

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Polímeros naturales para sustituir floculantes químicos en el  
tratamiento de aguas para consumo humano. Una revisión**

Por:

Luz Melynca Villanueva Barragan

Luz Clarita Quispe Chahuara

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, agosto de 2020

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

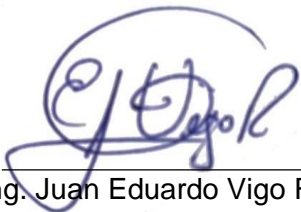
Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### **DECLARO:**

Que el presente trabajo de investigación titulado: “POLÍMEROS NATURALES PARA SUSTITUIR FLOCULANTES QUÍMICOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN” constituye la memoria que presentan las estudiantes Luz Melynca Villanueva Barragan y Luz Clarita Quispe Chahuara para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 02 días del mes de septiembre del año 2020.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera  
Asesor  
DNI: 00245233

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 07 día(s) del mes de agosto del año 2020, siendo as 9 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) Dr. Mac. Efraim Lujano Laura

presidente(a): Mac. Rose Adeline Gallata Chura

secretario(a): Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros:

Dr. Mac. Efraim Lujano Laura

y el(la) asesor(a) Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Polímeros naturales para sustituir flocculantes químicos en el tratamiento de aguas para consumo humano. Una revisión

de los (las) egresados (as): a) Luz Melynca Villanueva Barragan  
 b) Luz Glorita Quipe Chahuara

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental  
 (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por los candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Luz Melynca Villanueva Barragan

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Candidato/a (b): Luz Glorita Quipe Chahuara

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente/a

\_\_\_\_\_  
 Asesor/a

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
 Secretario/a

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

# Polímeros naturales para sustituir floculantes químicos en el tratamiento de aguas para consumo humano. Una revisión

Natural Polymers to replace chemical flocculants in the treatment of water for human consumption. A review.

Villanueva Barragan Luz Melynca <sup>a</sup>, Quispe Chahuara Luz Clarita <sup>b</sup>, Vigo Rivera Juan Eduardo <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión,

<sup>b</sup> Estudiante de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión,

---

## Resumen

La clarificación del agua es uno de los procesos más importantes en el tratamiento de aguas para consumo humano, por ende es necesario la adición de floculantes químicos cuyo uso trae desventajas asociadas a altos costos de adquisición y son tóxicos si son ingeridos en altas concentraciones, provocando enfermedades como el Alzheimer, gastrointestinales y cáncer, porque afecta considerablemente el pH del agua tratada. El objetivo fue realizar un análisis de la información existente acerca del uso de los polímeros naturales para sustituir floculantes químicos en el tratamiento de aguas para consumo humano. Se concluye que se encontraron cuatro tipos de polímeros más estudiados en la comunidad científica y los polímeros con mayor eficiencia en la remoción de turbidez son: la *Moringa oleífera* y *Opuntia ficus indica*. También se encontró que todos los polímeros naturales reportados son eficientes en la remoción de la turbidez del agua y algunos presentan propiedades antimicrobianas.

*Palabras clave:* Floculantes químicos, polímeros naturales, tratamiento de agua, turbidez.

---

The clarification of water is one of the most important processes in the treatment of water for human consumption, therefore it is necessary to add chemical flocculants that use brings disadvantages associated with high cost of acquisition and besides are toxic if ingested in high concentrations, causing illnesses such as Alzheimer, gastrointestinales and cancer, because it affects considerably the pH of the treated water. The objective was to carry out an analysis of the existing information about the use of natural polymers to replace chemical flocculants in the treatment of water for human consumption. It is concluded that four types of polymers have been studied in the scientific community and the polymers with the greatest efficiency in the removal of turbidity are: *Moringa oleifera* and *Opuntia ficus indica*. It is also found that all reported natural polymers are efficient in removing water turbidity and some have antimicrobial properties.

Keywords: Chemical flocculants, natural polymers, water treatment, turbidity.

---

\*Autor de correspondencia:

Km. 6 Carretera interoceánica, Chullunquiari, Juliaca

Cel: <sup>a</sup> 941001084 – <sup>b</sup> 946728935

E-mail: <sup>a</sup> [luz.vb@upeu.edu.pe](mailto:luz.vb@upeu.edu.pe), <sup>b</sup> [clarita.qc@upeu.edu.pe](mailto:clarita.qc@upeu.edu.pe)

## 1. Introducción

La contaminación de las aguas en el Perú es un problema amplio, ya que la condición de las aguas superficiales se ha contaminado mucho debido a la descarga indiscriminada de desechos no tratados de municipalidades, sistema de drenaje deficiente, crecimiento poblacional y por la erosión de la orilla del río, (Asrafuzzaman et al., 2011).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) menciona que la cantidad y calidad de este líquido viene disminuyendo a causa de los factores mencionadas anteriormente y por consecuente a ello hay presencia de altos contenidos de nutrientes, materia orgánica y partículas coloidales responsables de la turbidez de agua superficial que genera un deterioro de este recurso y afecta la calidad de agua, Vilavila (2018) indica que el ser humano no puede utilizar el agua de manera directa para su consumo.

La OMS (2012), menciona que las sustancias químicas como el sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), sulfato férrico ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) entre otros elementos, que se emplean en el tratamiento físico – químico del agua para consumo humano pueden ser tóxicos si son ingeridos en altas concentraciones puesto que a la larga trae consecuencias en enfermedades como las gastrointestinales. Además, presentan efectos nocivos en el medio ambiente debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, formando aglomerados residuos de lodos que no pueden ser utilizados como biosólidos, los cuales tienen elevados niveles de toxicidad, generando enfermedades como Alzheimer, cáncer así como el hecho de que afectan considerablemente el pH del agua tratada (Vijayaraghavan et al. (2011), Miller et al. (2008), Gurdíán y Coto (2011), y Yin (2010)).

Una concentración de aluminio superior a 0,1 mg/l en agua para consumo humano puede ser un factor de riesgo para contraer el síndrome de Alzheimer (Ferreira et al. 2008). Por ende una posible solución puede ser en sustituir los floculantes químicos por polímeros naturales, que son métodos utilizados para la eliminación de la turbidez del agua potable ya que son aceptables con el medio ambiente y no generan problemas de salud, debido a que son biodegradables y no generan lodos voluminosos en comparación con los coagulantes inorgánicos (Sciban et al. (2009), Ramirez y Jaramillo (2014)). Además, los polímeros naturales de origen vegetal son económicamente viables, debido a que las plantas pueden ser cultivadas localmente (Sanghi et al., 2006).

Los polímeros orgánicos de origen natural se han utilizado por más de 4000 años en India, en África y en China como coagulantes eficientes y como ayudantes de coagulación de aguas con alta turbidez, para uso doméstico en áreas rurales (Asrafuzzaman et al. 2011). Como alternativa a estos agentes químicos, al inicio de los años 70 en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales locales para disminuir en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes sintéticos en la remoción de turbidez en el proceso de coagulación y floculación del tratamiento de aguas superficiales para consumo humano.

Los investigadores Aldana (2012), Lorenzo (2006), Moreno (2016) y Zerbato (2012), indican que la etapa de coagulación y floculación son procesos esenciales y eficaces en el tratamiento de agua, para que las impurezas se desestabilicen es necesario la adición de coagulantes sintéticos, haciendo que las partículas coloidales se aglomeren para formar flóculos con el fin de que estas aumenten su peso y tamaño para que puedan sedimentar fácilmente. Para ello se estudiaron varios tipos de especies vegetales utilizando como coagulantes naturales entre ellos *Opuntia ficus indica*, *Aloe Vera*, *Moringa oleífera*, etc.

Según Olivero et al. (2014), en su artículo propone el uso de mucílago de Tuna para la clarificación del agua del río Magdalena en Magangué – Colombia, el estudio tuvo como objetivo comprobar la efectividad del producto natural, comparando con el coagulante comercial sulfato de aluminio; se extrajo el mucílago de la tuna mediante la trituración de su corteza, llevándola a un secado al vacío a 70°C, para finalmente agregarle alcohol etílico con el propósito de extraer los pigmentos, los cuales se evaporaron y concentraron en un horno eléctrico obteniendo el polvo final. Se probaron dos tipos de concentraciones del producto vegetal, 35 y 40 mg/l a velocidades de 100 y 200 rpm, teniendo como tiempo de contacto de 15, 20 y 40 minutos. Luego del estudio se llegó a la conclusión de que a velocidades de 200 rpm se denota mayor efectividad en ambos coagulantes tanto el comercial como el vegetal, siendo un 83.66% la efectividad del mucílago de tuna denotando la alta competitividad contra el sulfato de aluminio.

El objetivo principal fue realizar un análisis de la información existente acerca del uso de los polímeros naturales para sustituir floculantes químicos en el tratamiento de aguas para consumo humano.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Agua

Según la Ley General de Recursos Hídricos Ley N° 29338 “el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación”.

Rodríguez (2008), indica que el agua es el elemento más abundante, ya que llega a cubrir las tres cuartas partes del planeta, pero el 97% del agua total en la tierra se halla en los océanos y mares lo cual es inservible para el consumo humano por su alta salinidad y sólo un 3% del agua restante es dulce, sin embargo 2.38% aproximadamente se encuentra en estado sólido siendo inaccesible y un porcentaje pobre de 0,62% se halla en estado líquido como ríos, lagos y aguas subterráneas.

- **Características del agua**

Tabla 1

Principales características del agua

<b>Características</b>	<b>Definición</b>
Sabor y olor	Ambos parámetros se dan por la presencia de sustancias químicas volátiles y por la descomposición de la materia orgánica (Marín, 2000).
Color	La coloración del recurso hídrico se da por la presencia de materia orgánica y mineral como el magnesio y el hierro, este parámetro es indirectamente una propiedad física que describe el origen y las propiedades del agua, indicando la posible presencia de óxidos metálicos (Ibañez, 2012).
Turbidez	La norma peruana para el recurso hídrico establece que este parámetro debe ser menor a 5 NTU, por ello este líquido al ser sometido a tratamientos de desinfección, la turbiedad debe ser baja para que el proceso sea eficaz (Vela, 2016).

### 2.2. Factores que influyen en la coagulación

Según Norde (2011), los factores que influyen en la etapa de coagulación deben ser considerados con la finalidad de optimizar y estas permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar a las muestras de agua, los cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros que influyen en la coagulación

<b>Parámetros</b>	<b>Definición</b>
Temperatura	Este parámetro modifica el tiempo de formación del floc, cuanto más fría sea el agua la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc aumenta (Restrepo, 2009).
pH	Es un factor importante para determinar el tipo de coagulante a usar, el pH recomendable es de 6.5 a 8.5 (Barrera, 2014).
Dosis óptima	La intervención de este factor se debe a la variación de turbidez en función con la dosificación del coagulante (López, 2018).
Tiempo de mezcla y floculación	Es el tiempo transcurrido entre la agregación del coagulante y el final de la agitación a una velocidad que dificulte la decantación de materias floculadas (Pérez y Urrea, 2011).
Turbidez	Este parámetro da a entender la cantidad de dosis a introducir. Cuando la turbidez se incrementa se agrega una dosis de coagulante mínima, debido a la posibilidad de colisión entre las partículas (Campos, 2020).

### 2.3. Mecanismos de coagulación

Suárez et al. (2014), indica que la coagulación es el proceso de desestabilización de partículas coloidales y se eliminan las propiedades que les hacían mantenerse en suspensión. El mecanismo básico de desestabilización es anular las cargas eléctricas, para ello se utilizan reactivos químicos que tienen la propiedad de producir la coagulación. Andia (2000), menciona que los mecanismos son los siguientes:

- a) **Compresión de la doble capa:** Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue solo con los iones del coagulante (ver figura 1).

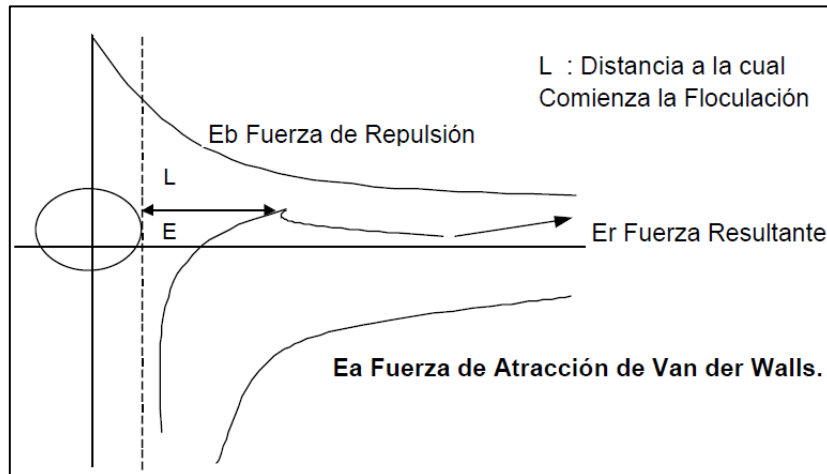


Figura 1: Compresión de la doble capa

Fuente 1 : Andia (2000)

- b) **Adsorción y neutralización de cargas:** Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide (ver figura 2).

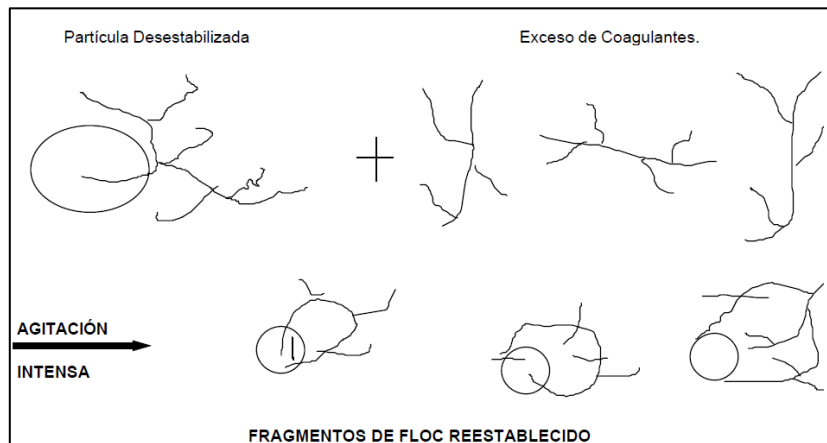


Figura 2: Adsorción y neutralización de cargas

Fuente 2: Andia (2000)

- c) **Atrapamiento de partículas en un precipitado:** Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalentes. Las partículas juegan el rol de anillo durante la formación de floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida (ver figura 3).

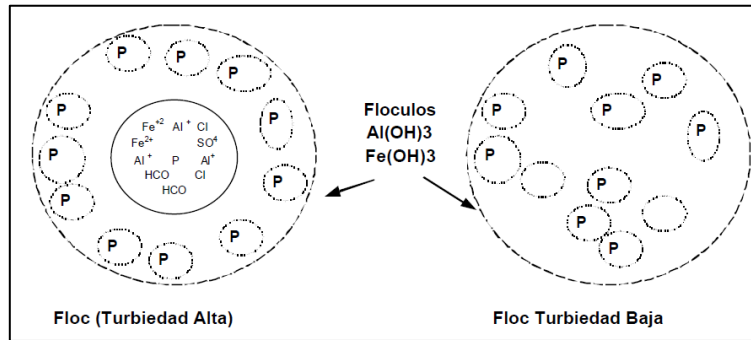


Figura 3: Atrapamiento de partículas en un precipitado

Fuente 3: Andia (2000)

- d) **Adsorción y puente:** La molécula de polímero puede absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que la molécula del polímero forma el puente entre las partículas coloidales (ver figura 4).

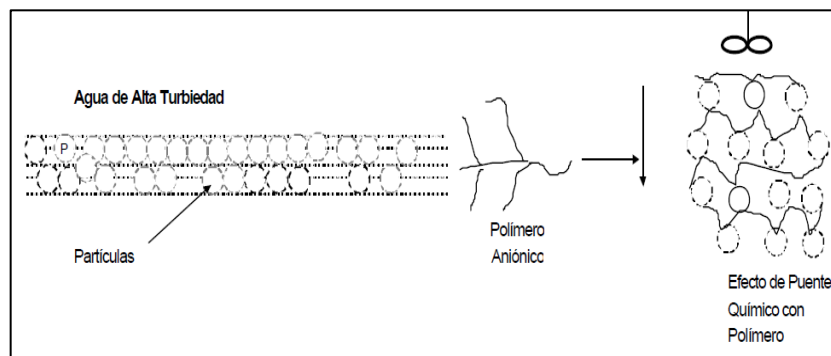


Figura 4: Adsorción y puente

Fuente 4: Andia (2000)

#### 2.4. Modelos de Floculación

La floculación consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con facilidad. Estos flóculos al juntarse crean partículas de mayor tamaño que son capaces de sedimentar (Gómez, 2005). los modelos se muestran en la figura 5.

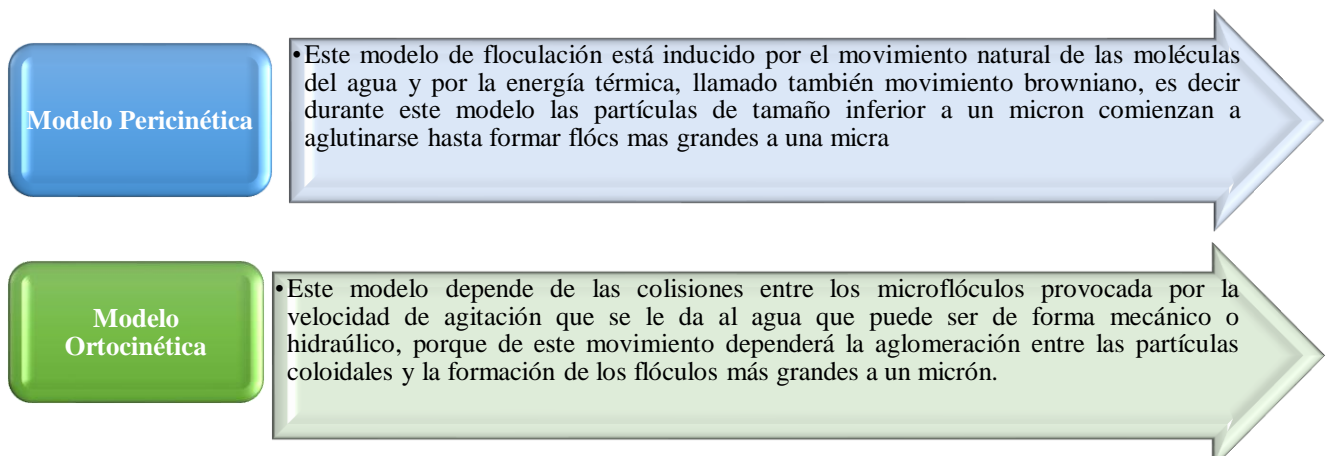


Figura 5: Modelos de floculación



## 2.5. Tipos de floculantes

Existen distintos tipos de floculantes para desestabilizar las partículas y formar floc en el agua, los principales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Tipos de floculantes

<b>Floculantes metálicos</b>	<b>Floculantes orgánicos sintéticos</b>	<b>Floculantes naturales</b>
Tienen la capacidad de actuar como coagulante y floculante, cuando son disueltos estos construyen compuestos complicados entre los más usados se encuentran: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y aluminio de sodio. Estas sales químicas presentan la capacidad de coagulación-floculación, por la cual pueden llegar a ser nocivos para la salud humana y el medio ambiente (Shak y Wu (2014), Guerrero y Romero (2018)).	Generalmente se clasifican en catiónico, aniónico, anftero y no iónico, la capacidad coagulante es principalmente influenciada por parámetros como la naturaleza de las cargas, seguida por el peso molecular y la densidad de carga (Bolto y Gregory, 2007).	Son una fuente de alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables, presentan una mínima o nula toxicidad y no genera daños al medio ambiente (Renault et al. (2009), Yin (2010) y Fatombi et al. (2013)). En su mayoría son de origen vegetal con presencia de agentes coagulantes-floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda; en muchos lugares son utilizados de forma empírica por los nativos para clarificar el agua turbia, con muy buenos resultados (Lee et al. 1995).

## 2.6. Principales polímeros naturales más estudiados

En los últimos años los científicos de todo el mundo han intentado hallar entre la flora y la fauna, especies endémicas capaces de remover con eficiencia las impurezas presentes en el agua destinadas para consumo humano.

Según Akinnibosun et al. (2008), existen evidencias que el uso de extractos de especies de plantas y semillas son seguros para la salud humana en el proceso de potabilización de las aguas, debido a que además de poseer propiedades coagulantes también poseen propiedades antimicrobianas.

Aunque se han reportado muchos coagulantes de origen vegetal, solamente hay cuatro tipos muy conocidos entre la comunidad científica, a saber, semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*) Almidones, Moringa oleífera, Cactus y Taninos (Yin 2010).

### 2.6.1. Moringa oleífera agente vegetal

Según Jimenez (2012), la Moringa oleífera es una planta tropical de desarrollo rápido, cuyas semillas cuenta con un agente que contiene excelentes propiedades coagulantes para el tratamiento de aguas. Esta semilla está compuesta por varias proteínas con características catiónicas solubles en el agua.

Campos et al. (2003), identificaron 17 tipos de aminoácidos (aa) en la semilla Moringa oleífera; de las cuales los aminoácidos catiónicos encontrados fueron: Lis, Arg y His y los aminoácidos aniónicos encontrados fueron: Asp y Glu. Estos dan paso a suponer que la proteína activa de la semilla de Moringa, es un polielectrolito, que es fácil de contener en su superficie aminoácidos polares, tanto positivos como negativos, los cuales cooperan al proceso de coagulación-floculación, puesto que los aminoácidos nombrados estarán listos para interactuar con partículas coloidales responsables de la turbidez de agua.

El investigador Campos (2020), evaluó el efecto coagulante de la semilla de Moringa oleífera para clarificar aguas del canal de Monsefú, centro poblado Callanca – Monsefú - Chiclayo, para lo cual se tomaron muestras del canal mencionado, se hizo el análisis físico – químico obteniendo una turbidez inicial de 413NTU, pH de 8, posterior a esto se aplicó tres dosis de polvo de semilla de Moringa Oleífera

(0.2; 0.4 y 0.6g), para tres alícuotas de 500ml de muestra de agua, con una agitación rápida de 5 minutos y una agitación lenta de 20 minutos. Los resultados del tratamiento fueron favorables en este estudio ya que se logró reducir a valores de 48.1NTU con 0.2gr; 46.5NTU con 0.4gr; y 54.8NTU con 0.6gr, respectivamente. Se concluyó que la Moringa utilizada como coagulante natural fue eficiente para clarificar el agua ya que el mejor porcentaje de eficiencia se obtuvo con una dosis de 0.4gr de semilla de Moringa con un 88.74% de eficiencia de remoción de turbidez.

Así mismo los investigadores Cuadro y Rodas (2018), estudiaron la efectividad de los componentes orgánicos moleculares de la semilla de Moringa y el almidón de Manihot esculenta (yuca) para el tratamiento de aguas superficiales en la cual se demostró que dichos compuestos orgánicos pueden reemplazar los compuestos metálicos normalmente utilizados. Se determinó como estos compuestos forman el floc debido a diversas reacciones iónicas que tienen lugar al estar en contacto con los coloides presentes en el agua, lo cual se evidenció con muestras de agua obtenidas del río Vines con una turbiedad inicial de 78 NTU. Se observa que al utilizar el coagulante de Moringa se obtuvieron valores finales de 5 NTU de turbiedad, con un porcentaje de 58.82%.

Así mismo McConnachie et al. (1998), determinaron el potencial de Moringa oleífera como coagulante dentro de un contacto floculación – filtración (CFF) de planta piloto para aguas crudas de baja turbidez (<50 NTU). En este sistema el coagulante se dosifica inmediatamente antes de la entrada al lecho de arena. Con este sistema y el uso de Moringa Oleífera los resultados mostraron reducción de la turbidez hasta valores menores de 1 NTU después de la filtración y una tasa de filtración hasta de 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. La dosis de semillas de Moringa oleífera requerida es relativamente baja (<25mg/l) y los tiempos de funcionamiento del filtro son apropiados para que la planta opere de forma eficiente, se ha demostrado que la Moringa oleífera como coagulante es factible para el tratamiento del agua del río en comunidades de pequeñas poblaciones. Los resultados de la eficiencia de Moringa oleífera se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Moringa oleífera agente vegetal evaluados y considerados positivos para la remoción de turbidez.

Polímero Natural	Lugar de estudio	Objetivos	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez Final (UNT)	Dosis Óptima (mg/l)	Eficiencia de Remoción (%)	Referencia
<b>Moringa Oleífera Agente vegetal</b>	África	Compararon el comportamiento de Moringa oleífera con el sulfato de aluminio y férrico.	45	5	25	76	Pritchard et al. (2010)
	Monsefú-Chiclayo	Evaluó el efecto coagulante de la semilla de moringa oleífera para clarificar aguas del canal de Monsefú.	413	48;46.5; 54.8	0.2;0.4;0.6	88.35;88.74;86.36	Campos (2020)
	Palermo-Colombia	Realizaron una comparación entre Moringa oleífera, Cactus, Neem y maíz en el tratamiento de agua del río Magdalena	126	4	2	96.8	Aguirre et al. (2018)
	Guayaquil-Ecuador	Estudiaron la efectividad de la semilla de Moringa y el almidón de Yuca para el tratamiento de aguas superficiales,	78	5	17.5	93.58	Cuadro y Rodas (2018)
	Ancash	Propusieron una alternativa real en el contexto de los coagulantes naturales frente a los coagulantes sintéticos.	30	2.33;2.18; 1.60; 2.61;2.72; 2.80	5;10;20;3; 40;50	-	Saénz (2015),
		Determinó el potencial de Moringa oleífera como coagulante dentro de un contacto floculación-filtración (CFF) de planta piloto para aguas crudas de baja turbidez.	50	1	25	95	McConnachie et al. (1998)

## 2.6.2. Cactus estudiados

El cactus es la más conocida de las plantas suculentas y se caracteriza por la presencia de púas y de tejido pulposo para conservar al agua en los tallos, hojas y raíces cuando tienen que soportar períodos de sequía. Pocas especies vegetales tienen la versatilidad de transformación que ofrecen los cactus para el consumo humano (Saénz 2006).

La estructura del mucilago del género Cactácea es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico, este último es considerado como componente principal para reducir la turbidez del agua en un porcentaje mayor al 50 % (Rodríguez et al., 2009).

Mendoza et al. (2008), evaluaron la eficiencia de la *Hylocereus lemairei* en la potabilización de aguas para consumo humano. Se realizó en el laboratorio con muestras de aguas provenientes de la planta de tratamiento “Pueblo Viejo”, estado Zulia, Venezuela. Se aplicaron dosis de 218 ppm, 437, 655, 873 y 1090 ppm de *Hylocereus lemairei* para valores de turbidez inicial de (30, 40, 50, 60 y 70 NTU), de los cuales obtuvieron dosis óptimas de 218, 437, 437, 873 y 1090 ppm, respectivamente. Los resultados obtenidos en esta investigación indicaron porcentajes de reducción de turbidez de 94,53% a 98.20%. Estos resultados afirman la viabilidad de emplear la *Hylocereus lemairei* como coagulante natural eficaz para sustituir los productos químicos utilizados actualmente por las plantas de tratamiento.

Fuentes et al. (2012), en su estudio comprobó la eficiencia de la *Opuntia cochinellifera* como coagulante, simulando coagulación – filtración, sedimentación y filtración diluidas (20, 40, 60 y 80 NTU) a las que aplicaron la mezcla del coagulante (1000, 2000, 3000, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 8000 y 10000 ppm). Para las turbiedades iniciales 20, 40, 60 y 80 NTU, las dosis óptimas del coagulante fueron 4500, 8000, 8000 y 6000 ppm, respectivamente. La turbidez osciló entre 3,15 y 17,13 NTU antes de la filtración y después de la filtración osciló entre 1,48 y 11,12 NTU, disminuyendo a valores permisibles al Filtrar. Se observaron porcentajes de remoción elevado antes de la filtración (78.59-85.88%) y después de esta (86.10-93.90%). Los resultados de la eficiencia de la variedad de cactus se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Variedad de cactus estudiado para la remoción de turbidez

Cactus Estudiados	Lugar de Estudios	Objetivos	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez Final (UNT)	Dosis Optima (mg/l)	Eficiencia de Remoción %	Referencia
<b>Opuntia Ficus Indica</b>	China	Estudiarón la eficiencia de <i>Opuntia ficus indica</i> para la eliminación de turbidez en aguas superficiales (estuario y ríos).	499; 547	-	10 - 60	98; 70	Yin (2010 ) Zhang et al., (2006)
<b>Opuntia Ficus Indica</b>	Cartagena	Evaluaron el poder coagulante de <i>Opuntia ficus indica</i> en la reducción de turbidez.	170.96	24.35	50	85.4	Martinez y Gonzalez (2012)
<b>Sábila</b>	Oxapampa -Cerro Pasco	Determinó el poder coagulante de la sábila.	12.77; 19.43; 42.3; 79.7	-	1.8	60.14;35.72; 50.59; 36.76	Morales (2019)
<b>Hylocereus lemairei</b>	Venezuela	Determinó la eficiencia de la <i>Hylocereus lemairei</i> en la potabilización de aguas.	30, 40, 50, 60, 70	1.54, 1.08, 1.26	437, 873 - 1090	94,58 – 98.20	Mendoza et al. (2008)
<b>Opuntia Ficus Indica</b>	Tacna	Evaluó la eficiencia del nopal <i>Opuntia ficus indica</i>	1000, 500, 200	45.3, 32, 148	1 mg/2l	95.34 – 92.36	Jimenez (2012)
<b>Opuntia cochinellifera</b>	Venezuela	Estudiarón la eficiencia de <i>Opuntia cochinellifera</i> simulando coagulación-filtración, sedimentación y filtración.	20, 40, 60, 80	1.48 – 11.12	4500, 8000, 6000	93.90	Fuentes et al. (2012)

### 2.6.3. Almidones

Los polímeros naturales tales como almidón, y celulosa han sido investigados como una alternativa atractiva en los procesos de coagulación – floculación para la remoción de partículas suspendidas y coloides, y una de las ventajas que presentan es que dichos polímeros naturales y sus derivados son biodegradables; asimismo, su degradación intermedia es inofensiva para el ser humano y para el medio ambiente. Entre los más utilizados se encuentran los polisacáridos extraídos de los almidones de la papa, yuca y maíz (Shogren, 2009).

Vilavila (2018), realizó esta investigación con el objetivo de determinar la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero goma de Tara, como ayudante de coagulación. La metodología aplicada fue la del Cepis, con la prueba de jarras se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio y de la goma de tara, a variables constantes de temperatura (15°C), turbiedad inicial 175UNT y pH natural del agua 7.73 promedio. La dosis óptima de la mezcla del sulfato de aluminio y goma de tara fue de 45mg/l y 15mg/l respectivamente a pH de 1.58 promedio, resultando como dosis final la optimización de 35mg/l del coagulante químico con un pH promedio de 1.51 logrando reducir la turbiedad del agua a 1.14NTU promedio. Concluyó que la goma de tara resulta eficaz como ayudante del sulfato de aluminio para disminuir la turbidez del agua.

Hurtado y Yarleque (2017), realizaron una investigación con la finalidad de determinar la capacidad clarificadora del polímero natural de la papa (*Solanum tuberosum*) en la depuración del agua del río patari en el distrito de Callao - Lima. La turbidez inicial fue de 30NTU y se aplicaron dosis de 20, 40, 60, 80, 100 mg/l respectivamente, la turbidez se redujo a 4.1 NTU. La dosis óptima del polímero natural de la papa (*Solanum tuberosum*) permitió la clarificación del agua para consumo humano con 80 mg/l, la cual se obtuvo a una velocidad de agitación de 300 RPM y a un tiempo de contacto de 25 minutos. De acuerdo a la guía de la OMS y el estándar de calidad ambiental para agua (MINAM, 2017), se concluye que el polímero natural de la papa (*Solanum tuberosum*) es eficiente en la clarificación del agua con un 86.3% de remoción de turbidez.

Por otro lado Julca (2019), realizó esta investigación con el objetivo de remover la turbiedad del agua del canal Miraflores, con almidón de yuca y Sulfato de aluminio. La experimentación en su totalidad se desarrolló en condiciones de laboratorio, para ello se ensayaron cuatro tratamientos en un test de jarras, la cual consistió en dosificaciones de sulfato de aluminio (22, 24,26 y 28 ppm) y almidón de yuca (2, 4,6 y 8 pm). Los resultados obtenidos muestran que no existe diferencia significativa entre los tratamientos experimentados, aunque el tratamiento cuatro que es la combinación de 22ppm de sulfato de aluminio y 8 ppm de almidón de yuca, reporto el mejor promedio de remoción de turbiedad siendo esta igual a 80.83%. Los datos obtenidos del uso de almidones en la remoción de turbidez se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Variedad de almidones estudiados y considerados positivos para la remoción de turbidez.

Almidones	Lugar de Estudio	Objetivos	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez Final (UNT)	Dosis Óptima (mg/l)	Eficiencia de Remoción %	Referencia
<b>Tara</b>	Puno	Determinó la remoción de la turbidez del río Ayaviri empleando polímero goma de tara.	175	1.09	15	95	Vilavila (2018)
<b>Papa</b>	Callao-Lima	Determinaron la capacidad clarificadora de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) en la depuración del agua del río patari.	30	4.1	80	86.3	Hurtado y Yarleque (2017)
<b>Papa Imilla</b>	Puno	Comparó la eficiencia de 3 variedades de papa y sulfato de aluminio en el tratamiento de agua en condiciones alto andinas.	40	1.71	15	93.58	Ttito (2018)
<b>Tara</b>	Chorrillos	Evaluaron la eficiencia de semillas autóctonas de <i>Caesalpinia spinosa</i> (tara).	42.6	-	8.92	79.06	Ayala y Coronel (2017)
<b>Plátano</b>	Ancash	Evaluaron la eficiencia del almidón de plátano de seda ( <i>Musa acuminata</i> AAA).	75	1.16	25	98.34	Chavez et al. (2019)
<b>Semilla de Nirmali</b>	India	Estudiaron el comportamiento de la semilla de Nirmali, goma de Okara y Kunduru ( <i>Coccinia indica</i> ).	314.4	8.5	1.0	75	Jadhava y Mahajan (2013)
<b>Goma de Okara</b>			146.8	7.4	1.0	78.2	
<b>Kunduru</b>			34.3	5.7	0.4	81.2	
<b>Yuca</b>	Miraflores	Comparó el almidón de yuca y sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del canal Miraflores.	34.50	6.41	8	80.83	Julca (2019)

#### 2.6.4. Taninos

Los taninos son definidos como polifenoles presentes en la naturaleza; son solubles en agua y su peso molecular varía de 500 a 3000 Da, en la naturaleza se encuentran ampliamente distribuidos en plantas, frutos, hojas, tallos, corteza, raíces y tronco. Son considerados metabolitos secundarios de las plantas, debido a que no están involucrados en el proceso del metabolismo primario (Khanbabaee y Ree, 2001).

Escobal (2018), estudió la eficiencia de *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas-Amazonas – Cajamarca. Utilizó el tejido vascular de las especies “*Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R”, en relación masa – volumen de 25 g/l, 50g/l y 75g/l para los tratamientos y una adecuación de la metodología de prueba de jarras. Las muestras se tomaron del suministro de agua que abastece a la comunidad de Balzas – Amazonas, presenta una turbiedad de 40.08 NTU y de los grifos de las viviendas es de 32.56 NTU. Una vez ejecutados los tratamientos, la turbiedad y sólidos suspendidos totales se redujo a un 39.47% y un 34.10% con *Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y usando *Espostoa mirabilis* R. se reduce a 27.45% y 25.24% respectivamente. La relación masa – volumen de 25g/l de tejido vegetal de “*Armatocereus rauhii* subsp. *Balsasensis* R. y *Espostoa mirabilis* R.” es el más eficiente.

Zolett y Sartori (2013), evaluaron el uso de Tanfloc para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano. Se evaluaron 3 turbiedades iniciales diferentes (38, 20.5 y 60.6 NTU) y con diferentes dosis. En los resultados obtenidos se observó que el tanfloc tuvo un buen desempeño en los ensayos

realizados. El mejor resultado obtenido de la turbidez final fue 1.18 NTU, con una dosis óptima de 1mg/l resultando después de filtrar en 1.13 NTU, con un pH de 8.19 con turbidez inicial de 20,5 NTU. Luego adicionando 0,80 ml de coagulante para tratar 1 litro de agua se obtuvo una turbidez final de 1.88 con turbiedad inicial de 60.6 NTU, y en la prueba de turbidez inicial de 38 NTU, se obtuvo turbidez final de 1,38 NTU con una dosis óptima de 1mg/l, mientras que, para la misma muestra, haciendo uso de sulfato de aluminio se obtuvo el resultado de 0,35 NTU, resultando después de filtrar en 0.18 NTU, con la cantidad de 0.70ml de coagulante agregado a 1 litro de agua. La eficiencia de taninos aplicados en la remoción de turbidez de agua se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Variedad de taninos estudiados para la remoción de turbidez

Taninos	Lugar de Estudio	Objetivos	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez Final (UNT)	Dosis Optima (mg/l)	Eficiencia de Remoción %	Referencia
<b>Armatocereus rauhii subsp</b>	Cajamarca	Estudió la eficiencia de Armatocereus rauhii subsp	40.08	-	25	39.47	Escobal (2018)
<b>Espostoa mirabilis R.</b>		Balsasensis R. y Espostoa mirabilis R.	40.08	-	25	27.45	
<b>Tanfloc</b>	Brasil	Evaluaron el uso de tanfloc para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano.	38, 20.5 y 60.6	1.38, 1.13, 1.88	1, 0.80 - 0.80	-	Zolett y Sartori (2013)

### 3. Conclusiones

Se concluye que existen polímeros naturales clasificados dependiendo de donde proviene su extracto, es decir de agentes vegetales o almidones, encontrándose cuatro tipos y que todos los polímeros naturales reportados o identificados en esta revisión son eficientes en la remoción de la turbidez del agua, alcanzando porcentajes de remoción semejantes al de los floculantes químicos.

Los polímeros naturales con mayor eficiencia fueron: *Opuntia ficus indica* con 90 – 98.20% y *Moringa oleífera* con 96.8%, esto demuestra que los polímeros vegetales son una alternativa viable para el tratamiento de aguas para consumo, beneficiosa para la salud humana y el medio ambiente, y se recomienda su uso en poblaciones rurales y urbanas como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la población consumidora.

#### 4. Referencias

- Aguirre, S., Piraneque, N., & Cruz, R. (2018). Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia. *Informacion Tecnológica*, 29(29), 1–12.
- Akinnibosun, H., Akinnibosun, F., & German, B. (2008). Antibacterial activity of aqueous and Ethanollic leaf extracts of *Pegeromic pellucida* (L) H. B & K (Piperaceae) on three Gramnegative bacteria isolates. *Science Wordl Journal*, 3(4), 1–4.
- Aldana Rivera, E. (2012). Uso del extracto de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano. In *Ingenieria Sanitaria*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Andia Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua- coagulación y floculación* (Sedapal). Sedapal.
- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A. N. M., & Hossain, M. A. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology*, 2011, 1–7.
- Ayala Melendez, L., & Coronel Duram, A. (2017). *Remocion de solidos suspendidos . Remocion de solidos suspendidos y materia organica de las aguas del refugio de vida silvestre pantanos de villa utilizando semillas de *Caesalpinia spinosa**. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Barrera Díaz, C. E. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales* (Reverte).
- Bolto, B., & Gregory, J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *ScienceDirect*, 41(41), 1–24.
- Campos Castro, H. (2020). *Efecto coagulante de la semillas de Moriga (*Moringa oleífera*) para clarificar agua del canal Monsefú, Centro poblado Callanca, Distrito Monsefú, 2019*. Universidad de Lambayeque.
- Campos Jubisay, C., Fernández, N., Torres, G., Sulbaran, B., & Ojeda, G. (2003). Caracterización del agente coagulante activo de la semillas de *Moringa oleífera* mediante HPLC. *Boletín de Centro de Investigaciones Biológicas*, 37(1), 1–9.
- Chavez Melgarejo, J., Huancas, C., & Pinco Mendo, J. (2019). Procesos de obtención y evaluación de la eficiencia del almidon del plátano de seda (*Musa acuminata* AAA) para la coagulación-floculación de las aguas superficial del río Puchca-Ancash a nivel de laboratorio. In *Universidad Nacional del Callao*. Universidad Nacional del Callao.
- Cuadro Santana, W., & Rodas Haz, J. (2018). *Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y *Moringa oleífera* en tratamiento de aguas superficiales*. Universidad de Guayaquil.
- Escobal, P. (2018). Eficiencia de *armatocereus rauhii* y *espostoa mirabilis* en la remoción de sólidos suspendidos totales en el agua para consumo humano del distrito de Balzas - Amazonas. In *Universidad Nacional de Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Fatombi, J., Lartiges, B., Aminou, T., Barres, O., & Caillet, C. (2013). A natural coagulant protein from copra (*Cocos nucifera*): Isolation, characterization, and potential for water purification. *Elsevier*, 1–19.
- Ferreira, P., Almeida, K., Magosso, A., & Segura, S. (2008). Aluminio como factor de riesgo para la enfermedad de alzheimer. *SciELO*, 1(1), 1–7. [https://www.scielo.br/pdf/rlae/v16n1/es\\_22.pdf](https://www.scielo.br/pdf/rlae/v16n1/es_22.pdf)
- Fuentes, L., Mendoza, I., Díaz, P., Fernández, Y., Zambrano, Á., & Villegas, Z. (2012). Potencial Coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (l.) mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. *Boletín de Centro de Investigaciones Biológicas*, 46(2), 2–16.
- Gómez Puentes, N. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación - floculación*. Universidad Nacional de Colombia.
- Guerrero, O., & Romero, J. (2018). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del sector La Loma del Cabí, en el municipio de Quibdó. *Escuela Colombiana de Ingeniería*, 1–6. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/881/1/Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del sector la loma del cabi.pdf>
- Gurdián, R., & Coto Campos, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación floculación de aguas residuales. *Tecnología En Marcha*, 24(2), 1–9.
- Hurtado Vander, M., & Yarleque Navarro, E. (2017). Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (*Solanum tuberosum*) en la purificación del agua del río Patari para uso de consumo humano. In *Universidad Nacional del Callao*. Universidad Nacional del Callao.
- Ibañez Esquivel, G. (2012). Elaboración de un plan de manejo ambiental para la conservación de la sub cuenca del rio san Pablo en el canton de la Mana, provincia de Cotopaxi. [Universidad Técnica de Cotopaxi]. In *Universidad Tecnica de Cotopaxi*. [https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Ingenieria de Medio Ambiente/T-UTC-2129.pdf](https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria de Medio Ambiente/T-UTC-2129.pdf)

- Jadhava, M., & Mahajan, Y. (2013). A comparative study of natural coagulants in flocculation of local clay suspensions of varied turbidities. *Journal of Civil Engineering and Technology*, 1(1), 1–14.
- Jimenez Quispe, G. (2012). *Aplicación del mucílago extraído del Nopal (Opuntia ficus indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohoman.
- Julca Riojas, L. (2019). *Remoción de la turbiedad del agua del canal Miraflores, con almidón de yuca y sulfato de aluminio*. Universidad Nacional de Jaén.
- Khanbabae Karamali, B., & Ree Teunis, V. (2001). Tannins: Classification and Definition. *The Royal Society of Chemistry*, 18, 2–10.
- Lee Ho, S., Ok Lee, S., Lib Jang, K., & Ho Lee, T. (1995). Microbial flocculant from arcuadendron sp. Ts -49. *Biotechnology Letters*, 17(17), 1–16.
- López Pérez, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Lorenzo Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *Redalyc*, xl(2), 1–9.
- Marín Galvín, R. (2000). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*.
- Martínez García, J., & Gonzalez Silgado, L. (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (Opuntia ficus indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. In *universidad de Cartagena*. Universidad de Cartagena.
- McConnachie, G., Folkard, K., Mtawali, M., & Sutherland, J. (1998). Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. *ScienceDirect*, 33(6), 1–10.
- Mendoza, I., Fuentes, L., Caldera, Y., Perdomo, F., Suárez, A., Mosquera, N., & Arismendi, H. (2008). Eficiencia de Hylocereus lemairei como coagulante - floculante en aguas para consumo humano. *Revista Arbitrada Venezolana*, 3(1), 1–17.
- Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J., & Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environ Sci*, 42(12), 1–6.
- MINAM. (2017). *D.S.N° 004-2017 - MINAM aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias* (MINAM).
- Morales Osorio, J. (2019). *Determinación del poder coagulante de la sábila para la remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano – Oxapampa - 2018* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1422/1/T026\\_70495263\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1422/1/T026_70495263_T.pdf)
- Moreno Pérez, S. (2016). *Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa*. Cesar Vallejo.
- Norde, W. (2011). *Colloids and Interfaces in Life Sciences and Bionanotechnology* (Second Edi). CRC Press. [http://dl.booktolearn.com/ebooks2/engineering/chemical/9781439817186\\_colloids\\_and\\_interfaces\\_in\\_life\\_sciences\\_and\\_bionanotechnology\\_d0af.pdf](http://dl.booktolearn.com/ebooks2/engineering/chemical/9781439817186_colloids_and_interfaces_in_life_sciences_and_bionanotechnology_d0af.pdf)
- Olivero Verbel, R., Aguas Mendoza, Y., Mercado Martínez, I., Casas Camargo, D., & Montes Gazabon, L. (2014). Utilización de Tuna (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Universidad Del Atlántico*, 11(11), 1–6. <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>
- OMS. (2012). *Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento*. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/household\\_water/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/household_water/es/)
- Pérez de la Cruz, F., & Urrea Mallebrera, M. (2011). Coagulación y floculación. In *Abastecimiento de aguas* (EICM, pp. 1–34).
- Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A., & Neill, O. (2010). A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water-an alternative sustainable solution for developing countries. *ScienceDirect*, 35(35), 1–8.
- Ramirez, H., & Jaramillo, Y. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria*, 10, n(Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación), 1–14.
- Renault, F., Sancey, B., Badot, P., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes-An eco-friendly approach. *ScienceDirect*, 45(45), 1–12.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación - floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez Escribano, B. (2008). Metodología de análisis en el tiempo para evaluarla escasez de agua dulce en función de la oferta y de la demanda. Caso de estudio: los países de la región del golfo de Guinea. In *Universidad Politécnica de Cataluña*. Universidad Politécnica de Cataluña.



- Rodriguez Gonzales, S., Martinez Flores, H., Omelas Nuñez, J., & Garnica Romo, M. (2009). Optimización del extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*). *Bioteconología y Bioingeniería*.
- Saéñz, C. (2006). *Boletín de servicios agrícolas de la FAO - Utilización agroindustrial del nopal* (FAO). <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120301/Utilizacion-agroindustrial-del-nopal.pdf?sequence=1>
- Saéñz Tahua, S. (2015). *Utilización de la semilla natural moringa oleífera como ayudante de la coagulación en la planta potabilizadora de agua de la ciudad de caraz provincia de huaylas ancash*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., & Singh, V. (2006). Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. *ScienceDirect*, 1–6. <https://scihub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479705003269?via%3Dihub>
- Sciban, M., Klasnja, M., Antov, M., & Skrbic, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *El Sevier*, 1–5. <https://scihub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409007093>
- Shak, K., & Wu, T. (2014). Coagulation-flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural Cassia obtusifolia seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization. *ScienceDirect*, 1–13.
- Shogren Randal, L. (2009). Flocculation of kaolin by waxy maize starch phosphates. *ScienceDirect*, 76, 1–6. <https://naldc.nal.usda.gov/download/42300/PDF>
- Suárez López, J., Jácome Burgos, A., & Ures Rodríguez, P. (2014). *Coagulación- floculación*.
- Ttito Surco, R. M. (2018). *Evaluación de la eficacia del almidón de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) como auxiliar del sulfato de aluminio en el tratamiento de agua para consumo humano en condiciones altoandinas*. Universidad Peruana Unión.
- Vela Arevalo, C. (2016). *Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa oleífera en aguas obtenidas del río Alto Chicama, puente Ingón, Trujillo*. Universidad Cesar Vallejo.
- Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Vimal, A. (2011). Application of plant based coagulants for waste water treatment. *Advanced Engineering Research and Studies, I(I)*, 1–2. [https://pdfs.semanticscholar.org/f5dc/1a3896cd1f1c67e0c277ebf970e8afae89.pdf?\\_ga=2.149042164.393393904.1592248823-337346576.1590070914](https://pdfs.semanticscholar.org/f5dc/1a3896cd1f1c67e0c277ebf970e8afae89.pdf?_ga=2.149042164.393393904.1592248823-337346576.1590070914)
- Vilavila Morales, S. (2018). *Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018*. Universidad Peruana Unión.
- Yin Yang, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *ScienceDirect*, 45, 1–8.
- Zerbatto, M. (2012). *Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: Su efecto sobre la remoción de enteroparásitos*. [Universidad Nacional de Litoral]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/461/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., & Yang, H. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *ScienceDirect*, 41(41), 1–4.
- Zolett, R., & Sartori Jabur, A. (2013). Uso de polímero natural a base de tanino (TANFLOC) para o tratamento de água para o consumo humano. *XX Simposio Brasileiro de Recursos Hídrico*, 1–8.