frente al cloruro férrico en los procesos de remoción de sólidos suspendidos en el agua”, que se realizó en agua preparada en laboratorio tomando datos de pH, turbiedad, color, potencial zeta y aplicando el test de jarras. El agua problema fue preparada en laboratorio, adicionando en un litro de agua 0,5 gramos de arcilla; obteniendo, una concentración de sólidos de 500 mg/L se usaron las siguientes concentraciones de mucílago: 20, 30, 40, 80, 120, 160, 200 y 240 mg/L; teniendo en cuenta que la dosis óptima de cloruro férrico evaluada mediante el test de jarras fue de 40 mg/L. Concluyendo, que en las condiciones en las que se realizó el experimento, no es viable el uso de mucílago de café como coagulante. En un décimo estudio realizado por Minaya, 2 018, realizó el estudio llamado “Eficacia de los coagulantes *Linum usitatissimum* y *Salvia hispanica* en la remoción de sedimentos de las aguas residuales de la avícola San Fernando SAC para el uso de riego categoría 3”, cuyo objetivo fue determinar la eficacia de *Linum usitatissimum* y *Salvia hispanica* en la remoción de sedimentos de las aguas residuales de la avícola San Fernando SAC. Previamente, se realizó un tratamiento primario para separar los sólidos de gran tamaño y luego se aplicaron los dos coagulantes naturales de forma independiente. En total se analizaron 3. La dosis de 5 gramos de coagulante fue la más eficiente debido a que si se adiciona más dosis tiende a no formar los flóculos. Se concluye que se logra un 75 % de remoción usando *Salvia hispanica* y un 67 % de remoción de sedimentos usando *Linum usitatissimum*. Asimismo, la *Salvia hispanica* redujo la turbidez en un 97,63 %, también redujo el DQO a 14 mg/L, valor que se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.

A continuación, se presentan las principales definiciones conceptuales relacionadas con el estudio realizado:

**Turbidez:** Se entiende como la presencia de partículas en suspensión que produce la falta de transparencia de un líquido. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será la calidad (Velandia *et al* 2007, p.18).

Las partículas en suspensión dispersan la luz del sol ocasionando que las algas y plantas encargadas de producir oxígeno en el agua no sean eficientes y como resultado una disminución de oxígeno en el agua. Por lo que, en el proceso de tratamiento de agua potable la turbiedad es un indicador de la calidad del agua, mientras más turbidez tenga menor es la calidad del agua, pues es más la contaminación del agua a tratar.

Según la Organización Mundial de la Salud, la turbiedad del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso los 5 UNT y estar idealmente bajo el 1 NTU. (Gonzales C. 2 011)

**Floculantes naturales:** La floculación - coagulación con compuestos naturales y sedimentación posterior es un tratamiento muy extendido. Empleando las propiedades coagulantes e incluso antibióticas de algunas plantas (García B. 2 007)

**Mucílago:** Los mucílagos son un tipo de fibra soluble que podemos encontrar desde plantas como el agaragar, la borraja, presentes en los higos o limones, pasando por legumbres como las vainitas y frutos secos como las almendras. (Escudero *et al* 2006, p.63).



**Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** El MINAM ha establecido los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que determinan los valores máximos permitidos de contaminantes en las descargas a los cuerpos receptores en el ambiente. El objetivo es garantizar la preservación de la calidad ambiental a través del uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada. (Decreto Supremo No 015-2015-MINAM, 2 015).

**La coagulación:** Es el proceso que consiste en la desestabilización iónica del agua para facilitar la formación de flóculos. Que consiste en la remoción de partículas en suspensión, mediante la adición de coagulantes químicos, cuya aplicación trae desventajas relacionadas a producción de grandes volúmenes de lodo, altos costos de adquisición y afecta al pH del agua procesada. (Guzmán *et al* 2 013,p.253).

#### **Factores que influyen en la coagulación**

**Tamaño de las partículas:** En el proceso de floculación – coagulación las partículas deben tener un diámetro menor a una micra. Las partículas con diámetro que varían entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, y las partículas con un diámetro mayor a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc (Contreras *et al* 2 015, p.28).

**Temperatura:** La temperatura influye en el tiempo de formación del floc. Entre más fría el agua el tiempo de formación del floc es mayor pues la reacción es más lenta (Contreras *et al* 2 015, p.28).

**Concentración de iones  $H^+$  o pH:** Existe una zona de pH óptima para cada coagulante, en la que ocurre la floculación en un tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante (Contreras *et al* 2 015, p.28).

**Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de floculante - coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación de los flocs (Contreras et al 2 015, p.28).

**La sedimentación:** Es el proceso en el cual las partículas con mayor peso que el agua y que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad; es decir, se da una sedimentación, en la cual las partículas al unirse, van aumentando su masa y su velocidad de sedimentación (Contreras *et al* 2 015, p.30).

**Prueba de jarras:** La coagulación y la dosificación adecuada de reactivos deben ser seleccionadas por una simulación de la etapa de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simulación del proceso de clarificación. Este método consiste en un arreglo simple de vasos de precipitación y paletas que permiten comparar varias combinaciones, las cuales están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el objetivo de determinar la concentración óptima de floculante - coagulante necesario para obtener un floc con las mejores características (Contreras *et al* 2 015, p.31).

***Coffea arabica:*** Es una especie arbustiva pequeña lisa de hojas lustrosas relativamente pequeñas, de forma oval o elíptica y flores fragantes de color cremoso o blanco. De origen etíope pertenece al género Coffea de la variedad Arabica (Musalan, 2 019).



*Figura 1. Coffea arabica*

Fuente: Sehablacafe.com

***Salvia hispanica***: conocida comúnmente como chía, es una especie anual nativa de Centroamérica, de zonas montañosas del oeste y centro de México, así como de Guatemala (Di Sapio *et al.*, 2012).



*Figura 2. Salvia hispanica*

Fuente: rarethingsforsale.com

***Manihot esculenta***: La “yuca”, tüxe en lengua ticuna, pertenece a la familia Euphorbiaceae, se cultiva en todas las zonas tropicales del mundo y es considerada la fuente primaria de hidratos de carbono para más de ochocientos millones de personas en todo el mundo (Lebot, 2009)



*Figura 3. Manihot esculenta*

Fuente: shutterstock.com

***Caesalpinia spinosa***: Es una especie originaria de los Andes, conocida comúnmente como Tara o Taya, que crece de manera silvestre o cultivada en varios países de la región andina (Narváez *et al.*, 2009).



*Figura 4. Caesalpinia spinosa*

Fuente: plantasyhongos.es

***Aloe vera***: El Aloe es una planta originaria de regiones áridas que se ha empleado como remedio medicinal desde la antigüedad. Su uso en diferentes patologías depende de cuestiones biológicas, de la variedad de la planta e incluso de cuestiones culturales. Se conocen más de 360 especies de Aloe y se conocen estudios científicos sólo de algunas de las especies con propiedades medicinales, siendo el Aloe vera la especie más estudiada y comercializada en la actualidad.



*Figura 5. Aloe vera*

Fuente: gastroactitud.com

**Tegumento:** estructura que envuelve la parte central de la semilla del café (Musalan, 2019, p.31).

**Agave Americana L:** O penca azul es una planta perenne que presenta raíces fibrosas y duras, con tallo grueso y corto raramente alargado; con hojas dispuestas en roseta, crece en forma de cono sobrelapadas, son gruesas con parénquima esponjoso, están cubiertas por una capa externa de cera; el sistema vascular de estas plantas circula por sus hojas, creando fibras por todo lo largo de la hoja, por lo que son duras, rígidas y fibrosas en el centro, sus márgenes presentan espinas rectas o ganchudas, dependiendo de cada especie, con una duración en la planta de 12 a 15 años. Su inflorescencia es en forma de espiga o panoja con pedúnculo largo y semileñoso, puede estar panícula, racimo o espiga. Su reproducción puede ser por semillas o vegetativa, la mayoría de las especies usan ambos mecanismos. Pueden ser polinizados por murciélagos, insectos y colibríes (Contreras et al 2015, p.21).



*Figura 6. Agave americana*

Fuente: Flickr.com

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia de los mucílagos y almidones naturales como floculantes - coagulantes en el tratamiento de agua?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la eficiencia de los mucílagos y almidones naturales como floculantes – coagulantes en el tratamiento de agua.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Obtener y recopilar trabajos de investigación sobre la eficiencia de la aplicación de los mucílagos y almidones naturales como floculantes – coagulantes en el tratamiento de agua.
- Realizar un análisis descriptivo – correlativo de los trabajos de investigación realizados a nivel nacional e internacional en la aplicación de mucílagos y almidones como coagulante – floculante en el tratamiento de agua.
- Determinar la eficiencia de los mucílagos y almidones naturales en la disminución turbiedad en el tratamiento de agua.



## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Los mucílagos y almidones naturales son eficientes como floculantes – coagulantes en el tratamiento de agua.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Se cuenta con trabajos de investigación sobre la eficiencia de la aplicación de mucílagos y almidones naturales en el tratamiento de agua.
- Existe una correlación entre los parámetros de los trabajos de investigación realizados a nivel nacional e internacional sobre la aplicación de mucílagos y almidones como coagulante – floculante en el tratamiento de agua.
- Los mucílagos y almidones naturales son eficientes en la disminución de turbiedad en el tratamiento de agua.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Para esta investigación se utilizó un tipo y diseño como indican Hernández *et al* (1997), en su estudio Metodología de la investigación y se describe como:

- Tipo de Estudio: Descriptivo – Transversal
- Diseño de la Investigación: No Experimental - Descriptivo
- Método y Técnica: Cuantitativo – Observacional

### 2.2. Población y muestra

**Población:** El universo poblacional fue delimitado según los estudios de los temas que intervienen en el proceso de tratamiento de agua superficial siendo coagulación y floculación con mucílagos y almidones naturales, teniendo así un estudio dirigido a la problemática en el tratamiento de agua potable con sales metálicas y escasez de agua.

**Muestra:** Muestra no probabilística, se realizó una búsqueda de investigaciones entre revistas, artículos y tesis sobre tratamiento de agua potable con coagulantes y floculantes naturales entre ellos nacionales e internacionales orientadas a la problemática de la escasez de agua.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

- Se recopiló trabajos de investigación sobre la aplicación de floculantes – coagulantes naturales en el tratamiento de agua.
- Se sistematizó los principales parámetros en cuadros Excel de cada uno de los trabajos de investigación recopilados y luego se seleccionó los estudios teniendo en cuenta la información brindada sobre los parámetros a evaluar.



- Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson entre los parámetros de pH y turbiedad inicial, dosis de mucílago o almidón, pH y turbiedad alcanzada y eficiencia, de los trabajos de investigación seleccionados.
- Se calculó la eficiencia de remoción de turbidez en los estudios seleccionados

#### 2.4. Procedimiento

- **Recopilación trabajos de investigación**

Para realizar la búsqueda específica, se determinaron las siguientes palabras claves: tratamiento de agua, floculación, coagulación, mucílagos, almidones naturales en trabajos de investigación como: artículos científicos, tesis, trabajos de investigación en general; los cuales fueron seleccionados de las siguientes bases de datos: Redalyc (colección de revistas científicas), Scielo (biblioteca electrónica científica en línea), Sciencedirect, Pubmed y Google académico.

En este estudio se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: artículos originales publicados en bases de datos científicas, entre los años 2 000 y 2 019, en idioma español, que describen las diferentes especies vegetales como: *Agave americana*, *Salvia hispanica*, *Aloe vera*, *Caesalpinia spinosa*, *Manihot esculenta*; cuyos mucílagos y almidones pueden ser utilizados en el proceso de coagulación y floculación en tratamientos de agua.

Como criterios de exclusión se definieron todos los tratamientos de agua con mucílagos y almidones naturales.

Los estudios se registraron tomando información sobre el año de la publicación, autor y título.

- **Sistematización de los principales parámetros**

De los estudios de investigación recopilados se sistematizaron en un cuadro Excel la información de los parámetros que intervienen en el proceso de floculación y

coagulación en el tratamiento de agua, con información sobre especie vegetal utilizada, pH de la muestra de agua, turbiedad, color, dosis de mucílago, etc.

Luego se seleccionó aquellos estudios de investigación que contaron con la información de los parámetros a estudiar, los que fueron analizados utilizando la estadística descriptiva.

- **Aplicación del coeficiente de correlación de Pearson**

Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para los parámetros de pH de la muestra inicial y alcanzada, turbiedad inicial y alcanzada, dosis de mucílago y eficiencia.

Ecuación 1. Coeficiente de correlación de Karl Pearson

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right]}}$$

$$-1 \leq \gamma \leq 1$$

- **Cálculo de la eficiencia de remoción de turbidez en los estudios seleccionados**

Se realizó el cálculo de la remoción de la turbidez teniendo en cuenta la turbiedad inicial expresada en NTU, el pH inicial, la dosis de floculante-coagulante natural utilizada y el pH y turbiedad alcanzada.

Ecuación 2. Porcentaje de remoción de turbidez

$$\%RT = \left( \frac{\text{turbiedad}_{\text{inicial}} - \text{turbiedad}_{\text{final}}}{\text{turbiedad}_{\text{final}}} \right) * 100$$

### Aspectos éticos

Este estudio es original realizado por los autores quienes para su realización consultaron diferentes fuentes bibliográficas las que están debidamente citadas y referenciadas tomando en cuenta el formato APA en su sexta edición.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

- **Trabajos de investigación recopilados**

Los trabajos de investigación recopilados se registraron en la siguiente tabla

**Tabla 1**

*Estudios de investigaciones recopilados para la presente investigación*

Nº	Año	Autor	Título
1	2015	Contreras Sanabria, Katheryn L. y Gutiérrez Mayta, Tania M.	“Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli la Oroya utilizando el coagulante de maguey ( <i>Agave americana</i> L.) a nivel de laboratorio”
2	2018	Coronado Valdivia Fiorella M.	“Eficiencia del <i>Agave</i> y el <i>Aloe vera</i> en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Lurín en el AA. HH Julio César Tello”
3	2017	Dávila Paredes, Cesar Manuel G.	“Evaluación de efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en los caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas año 2016-2017”
4	2019	Musalan En suncho, María C.	“Evaluación de la actividad coagulante de los polifenoles extraídos de residuos de café ( <i>Coffea arabica</i> )”
5	2016	Cendales Arévalo, William R. y Cañón Celi, Oscar A.	“Evaluación de la eficiencia del mucílago del café como coagulante frente al cloruro férrico en los procesos de remoción de sólidos suspendidos en el agua”
6	2018	Nuván Vargas, Laura N. y Rojas Nariño Melissa M.	“Evaluación fisicoquímica del tratamiento primario de agua, mediante el uso de un coagulante obtenido a partir de residuos de café”
7	2016	Moreno Pérez, Sandy C.	“Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando <i>Opuntia ficus indica</i> , <i>Aloe vera</i> y <i>Caesalpinia spinosa</i> ”
8	2019	Hurtado Pérez, Arnaldo M.	“Polisacáridos del gel de <i>Aloe vera</i> L. como floculante en tratamiento de aguas”
9	2019	Diestra Ramos, Fredy S. y Ramos Paredes, Isaac V.	“Efecto de la concentración de <i>Aloe vera</i> (Sábila) y tiempo de floculación en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica biodegradable de aguas residuales municipales sector el Cerrillo, Santiago de Chuco”

Continuación de tabla 1

Nº	Año	Autor	Título
10	2017	Razuri Malqui, Kriss E.	“Disminución del contenido de la DBO <sub>5</sub> y la DQO mediante coagulantes naturales ( <i>Aloe vera</i> L. y <i>Opuntia ficus indica</i> ) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres”
11	2019	Terrones Coba, Luis K.	“Determinación de la eficiencia de floculación en la mezcla de ( <i>Aloe vera</i> y <i>Citrus reticulata</i> ) para la disminución de la turbidez en las aguas del río Chico, del distrito de San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, región Cajamarca – 2018”
12	2018	Villacrez Hermida, Jhorvys S.	“Eficacia de un coagulante a base de <i>Aloe vera</i> para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, Moyobamba, 2018”
13	2016	Daza, Rina; Barajas-Solano, Andrés F. y Epalza Jesús M.	“Evaluación de la eficiencia de biopolímeros derivados de las plantas desérticas como agentes de floculación”
14	2014	Díaz Claros, José N.	“Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas”
15	2019	Morales Osorio, Jenny A.	“Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano – Oxapampa - 2018”
16	2014	Cabrera Lara, Gabriela y Ramírez Mosquera, Javier	“Almidón extraído de la yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer municipio de Potosí”
17	2019	Cuadro Santana, William A. y Rodas Haz, Josué E.	“Alternativa para la sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales”
18	2017	Másmela Roza, Anyela P. y Aguilar Cristancho, Nathaly.	“Evaluación de almidón de <i>Manihot esculenta</i> (Yuca) y <i>Musa AAB Simmonds</i> (Plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial del occidente - PAO”
19	2019	Romero Shiguango, Lizeth E.	“Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea”

Continuación de tabla 1

Nº	Año	Autor	Título
20	2018	Chicama Aquino, Ina M. y Vigo Lezma, Leydi E.	“Eficiencia de la goma de <i>Caesalpinia spinosa</i> de la remoción de sólidos suspendidos, en las aguas del río Chonta, Los Baños del Inca - 2018”
21	2016	Bravo Guerrero, Milagros M. y Gutiérrez López, Jorge L.	“Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Río Pollo en Otuzco empleando semillas de <i>Caesalpinia spinosa</i> (Tara)”
22	2017	Ramírez Flores, Kelly P.	“Dosis de coagulante natural <i>Caesalpinia spinosa</i> para mejorar la calidad de las aguas residuales en el Dren 4000”
25	2018	Romero Norabuena, Edgar L.	“Cálculo de la relación de pH, concentración y nivel cantidad de la especie <i>Caesalpinia spinosa</i> para remover turbiedad en el periodo de avenidas para el río Paria, Huaraz – Ancash - 2016”
26	2018	Minaya Loa, Roy K.	“Eficacia de los coagulantes <i>Linum usitatissimum</i> y <i>Salvia hispanica</i> en la remoción de sedimentos de las aguas residuales de la avícola San Fernando SAC para el uso de riego categoría 3”
27	2015	Ribeiro, Iuri	“Aplicación de coagulantes y floculantes orgánicos alternativos en el postratamiento de efluente de una lechería”
28	2013	Olivero Verdel, Rafael, <i>et al</i>	Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>
29	2018	Lozano Florián, Lorena	Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de <i>Opuntia ficus-indica</i> (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018
30	2015	Contreras Lozano, Karen <i>et al</i>	El Nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua
31	2014	Olivero Verdel, Rafael, <i>et al</i>	Utilización de Tuna ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas
32	2012	Pacora Bernal, Loida, <i>et al</i>	Efecto del uso de floculante natural <i>Opuntia ficus-indica</i> M. “tuna” en la disminución de la carga bacteriana de las aguas superficiales del distrito de Santa Rosa, Pallasca, Ancash
33	2015	Pacora Bernal, Loida, <i>et al</i>	Optimización de floculante natural de tuna <i>Opuntia ficus-indica</i> en la clarificación de las aguas superficiales del distrito de Santa Rosa provincia Pallasca

La tabla 1 contiene información de cada uno de los trabajos de investigación recopilados después de una exhaustiva búsqueda. Esta información está ordenada por año de elaboración del estudio, autor y título original para facilitar la identificación. Además, se puede observar que los estudios corresponden a 05 especies de plantas: *Agave americana*, *Salvia hispanica*, *Aloe vera*, *Caesalpinia spinosa*, *Manihot esculenta*.

- **Sistematización de los principales parámetros**

De los trabajos recopilados se extrajeron los parámetros tomados en cuenta en el proceso de floculación y coagulación en el tratamiento de agua, los que se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 2**
*Información de los parámetros que intervienen en la floculación y coagulación en el tratamiento de agua, de los estudios recopilados*

N°	Autor	Especie vegetal utilizada	Tipo de muestra de agua	pH de la muestra	Turbiedad inicial de la muestra NTU	Dosis de floculante mg/L	Turbiedad alcanzada	pH final
1	Coronado Valdivia Fiorella M.	Agave	Río	7,83	270	0,6	9,58	8,4
2	Dávila Paredes, Cesar Manuel G.	Agave	Río	7,5	78,2	36	7,86	8
3	Musalan En suncho, María C.	Café	Laboratorio	6,21	0,42	47,6	-	8,4
4	Cendales Arévalo, William R. y Cañón Celi, Oscar A.	café	Laboratorio	7,05	210	120	149	6,74
5	Chacua Mojica, Daniela y Rodríguez Martínez, Alejandra Moreno Pérez, Sandy C.	café	Laboratorio	7,32	520,9	75	49,33	-
6		Aloe	Río	7,43	-	6	-	-
7	Hurtado Pérez, Arnaldo M.	Aloe	Agua superficial	6,5	-	-	30	6,9
8	Diestra Ramos, Fredy S. y Ramos Paredes, Isaac V.	Aloe	Río	-	293	3 000	34,84	-
9	Razuri Malqui, Kriss E.	Aloe	Canal de regadío	7,87	429	600	20,8	-
10	Terrones Coba, Luis K.	Aloe	Río	8,03	110	-	25,83	8,07
11	Morales Osorio, Jenny A.	Aloe	Río	-	79,7	1,8	-	-
12	Cabrera Lara, Gabriela y Ramírez Mosquera, Javier	Yuca	Agua de quebrada	6,6	9,82	2	4,64	6,96
13	Cuadro Santana, William A. y Rodas Haz, Josué E.	Yuca	Río	6,81	78	0,5	1,6	7,53
14	Chicoma Aquino, Ina M. y Vigo Lezma, Leydi E.	Taya	Río	-	41,5	6	8,01	-
15	Bravo Guerrero, Milagros M. y Gutiérrez López, Jorge L.	Taya	Río	-	42,6	3 000	8,92	7
16	Romero Norabuena, Edgar L.	Taya	Río	7,8	31,1	35	16,6	7,5
17	Olivero Verdel, Rafael, <i>et al</i>	Opuntia	Río	7,22	276	35	19,46	6,63

## Continuación de tabla 2

N°	Autor	Especie vegetal utilizada	Tipo de muestra de agua	pH de la muestra	Turbiedad inicial de la muestra NTU	Dosis de floculante mg/L	Turbiedad alcanzada	pH final
18	Lozano Florián, Lorena	Opuntia	Río	7,64	55	1	10	7,54
19	Contreras Lozano, Karen <i>et al</i>	Opuntia	Río	7,11	97,67	-	1,78	-
20	Olivero Verdel, Rafael, <i>et al</i>	Opuntia	Río	6,55	174	40	28,43	6,41
21	Pacora Bernal, Loida, <i>et al</i>	Opuntia	Acequia	-	-	200	-	-
22	Pacora Bernal, Loida, <i>et al</i>	Opuntia				350	-	-
23	Nuván Vargas, Natalia	Café	Quebrada	6,66	367	131	1,99	2,08

En la tabla 2 se muestra los principales parámetros del proceso de floculación y coagulación como son pH inicial y alcanzada, turbiedad inicial y alcanzada, dosis de sustrato para la floculación y coagulación, etc.

Podemos observar en la tabla que sólo algunos estudios presentan información de los principales parámetros. Los que fueron seleccionados para los siguientes análisis de la información.



- **Resultados del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson**

**Tabla 3**

*Información de los parámetros a utilizar*

Lugar de estudio seleccionado	Autor/ Autores	pH de la muestra	Turbiedad inicial de la muestra NTU	Dosis de mucílagos	Turbiedad alcanzada	pH final	Eficiencia
Lima, Lurín AA. HH Julio cesar Tello 2018	Coronado Valdivia Fiorella M.	7,83	270	0,60	9,58	8,4	96,45%
Huaraz, Callejón de Huaylas 2017	Dávila Paredes, Cesar Manuel G.	7,75	78,2	36	7,86	8	89,92%
Huaraz - Ancash 2018	Romero Norabuena, Edgar L.	7,80	31,10	35	16,60	7,50	46,62%
Colombia Magdalena 2 013	Olivero R. y Montes L., <i>et al</i>	7,22	276	35	19,46	6,63	92,87%
Perú Cajamarca 2 018	Lozano	7,64	55,00	1,00	10,00	7,54	81,81%
Barranquilla Colombia 2014	Olivero R. Mercado I, <i>et al</i>	6,55	174	40	28,43	6,41	83,66%
Yamuesquer - Potosí 2 014	Cabrera Lara, Gabriela <i>et al</i>	6,60	9,82	2,00	4,64	6,96	52,74%
Ecuador Guayaquil 2 019	Cuadro Santana, William A. <i>et al</i>	6,81	78,00	0,5	1,60	6,81	97,94%

La tabla 3 muestra los datos de los parámetros de pH inicial y final, turbiedad inicial y alcanzada, dosis de sustrato utilizado en la floculación y coagulación. Esta información será usada en el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson.

**Tabla 4**

*Resultados del coeficiente de correlación de Pearson aplicada*

	pH de la muestra	Turbiedad inicial de la muestra NTU	Dosis de floculante	Turbiedad alcanzada	pH final	Eficiencia
pH de la muestra	1					
Turbiedad inicial de la muestra NTU	0,128267067	1				
Dosis de floculante	-0,009133412	0,182609485	1			
Turbiedad alcanzada	-0,093826273	0,438722489	0,74337512	1		
pH final	0,715696461	-0,046994976	-0,41528543	-0,60190078	1	
Eficiencia	0,017206213	0,643459537	-0,10811249	-0,0563047	0,21640266	1

En la tabla 4 se presentan los parámetros considerados para calcular el coeficiente de correlación de Pearson, notándose que no existe una correlación significativa entre los parámetros de pH final y dosis de sustrato.

- **Cálculo de la eficiencia de remoción de turbidez en los estudios seleccionados**

**Tabla 5**

*Parámetros relacionados con la reducción de turbidez utilizando mucílagos de Agave americana, Salvia hispanica, Aloe vera, Caesalpinia spinosa, de los estudios seleccionados.*

Lugar de estudio seleccionado	pH de la muestra	Turbiedad inicial de la muestra NTU	Dosis de mucílago	Turbiedad alcanzada	pH final	Eficiencia
Lima, Lurín AA. HH Julio cesar Tello 2018	7,83	270	0,60	9,58	8,4	96,45%
Huaraz, Callejón de Huaylas 2017	7,75	78,02	36	7,86	8	89,92%
Huaraz - Ancash 2018	7,80	31,10	35	16,60	7,50	46,62%
Colombia Magdalena 2013	7,22	273	35	19,46	6,63	92,87%
Cajamarca 2018	7,64	55,00	1,00	10,00	7,54	81,81%
Barranquilla Colombia 2015	6,55	174	40	28,43	6,41	83,66%

En la tabla 5 se muestran los resultados del cálculo de la eficiencia en la remoción de turbiedad de los estudios donde se utilizó mucílagos como floculantes- coagulantes. Es decir, que se utilizaron las especies vegetales como: *Agave americana*, *Salvia hispanica*, *Aloe vera*, *Caesalpinia spinosa*.

**Tabla 6**

Parámetros relacionados con la reducción de turbidez utilizando almidón de *Manihot esculenta*, de los estudios seleccionados

Lugar de estudio seleccionado	pH de la muestra	Turbiedad inicial de la muestra NTU	Dosis de mucílago	Turbiedad alcanzada	pH final	Eficiencia
Yamuesquer - Potosí 2 014	6,60	9,82	2,00	4,64	6,96	52,74%
Ecuador Guayaquil 2 019	6,81	78,00	0,5	1,60	6,81	97,94%

En la tabla 6 se muestran los resultados del cálculo de la eficiencia en la remoción de turbiedad de los estudios donde se utilizó almidón como floculantes- coagulantes. Es decir, se utilizó la especie vegetal *Manihot esculenta*.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Los resultados obtenidos al analizar los estudios sobre floculación y coagulación con mucílagos y almidones fueron resultados favorables con eficiencias hasta 97,94% en el estudio de Cuadro *et al.* (2 019) “Alternativa para la sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales” realizado en Ecuador, reduciendo la turbidez hasta 1,6 NTU; comparado con el estudio realizado por Nuván *et al* (2 018) “Evaluación fisicoquímica del tratamiento primario de agua, mediante el uso de un coagulante obtenido a partir de residuos de café” realizado en Colombia, en el que la eficiencia del almidón como floculante alcanzó un 97,94% en la remoción de turbidez logrando reducir la turbidez a 1,99 NTU. Es decir, que cumple con el ECA, de fuentes de agua en la categoría 1-A, aguas destinadas a la producción de agua potable con desinfección, para el Perú.

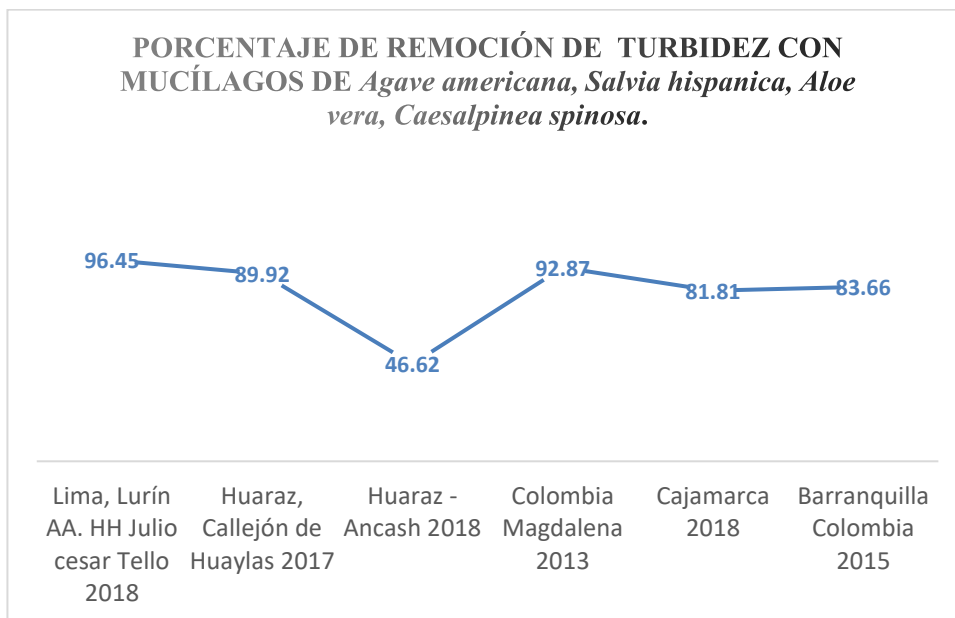


Figura 7. Eficacia de los diferentes mucílagos en remoción de turbidez de agua

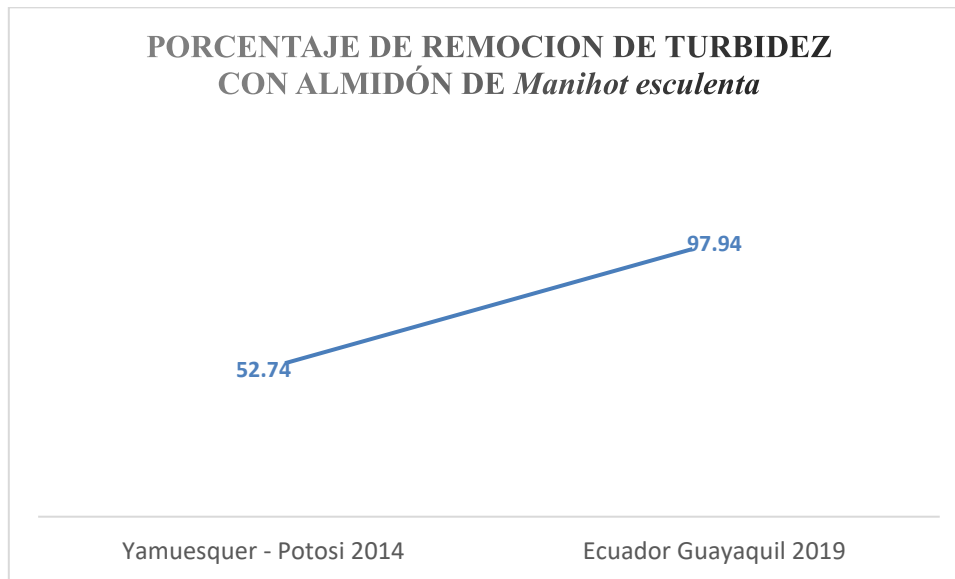


Figura 8. Eficacia de los diferentes almidones en remoción de turbidez de agua

En cambio, en otro estudio realizado por Restrepo H. (2 009) “Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable” indica que el sulfato de Aluminio líquido tipo B + Ultrión 8157 que se utilizan en tratamiento de agua potable en una dosificación de 50 ppm logrando una eficacia de 95,77% reduciendo a 3,6 NTU. la cual es menor al logrado por el mucílago y almidón, pero se cumple con el ECA para agua potable.

En otro estudio Chávez *et al* (2 014). acción coagulante – floculante del cloruro férrico y el polímero aniónico Floerger an 910, en el tratamiento químico del agua residual de la laguna de estabilización del parque industrial río seco (PIRS). Tomando el cloruro férrico como floculante – coagulante nos brinda valores de eficacia de 99,32% con una dosificación de 120 ppm, reduciendo la turbidez de 1166,7 NTU a 7,9 NTU, lo que indica que los mucílagos y almidones logran una eficacia similar como se puede ver en las (figuras 7 y 8).

## 4.2 Conclusiones

- Se recopilaron trabajos de investigación sobre la eficiencia de la aplicación de mucílagos y almidones naturales en el tratamiento de agua y se obtuvieron 33 estudios, de los cuales 4 corresponden a estudios sobre almidones naturales y 29 sobre mucílagos, como se muestra en la tabla 1.
- No existe una correlación significativa entre los parámetros de los trabajos de investigación utilizados en el presente estudio, como se muestra en la tabla 4, donde el valor más alto de correlación es de 0,74 entre dosis de floculante y turbiedad alcanzada.
- Los mucílagos y almidones naturales son eficientes en la remoción de turbidez, obteniéndose que la eficiencia con el uso de mucílagos varía entre 46,62% y 96,45%, como se muestra en la tabla 5. Y con el uso de almidones se pueden obtener valores entre 52,74% y 97,94%, como se muestra en la tabla 6.
- Los mucílagos y almidones naturales son eficientes como floculantes – coagulantes en el tratamiento de agua.

## REFERENCIAS

- ANA (2 016). R.J. N° 010-2016-ANA Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima – Perú
- Apaza. H. (2 013). Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa. Economía y Sociedad 82, CIES, diciembre 2013.
- Castellanos M; Becerra N; Carreño L y Páez L (2 012). Estudio comparativo de la acción coagulante-floculante del mucílago de opuntia ficus indica por los métodos: coagulación y electrocoagulación en los lixiviados del relleno sanitario pircua de Tunja. Revista ADIS VOL. N° 5, 30 de abril 2 012.
- Cendales W y Cañón O. (2016). Evaluación de la eficiencia del mucílago del café como coagulante frente al cloruro férrico en los procesos de remoción de sólidos suspendidos en el agua. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/324](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/324).
- Contreras. K. y Gutiérrez T. (2 015) Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli la oroya utilizando el coagulante de maguey (*agave americana l.*) a nivel de laboratorio. Tesis Para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Universidad nacional del centro del Perú facultad de ingeniería química Huancayo – Perú
- Coronado. F. (2 018). Eficiencia del Agave y el Aloe vera en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Lurín en el AA. HH Julio César Tello. Tratamiento de gestión de residuos Lima Perú.



- Cuadro W y Rodas J. (2 018). Alternativa para la sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química 2 018
- Chávez L y Alpaca Y. (2 014). acción coagulante – floculante del cloruro férrico y el polímero aniónico floerger an 910, en el tratamiento químico del agua residual de la laguna de estabilización del parque industrial río seco (PIRS). universidad nacional de san Agustín facultad de ingeniería de procesos escuela profesional de ingeniería química.
- Dávila C; Gregorio C; Polo R; Flores J; Huamán M y Araujo N. (2 017). Evaluación de efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en los caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas año 2 016-2 017. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Di Sapio, B. O.; Busilacchi, M. H.; Quiroga, M. y Severin, C. 2012. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. 11(3):249-268.
- Escudero Álvarez, E., y González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutr. Hosp*, 21, 61–72.
- García B. (2 007). Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de aguas superficiales aplicado en países en vías de desarrollo. Universidad politécnica de Valencia Tesis de master en seguridad industrial y medio ambiente.

- Gonzales C (2 011). Monitoreo de la calidad del agua. La turbidez. Colegio de ciencias agrícolas. Recinto Universitario de Mayagüez – Puerto Rico.
- Guzmán L; Villabona A; Tejada C; y García R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(1): 253 - 262, 2013
- Hernández, R; Fernández, C y Baptista, P. (1997). Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill, México 1997
- Lebot, V. 2009. Tropical root and tuber crops: “cassava”, sweet potato, yams and aroids. En: Crop Production Science in Horticulture Vol 17. CABI. Oxford. 433p.
- Minaya R. (2 018). Eficacia de los coagulantes *Linum usitatissimum* y *Salvia hispánica* en la remoción de sedimentos de las aguas residuales de la avícola San Fernando S. A. C. para el uso de riego categoría3. Universidad Cesar Vallejo Facultad de Ingeniería. Calidad y gestión de los recursos naturales. Lima – 2018- 1
- Musalan. M (2 019) Evaluación de la actividad coagulante de los polifenoles extraídos de residuos de café (*coffea arabica*). Fundación universidad de américa facultad de ingenierías departamento de ingeniería química Bogotá D.C. 2019
- Narváez, A.; Calvo, A.; Troya, A.M. 2009. Las poblaciones naturales de la tara (*Caesalpinia spinosa*) en el Ecuador: una aproximación al conocimiento de la diversidad genética y el contenido de taninos a través de estudios moleculares y bioquímicos. Serie Investigación y Sistematización No. 7. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, Laboratorio de Biotecnología Vegetal Escuela de Ciencias Biológicas Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE. Quito. 39 pp.

- Nuván L y Rojas M. (2 018). Evaluación fisicoquímica del tratamiento primario de agua, mediante el uso de un coagulante obtenido a partir de residuos de café. Fundación universidad de américa facultad de ingenierías programa de ingeniería química Bogotá D.C. 2018
- Olivero. R; Aguas. Y; Mercado I; Casas D y Montes L. (2 014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. VOL: 11NÚM. 1(2 014), ARTICULOS.
- Olivero R; Mercado I y Montes L. (2 013) Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago de nopal *Opuntia ficus indica*. Producción Limpia VOL. 8 N°. 1 junio 2 013.
- Restrepo H. (2 009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad nacional de Colombia sede Medellín facultad de minas 2009
- Tejada B. (2015). Efecto del uso del coagulante natural de tuna (*Opuntia Ficus Indica*) en la calidad del agua del lado bajo del centro poblado San Antonio, distrito de Moquegua en la provincia Mariscal Nieto, Región Moquegua 2015. Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental. Escuela profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua. Perú
- Velandia. J; Ramírez. J y Bohorquez. R (2007) Desarrollo de un prototipo de un instrumento nefelométrico para medir turbidez. Universidad de san Buenaventura Bogotá D.C 2 007
- Vásquez. O (1 994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales. Universidad autónoma de Nuevo León. Monterrey Nuevo León