

# UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES NATURALES CON RESPECTO A  
LOS COAGULANTES SINTETICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Químico

Autora:

María Isabel Romero Escobar

CI: 070581338-4

Correo electrónico: isaromero21@hotmail.com

Directora:

Ing. Verónica Patricia Pinos Vélez PhD.

CI: 010355071-1

**Cuenca - Ecuador**

20 de Junio de 2022

En el tratamiento de agua potable, el proceso de coagulación es uno de los más importantes, puesto que reduce la carga negativa de las partículas coloidales y da inicio a la formación de micro flóculos, para posteriormente en el proceso de floculación se de paso a la agregación de partículas y se formen flóculos de mayor tamaño que puedan sedimentar con mayor rapidez. Para lograr que los procesos de coagulación y floculación sean exitosos, es necesario hacer uso de coagulantes de origen químico, tales como el sulfato de aluminio, el mismo que presenta una serie de desventajas, entre ellas se puede mencionar la formación de grandes volúmenes de lodos, además de variaciones en el pH del agua tratada necesitando un ajuste del mismo.

Por lo antes mencionado, se requiere encontrar otro tipo de coagulantes que generen el menor impacto ambiental, alcanzando porcentajes de remoción comparables a los obtenidos con los coagulantes convencionales en el tratamiento de agua potable.

El presente trabajo de investigación se centra en una revisión bibliográfica acerca de los coagulantes naturales más utilizados en el tratamiento de aguas, para tal fin se evaluaron parámetros fisicoquímicos del agua tratada tales como color, pH, turbidez, DBO5, DQO, conductividad eléctrica, alcalinidad, entre otros parámetros.

Se estudiaron cuatro coagulantes naturales que mostraron mejor efectividad en el tratamiento de aguas, de los cuales, la Moringa Oleífera es el más opcionado para ser utilizado en el tratamiento de agua potable, dado que en el estudio realizado por (Feria Díaz et al., 2014) el porcentaje de remoción alcanzado es del 97%, seguido de Strychnos Potatorium que según investigaciones realizados por (Uralimohan, 2015) en aguas residuales provenientes de una planta textil se alcanzaron porcentajes de remoción del 69%, en tanto que (Muthuraman & Sasikala, 2014) sugiere un porcentaje de remoción debido a Strychnos Potatorium en un agua sintética del 90%.

Se concluye en base a la revisión bibliográfica que los coagulantes naturales tales como Moringa Oleífera, Strychnos Potatorium, Opuntia Ficus Indica, Caesalpinia Spinosa alcanzan porcentajes

# UCUENCA

de remoción en parámetros fisicoquímicos comprendidos entre los siguientes rangos: 70%-90%; 69%-90%; 68%-91% y 19%-58%, respectivamente.

**Palabras Claves:** Coagulantes químicos. Tratamientos de aguas. Mecanismos de coagulación. Especies vegetales. Proceso de potabilización.

In the treatment of drinking water, the coagulation process is one of the most important, since it reduces the negative charge of the colloidal particles and initiates the formation of micro flocs, so that later in the flocculation process the particles aggregate and form larger flocs that can sediment more quickly. For the coagulation and flocculation processes to be successful, it is necessary to use coagulants of chemical origin, such as aluminum sulfate, which has a number of disadvantages, including the formation of large volumes of sludge, as well as variations in the pH of the treated water, requiring an adjustment of the same.

Therefore, it is necessary to find other types of coagulants that generate the least environmental impact, reaching removal percentages comparable to those obtained with conventional coagulants in the treatment of drinking water.

The present research work focuses on a bibliographic review of the most commonly used natural coagulants in water treatment. To this end, physicochemical parameters of treated water such as color, pH, turbidity, BOD5, COD, electrical conductivity, alkalinity, among other parameters, were evaluated.

Four natural coagulants that showed better effectiveness in water treatment were studied, of which, *Moringa Oleífera* is the most opted to be used in drinking water treatment, given that in the study conducted by (Feria Diaz et al., 2014) the removal percentage achieved is 97%, followed by *Strychnos Potatorium* that according to research conducted by (Uralimohan, 2015) in wastewater from a textile plant reached removal percentages of 69%, while (Muthuraman & Sasikala, 2014) suggests a removal percentage due to *Strychnos Potatorium* in a synthetic water of 90%.

It is concluded based on the literature review that natural coagulants such as *Moringa Oleífera*, *Strychnos Potatorium*, *Opuntia Ficus Indica*, *Caesalpinia Spinosa* reach removal percentages in physicochemical parameters between the following ranges: 70%-90%; 69%-90%; 68%-91% and 19-58%, respectively.

# UCUENCA

**Keywords:** Chemical coagulants. Water treatment. Coagulation mechanisms. Plant species.  
Potabilization process

Resumen .....	2
Abstract .....	4
<b>Índice del Trabajo</b> .....	6
<b>Índice de Tablas</b> .....	8
<b>Índice de Gráficos</b> .....	9
Agradecimiento .....	13
Dedicatoria.....	14
Introducción .....	15
<b>OBJETIVOS</b> .....	18
<b>Objetivo General</b> .....	18
<b>Objetivo Específico</b> .....	18
<b>1. Metodología</b> .....	19
<b>1.1. Bases de Datos</b> .....	19
<b>1.2. Palabras Claves</b> .....	26
<b>2. Marco Teórico</b> .....	31
<b>2.1. El Agua potable</b> .....	31
<b>2.2. Contaminación del Agua</b> .....	31
<b>2.3. Características Físicas de Agua</b> .....	32
<b>2.3.1. Turbiedad</b> .....	32
<b>2.3.2. Sólidos suspendidos y disueltos</b> .....	32
<b>2.3.3. Color</b> .....	33
<b>2.3.4. Temperatura</b> .....	33
<b>2.3.5. pH</b> .....	33
<b>2.4. Aspectos Microbiológicos del Agua</b> .....	34
<b>2.4.1. Indicadores microbiológicos de contaminación</b> .....	34
<b>2.4.2. Bacterias</b> .....	34
<b>2.5. Plantas de Tratamiento de Agua o Plantas Potabilizadoras</b> .....	35
<b>2.6. Plantas De Tratamiento Convencional</b> .....	36
<b>2.7. Procesos de Potabilización</b> .....	37
<b>2.7.1. Captación</b> .....	37
<b>2.7.2. Coagulación</b> .....	37

# UCUENCA

2.7.3.	Floculación.....	37
2.7.4.	Sedimentación .....	37
2.7.5.	Filtración.....	37
3.	Coagulación – Floculación.....	39
3.1.	Mecanismo de la Coagulación.....	40
3.1.1.	Compresión de la Doble Capa.....	41
3.1.2.	Absorción y Neutralización de Cargas.....	42
3.1.3.	Atrapamiento de Partículas dentro de un Precipitado .....	43
3.1.4.	Adsorción y Puente .....	43
3.2.	Etapas de la Coagulación .....	44
3.3.	Floculación.....	45
3.3.1.	Floculación Pericinética.....	46
3.3.2.	Floculación Ortocinética.....	46
3.4.	Principales Coagulantes .....	46
3.4.1.	Coagulantes metálicos.....	46
3.4.2.	Poliectrolitos .....	50
3.5.	Coagulantes Naturales en el Tratamiento de agua Potable.....	50
3.5.1.	Moringa Oleífera Lam.....	52
3.5.2.	Strychnos Potatorum .....	57
3.5.3.	Opuntia Ficus .....	61
3.5.4.	Caesalpinia spinosa.....	66
4.	Ventajas y desventajas.....	71
5.	Discusión y Conclusiones.....	73
5.1.	Discusión .....	73
5.2.	Conclusiones .....	77
6.	Bibliografía .....	78

## Índice de Tablas

Tabla 1. Recuento de revistas de Ciencia y Tecnología / Ciencias Sociales y Humanidades por formatos (Redalyc) (Lifante, 2009).....	23
Tabla 2. Palabras clave utilizadas en la investigación .....	26
Tabla 3. Parámetros iniciales y finales de agua cruda después de aplicar Sulfato de Aluminio (Feria Díaz et al., 2014).....	49
Tabla 4. Clasificación de ayudantes de floculación según su carga eléctrica.....	50
Tabla 5. Mecanismo de Coagulación de distintos coagulantes naturales. ....	51
Tabla 6. Porcentaje de eliminación de algunos coagulantes naturales.....	52
Tabla 7. Método de obtención del coagulante natural a base de Moringa Oleífera. ....	53
Tabla 8. Parámetros iniciales y finales de una muestra de agua cruda al aplicar Moringa Oleífera. ....	55
Tabla 9. Métodos de obtención del coagulante natural a base de Strychnos Potatorum.....	58
Tabla 10. Parámetros iniciales y finales de una muestra de agua cruda al aplicar Strychnos Potatorum. ....	60
Tabla 11. Método de obtención del coagulante natural a base de Opuntia Ficus .....	62
Tabla 12. Parámetros iniciales y finales de una muestra de agua cruda al aplicar Opuntia Ficus Indica. ....	64
Tabla 13. Métodos de obtención del coagulante natural a base de Caesalpinia Spinosa.....	67
Tabla 14. Parámetros iniciales y finales de una muestra de agua al aplicar Caesalpinia Spinosa (Torres, 2019) (Terrones, 2019). ....	68
Tabla 15. Ventajas y Desventajas de los Coagulantes Naturales (López-León et al., 2017) .....	71
Tabla 16. Resultados obtenidos en los diferentes casos de estudio. ....	76



## Índice de Gráficos

Figura 1. Ejemplo de búsqueda con operadores booleanos .....	26
Figura 2. Proceso selectivo de información .....	27
Figura 3. Proceso selectivo de información .....	28
Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de potabilización (Rojas, 2015).....	36
Figura 6. Esquema del Proceso de Potabilización del Agua («Potabilización y Depuración del Agua», 2020).....	38
Figura 7. Coagulación (Andía, 2000) .....	40
Figura 8. Fuerzas de Atracción y Repulsión (Andía, 2000). .....	41
Figura 9. Reestabilización de Partículas (Andía, 2000).....	42
Figura 10. Atrapamiento de las Partículas en un Floc. ....	43
Figura 11. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión (Andía, 2000).....	44
Figura 12. Etapas de la Coagulación (Lorenzo, 2006).....	45
Figura 13. Floculación (Cabrera et al., 2009). ....	46
Figura 14. Árbol de Moringa (Ramos Alija, 2016). ....	52
Figura 15. Semillas de Nirmali (Strychnos Potaturum) (Kavita et al., 2014).....	57
Figura 16. Planta Completa Tuna (Opuntia ficus- indica) (Simba, 2014) .....	61
Figura 17. a) Planta de Tara b) Vaina de Tara (Pacheco, 2018). ....	66
Figura 18. Comparación entre los 4 coagulantes naturales: Moringa Oleífera, Strychnos Potatorum, Opuntia Ficus, S. Spinosa. ....	69

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

María Isabel Romero Escobar, autora del trabajo de titulación "ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES NATURALES CON RESPECTO A LOS COAGULANTES SINTETICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE ", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 20 de Junio de 2022



María Isabel Romero Escobar

C.I: 070581338-4

## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

María Isabel Romero Escobar en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS COAGULANTES NATURALES CON RESPECTO A LOS COAGULANTES SINTÉTICOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE ", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de Junio de 2022



María Isabel Romero Escobar

C.I: 070581338-4



## Agradecimiento

A Dios, por darme la fuerza necesaria para no desistir y seguir siempre adelante pese a las adversidades que se presentan día a día.

A mi alma mater Universidad de Cuenca y a cada uno de los docentes que conforman la Facultad de Ciencias Químicas quiero expresar mi más sentido agradecimiento por todo su esfuerzo y dedicación en las aulas y haberme permitido acceder a una educación de calidad.

A mi directora de tesis Ing. Verónica Pinos por su constante apoyo, por su dedicación y por compartir sus conocimientos conmigo para que culmine con éxitos mi trabajo de titulación, gracias por estar siempre presente y por toda su entrega durante la realización de este trabajo, quedo completamente agradecida por haber tenido la oportunidad de estar bajo su tutela.

A mis padres, por trabajar muy duro todos los días para brindarnos un mejor futuro a mis hermanas y a mí, han tenido que saber sobrellevar situaciones difíciles, entre ellas la distancia y han sabido salir victoriosos porque el amor que se tienen es mucho más grande que los kilómetros que los separan. De mi madre aprendí a luchar, a creer en uno mismo y a no mirar relojes ajenos. Querida madre eres una guerrera.

A mi hermana mayor, Tanya Romero por siempre creer en mí pese a que yo no lo hacía, por las veces que compartías tu sueldo conmigo, aunque no ganabas mucho, eres el mejor ejemplo que he podido tener gracias por ser la mejor hermana mayor, la mejor tía y amiga. “Las mujeres de verdad ayudamos a otras mujeres a brillar”, gracias por mantener encendida mi luz, sin pedir nada a cambio.

A mi hermana menor, Estefanía Romero, gracias, hermana por jamás abandonarme, por pelear por mí, por ser ese lucero de esperanza cuando creía que mi vida terminaba; he aprendido mucho de ti mi pequeña y estoy muy orgullosa de la gran mujer en la que te has convertido.

A la Dra. Gladys Toala, por ser una segunda madre para mi hija y también para mí, hoy le puedo decir que, gracias a su esfuerzo y dedicación, ese sueño del título universitario al fin se materializa. Gracias por creer en mí, por amar y cuidar de mi hija como si fuese suya.

A la Ing. Dalia Loor por darme mi primera oportunidad laboral, gracias ingeniera no se imagina cuanto cambio mi vida. Gracias por creer en mí.

A la Ing. Ma. Lourdes Caamaño, por toda la paciencia, por siempre estar dispuesta a enseñarme y sobre todo por siempre creer en mí.

A la Ing. Mónica Corozo por su apoyo incondicional, por ser una buena amiga. Mi Moni gracias por esa hermosa amistad que me has brindado, te admiro mucho, eres una gran mujer y una excelente profesional.

Al Ing. Winter Choez, de él aprendí que lo mejor para un profesional es empezar desde abajo para que a medida que se va subiendo se mantenga intacta tu calidad como ser humano.

## Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi pequeña hija, quien me acompañaba noches enteras mientras realizaba mi tesis, quien se quedaba dormida en el sofá esperando a que mamá se desocupe.

Hija, desde muy pequeña cargaste en tus hombros con el peso de no ver a tu madre todos los días y que debido a mis estudios no podía estar presente en fechas importantes como tu cumpleaños o en las celebraciones escolares por el día de la madre, pero tú has sido una niña muy fuerte y me has dado la fuerza y el coraje para seguir adelante. Gracias mi vida, este pequeño triunfo es de las dos y digo pequeño porque aún nos faltan muchas batallas que librar. Te amo Hija

## Introducción

La disponibilidad del agua es un problema actual y complejo en el que interviene una serie de factores que van más allá del incremento poblacional que demanda cada vez más este recurso para uso del consumo humano, así como para llevar a cabo actividades económicas (Duran & Torres, 2006). El agua es un elemento esencial para la vida de todos los seres vivos del planeta, además es un derecho humano fundamental. El 97.2 % del agua en el planeta Tierra es salina y solo el 2.5 % corresponde a agua fresca; de ese 2.5 %, 30 % es subterránea, 68 % está en los glaciares y otras capas de nieve y solo el 1.2 % es superficial y se encuentra en ríos, lagos y otras formas de agua de superficie (O. G. Gómez, 2018)

El crecimiento urbano-industrial ha sido un factor importante en el aumento de los requerimientos de agua en las últimas décadas. La competencia entre los usos industrial, urbano y agrícola han propiciado la construcción de grandes obras hidráulicas para el abastecimiento de agua, dando preferencia a los sectores industriales y a los habitantes de las grandes ciudades del país, originando con ello la sobre-explotación y contaminación de este recurso natural (Duran & Torres, 2006) .

Según (Arellano & Lindao, 2019), los parámetros de calidad básicos del agua potable son: color, turbiedad, pH, cloro residual, coliformes totales y sólidos totales disueltos.

Para mejorar los parámetros de color, turbiedad y sólidos disueltos se emplea dentro del proceso de tratamiento de agua la coagulación, ya sea agua que se someterá a proceso de potabilización o agua residual (Trujillo et al., 2014). Las partículas coloidales, sólidos suspendidos con un tamaño que oscila entre  $10^{-6}$  y  $10^{-9}$  m y una velocidad de sedimentación muy lenta, son los responsables de turbidez y del color. Estas partículas están, por lo general, cargadas negativamente, debido a la presencia de grupos  $\text{RCOO}^-$  y  $\text{OH}^-$ . La carga negativa en la superficie causa repulsión entre las partículas, evitando la aglomeración y la formación de partículas más grandes que sedimentarían fácilmente (Guzmán, Villabona, Tejada, et al., 2013). Las cargas eléctricas similares generan fuerzas de repulsión que promueven la suspensión de las partículas, de aquí la necesidad de adicionar un electrolito que neutralice la carga eléctrica del coloide para eliminarlas por decantación (Lorenzo, 2006). La neutralización de las cargas eléctricas de los coloides en suspensión en las aguas es la condición primordial

# UCUENCA

para una buena depuración por coagulación y floculación. El proceso de coagulación reduce la carga negativa, contribuyendo a la agregación de partículas para formar microfloculos. La floculación consiste en la agregación de partículas para formar floculos más grandes. La sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo los sólidos debidos a la contaminación y los sólidos generados por los químicos. La floculación depende de la temperatura y el pH del agua (Trujillo et al., 2014). En otras palabras, la coagulación se produce como el resultado de la acción electroquímica producida en el agua por la adición de los coagulantes químicos, con lo cual se reducen las cargas eléctricas superficiales de las partículas coloidales, a la vez que se forman hidróxidos complejos. Estas reacciones se producen normalmente de un modo instantáneo, sin otro tiempo que el de la mezcla de los reactivos con el agua (Lorenzo, 2006). Las ayudas de coagulación/floculación más comunes son: alumbre, cloruro férrico y polímeros de cadena larga (Trujillo et al., 2014)

La utilización de los coagulantes más comunes como, por ejemplo, el sulfato de aluminio se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, entre otras causas, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y puede solubilizarse el aluminio ocasionando problemas de altas variaciones en los valores de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y aluminio residual del agua clarificada. El aluminio en solución ocasiona una reestabilización de las cargas de las partículas en suspensión y experimenta una postfloculación generando problemas en la apariencia del producto terminado, especialmente en aguas envasadas (Cogollo, 2011). Por otra parte, algunos estudios indican que la presencia de aluminio en el agua potable y en los alimentos son algunos de los agentes etiológicos causantes de las enfermedades mentales, además indican que existe una asociación entre el aluminio y la enfermedad de Alzheimer, lo cual representa riesgos relativos para poblaciones con exposiciones a concentraciones de aluminio en el agua, mayores de 0,1mg/L (González et al., 2016)

El uso de coagulantes en el tratamiento de agua para consumo humano implica la producción de lodos como subproducto. Es de esperarse que el volumen de los lodos producidos oscile entre el 0.3 y el 1% del agua tratada. El lodo producido durante la coagulación se caracteriza por su alto contenido de agua (baja concentración de sólidos), alta resistencia a la deshidratación mecánica, y en general gran dificultad para su manejo y tratamiento. Para lodos



# UCUENCA

aluminosos (aquellos generados como subproducto de coagulación con sales de aluminio), se afirma que poseen cerca de 39 % de aluminio en peso, presumiblemente en forma de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (Villegas et al., 2005).

Por lo mencionado, es importante considerar otras alternativas que logren disminuir cada vez más el empleo de sustancias químicas que en un momento determinado puedan ser nocivas a la salud de la población. El uso de coagulantes vegetales en el tratamiento de aguas residuales puede ser una alternativa viable. Estos han demostrado ser económicos, amigables con el ambiente y eficientes en el proceso de remoción de turbidez y coloración del agua (García, 2018).

Por lo antes expuesto, este trabajo se centra en recopilar información acerca de los coagulantes naturales más utilizados en el tratamiento de agua potable, exponer sus ventajas aluminio y comparar los porcentajes de remoción frente a los coagulantes químicos convencionales, tales como el Sulfato de aluminio.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

- Realizar el estado del arte sobre los coagulantes naturales en el tratamiento de agua potable

### Objetivo Específico

- Estudiar el proceso de coagulación/floculación dentro de los tratamientos de agua potable usando coagulantes convencionales.
- Identificar y describir los coagulantes naturales con potencial de ser usados en el tratamiento de agua potable.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de los coagulantes naturales frente a los convencionales.

## CAPITULO I METODOLOGÍA

### 1. Metodología

#### 1.1. Bases de Datos

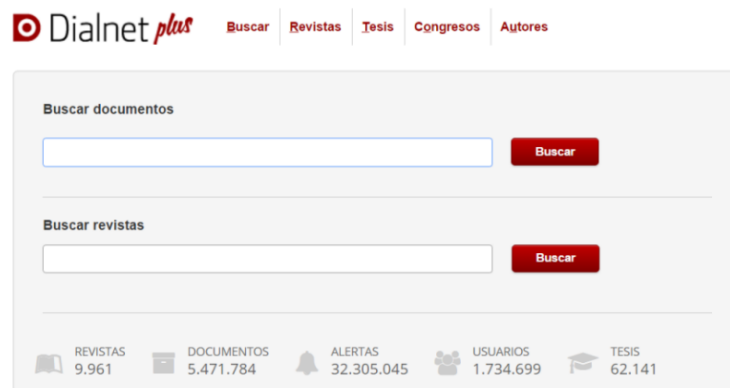
Una base de datos es la organización estructurada de un conjunto de información con al menos una característica en común que permite su agrupación. Además, permite la recopilación de la información para su posterior recuperación, para lo cual generalmente ofrece un motor de búsqueda interno que utiliza características especiales de cada artículo, con el fin de lograr una rápida y eficaz ubicación. Según su contenido, las bases de datos se pueden clasificar en bibliográficas y de texto completo. Las primeras tienen como objetivo fundamental la organización de referencias y pequeños resúmenes, pero nunca brindan acceso al texto completo de un documento, en razón a que ésta es la competencia fundamental de las bases de datos de texto completo. Existen bases de datos que recopilan información de varios países del mundo, mientras que otras son exclusivas de un país o una región determinada, la cual es otra diferencia fundamental al momento de realizar una búsqueda (Castrillón et al., 2008).

Al realizar una búsqueda bibliográfica se debe procurar que la información obtenida sea veraz, sólida, actualizada, y a su vez debe provenir de fuentes documentales relevantes y de carácter científico, permitiendo así evaluar y organizar eficientemente la información recopilada.

#### **Fuentes de datos utilizadas en este trabajo**

En la actualidad existe una extensa gama de fuentes de datos académicos y buscadores de los mismos. Para la presente investigación se han considerado las siguientes fuentes de información académica: Redalyc, Dialnet, Google Académico, Researchgate, Scielo, entre otras.

## Dialnet



Es una base de datos de contenidos científicos en español accesible de modo gratuito, exhaustiva y actualizada al haberse ido añadiendo a la hemeroteca inicial otro tipo de contenidos (documentos de trabajo, partes de libros colectivos, tesis doctorales, referencias de libros). Es un depósito o repositorio de acceso a la literatura científica en español a texto completo, con una clara apuesta por el acceso libre y gratuito a la misma, sumándose al movimiento Open Access. Dialnet es un repositorio que cuenta con un total de 5.513 revistas, 2.111.411 documentos, 8.884.639 alertas y 439.456 usuarios registrados (a fecha de agosto de 2009). Puesto que este repositorio únicamente ofrece los datos de las revistas que contiene por disciplinas, sólo puede realizarse un análisis por ámbitos disciplinares (Lifante, 2009).

## Google Académico

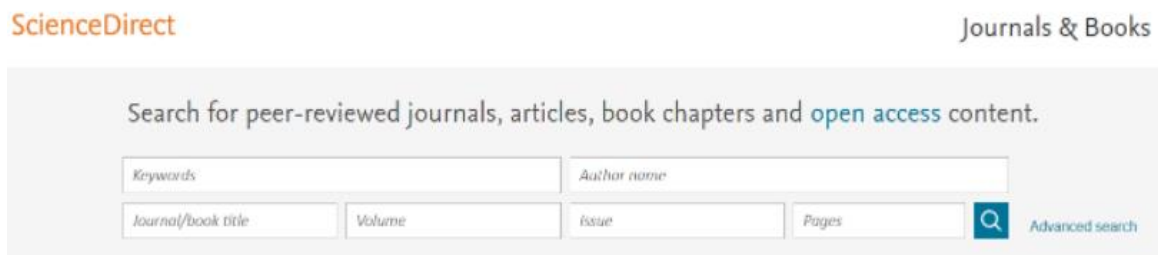


Es un servicio de la empresa Google: un buscador especializado que rastrea sólo sitios de carácter académico y científico de la web. Indiza y extrae la información extrayendo o

# UCUENCA

generando un inventario de documentos científicos descritos o disponibles a través de internet. O sea, en algunos casos facilita los datos de los documentos (los describe) y en otros nos lleva incluso, mediante enlaces, al texto completo digital del documento existente en la red (L. J. M. Rodríguez, 2016).

## Science Direct



Según Codina, (2018) Science Direct es la plataforma digital y base de datos que permite consultar las publicaciones científico-académica más importante de Elsevier. A diferencia de otros productos de la misma empresa (como Scopus), Science Direct no requiere suscripción previa para su utilización.

Science Direct proporciona acceso a artículos de revistas, a través de unos 4.000 títulos, más de 600.000 números y un total de 15 millones de artículos (Codina, 2018).

Las áreas temáticas que cubre son las siguientes:

- Física e ingeniería
- Ciencias de la vida
- Ciencias de la salud
- Ciencias sociales y Humanidades (Codina, 2018).

## Redalyc



Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal) es una hemeroteca científica en línea de libre acceso que funciona como punto de encuentro para todos aquellos interesados en reconstruir el conocimiento científico de y sobre Iberoamérica.

En lo referente a la cobertura del repositorio Redalyc se pueden destacar los siguientes apartados:

- Cobertura geográfica: América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Cobertura temática: están consideradas todas las publicaciones seriadas en las disciplinas presentadas en la tabla 1.
- Cobertura Idiomática: cualquier idioma empleado en la región.

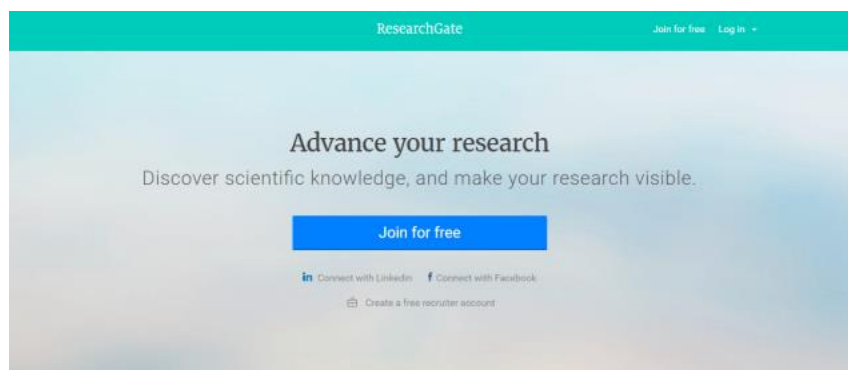
Tabla 1. Recuento de revistas de Ciencia y Tecnología / Ciencias Sociales y Humanidades por formatos (Redalyc) (Lifante, 2009).

REDALYC				
Datos extraídos de la búsqueda de revistas del portal web				
Recuento de revistas de Ciencia y Tecnología / Ciencias Sociales y Humanidades por formatos				
Áreas	Disciplinas	Impresas	Electrónicas	Mixtas
Ciencia y Tecnología	Agrociencias	29	0	8
	Arquitectura	3	0	1
	Astronomía	1	0	0
	Biología	42	2	6
	Ciencias de la atmósfera	2	0	0
	Computación	3	2	0
	Física	4	0	0
	Geofísica	1	0	0
	Geografía	3	0	0
	Geología	5	0	0
	Ingeniería	30	2	6
	Matemáticas	5	0	1
	Medicina	32	4	7
	Multidisciplinaria (Ciencias Naturales y Exactas)	15	1	0
	Multidisciplinarias	6	1	1
	Oceanografía	4	0	3
	Química	16	1	5
Veterinaria	8	1	3	
<b>Total:</b>		<b>209 (79,17%)</b>	<b>14 (5,30%)</b>	<b>41 (15,53%)</b>
Ciencias Sociales y Humanidades	Administración Pública	36	1	4
	Antropología	23	0	7
	Arte	3	0	1
	Ciencias de la Información	13	1	7
	Cultura	15	0	3
	Demografía	5	0	1
	Derecho	14	0	3
	Economía	62	1	10
	Educación	44	12	6
	Estudios Agrarios	10	0	1
	Estudios Ambientales	11	1	0
	Estudios Territoriales	20	1	2
	Filosofía y Ciencia	13	1	3
	Geografía	11	0	0
	Historia	24	3	3
	Lengua y Literatura	16	3	4
	Multidisciplinarias (Ciencias Sociales y Humanidades)	47	4	4
	Política	42	3	8
	Psicología	40	2	8
	Relaciones Internacionales	9	0	2
Salud	23	7	8	
Sociología	42	4	4	
<b>Total:</b>		<b>523 (79,73%)</b>	<b>44 (6,71%)</b>	<b>89 (13,57%)</b>

# UCUENCA

Redalyc cuenta actualmente con un fondo de 401 revistas científicas de Ciencias Sociales y Humanidades (79.702 artículos), que junto con las 149 revistas de Ciencia y Tecnología (34.627 artículos) suponen un total de 550 revistas científicas (114.329 artículos). Existe una diferencia notable entre el número de revistas científicas de Ciencias Sociales y Humanidades y Ciencia y Tecnología, ya que, las primeras suponen un 72.91% del total frente al 27.09% de las segundas (Lifante, 2009).

## Researchgate



ResearchGate es una red social académica fundada en Alemania en 2008 por dos médicos (Ijad Madish y Sören Hofmayer) y un informático (Horst Fickenscher), en la que trabajan actualmente más de 150 personas. El sistema se basa fundamentalmente en la capacidad para depositar y almacenar cualquier documento académico por parte de los autores (desde un artículo publicado en una revista de impacto hasta patentes, comunicaciones a congresos, materiales de un curso, una presentación o datasets) y en la inmediata obtención de estadísticas de uso personalizadas (quién visita, descarga o cita un documento o a sus autores).

A fecha de febrero de 2016, la plataforma informa de la disponibilidad de más de 81 millones de publicaciones (de las que aproximadamente el 23.5% se encuentran a texto completo), con una representación de 193 países y con miembros verdaderamente insigues, entre los que se encuentran 52 investigadores galardonados con el premio Nobel (Orduña et al., 2016).

En 2018, contaba con más de 70 millones de documentos en línea siendo un gran repositorio web de documentación de calidad, a nivel mundial (Gómez, 2018).





Es un modelo de publicación electrónica cooperativa que permite el acceso a revistas científicas a texto completo en Internet y que opera como una red de bibliotecas de ciencias de la salud de Latinoamérica constituida por los diferentes sitios SciELO. Para ello se ha desarrollado una metodología que hace posible, además de la publicación electrónica de revistas, la organización de la información en bases de datos bibliográficas y la generación de informes estadísticos de uso e indicadores bibliométricos (Veiga de Cabo et al., 2003). La metodología SciELO reúne un conjunto de normas, guías, herramientas y programas, compatibles con iniciativas y estándares internacionales, que permite la publicación de revistas científicas a texto completo en Internet (Veiga de Cabo et al., 2003).

### **Estrategia de búsqueda de información**

La búsqueda de información en las distintas bases de datos científicos se realiza mediante booleanos tales como, AND, OR y NOT, estos operadores lógicos se utilizan con la finalidad de obtener búsquedas más precisas y eficientes.

El operador AND es el operador de intersección de dos conjuntos de búsqueda. Equivale a la conjunción "y" e indica que se recuperarán los documentos que contengan los dos o más términos. Por otro lado, OR (O) es el operador para la unión de conjuntos. Se utiliza para ampliar el alcance de la búsqueda e incrementa, por lo general, el número de documentos a recuperar. El operador AND NOT o NOT es el operador de exclusión de conjuntos. Los resultados del empleo de este operador son registros que contienen todos los elementos del primer conjunto y no, los del segundo (Rodríguez, 2003).

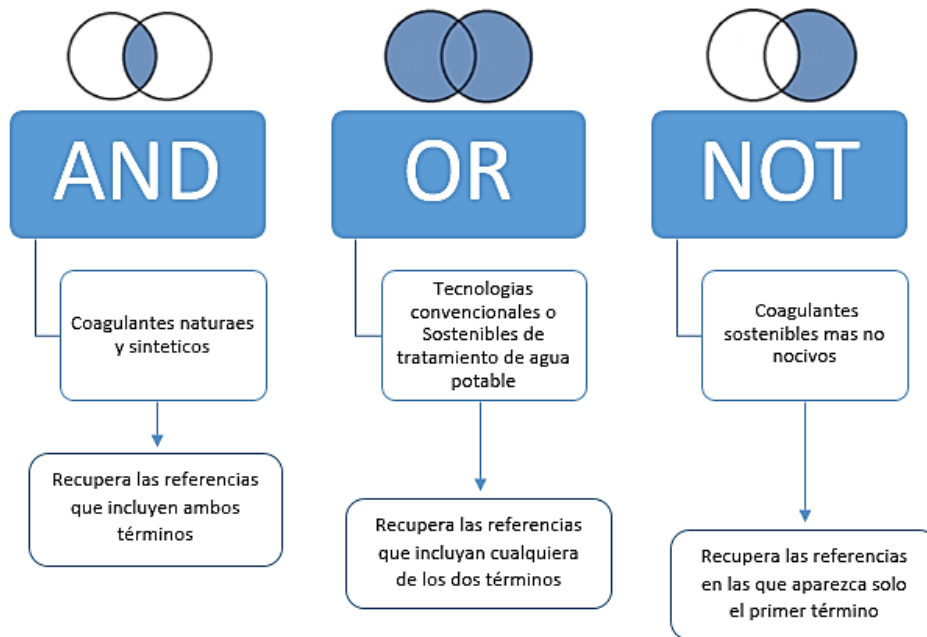


Figura 1. Ejemplo de búsqueda con operadores booleanos

**Fuente:** Elaboración Propia

## 1.2. Palabras Claves

Las palabras claves se seleccionaron previa revisión bibliográfica y siguiendo los objetivos planteados en el presente trabajo, para simplificar la búsqueda de información se optó por trabajar en paquetes. En la Tabla 1 se detallan las palabras claves a utilizar:

Tabla 2. Palabras clave utilizadas en la investigación

Paquete 1	Paquete 2	Paquete 3
Proceso de coagulación tradicional de agua potable	Coagulantes naturales con potencial de ser usados en el tratamiento de agua potable	Ventajas y desventajas del uso de los coagulantes naturales
Coagulantes químicos	Mecanismos de coagulación	Costos
Tratamiento de aguas	Especies vegetales	Impacto Ambiental
Proceso de potabilización	Tratamiento de agua	Generación de lodos
Coagulación	Capacidad floculante	Disponibilidad
Floculación		Eficiencia de la floculación

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de la descripción de cada uno de los capítulos se utilizaron filtros, tales como, palabras claves y año de publicación, con la finalidad de obtener información relevante y de fuentes confiables. La búsqueda, se realizó en los motores y bases de datos previamente mencionados; para evaluar los documentos se revisó su respectivo resumen, de esta manera se logró realizar

# UCUENCA

una clasificación rápida de los documentos que poseían contenido acorde a la línea de investigación seguida en el presente proyecto.

Las palabras claves, para el paquete 1 fueron, coagulantes químicos, tratamiento de aguas, proceso de potabilización, coagulación, floculación. La búsqueda se realizó en inglés y español. En la red social Researchgate se encontraron 100 artículos, en el buscador Dialnet se encontraron 50 artículos, en tanto que en los buscadores Scielo, Redalyc, Science Direct y Google Académico se encontraron un total de 8, 651, 19397 y 8220 respectivamente entre artículos de revistas y tesis

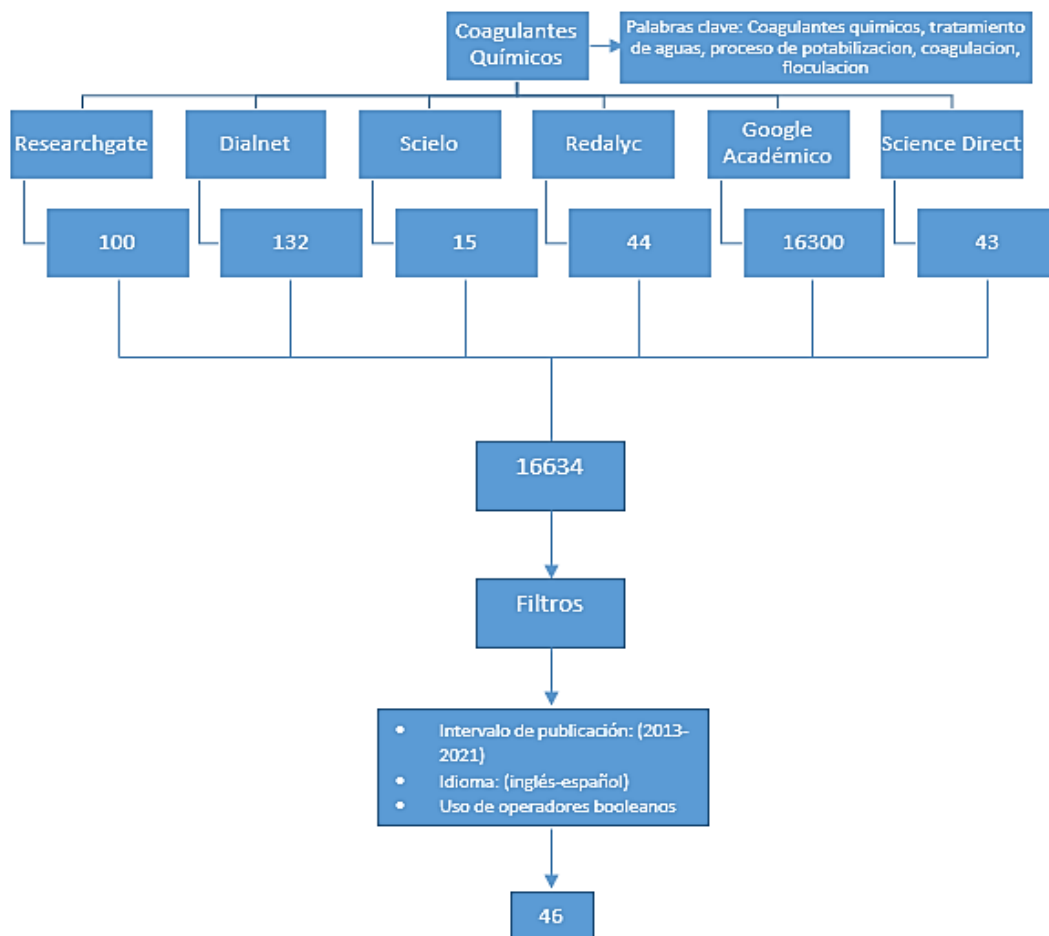


Figura 2. Proceso selectivo de información

**Fuente:** Elaboración propia

# UCUENCA

En el paquete 2, las palabras clave utilizadas fueron: mecanismos de coagulación, especies vegetales, tratamiento de agua, capacidad floculante. En la red social Researchgate se encontraron 62 artículos que guardan relación con las palabras claves, en Dialnet se encontraron 19 artículos, en Scielo 107, en Redalyc 41, en Google Académico 15900 y finalmente en Science Direct se encontraron 352. Después de aplicar varios filtros tales como el año de publicación, idioma (inglés - español) y el uso de operadores booleanos se obtuvo un total de 77 artículos

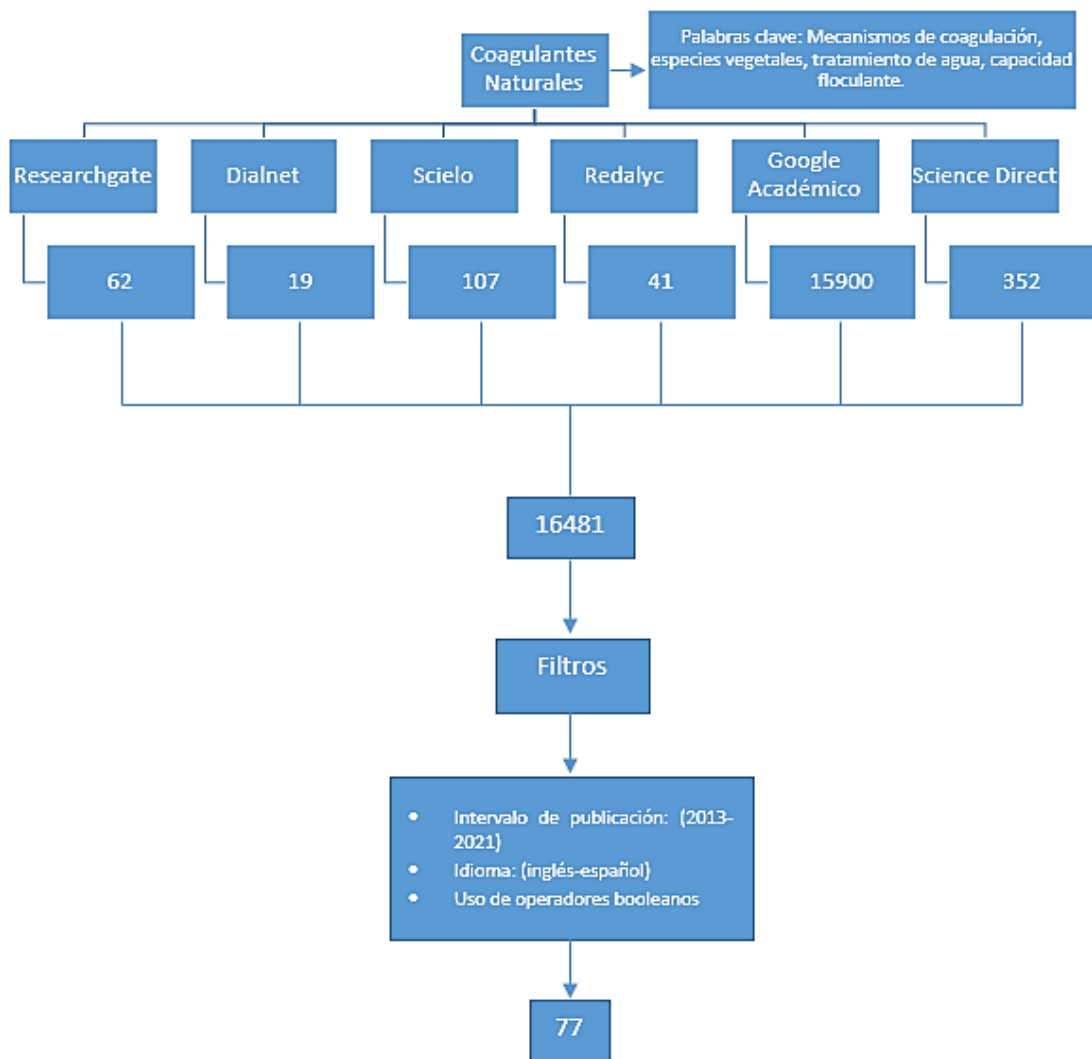


Figura 3. Proceso selectivo de información.

**Fuente:** Elaboración propia

# UCUENCA

En el paquete 3, las palabras clave utilizadas fueron: costos, impacto ambiental, generación de lodos, disponibilidad, eficiencia de la floculación. En Researchgate se encontraron 22 artículos que guardan relación con las palabras claves, en Dialnet se encontraron 13 artículos, en Scielo 59, en Redalyc 86, en Google Académico 6750 y finalmente en Science Direct se encontraron 105. Después de aplicar varios filtros tales como el año de publicación, idioma (inglés - español) y el uso de operadores booleanos se obtuvo un total de 51 artículos

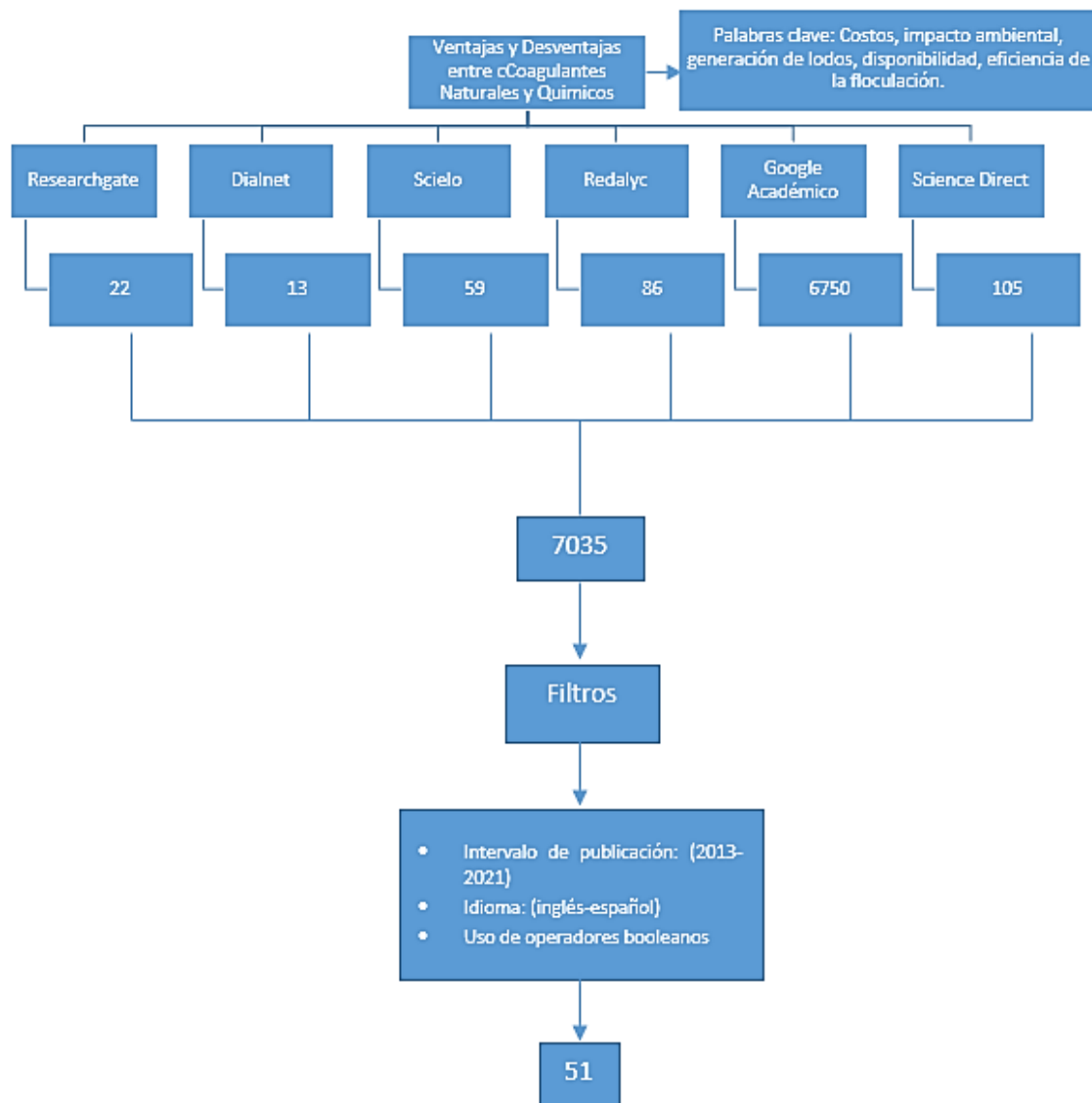


Figura 4. Proceso selectivo de información. Elaboración propia

**Fuente:** Elaboración propia

# UCUENCA

Al realizar el análisis de la información presentada en los cuadros anteriores, se puede inferir que el buscador Google Académico es el que contiene el mayor número de información entre artículos, revistas y tesis; sin embargo, se debe hacer referencia que este buscador provee información muy variada en cuanto al nivel de relevancia en la información. Dialnet fue el buscador que menor cantidad de información proporciono. El uso de operadores booleanos es imprescindible en la búsqueda de la información, puesto que de esta forma se optimiza el proceso de búsqueda de información y se garantiza que la información obtenida proviene de fuentes confiables y relevantes.

### **2. Marco Teórico**

#### **2.1. El Agua potable**

El acceso al agua potable es un derecho imprescindible, ya que satisface necesidades básicas referidas a la salud y las condiciones de vida de las poblaciones humanas; expresado por el derecho de gozar de altas coberturas en los servicios de agua y saneamiento. Sin embargo, a nivel mundial aún se identifican deficiencias en la calidad de la prestación de los servicios, organización, ausencia de planificación e insuficiente inversión que puedan garantizar en el mediano y largo plazo el sostenimiento de las coberturas en los servicios de agua y saneamiento en numerosos países (Hernández et al., 2011).

La calidad del agua de consumo humano se ha asociado con diversas enfermedades. Un gran número de enfermedades infecciosas y parasitarias en el mundo se debe a la falta de acceso adecuado a fuentes de agua y a condiciones de saneamiento, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 2,9 millones de personas mueren cada año por estas causas. Los menores de edad son el grupo de edad más afectado, ya que 90 % de las muertes ocurre en niños menores de cinco años, casi siempre residentes en países en desarrollo (Guzmán et al., 2015).

El control de la calidad del agua involucra el establecimiento de medidas de protección en la fuente, el tratamiento y la distribución del agua, así como la prueba rutinaria de la calidad del agua a fin de cerciorarse de la realización satisfactoria de los procesos de tratamiento, de la calidad del agua producida y la ausencia de recontaminación en el sistema de distribución de modo de cumplir con las normas vigentes (García et al., 2007).

#### **2.2. Contaminación del Agua**

La contaminación del agua es la degradación de la calidad del agua, que la hace inadecuada para los usos deseados, tales como bañarse, beber o pescar y puede tener efectos graves en la salud de los seres vivos a través del contacto o consumo. La contaminación típicamente se refiere a los productos químicos u otras sustancias nocivas que en ciertas concentraciones provoquen que el agua no sea apta para su uso. Los principales contaminantes del agua pueden incluir: microorganismos, nutrientes, metales pesados, productos químicos orgánicos, aceites y sedimentos (Flores, 2016)

# UCUENCA

## 2.3. Características Físicas de Agua

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua (De Vargas, 2004).

Se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad
- Sólidos solubles e insolubles
- Color
- Olor y sabor
- Temperatura
- pH (De Vargas, 2004).

### 2.3.1. Turbiedad

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (De Vargas, 2004).

### 2.3.2. Sólidos suspendidos y disueltos

Los sólidos pueden encontrarse en el agua como suspendidos o disueltos, la suma de estos dos se conoce como Sólidos Totales Disueltos (STD) (Bajaña & Montero, 2015).

- *Sólidos o residuos disueltos.*

Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada. Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1  $\mu\text{m}$ ) (De Vargas, 2004).



- ***Sólidos en suspensión.***

Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio (De Vargas, 2004).

### **2.3.3. Color**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en disolución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales (Romero, 2002).

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbiedad ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en disolución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa (Romero, 2002)

La unidad de color es el color producido por un mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato (Romero, 2002). La determinación de color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados (Romero, 2002).

### **2.3.4. Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (De Vargas, 2004).

### **2.3.5. pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9 (De Vargas, 2004).

# UCUENCA

## 2.4. Aspectos Microbiológicos del Agua

La presencia o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua surge usualmente por efecto directo o indirecto de cambios en el medio ambiente y en la población tales como urbanización no controlada, crecimiento industrial, pobreza, ocupación de regiones antes deshabitadas, y la disposición inadecuada de excretas humanas y animales. Los cambios relacionados con las actividades antropogénicas se ven reflejados directamente en el entorno y, por consiguiente, en el recurso hídrico. Las principales actividades que favorecen la contaminación de aguas son las agropecuarias como movilización de animales, cultivos, abonos orgánicos mal procesados y disposición inadecuada de aguas residuales que afectan la calidad microbiológica de las fuentes de agua (Ríos et al., 2017)

### 2.4.1. Indicadores microbiológicos de contaminación.

Los indicadores microbiológicos de calidad del agua son organismos que tienen un comportamiento similar a microorganismos patógenos cuya procedencia, concentración, hábitat y reacción a factores externos es la de la mayoría. Su presencia determina la existencia de patógenos y permite comparar sus reacciones a cambios de pH y temperatura o aplicación de medios físicos o químicos de desinfección, con la ventaja de ser más fácilmente cultivables o identificables, y económicamente factibles. Requieren la identificación y cuantificación de microorganismos por índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua y, aunque la información microbiológica obtenida a partir de su análisis no reemplaza los análisis fisicoquímicos, reduce costos y aporta información en el monitoreo de la calidad del agua (Ríos et al., 2017).

A continuación, se describen algunos indicadores utilizados en monitoreo de calidad del agua:

### 2.4.2. Bacterias.

En su mayoría son bacterias entéricas, provenientes del tracto gastrointestinal de animales y humanos, denominadas bacterias fecales, cuya capacidad de sobrevivir y reproducirse en el agua es restringida dado el estrés fisiológico que presenta el medio acuoso. Establecerlas como bioindicadoras tiene alto grado de complejidad debido a las limitaciones diagnósticas que esto genera. Estas características particulares indican que su hallazgo está asociado con infecciones recientes o con presencia de materia orgánica y condiciones de pH, humedad y temperatura que faciliten su reproducción y sobrevivencia (Ríos et al., 2017).

El grupo bacteriano que cumple con las características de potencial bioindicador de calidad del agua es el de las bacterias coliformes, enterobacterias o Enterobacteriaceae, anaerobias

# UCUENCA

facultativas, no esporulantes, productoras de gas y fermentadoras de lactosa por vía glucolítica, que generan ácidos como producto final. Corresponden a 10 % de los microorganismos intestinales humanos y animales, por lo que su presencia en el agua está asociada con contaminación fecal e indica tratamientos inadecuados o contaminación posterior (Ríos et al., 2017).

### 2.4.3. Virus

Los virus son la principal causa de morbilidad y mortalidad en las enfermedades de transmisión hídrica y en ningún caso se consideran flora normal del tracto gastrointestinal de animales y humanos. El 87 % de enfermedades virales transmitidas por agua son causadas por el virus de la Hepatitis, Adenovirus y Rotavirus (Ríos et al., 2017).

### 2.4.4. Parásitos

Dentro de los parásitos patógenos transmitidos por el agua se encuentran dos grupos: protozoos y helmintos.

- **Protozoos:** sus formas parasitarias, quistes u ooquistes y trofozoitos, son en su mayoría retenidos en el proceso de filtración de los sistemas de tratamiento y algunos son resistentes a la cloración [ooquistes]. Son causantes de enfermedades diarreicas en las especies que parasitan y, en algunas ocasiones, son organismos oportunistas causantes de enfermedades graves e incluso la muerte en niños, ancianos y pacientes inmunocomprometidos (Ríos et al., 2017).
- **Helmintos:** son altamente resistentes a los cambios de pH, humedad y temperatura en el ambiente externo y son causantes de altas tasas de morbilidad por consumo de aguas contaminadas. Otra de sus características importantes es su mínima dosis infectiva y la resistencia a la desecación de los huevos de éstos parásitos, que logran durar largos períodos de tiempo en el ambiente externo (Ríos et al., 2017).

## 2.5. Plantas de Tratamiento de Agua o Plantas Potabilizadoras

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas (De Vargas, 2004).

## 2.6. Plantas De Tratamiento Convencional

Este tipo de plantas están conformadas por las operaciones unitarias básicas en el proceso de potabilización: mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El cribado inicial y la pre-cloración pueden adicionarse dependiendo las necesidades de la planta y la calidad del agua cruda (Toapanta, 2018).

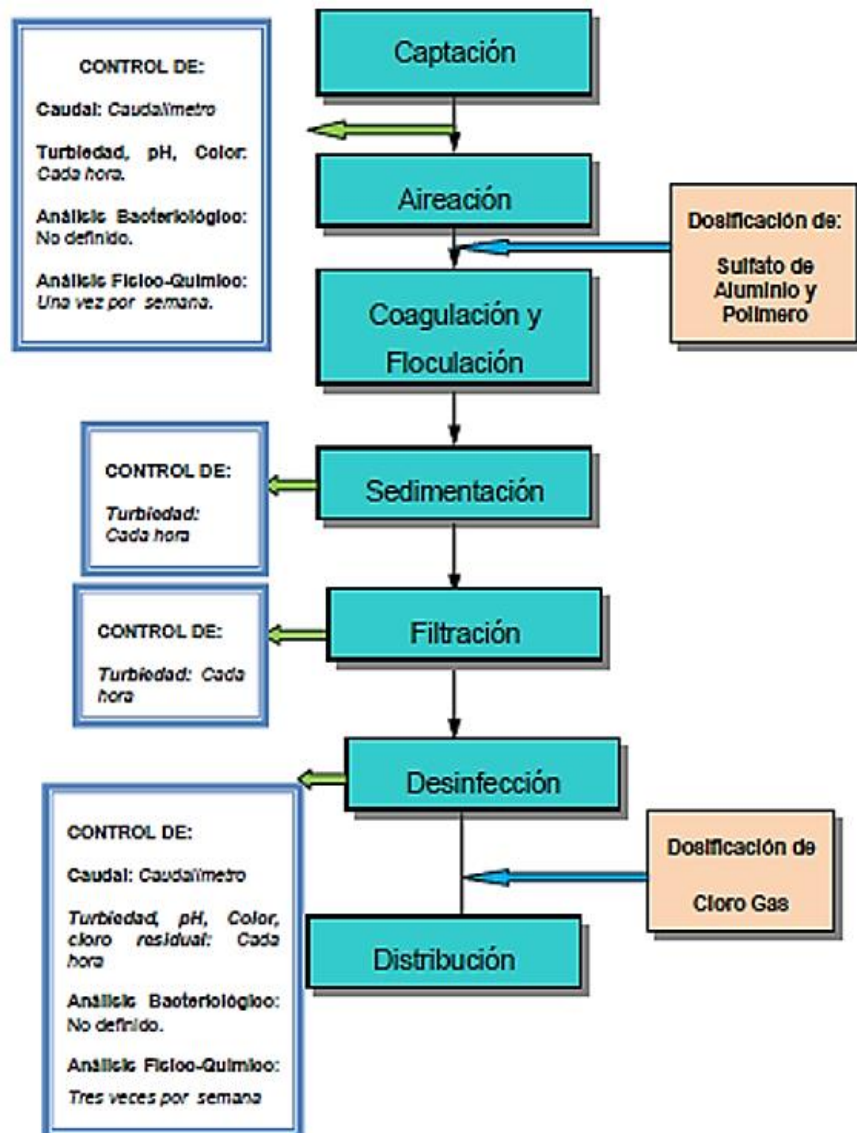


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de potabilización (Rojas, 2015).

## 2.7. Procesos de Potabilización

### 2.7.1. Captación

Conjunto de obras hidráulicas que permiten captar el agua superficial de los afluentes del río y conducir mediante redes de tuberías a gravedad y canal abierto hasta la planta de tratamiento (Rojas, 2015).

### 2.7.2. Coagulación

Según Lorenzo (2016), a través del proceso de coagulación las cargas eléctricas del coloide se neutralizan, resultando anuladas las fuerzas electrostáticas repulsivas, dicha neutralización puede realizarse aplicando al agua sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que rodean a las partículas coloidales dispersas en el agua.

### 2.7.3. Floculación

El proceso de floculación tiene como objetivo eliminar los sólidos suspendidos en el agua mediante el tabique de floculación ayudado de la dosificación de polímeros para lograr flóculos de mayor tamaño y es decantar con mayor rapidez en el tabique (Rojas, 2015).

### 2.7.4. Sedimentación

Es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado. Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación (Cogollo, 2011).

### 2.7.5. Filtración

La filtración es la última barrera en los procesos de potabilización de agua que permite la separación de material particulado y coloidal mediante el paso de la masa de agua a través de un medio granular; ésta también contribuye al control del riesgo microbiológico y parasitológico por la remoción de bacterias y protozoarios (Perea et al., 2013). La filtración se realiza a través de varios materiales como se mencionan a continuación: Antracita, arena silícica, zeolita, carbón Activado, resina aniónica y catiónica y arena verde de manganeso (Pachacama, 2020).

# UCUENCA



Figura 5. Esquema del Proceso de Potabilización del Agua («Potabilización y Depuración del Agua», 2020).

## CAPÍTULO III Coagulación-Floculación

### 3. Coagulación – Floculación

La coagulación química y la floculación en el tratamiento de aguas implica la adición de productos químicos para alterar el estado físico de los sólidos disueltos y suspendidos y facilitar su eliminación por sedimentación. En algunos casos la alteración es leve, y la eliminación se ve afectada por el atrapamiento de un conglomerado voluminoso que consiste principalmente en el propio coagulante. Otro resultado de la adición química es un aumento neto de los componentes disueltos en las aguas residuales. La coagulación se utiliza para eliminar los materiales de desecho en forma suspendida o coloidal que no se asientan al estar parados o que pueden asentarse tardando mucho tiempo. En el tratamiento del agua, la coagulación como pretratamiento se considera el más exitoso (Kumar et al., 2012)

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Andía, 2000); es decir que las partículas coloidales en el agua están por lo general cargadas negativamente, debido a la presencia de grupos  $\text{COO}^-$  y  $\text{OH}^-$ , reemplazo de iones  $\text{Si}^{4+}$  por iones  $\text{Al}^{3+}$  o por la absorción en la superficie de iones por fuerzas de van der Waals (Vargas & Romero, 2006). La carga negativa en la superficie causa repulsión entre las partículas, evitando la aglomeración y formación de partículas más grandes que sedimentarían más fácilmente (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013). Debido a la combinación de factores de tamaño de partícula pequeño y superficie cargada negativamente, las suspensiones coloidales son muy estables (Vargas & Romero, 2006).

Para remover estas partículas cargadas negativamente, las suspensiones coloidales deben ser desestabilizadas, mediante la adición de iones cargados positivamente como  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ . Entonces, se rompe la repulsión electrostática entre las partículas coloidales y se produce la aglomeración mediante fuerzas de Van der Waals (Vargas & Romero, 2006).

# UCUENCA

En la figura 7 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos (Andía, 2000)

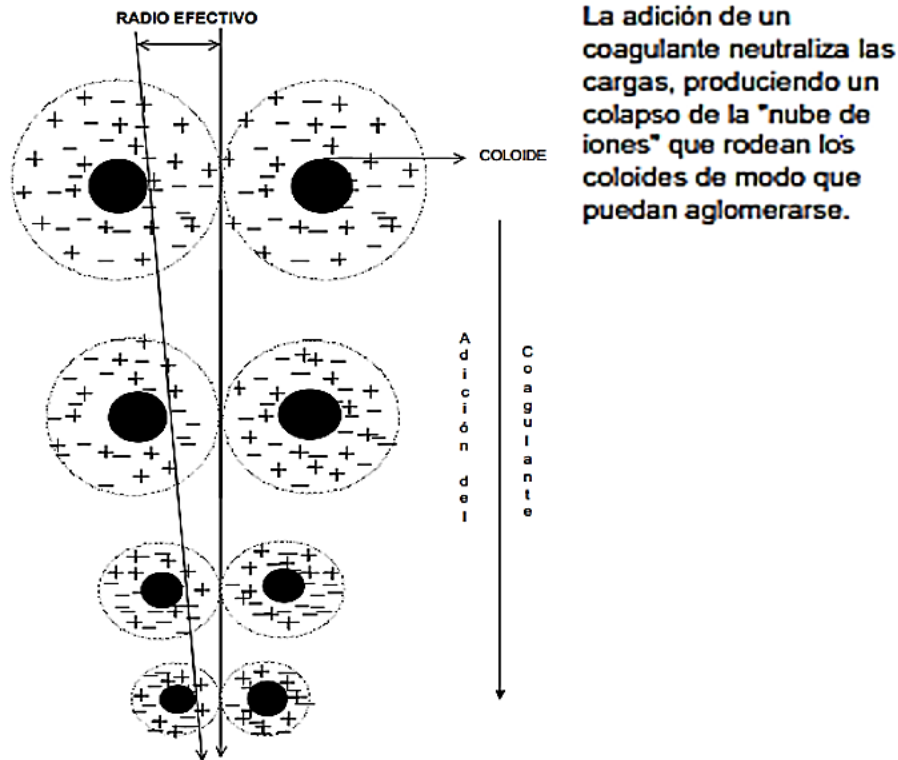


Figura 6. Coagulación (Andía, 2000)

### 3.1. Mecanismo de la Coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes (Andía, 2000).:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente (Andía, 2000).



# UCUENCA

## 3.1.1. 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 sólo con los iones del coagulante (Andía, 2000).

Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción  $E_a$ , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a las Fuerzas de repulsión, las fuerzas de Van der Waals no son afectados por las características de la solución (Andía, 2000).

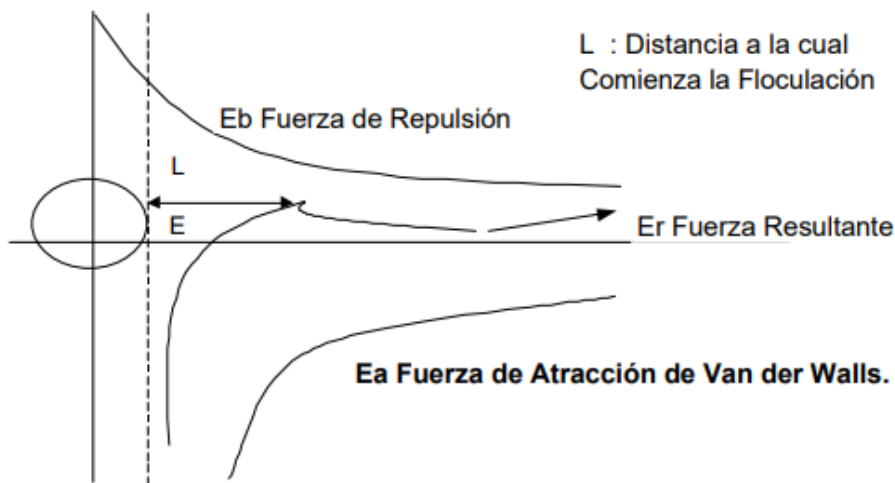


Figura 7. Fuerzas de Atracción y Repulsión (Andía, 2000).

# UCUENCA

Si la distancia que separa a las partículas es superior a “L”, entonces las partículas, no se atraen. E es la energía que los mantiene separados.

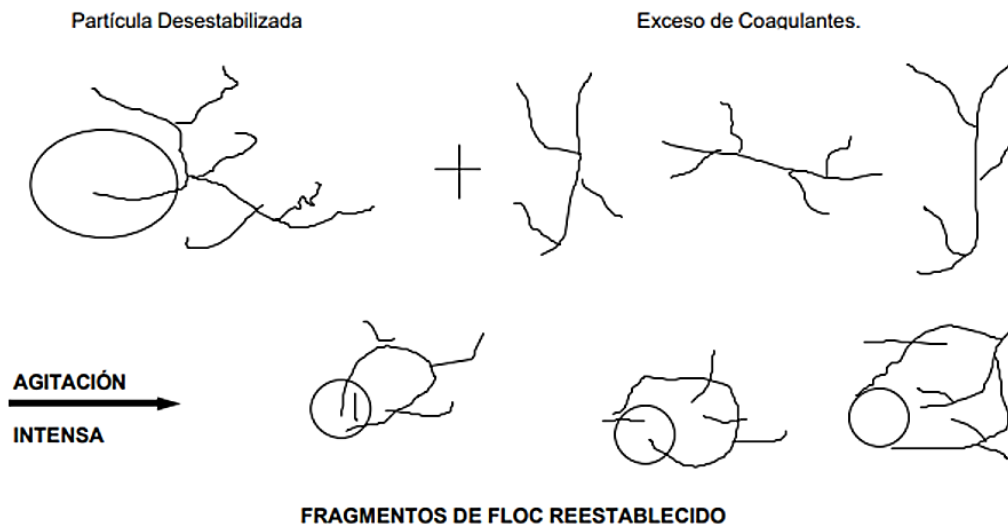


Figura 8. Reestabilización de Partículas (Andía, 2000).

### 3.1.2. Absorción 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 (Andía, 2000).

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua (Andía, 2000).

Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica (Andía, 2000).

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original (Andía, 2000).

### 3.1.3. Atrapamiento de Partículas dentro de 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 trivalente como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloruro Férrico  $FeCl_3$ , el floc está formado de moléculas de  $Al(OH)_3$  o de  $Fe(OH)_3$ . La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales aceleran la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante (Andía, 2000).

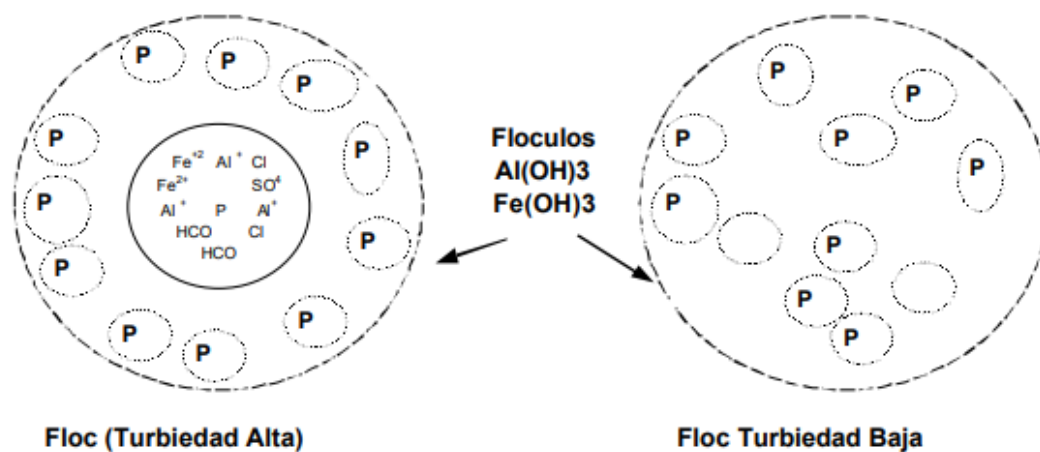


Figura 9. Atrapamiento de las Partículas en un Floc.

### 3.1.4. Adsorción y Puente

El mecanismo de adsorción y formación de puentes se da principalmente con la aplicación de polímeros (polielectrolitos) aniónicos cuyas moléculas poseen grupos químicos que absorben las partículas coloidales (Feria et al., 2020).

Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así 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 las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas

coloidales. Esto puede tener una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Andía, 2000).

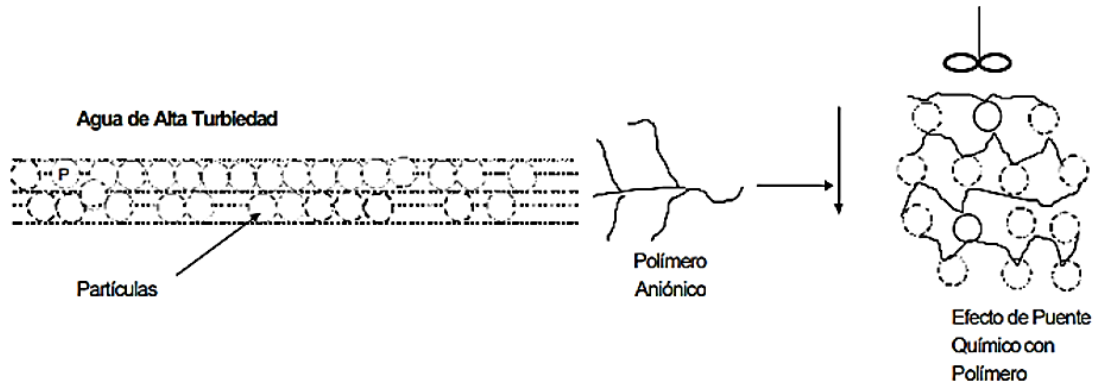


Figura 10. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión (Andía, 2000).

### 3.2. Etapas de la Coagulación

El proceso se realiza en un corto período de tiempo y se desarrolla en cinco etapas consecutivas de acuerdo con los siguientes detalles:

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido (Lorenzo, 2006).

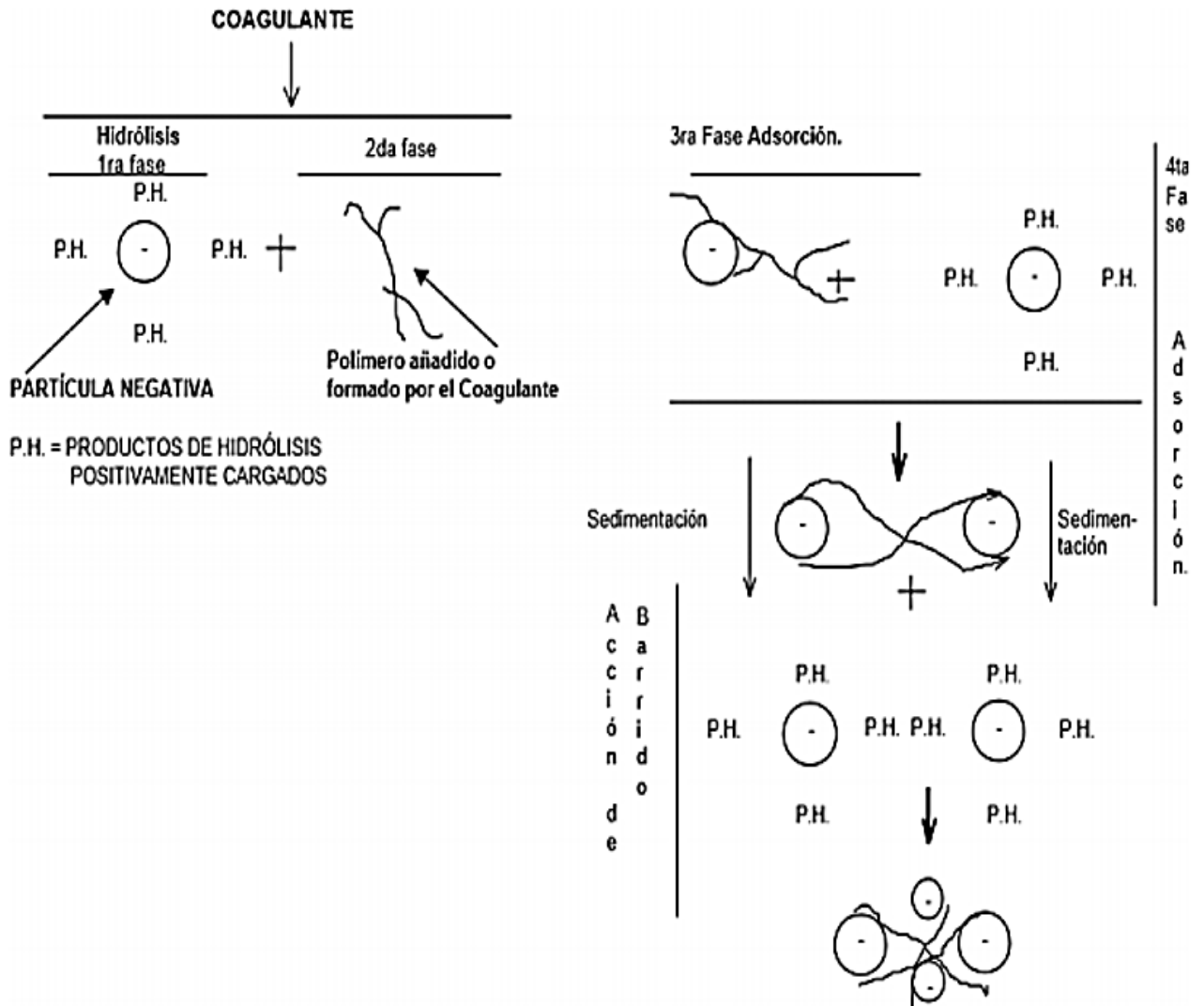
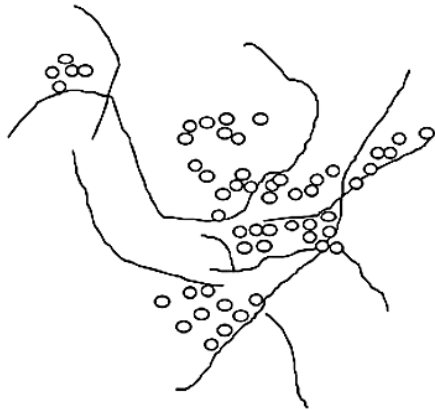


Figura 11. Etapas de la Coagulación (Lorenzo, 2006).

### 3.3. Floculación

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos (Cabrera et al., 2009).

# UCUENCA



*Floculación* : El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos mas grandes fácilmente sedimentables.

Figura 12. Floculación (Cabrera et al., 2009).

Según (Andía, 2000), puede ser que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para asentarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne las partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso molecular alto son floculantes comunes.

Según (Andía, 2000) existen 2 tipos de floculación:

### **3.3.1.Floculación Pericinética**

Es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano.(Lorenzo, 2006).

### **3.3.2.Floculación Ortocinética**

Es la inducida por la energía por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias, por ejemplo) (Lorenzo, 2006).

## **3.4. Principales Coagulantes**

Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la descarga de todas las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), que sedimentan más rápidamente (Flórez, 2011).

### **3.4.1.Coagulantes metálicos**

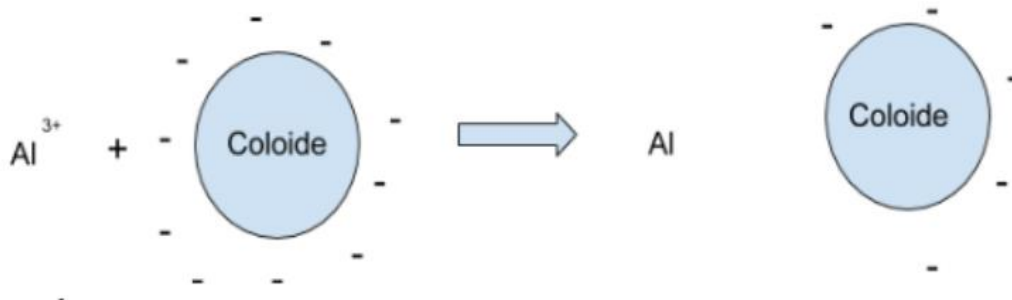
Han sido los más utilizados para el tratamiento del agua cruda, poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes y, cuando son disueltos, forman compuestos complejos

# UCUENCA

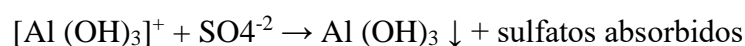
hidratados. Entre los más utilizados se hallan: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio (Guzmán et al., 2013).

### 3.4.1.1. Sulfato de Aluminio

El Sulfato de Aluminio,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , aunque es una sustancia irritante, lesiona las mucosas y puede causar hemorragias severas, es el que se utiliza con mayor frecuencia en plantas de tratamiento de agua potable debido a su bajo costo y su manejo sencillo, encontrándose en presentación líquida y sólida, y en diferentes concentraciones de alúmina ( $Al_2O_3$ ), parte reactiva del coagulante. Su propiedad como catión metálico está asociada con el agua en solución, actuando como ácidos y con las bases de la misma, ocurriendo un consumo y un descenso del pH al actuar también con las bases que constituyen la alcalinidad. La dosis de alumbre varía normalmente entre 5 a 50 mg/L para aguas naturales a pH efectivo de 5.5 a 8. Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en  $Al^{3+}$  y  $SO_4^{-2}$ . El  $Al^{3+}$  puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal (Beltrán, 2017).



Casi siempre se forma un exceso de solución de hidróxido de aluminio y su destrucción y precipitación se logra mediante los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua (Murillo, 2011).



El sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de que se logre el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se logra mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible (Murillo, 2011).

# UCUENCA

Las aguas naturales no tratadas pueden presentar cantidades significativas de aluminio, provenientes de la meteorización de las rocas y minerales, y de la acidificación de los suelos. El sulfato de aluminio, el cloruro de aluminio y el cloruro férrico son sales frecuentemente utilizadas como agentes coagulantes, por su efectividad y bajo costo, en el tratamiento del agua, pues ayudan a reducir el color, la turbidez y el contenido de materia orgánica y de microorganismos. La eficacia de los coagulantes de aluminio y del hierro depende, principalmente, de su capacidad para formar complejos polinucleares multicargados con mejoradas características de adsorción, mediante el control del pH del sistema (Torrellas, 2012).

Los valores máximos permitidos de la concentración de aluminio en el agua de consumo humano son cifras que, hasta ahora, se consideran seguras. No obstante, cada vez se encuentran más indicios de la relación entre el aluminio y la aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. La OMS se ha pronunciado al respecto, concluyendo que, aun cuando son imprecisos los datos epidemiológicos entre la exposición al aluminio del agua de consumo y la enfermedad de Alzheimer, las estimaciones de esta correlación no se pueden descartar totalmente y es necesario adoptar decisiones con respecto a la necesidad de controlar la ingesta total de aluminio de todas las fuentes en la población general (Torrellas, 2012). De acuerdo con esta observación, resulta crítico el control riguroso del proceso de tratamiento del agua para minimizar las concentraciones de aluminio en las aguas de consumo humano (Torrellas, 2012). Además, (Hurwitz et al., 1976) consideró que cuando los compuestos de aluminio se ingieren en cantidades excesivas, ellos pueden afectar la motilidad del tracto, retrasar la evacuación gástrica, y causar estreñimiento crónico.

La contaminación máxima de aluminio permitida en agua potable varía según el país, entre 0.03 a 0.2 mg/litro de agua (Vázquez & Montoya, 2004). En Ecuador la concentración máxima permisible de Aluminio en agua potable es de 0,2 mg/L (TULSMA, 2015).

Adicionalmente, se han publicado una serie de investigaciones, relacionadas con el tema de este proyecto, que debido a sus resultados se ha considerado relevantes para establecer criterios de decisión acerca de su desarrollo. En la Tabla 3, se muestra un resumen de algunos de estos estudios:



No	Coagulante	Tipo de muestra	Condiciones Iniciales	Parámetros Optimizados				Referencia
	Nombre		Turbidez (NTU)	Dosis mg/L	pH	Turbidez (NTU)	% Remoción	
1	Sulfato de Aluminio	Agua superficial	24.56	12.5 – 15.0	7.5-8.2	3.0	87 – 89	(Feria Díaz et al., 2014)
2			48.20	7.5 – 12.5	7.5-8.2	2.76	91 – 94	
3			66.00	12.5 – 15.0	7.5-8.2	2.66	95	
4			96.20	12.5 – 15.0	7.5-8.2	4.70	94 – 95	
5			174.33	10.0 – 15.0	7.5-8.2	6.40	95	
6			247.50	7.5 – 17.5	7.5-8.2	6.00	98	
7			320.00	7.5 – 10.0	7.5-8.2	8.20	95 – 96	
8			364.66	10.0 – 12.5	7.5-8.2	3.00	98 – 99	

### 3.4.1.2. Policloruro de Aluminio

El policloruro de aluminio (PAC) es un derivado polimérico del aluminio que existe desde hace bastantes años en Europa y Japón y que ahora se ha introducido también en el mercado norteamericano (Arboleda, 1992).

PAC está indicado principalmente para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas. PAC es el producto ideal en las siguientes aplicaciones: se emplea como el coagulante primario en plantas de tratamiento de agua potable municipales e industriales, reemplazando la necesidad de otros coagulantes, como aluminio, y en muchos casos eliminando o al menos reduciendo notablemente la necesidad de químicos reguladores de pH, ayudas de coagulación y ayudas de filtración (Ore, 2014)

- **Sales de Hierro**

Estas trabajan en un rango más amplio de pH que las sales de aluminio, forman un floc más pesado y de mayor velocidad de sedimentación. Las más conocidas son: cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso.

El sulfato ferroso es la fuente de hierro más económica como coagulante. Se le conoce como “coperas”, y se lo debe utilizar en combinación con cal. Es aplicable en aguas turbias, muy alcalinas, con pH superior a 8 (Ojeda, 2012).

### 3.4.1.3. Cloruro Férrico

El cloruro férrico se consigue en tres formas: como cristales hidratados amarillos o cafés, como cristales anhidros ( $FeCl_3$ ) de color verde oscuro, o como solución del 35 % a 45 %. Cualquiera

# UCUENCA

que sea la forma en que venga, el cloruro férrico se aplica en solución del 2 al 20 %, según el tamaño de la planta y la capacidad del aparato dosificador. El cloruro férrico puede trabajar con pH tan bajo como 4 y tan alto como 11. Sin embargo, se suele utilizar más bien con agua ácida y blanda, fuertemente coloreada y que contiene ácido sulfhídrico. Los lodos provenientes de la coagulación con hierro son muy corrosivos, tienen un color café oscuro y suelen manchar o teñir los objetos y las corrientes de agua. Son por eso difíciles de manejar (Arboleda, 1992)

### 3.4.1.4. Sulfato Férrico

El sulfato férrico se encuentra en su forma anhidra como  $Fe_2(SO_4)_3$ , pero más comúnmente en su forma hidratada como  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ . Su rango de pH es amplio entre 3.5 hasta 11, con la adición también de un álcali (Soda o Cal) en combinación con el coagulante. Aunque, su uso común es para trabajar en aguas ácidas (Arboleda, 1992)

### 3.4.1.5. Sulfato Ferroso.

El Sulfato Ferroso es el coagulante más económico de las sales de hierro, encontrado corrientemente en forma hidratada como  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , y debe usarse en combinación con cal. Se usa para aguas turbias, fuertemente alcalinas, con pH superiores a 8 (Beltrán, 2017).

### 3.4.2. Polielectrolitos

Son polímeros orgánicos sintéticos de gran tamaño molecular, con carga eléctrica neta; muy eficaces en un amplio rango de pH y, debido a su alto costo, se utilizan junto con coagulantes metálicos. Se clasifican según su carga en: Catiónicos, Aniónicos y No Iónicos (L. Guzmán, Villabona, Tejada, et al., 2013).

Tabla 4. Clasificación de ayudantes de floculación según su carga eléctrica

Catiónicos	Aniónicos	No iónicos
Los polielectrolitos catiónicos, al igual que los coagulantes inorgánicos catiónicos, poseen una carga fuerte positiva (Valeriano & Matos, 2013).	Tiene una carga negativa: forma cationes cuando entra en contacto con el agua, puede eliminar partículas cargadas positivamente y es más eficaz a pH alto (Jaramillo, 2020).	Los polímeros sin carga o una tendencia muy baja a desarrollarla en solución acuosa se denominan polímeros no iónicos (Letterman, 2013).

### 3.5. Coagulantes Naturales en el Tratamiento de agua Potable

Los polielectrolitos naturales, que pueden extraerse de ciertos tipos de vida vegetal y animal, son una alternativa viable a los polielectrolitos sintéticos. El quitosán, un polielectrolito catiónico, y el alginato de sodio, un polielectrolito iónico, se han utilizado eficazmente como coagulantes o coadyuvantes de floculación en una parte limitada del mundo. Las ventajas de

# UCUENCA

estos polielectrolitos naturales sobre los polielectrolitos sintéticos incluyen la seguridad para la salud humana, la capacidad de biodegradación y una gama de dosis efectiva más amplia de floculación para diversas suspensiones coloidales (Kawamura, 1991)

Los denominados biocoagulantes o coagulantes naturales son ciertamente seguros, amigables con el ambiente y libres de toxicidad (bajo condiciones adecuadas de uso). Sus compuestos bioactivos son proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides. En la remediación de aguas residuales industriales o potabilización del agua, los coagulantes naturales permiten la desestabilización de la contaminación coloidal (Banchón et al., 2016). Sus mecanismos de acción generalmente son la adsorción y neutralización de cargas, tabla 5.

Tabla 5. Mecanismo de Coagulación de distintos coagulantes naturales.

Coagulante	Componente activo	Mecanismo de Coagulación	Fuente
<b>Moringa Oleífera</b>	Gomas y proteínas	Adsorción y neutralización de cargas	(Yarahmadi et al., 2009)
<b>Strychnos Potatorum</b>	Polielectrolitos aniónicos (Grupos funcionales COO <sup>-</sup> y OH <sup>-</sup> )	Adsorción y neutralización de cargas	(Subbaramiah & Sanjiva Barsur, 1936) (Choy, Prasad, & Wu, 2014)
<b>Opuntia Cactus</b>	Monosacáridos arabinosa, galactosa y ramnosa	Adsorción y formación de puente	(Ortíz et al., 2013)
<b>Caesalpinia spinosa</b>	Gomas y polifenoles	Absorción y neutralización de cargas	(Revelo et al., 2014)

El uso de coagulantes naturales extraídos de plantas, para el tratamiento de aguas data de varios milenios y, continuamente se hacen estudios que permiten identificar la potencialidad de distintas plantas para este propósito, y que permitan disminuir el uso de sustancias químicas sintéticas, así como la producción de lodos biodegradables (Choque et al., 2017)

En los últimos años se han realizado varios estudios acerca de la viabilidad de utilizar biopolímeros en el proceso de coagulación en el tratamiento de agua, citando a las semillas de Moringa Oleífera como el biopolímero más utilizado, debido a su elevado porcentaje de remoción de turbidez. A continuación, en la tabla 6, se detallan otros coagulantes muy utilizados en el tratamiento de agua.

Origen	Porcentaje de Remoción	Referencia
<b>Moringa Oleífera Lam</b>	80.1 – 94.3	(Caldera et al., 2007)
<b>Guazuma ulmifolia</b>	50 – 83	(J. J. Feria et al., 2015)
<b>Zea Mays</b>	85	(Benjumea-Hoyos et al., 2021)
<b>Opuntia Ficus</b>	80 - 90	(Choque et al., 2017)
<b>Tamarindus indica</b>	70	(J. J. Feria et al., 2020)
<b>Jatropha curcas</b>	85 – 86.7	(Yepes & Valencia, 2018)
<b>Cassia fistula</b>	95	(L. Guzmán et al., 2015)
<b>Quitosano</b>	80.31 – 89.49	(Caldera et al., 2015)

### 3.5.1. Moringa Oleífera Lam



Figura 13. Árbol de Moringa (Ramos Alija, 2016).

La Moringa (*Moringa oleífera* Lam) pertenece a la importante familia Moringaceae es de mucho interés cómo ha evolucionado esta especie en muchos lugares del mundo, tales como, África, Arabia, el sudeste de Asia, el Pacífico, las islas del Caribe y América del Sur (Muhammad et al., 2011). El árbol brinda una innumerable cantidad de productos valiosos que muchas comunidades han aprovechado para sustento alimenticio. Las vainas verdes, las hojas, las flores y las semillas tostadas son muy nutritivas y se consumen en muchas partes del mundo El aceite de la semilla de *M. Oleífera* puede utilizarse en la cocina, para producir jabones, cosméticos y combustible para lámparas. Diferentes partes del árbol se utilizan en medicinas naturales (Folkard & Sutherland, 1998). Las semillas contienen ciertos coagulantes naturales que puedan aclarar diferentes tipos de agua con diversos grados de turbidez, haciendo posible su uso con fines domesticas como la eliminación de la turbidez va acompañada de la suspensión de las bacterias indicadoras de contaminación fecal, se estima que este tratamiento de las aguas

# UCUENCA

domesticas es una tecnología de bajo costo y fácil manejo para potabilizar el agua y mejorar las condiciones sanitarias de las comunidades rurales de los países en desarrollo (Pérez et al., 2010). Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de Moringa es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio (Arreola & Canepa, 2013).

Adicionalmente, se han publicado una serie de investigaciones, relacionadas con el tema de este proyecto, que debido a sus resultados se han considerado relevantes para establecer criterios de aceptación y factibilidad en el tratamiento de aguas. En las Tablas 7 y 8, se muestra un resumen de algunos de estos estudios:

Tabla 7. Método de obtención del coagulante natural a base de Moringa Oleifera.

Coagulante	Modo obtención	Referencia
Moringa	Preparación de la semilla: 1. Secado semillas durante 1 hora en un horno a 105 °C. 2. Triturado de semillas en molino manual. 3. Tamizado (malla 250µm)	(Feria Díaz et al., 2014)
	Desengrasado de la semilla: 1. Pesar 40 gramos de polvo de semilla de Moringa Oleifera. 2. Extracción Soxhlet con n-Hexano. 3. Llevar la torta resultante a un horno a 105°C por 24 horas. 4. Llevar a un desecador a una temperatura de 25 ± 2 °C	
	Extracción del coagulante 1. Disolver 10 ml de NaCl al 1.0% y 10 g de polvo de semilla desengrasada. 2. Centrifugar por 10 minutos a 6000 rpm 3. Filtrar al vacío Preservar el filtrado	
Moringa	Preparación de la semilla: 1. Secado de semillas durante 24 horas en una estufa 2. Pelado y pulverizado en un triturador manual.	(Sandoval & Laines, 2013)
	Desengrasado de la semilla: 1. El polvo obtenido se lleva a un extractor Soxhlet. 2. Se emplean 300 ml de n-Hexano como disolvente 3. La extracción Soxhlet se lleva a cabo por un lapso de 3 horas 4. El residuo solido se somete a secado a 104°C durante 24 horas. 5. Triturado del residuo sólido para obtener uniformidad.	
	Extracción del coagulante  <b>Solución de Moringa en agua destilada</b> 1. 10 g polvo seco de semillas de moringa. 2. 1 litro de agua destilada. 3. Agitación por 10 min a 60 rpm. 4. Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40	

	<p><i>Solución de Moringa en NaCl 1N</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 10 g polvo seco de semillas de moringa.</li><li>2. 1 litro de NaCl 1N.</li><li>3. Agitación por 10 min a 60 rpm.</li><li>4. Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40</li></ol> <p><i>Solución de Moringa en agua de mar</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 10 g polvo seco de semillas de moringa.</li><li>2. 1 litro de agua de mar filtrado.</li><li>3. Agitación por 10 min a 60 rpm.</li><li>4. Filtración al vacío en papel filtro Whatman 40</li></ol>	
--	--	--

**Fuente:** Elaboración propia

La semilla de moringa (MO) puede eliminar las partículas suspendidas en muestras de agua subterránea y superficial de manera eficiente. La semilla de MO en diversas formas extraídas y purificadas también ha demostrado ser eficaz para reducir los volúmenes de lodos producidos durante el proceso de coagulación en comparación con el alumbre, ablandan las aguas duras y actúan como un adsorbente eficaz de metales pesados en el agua (Muhammad et al., 2011).

Según (Ndabigengesser et al., 1994), estudios preliminares sobre los ingredientes activos de la Moringa oleífera como coagulante han sugerido que los componentes activos son péptidos catiónicos con un peso molecular que oscila entre 6 y 16 kDa y un valor de pH isoelectrónico de 10.

Estudios realizados por (Yarahmadi et al., 2009) confirman que el mecanismo de coagulación con Moringa oleífera consiste en la adsorción y neutralización de las cargas coloidales.

Algunos estudios informaron que la eficacia de la coagulación de la MO puede mejorarse mediante la extracción de sus agentes activos con una solución de cloruro de sodio. Aparentemente, esta mejora se debe al mecanismo de salazón en las proteínas en el que una sal aumenta las disociaciones proteína-proteína, lo que lleva a una mayor solubilidad de la proteína a medida que aumenta la fuerza iónica de la sal (Muhammad et al., 2011).

#	Coagulante	Tipo de muestra	Condiciones iniciales				Parámetros Optimizados				Referencia
	Nombre		Turbidez (NTU)	Color	pH	Alcalinidad mg/L	Dosis mg/L	pH	Turbidez (NTU)	% Remoción	
1	Moringa	Agua superficial	24.56	-	7.83	68.00	4.5-17.5	7.5-8.2	7.25	70.48%	(Feria Díaz et al., 2014)
2			48.20	-	7.43	52.00	4.5-17.5	7.5-8.2	7.0	85.47%	
3			66.00	-	7.92	56.00	4.5-17.5	7.5-8.2	5.00	92.42%	
4			96.20	-	8.00	52.00	4.5-17.5	7.5-8.2	9.13	90.50%	
5			174.33	-	8.09	56.00	7.0-15.0	7.5-8.2	10.0	94.26%	
6			247.50	-	8.04	58.00	7.0-15.0	7.5-8.2	7.33	97.04%	
7			320.00	-	7.69	54.00	7.0-15.0	7.5-8.2	8.70	97.28%	
8			364.66	-	7.65	46.00	7.0-15.0	7.5-8.2	7.50	97.94%	
1	MOAD	Agua Superficial	36.0	46.6	7.81	116	30.0	7.85	15.83	56.02%	(Sandoval & Laines, 2013)
2	MONA		36.0	46.6	7.81	116	15.0	7.81	2.87	92.03%	
3	MOAM		36.0	46.6	7.81	116	15.0	7.82	1.78	96.18%	
4	Sulfato de Aluminio		36.0	46.6	7.81	116	15.0	7.39	0.78	98.32%	

\*MOAD: Moringa en Agua Destilada  
 \*MONA: Moringa en Cloruro de Sodio  
 \*MOAM: Moringa en Agua de Mar

**Fuente:** Elaboración propia

Según la investigación realizado por (Feria Díaz et al., 2014), se puede observar en las tablas 3 y 8, que para turbiedades que van de 247.50 NTU a 364.66 UNT, se obtiene porcentajes de remoción similares entre el sulfato de aluminio y la moringa, con la misma concentración (1%) y en dosis mayores a 10 mg/L. para turbiedades bajas y aplicando menor dosis de Sulfato de Aluminio (<50mg/L), se puede observar que el sulfato de aluminio es más eficiente que el coagulante natural en términos de remoción, según los resultados obtenidos en este estudio al aplicar el coagulante a base de Moringa, los valores de pH y Alcalinidad del agua tratada, no sufren cambios significativos, esto es un aspecto positivo, debido que, según (Feria Díaz et al., 2014), no se requerirá de químicos para posterior estabilización de pH del agua tratada. El coagulante de Moringa Oleífera presenta mayor poder de remoción a turbiedades altas, convirtiéndose en una de las mejores opciones para ser utilizado en zonas rurales que no tienen acceso a agua potable.

En una investigación realizada por (Arnoldsson & Bergman, 2007) se comparan dos métodos de obtención del coagulante de Moringa Oleífera, el primer método consistía en la preparación del coagulante con agua destilada y el segundo método con agua de la llave, obteniéndose que la mejor remoción se alcanza cuando se utiliza agua de la llave, debido a que varios estudios muestran que el agua salada y/o el agua del grifo son más eficientes como solvente para el agente activo, en comparación con el agua destilada. En un estudio realizado por (Okuda et al.,

# UCUENCA

1999), se demostró que la capacidad de coagulación era hasta 7,4 veces mayor con moringa extraída con NaCl que con agua destilada. La razón pues se supone que la proteína coagulante es más soluble en agua con alta concentración de iones alcanzando valores de 1.85 NTU de turbidez final para una turbidez inicial de 15 NTU y de 1.3 NTU para una turbidez de 50 NTU inicial, considerando una concentración de 33 mg/L como dosis óptima. En la presente investigación se estableció como dosis óptima de coagulante 15 mg/L, debido que a esta concentración en los tratamientos salinos se obtienen mejores porcentajes de remoción (>90%).

Según (Sandoval & Laines, 2013), al analizar los cuatro tratamientos aplicados, presentado en la tabla 8, se observa que MONA, MOAM y Sulfato de Aluminio reportan porcentajes de remoción superiores al 90 %. El tratamiento con agua destilada reporta resultados deficientes en cuanto a porcentajes de remoción tanto de turbidez y color (56.02 % y 49.03 %). La solución de NaCl y agua de mar presenta porcentajes de remoción equiparables, esto debido que el agua de mar presenta un mayor número de iones en su composición. La utilización de extractos salinos mejora considerablemente el poder coagulante de la MO, debido al incremento de la solubilidad de las proteínas por adición de sales. Los valores de alcalinidad obtenidos en los ensayos de MOAD, MONA Y MOAM, muestra que no existe una diferencia significativa en cuanto a los valores iniciales, no obstante, es el caso del Sulfato de Aluminio, en el cual se observa una disminución considerable. En cuanto al pH, las muestras sometidas a tratamiento con MO muestran tendencia a mantener el pH inicial, mientras que el agua tratada con sulfato de aluminio muestra disminución del mismo.





Figura 14. Semillas de Nirmali (*Strychnos Potatorum*) (Kavita et al., 2014).

*Strychnos potatorum* Linn (familia: Loganiaceae) es un árbol de tamaño moderado que se encuentra en todos los bosques secos caducifolios mixtos de India peninsular, más particularmente hacia las costas orientales (Department of AYUSH et al., 2008). *Strychnos potatorum* es un árbol glabro de tamaño mediano de 1213 m de altura. El tallo es acanalado y está cubierto de escamas negras, gruesas, cuadradas a rectangulares. La corteza es de 1,32 cm de espesor, de color negro o negro parduzco, corchosa, con finas crestas verticales muy profundas y estrechas, que se desprenden con facilidad. Las ramas están hinchadas en los nudos. Las hojas miden cerca de 57.5 cm de largo, casi sésiles, subcoriáceas, ovaladas o elípticas, agudas, glabras y brillantes, falsamente de tres o cinco nervios, con nervios laterales brotando de la parte inferior de la nervadura media, llegando casi a la punta. (Kavita et al., 2014). En el sistema tradicional de medicina, la raíz cura todo tipo de leucoderma. El fruto maduro es emético, diaforético, alexitérico, cura la inflamación, la anemia, la ictericia. Las semillas se utilizan en hepatopatía, nefropatía, gonorrea, leucorrea, gastropatía, bronquitis, diarrea crónica, disentería, cálculos renales y vesiculares, diabetes, sensación de ardor, dipsia, conjuntivitis, escleritis, úlceras y otras enfermedades. Los estudios fitoquímicos revelaron la presencia de diabolina (alcaloide principal) y su acetato, triterpenos y esteroides, manogalactanos (Ekambaram et al., 2010). Las semillas maduras se utilizan para limpiar el

# UCUENCA

agua fangosa. La aclaración se debe a la acción combinada de coloides y alcaloides en las semillas (Kavita et al., 2014).

La semilla del árbol Nirmalí *Strychnos potatorum* Linn muestra propiedades de coagulación en la clarificación de aguas turbias. Esta propiedad se atribuyó a la presencia de polielectrolitos aniónicos con grupos superficiales COOH- y OH libres que están presentes en la proteína de la semilla (Kavita et al., 2014). Según investigaciones realizadas por (Vijayaraghavan et al., 2011), los extractos de semillas de Nirmalí son polielectrolitos aniónicos que desestabilizan las partículas en el agua mediante la formación de puentes entre partículas. Estudios anteriores han establecido que los extractos de semillas también contienen lípidos, carbohidratos y alcaloides que contienen los grupos superficiales -COOH y grupos superficiales -OH libres que aumentan la capacidad de coagulación de los extractos.

Adicionalmente, se han publicado una serie de investigaciones, relacionadas con el tema de este proyecto, que debido a sus resultados han sido consideradas relevantes para establecer criterios de aceptación y factibilidad en el tratamiento de aguas. En las Tablas 9 y 10, se muestra un resumen de algunos de estos estudios:

Tabla 9. Métodos de obtención del coagulante natural a base de *Strychnos Potatorum*.

Coagulante	Modo obtención	Referencia
<b>Strychnos Potatorum</b>	Preparación Coagulante de <i>Strychnos potatorum</i> 1. Sumergir las semillas en 50 ml de agua con 2 ml de HCl concentrado. 2. Triturar la mezcla 3. Filtrar la mezcla 4. Secar a 103°C-105°C por 24 horas el sólido retenido en el proceso de filtración	(Uralimohan, 2015)
	Preparación coagulante Alumbre 1. Mezclar 1 g con 100 ml de agua destilada Agitar durante 5 minutos	
<b>Strychnos Potatorum</b>	Preparación Coagulante de <i>Strychnos potatorum</i> 1. Limpieza de semillas. 2. Molienda durante 2 minutos, utilizando un procesador de alimentos. 3. Tamizar las semillas molidas (tamiz de 0,4 mm) 4. Colocar 250 g de las partículas tamizadas y mezclar con 1000 ml de solvente NaCl 0.5 M 5. La suspensión de semillas disuelta se filtró en papel filtro	(Muthuraman & Sasikala, 2014)

**Fuente:** Elaboración propia

# UCUENCA

En una investigación realizada por (Piraquive & Parroquiano, 2021), se expone el excelente desempeño en dos dimensiones dentro del criterio técnico que cumple las semillas de Nirmalí (*Strychnos Potatorum*) en el tratamiento de efluentes; es necesario tener en cuenta que aun cuando su resultado en la dimensión Técnico-cualitativa no fue el mejor, logro obtener un parámetro destacable (color); además presenta una considerable cantidad de estudios realizados por lo cual sus resultados son más confiables.

Según el estudio realizado por (Babu & Chaudhuri, 2005) las semillas de las especies de plantas *Strychnos potatorum* y *Moringa oleífera* contienen polielectrolitos que pueden ser utilizados como coagulantes para clarificar aguas turbias. En las pruebas de laboratorio, la filtración directa de un agua superficial turbia (turbidez 15–25 NTU, bacterias heterótrofas 280–500 UFC/ml y coliformes fecales 280–500 MPN 100 ml), con semillas de *S. potatorum* o *M. oleífera* como coagulante, produjo una mejora sustancial tanto en su aspecto estético como en su calidad microbiológica (turbidez 0.3–1.5 NTU, bacterias heterótrofas 5–20 UFC/ml y coliformes fecales 5–10 NMP 100 ml). Estos coagulantes naturales producen un agua de “bajo riesgo”; sin embargo, adicional se debe desinfectar o hervir durante brotes/epidemias localizadas de infecciones.

Los resultados experimentales registrados por (Subbaramiah & Basrur, 1936), indican que la clarificación se debe a la acción conjunta de los coloides y del alcaloide presente en las semillas. La albúmina y los otros coloides presentes sensibilizan la suspensión y la coagulación es entonces provocada por los iones alcaloides. La materia albuminosa no es capaz, por sí sola, de clarificar el agua. La pasta de semillas de *Strychnos Potatorum*, actúa con mayor eficacia cuando está presente en una determinada concentración óptima. Cuando se emplean mayores cantidades de pasta, aunque la concentración de iones alcaloides aumenta, no se produce la clarificación, ya que los coloides presentes en las semillas (que sensibilizan la suspensión cuando están presentes en pequeñas cantidades) la estabilizan. Este punto de vista está confirmado por los experimentos con albúmina en presencia de clorhidrato de estriquina o de cloruro de bario.

Coagulante	Tipo de muestra	Parámetros Físicoquímicos Iniciales		Proporción		%R. Turb.	%R. TDS	%R. TSS	%R. DQO	%R. DBO	Referencia
		Parámetro	Valor	SP	Alm						
<b>Strychnos potatorum</b>	Aguas residuales textiles	Turbidez (NTU)	996	0	0	0	0	0	0	0	(Uralimohan, 2015)
				10	90	51.69	47.39	51.21	59.00	55.00	
		TDS (mg/L)	5450	20	80	57.26	52.47	57.21	60.00	59.00	
				30	70	68.93	60.47	61.35	60.20	60.00	
		TSS (mg/L)	3235	40	60	69.00*	67.91*	79.23*	74.93*	69.43*	
				50	50	66.27	51.20	65.76	51.00	52.00	
		DQO (mg/L)	2100	60	40	53.11	51.00	65.24	52.60	54.00	
				70	30	51.94	50.00	60.62	49.90	50.00	
		DBO (mg/L)	765	80	20	50.27	49.00	56.21	43.00	45.00	
				90	10	40.92	48.00	54.31	42.91	44.95	
		<b>Strychnos potatorum</b>	Agua Sintética	Dosis (mg/L)	% Remoción Turb. Inicial= 100 NTU	% Remoción Turb. Inicial= 250 NTU	% Remoción Turb. Inicial= 500 NTU	(Muthuraman & Sasikala, 2014)			
				250	80.2	90.3	86.5				
500	85.2			86.8	84.4						
750	82.3			88.9	88.6						
1000	84.2			86.7	90.6						

**Fuente:** Elaboración propia

Según los datos obtenidos de las experimentaciones realizadas por (Uralimohan, 2015), la combinación de SP y Alumbre en proporciones 0:0; 10:90; 20:80; 30:70 tienden a elevar el porcentaje de remoción de la turbidez, hasta alcanzar el máximo porcentaje de remoción de turbidez con las proporciones 40:60; cabe indicar que a esta dosis se alcanzan los máximos porcentajes de remoción en todos los parámetros físico-químicos de la muestra de agua, confirmándose que la dosis optima del coagulantes es la proporción de SP:Alumbre (40:60).

Según la experimentación realizada por (Muthuraman & Sasikala, 2014), se extrajo el componente activo de *Strychnos Potatorum*, utilizando como solvente NaCl 0.5 M, posteriormente se aplicó el coagulante obtenido a tres muestras de agua sintética con distintos niveles de turbidez inicial; así se estableció como turbidez baja (100 NTU), turbidez media (250 NTU) y turbidez alta (500 NTU), obteniéndose porcentajes de remoción de turbidez superiores al 80 %. El agua sintética se preparó añadiendo 10 g de caolín a 1 L agua destilada, se sometió a agitación lenta, 20 rpm durante 1 hora, esta suspensión se utilizó como solución madre para las diferentes experimentaciones.



Figura 15. Planta Completa Tuna (*Opuntia ficus-indica*) (Simba, 2014)

Tuna es el nombre común dado en Ecuador, Perú, Chile, Argentina, México y Colombia a la planta científicamente denominado *Opuntia ficus-indica*, proveniente de la familia Cactaceae. En otras partes del mundo también es conocida tunera, nopal, pita, penca, higuera de chumbo, higuera de pala, o chumbera. Esta planta es originaria de México (Olivero et al., 2014). Dadas las características morfológicas y fisiológicas que presenta esta planta, puede soportar condiciones ambientales desde escasa precipitación hasta altas y bajas temperaturas. Además, se conoce que esta planta no necesita mayores cuidados en su cultivo (Guzmán & Chávez, 2007). Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura. Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles. Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura. (Galicía et al., 2017). Además, existen en estas plantas valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos, para formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas, colorantes) tanto para la industria alimentaria como farmacéutica y cosmética, para formular suplementos alimenticios, ricos en fibra o con fines de control de la diabetes o la

# UCUENCA

obesidad, entre otros. Por otra parte, es importante la utilización indirecta de la planta como hospedero de la cochinilla del carmín para producir colorantes naturales (Sáenz, 2006).

Muchas especies de cactus hacen parte de la larga lista de sustancias ensayadas para obtener coagulantes naturales alrededor del mundo. En México se extrajo el agente activo de varias especies nativas de cactus (*Opuntia imbricata* y *Opuntia lindheimeri*), los coagulantes naturales obtenidos fueron utilizados para el tratamiento de aguas sintéticas, aguas residuales domésticas y para la remoción de metales pesados. Los resultados obtenidos permitieron concluir, que los cactus pueden utilizarse, como coagulantes por sí solo, o trabajar junto con el alumbre para aumentar su eficiencia (Ortíz et al., 2013)

Adicionalmente, se han publicado una serie de investigaciones, relacionadas con el tema de este proyecto, que debido a sus resultados se han considerado relevantes para establecer criterios de aceptación y factibilidad en el tratamiento de aguas. En las Tablas 11 y 12, se muestra un resumen de algunos de estos estudios:

Tabla 11. Método de obtención del coagulante natural a base de *Opuntia Ficus*

Coagulante	Modo obtención	Referencia
<b>Opuntia Ficus Indica</b>	Preparación de la tuna: 1. Lavar y cortar longitudinalmente los tallos. 2. Secar durante 48 horas a T= 55°C - 62°C. 3. Triturar el material seco en un mortero. 4. Tamizar el polvo obtenido por malla de 1 mm.	(Almendárez, 2004)
	Extracción de clorofila y otros colorantes: 1. Extracción de Soxhlet utilizando etanol al 96% como solvente. 2. Finalizado el proceso de extracción secar a T ambiente.	
<b>Opuntia Ficus Indica</b>	Preparación de la tuna: 1. Lavar y cortar en cubos la tuna. 2. Triturar en licuadora doméstica, añadiendo agua destilada en proporción 1:2 (p/v). 3. Tratamiento térmico en estufa a 50°C durante 1 hora. 4. Centrifugar la suspensión a 3500 rpm durante 10 minutos.	(Contreras Lozano et al., 2015)
	Precipitación del mucilago: 1. Después de la centrifugación se deshecha el sedimento y se conserva el sobrenadante. 2. Al sobrenadante se adiciona etanol relación 1:4 v/v, se deja reposar por 24 horas a T= 5°C. 3. El mucilago precipitado se separa por filtración. 4. Secar a 70°C con un contenido de humedad máximo de 10%. 5. Pulverizar en un mortero.	

**Fuente:** Elaboración propia

El género *Opuntia* es ampliamente conocido por su producción de mucílago. Mucílago, un complejo carbohidrato con una gran capacidad para absorber agua, debe considerarse una fuente potencial de hidrocoloide industrial, el mucílago es un polisacárido neutro de aproximadamente 55 azúcares reductores, compuestos de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, así como ácido galacturónico (Sáenz et al., 2004). El mucílago de la *Opuntia ficus Indica* es una sustancia espesa y gomosa y es lo que proporciona la capacidad natural del cactus para almacenar grandes cantidades de agua. Cuando está lleno de agua, el mucílago se hincha, produciendo unas propiedades tensoactivas únicas que se ven en muchas gomas naturales, lo que da al mucílago una supuesta capacidad de precipitar partículas e iones de las soluciones acuosas (Young, 2006).

En estudios realizados por (Miller et al., 2008) se aprecia, que el mucílago, específicamente el componente de ácido galacturónico, explica parte de la reducción de la turbidez por parte de *Opuntia* Spp. Independientemente, la arabinosa, la galactosa y la ramnosa no mostraron actividad coagulante; sin embargo, añadidos en combinación con el ácido galacturónico, estos azúcares fueron capaces de reducir la turbidez entre un 30 % y un 50 %. El ácido galacturónico añadido de forma independiente fue capaz de reducir la turbidez en más de un 50 %. Los componentes individuales del mucílago, tanto por separado como en combinación, sólo pudieron explicar el 50 % de la eliminación de la turbidez observada cuando se introdujo toda la almohadilla de cactus en la solución de agua turbia.

En un estudio realizado por (Germán, 2021) para el coagulante que se obtiene a partir de la especie *Opuntia ficus-indica* se han indicado posibles mecanismos de coagulación. En unos casos, el pH alcalino de la floculación sugiere que el mecanismo de coagulación es por adsorción con efecto puente entre partículas. Este mecanismo fue validado mediante una extracción de agua a pH igual a 10 como valor óptimo de floculación, luego se acidificó hasta alcanzar un pH de 7 unidades, a fin de facilitar la precipitación de las moléculas floculantes consideradas activas. La fuerte propiedad floculante del extracto y la titulación mostraron un pKa de  $9,0 \pm 0,6$ , el cual corresponde a grupos fenólicos que pudieran ser taninos y lignina.

# UCUENCA

Coagulante		Tipo de muestra	Condiciones iniciales					Parámetros Optimizados								Referencia															
Nombre			Turbidez (NTU)	DQO mg/L	Coliformes UFC/100 ml	pH	Color	STD mg/L	Dosis mg/L	Turbidez (NTU)	%DQO mg/L	-log (N/N <sub>0</sub> )	pH	Color	STD mg/L		% R. Turbidez														
1	Opuntia Ficus Indica	Agua residual	367	215	5.1x10 <sup>6</sup>	6.79	-	-	10	114.2	20.1	0.84	7.04	-	-	68.9															
						7.02							7.13																		
						7.11							7.36																		
2						Opuntia Ficus Indica	Agua residual	367	215	5.1x10 <sup>6</sup>	6.79	-	-	30	73.1	27.1	2.105	7.20	-	-	80.1										
											7.02							7.29													
											7.11							7.34													
3											Opuntia Ficus Indica	Agua residual	367	215	5.1x10 <sup>6</sup>	6.79	-	-	50	55.4	31.0	3.20	7.33	-	-	84.9					
																7.02							7.42								
																7.11							7.51								
4																Opuntia Ficus Indica	Agua residual	367	215	5.1x10 <sup>6</sup>	6.79	-	-	70	30.8	37.9	3.82	7.35	-	-	91.6
																					7.02							7.38			
																					7.11							7.38			
1	20% Op. – 80% Al; 200 rpm	Agua Superficial	97.67	-	-																7.11	20	3209	35	<2	-	-	6.0	0	-	>96
2	10% Op – 90% Al, 200 rpm																							35	1.99	-	-	7.0	0	<200	96
3	10% Op. – 90% Al; 200 rpm																							40	1.78	-	-	7.0	0	-	98
4	10% Op – 90% Al, 100 rpm					40	<2	-	-	6.0														-	<200	>94					
5	10% Op – 90% Al, 100 rpm					40	<2	-	-	7.0														-	<200	>94					

Tabla 12. Parámetros iniciales y finales de una muestra de agua cruda al aplicar Opuntia Ficus Indica.

Fuente: Elaboración propia



# UCUENCA

En el trabajo realizado por (Vaca et al., 2014), se evaluó la efectividad del polvo seco de nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario en el tratamiento de aguas residuales, empleando pruebas de jarras. Las aguas residuales provenían del sistema de drenaje de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco caracterizadas por un pH entre 6.8 y 7.1, una demanda química de oxígeno (DQO) inicial en el intervalo de 198 a 215 mg/L, un contenido de coliformes del orden de  $5.1 \times 10^6$  UFC/100 ml y una turbiedad en el intervalo de 289 y 367 UNT. Se emplearon dosis entre 10 y 70 mg/L de polvo de nopal y tiempo de agitación de 3 min a 150 rpm con tiempo de reposo de 30 min. La turbiedad fue reducida desde 65 hasta 92%. Los organismos coliformes iniciales disminuyeron en 3.8 Log, aunque este parámetro exigiría un posterior tratamiento de desinfección. Se eliminó el 37.9% de la DQO, porcentaje adecuado para un tratamiento primario avanzado.

En la investigación propuesta por Contreras Lozano et al. (2015) el proceso de clarificación se llevó a cabo siguiendo la metodología del Jar Test considerando pH y velocidad de agitación, además se evaluaron factores tales como: turbidez, color, sólidos totales disueltos y pH. La dosis óptima de coagulante se logró al combinar 20% de *Opuntia Ficus* y 80% de Sulfato de aluminio y una velocidad de agitación de 200 rpm, la eficiencia de remoción de turbidez llegó a valores inferiores a 2 NTU, logrando porcentajes de remoción entre 96-98 %, cabe indicar que estos valores se lograron a dosis bajas de coagulante natural y dosis considerables del coagulante químico. El color se redujo a un valor de 0 UPC, los sólidos totales disueltos llegaron a valores menores a 200 mg/L. El coagulante a base de *Opuntia Ficus* no mostró alteraciones en el pH de agua tratada. El coagulante natural no afectó notablemente el pH del agua tratada

## 3.5.4. *Caesalpinia spinosa*

El guarango o tara es una planta andina que crece en la zona occidental de la cordillera de Los Andes y en valles interandinos de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Bolivia. La *C. spinosa* conocida como tara, taya o guarango es un árbol pequeño de 2 a 3 m de altura, puede llegar a hasta los 12 m aproximadamente, tiene un fuste corto, cilíndrico o tortuoso con ramas bien pobladas donde sus hojas son en forma de plumas, parcadadas u ovoides de 1.5 cm de largo y sus flores presentan un color amarillo rojizo. Los frutos de esta especie son vainas explanadas de color naranja que miden de 8 a 10 cm de largo y 2 cm de ancho, dentro de ellas se encuentra los granos de semilla que presenta un color pardo negruzco cuando están maduros (De la Cruz, 2004). El Guarango, es una planta utilizada desde la época de los Incas en la tintorería, curtiembre de cueros, pero también en la medicina tradicional como astringente, cicatrizante, antidisentérico y en especial contra la amigdalitis en forma de gárgaras (Arguello & Saltos Aguilar, 2017). Con los frutos del guarango, se pueden obtener varios productos, de los cuales, los más importantes son extractos de taninos. Los taninos tienen aplicaciones directas en la industria de curtido de pieles, clarificación de vinos y de cerveza, fabricación de plásticos, entre otros (Revelo et al., 2014)

La goma de tara es extraída de las semillas del árbol de tara (*Caesalpinia spinosa*), tiene alto peso molecular (aproximadamente 351400), propiedades gelificantes y aglutinantes los cuales son importantes en polímeros utilizados como coagulantes o ayudantes de coagulación en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano (Valeriano & Matos, 2019b)



Figura 16. a) Planta de Tara b) Vaina de Tara (Pacheco, 2018).

# UCUENCA

Adicionalmente, se han publicado una serie de investigaciones, relacionadas con el tema de este proyecto, que debido a sus resultados se han considerado relevantes para establecer criterios de aceptación y factibilidad en el tratamiento de aguas. En las Tablas 13 y 14, se muestra un resumen de algunos de estos estudios:

Tabla 13. Métodos de obtención del coagulante natural a base de *Caesalpinia Spinosa*.

Coagulante	Modo obtención	Referencia
Caesalpinia Spinosa	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Agregar 0.1 g de harina de Caesalpinia Spinosa por cada ml de agua destilada. Se experimentó con un V=500 ml de C. Spinosa</li><li>2. Calentar la solución a T=135°C.</li><li>3. Someter a agitación a 210 rpm por 30 min.</li><li>4. Separar los sólidos precipitados a través de filtración con papel filtro Whatman de 125 mm.</li><li>5. Dilución del líquido filtrado con metanol concentrado al 90%</li></ol>	(Revelo et al., 2015)
Caesalpinia Spinosa	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Proceso térmico-mecánico para la separación del cascaron, la semilla y el endospermo.</li><li>2. Se incorpora al proceso un selector óptico con la finalidad de obtener un 100% de limpieza.</li><li>3. Una vez obtenido el endospermo (80% galactomananos), se somete a molienda hasta obtener un polvo fino (Goma de Tara)</li></ol>	(Terrones, 2019)

**Fuente:** Elaboración propia

La tara (*Caesalpinia spinosa*) es una leguminosa andina de importancia económica por sus principios activos y productos derivados (Bonilla et al., 2016).

La Goma de tara, es un tanino que sale del fruto de las vainas y esta contiene semillas llamado endospermo, se caracteriza por ser un polvo blanco amarillento sin olor y sin sabor; al mezclarse con el agua ya sea fría o caliente forma una consistencia espesa y pegajosa (Alvarado & Manayay, 2020).

La goma de *C. spinosa* es utilizada en el proceso de clarificación del agua puesto que, posee una gran capacidad de acelerar la formación de flóculos, apresurando la sedimentación de los coloides, además recomiendan su uso en el tratamiento de agua potable (Alvarado & Manayay, 2020).

# UCUENCA

La fuente del principio activo coagulante de estas hojas se debe a la presencia de galactomananos, ya que generalmente las vainas de guarango han sido una buena fuente para producir tanino, tanino biliar y ácido gálico (H. Murillo et al., 2021).

Según una investigación realizado por (Valeriano & Matos, 2019a) al utilizar goma de tara como ayudante de coagulación se logró reducir la turbidez del agua a valores de 1.7 y 1.5 UNT para muestras de 25 y 390 UNT respectivamente logrando reducir el uso de sulfato de aluminio tipo B (bauxita) hasta el 17%.

Tabla 14. Parámetros iniciales y finales de una muestra de agua al aplicar *Caesalpinia Spinosa* (Torres, 2019) (Terrones, 2019).

Coagulante	Tipo de muestra	Parámetro	Condiciones Iniciales	Tratamiento con Goma de Tara			Tratamiento con Sulfato de Aluminio			Referencias
				T1 (0.09 ml)	T2 (0.18 ml)	T3 (0.27 ml)	S1 (10 ml)	S2 (20 ml)	S3 (30 ml)	
<b>Nombre</b>		Turb (NTU)	130	100	92	70	95	81	50	
<b>Caesalpinia Spinosa</b>	Agua Superficial	pH	7.56	7.64	7.81	8.20	6.95	6.10	5.51	(Torres, 2019)
		Cond. Elect. (mS/cm)	1.077	1.841	1.890	1.913	1.161	1.178	1.811	
		DQO (mg/L)	10095	9312	7493	7355	9975	7793	6585	
		DBO (mg/L)	3764	1201	911.2	858	1230	930.1	453.2	
<b>Caesalpinia Spinosa</b>	Tipo de muestra	Parámetro	Condiciones Iniciales	Parámetros Optimizados				(Terrones, 2019)		
				T1 (1g/L)	T2 (2g/L)	T3 (3g/L)	T4* (4g/L)			
	Turb (NTU)	31	25	19	22	13				
	pH	8.02	7.95	7.89	7.90	7.41				
	Cond. Elect. (mS/cm)	0.381	0.359	0.382	0.400	0.383				
	DQO (mg/L)	44	150	38	2	1				
DBO (mg/L)	113.6	248.5	36.8	12.02	5.94					

**Fuente:** Elaboración propia

En la investigación propuesta por Torres (2019) se realizaron dos experimentaciones en una muestra de agua, en donde se variaron dosis de sulfato de aluminio (S1 = 10 ml, S2 = 20 ml, S3 = 30 ml) y dosis de goma de tara (T1 = 009 g/100ml, T2 = 018 g/100ml, T3 = 027 g/100ml), los parámetros físicos y químicos evaluados fueron: turbidez, pH, conductividad eléctrica, DQO y DBO<sub>5</sub>. Al comparar los resultados obtenidos con *Caesalpinia Spinosa* y Sulfato de Aluminio, la dosis de coagulante natural que obtuvo mejores resultados fue la T3, es decir el tratamiento con 0,27 ml de *Caesalpinia Spinosa* con la cual se obtuvo remoción del 46%, cabe

# UCUENCA

indicar que según Torres (2019), al aplicar dosis elevadas de este coagulante el pH del agua tiende a subir. En tanto que, para el coagulante químico, se obtuvo mejores resultados con la S3, es decir el tratamiento con 30 ml de sulfato de aluminio.

En la investigación propuesta por Terrones (2019) se realizó la medición de los parámetros físico-químicos antes del tratamiento y después de haber aplicado las diferentes dosis del coagulante. La dosis optima de coagulante se obtuvo al emplear 4g de la goma extraída de las semillas de *Caesalpinia spinosa* (goma de tara), puesto que a esta concentración se obtuvo un cambio significativo con un pH de 7.41, Turbidez 54.84 %, Conductividad Eléctrica de 0.383 mS/cm, la Demanda Química de Oxígeno de 99.11% y la Demanda Biológica de Oxígeno 97.72%. Según los resultados obtenidos por (Terrones, 2019), no es recomendable utilizar dosis mayores a 4g/L, pues el mismo tiende a coagularse.

### 3.6.Comparación entre coagulantes

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tanto de porcentajes de remoción alcanzados, así como de dosis óptimas utilizadas por los coagulantes naturales en las investigaciones recopiladas en el presente trabajo de investigación.

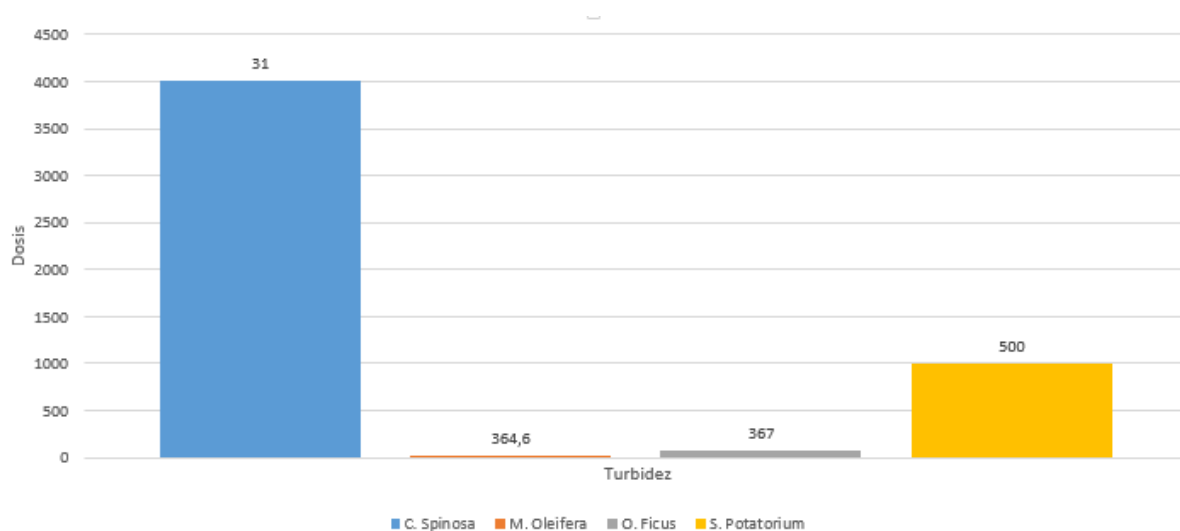


Figura 17. Comparación entre los 4 coagulantes naturales: *Moringa Oleifera*, *Strychnos Potatorum*, *Opuntia Ficus*, *S. Spinosa*.

**Fuente:** Elaboración Propia

Al realizar una comparación entre los 4 coagulantes naturales estudiados, ver Figura 18, se evidencia que el coagulante a base de *Moringa Oleifera* es el más opcionado, puesto que

# UCUENCA

alcanza porcentajes de remoción altos, tanto en aguas con turbidez alta y media, todo lo contrario que ocurre con el coagulante a base de *Strychnos Potatorum* puesto que este coagulante alcanza porcentajes de remoción elevados a bajas turbiedades puesto que según la Tabla 12 al aumentar la dosis del coagulante natural y reducir la dosis del coagulante inorgánico, el porcentaje de remoción de turbidez tiende a bajar, motivo por el cual, este coagulante debe ser utilizado como ayudante de coagulación del Sulfato de Aluminio, puesto que por sí solo alcanza niveles de remoción muy bajos; todo lo contrario ocurre con la *Moringa Oleífera* puesto que este coagulante al no actuar acompañado de un coagulante inorgánico alcanza porcentajes de remoción de turbidez mayores al 90 %.

Por otro lado, el coagulante a base de cactus (*Opuntia Ficus Indica*), muestra un aumento en el porcentaje de remoción al aumentar la dosis del coagulante, pues porcentajes mayores al 90 % de remoción de turbidez se obtienen al emplear 70 mg/L del coagulante, esto no hace rentable este tipo de coagulantes puesto que se requiere mayor cantidad de este para alcanzar porcentajes de remoción elevados.

### Ventajas y Desventajas

#### 4. Ventajas y desventajas

Los coagulantes naturales o también llamados bio-coagulantes, son materia orgánica proveniente de plantas, hojas de árboles, cortezas, semillas y raíces se están estudiando como un método alternativo para eliminar la turbidez del agua. Las principales ventajas que se puede mencionar son la biodegradabilidad, fácil acceso y bajo costo, amigables con el ambiente y el ser humano. A continuación, se presentan las ventajas y desventajas de los coagulantes naturales:

*Tabla 15. Ventajas y Desventajas de los Coagulantes Naturales (López-León et al., 2017)*

Ventajas	Desventajas
➤ Bajo Costo	➤ No es tan efectiva como el sulfato de aluminio
➤ Poder antimicrobiano	➤ No todos tienen el mismo rendimiento
➤ Bajas concentraciones	➤ Algunos coagulantes naturales se utilizan ampliamente en la agricultura
➤ Seguro para la salud	
➤ No tóxico	
➤ Residuos no generan contaminación	

(Fuentes et al., 2016), en sus investigaciones afirma que el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas no afecta sus parámetros fisicoquímicos tales como pH, conductividad y OD, además de contar con una menor generación de lodos, gracias a los mecanismos de adsorción y la neutralización de cargas que ofrecen las biomásas de origen vegetal.

Los coagulantes naturales no tienen efecto significativo en la disminución del pH del agua tratada, evitando costos para la neutralización del pH, ya que el uso de coagulantes químicos generalmente viene acompañado con la disminución del pH y la posterior neutralización de éste (Castellanos, 2017).

En una investigación realizada por (Duarte & Hernández, 2015), se estableció que, los flóculos aparecen en la mezcla rápida; esto representa una gran ventaja pues disminuye el tiempo de residencia y con ello se aumenta el volumen de agua tratada; estos flóculos resultan de buena consistencia, de ahí que los gradientes altos de velocidad de floculación, lejos de desintegrarlos favorecen su aglutinación.

# UCUENCA

En las últimas décadas se han realizado investigaciones en cuanto a la aplicación de polímeros orgánicos en el tratamiento de aguas, demostrando entre sus ventajas, la reducción en la generación de lodos, pues según (Choy et al., 2014) los biocoagulantes producen menor cantidad de lodos residuales; incluso esta producción es cinco veces menor que la de lodos con coagulantes químicos, en cuanto a costos, son mucho más económicos, si se compara con los coagulantes químicos convencionales.



### Discusión y Conclusiones

#### 5. Discusión y Conclusiones

##### 5.1. Discusión

Algunas investigaciones aseguran que el ser humano se expone con frecuencia al aluminio ya sea a través de la ingesta de alimentos, agua y productos farmacéuticos. Durante los procesos de purificación o tratamiento del agua, las sales de aluminio (alumbre o sulfato de aluminio) se utilizan frecuentemente como coagulantes para eliminar el color y la turbidez (Soni et al., 2001).

Según investigaciones realizadas por (Soni et al., 2001) el agua potable sólo aporta alrededor del 3 % de la ingesta diaria total de aluminio. Durante los procesos de purificación o tratamiento del agua.

Investigaciones recientes han vinculado el uso de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua con algunas enfermedades neurodegenerativas y neurotóxicas en seres vivos (Valeriano & Matos, 2019b).

Entre los posibles factores de riesgo ambientales de la Enfermedad de Alzheimer, el aluminio (Al) ha sido la sustancia neurotóxica más estudiada. Varios investigadores han observado altas concentraciones de Al en el cerebro de pacientes con Alzheimer (Gauthier et al., 2000).

En un estudio previo realizado por (Wicklund Glynn et al., 1995) se habrían detectado niveles elevados de Aluminio en los huesos, hígado o cerebro de las ratas expuestas por vía agua después de 10 semanas de exposición, puesto que el Aluminio esta considerablemente más biodisponible en el agua que en el alimento de las ratas.

En tanto, (Becaria et al., 2006). establece que, en las células neuronales primarias, las exposiciones al Al o al hierro aumentaban la expresión génica de Proteína Precursora del Amiloide (APP)

Por los problemas relacionados a la salud pública y al medio ambiente, ocasionados por el uso del sulfato de aluminio, investigaciones recientes han explorado otras sales basadas en metales (no sales de Al o Fe) preparando coagulantes para el tratamiento de agua potable como el tetracloruro de circonio y titanio siendo efectivo para la eliminación de sustancias húmicas

# UCUENCA

tales como, Acido Húmico (HA) y Acido Fúlvico ( FA), cerca de sus puntos isoeléctricos (Valeriano & Matos, 2019b), a su vez se buscaron biocoagulantes derivados de fuentes vegetales, que sean amigables con el medio ambiente y que cumplan la misma función y los mismos porcentajes de remoción que los coagulantes convencionales.

En la actualidad, se hace necesario implementar en el tratamiento de agua, coagulantes que minimicen el impacto ambiental y el riesgo a la salud del ser humano, por ello en esta investigación se han considerado cuatro coagulantes naturales que han obtenido los mejores resultados: Moringa Oleífera, Strychnos potatorum, Opuntia Ficus y Caesalpinia Spinosa, éste último polímero natural alcanza porcentajes de remoción de hasta 40% (Valeriano & Matos, 2019b).

En la Figura 18 se puede apreciar que el coagulante a base de Moringa Oleífera obtiene una eficiencia de remoción superior a la obtenida por los otros tres coagulantes, puesto que disminuye el parámetro de turbidez de 364.66 NTU a 7.50 NTU alcanzando un porcentaje de remoción de 97.94 %, con una dosis de 15 mg/L; el coagulante que no mostro valores representativos en cuanto a remoción de turbidez fue el coagulante a base de C. Spinosa puesto que requiere grandes dosis (4000 mg/L) para obtener porcentajes de remoción del 58.06 %.

En cuanto a los otros dos coagulantes S. Potatorium y Opuntia Ficus Indica se alcanzaron porcentajes de remoción de turbidez de 90.6 % y 91.6 % respectivamente, evidenciando para S. Potatorium que la dosis optima del coagulante fue de 1000 mg/L y para Opuntia Ficus indica de 70 mg/L.

Por tanto, Moringa Oleífera y Opuntia Ficus Indica son los coagulantes naturales que presentan mejor eficiencia de remoción en cuanto a turbidez con dosis relativamente bajas, siendo esto una gran ventaja frente a costos de adquisición del coagulante para posterior utilización en plantas de tratamiento de agua potable.

Los coagulantes obtenidos utilizando extracción salina (Cloruro de Sodio 0.5N y 1M), presentan porcentajes de remoción similares a los obtenidos con la Solución de Sulfato de Aluminio, esto debido al incremento de la solubilidad de las proteínas por adición de sales, mejor conocido como efecto de salado. Según investigaciones realizadas por (Sandoval & Laines, 2013) este mecanismo sugiere la ruptura de proteína-proteína o proteína-polisacárido u otras asociaciones existentes en el polvo de semillas de Moringa Oleífera con lo que se

incrementan las proteínas solubles en las soluciones salinas dando como resultado un incremento de su actividad coagulante.

En el estudio realizado por (Feria Díaz et al., 2014), se compara la eficiencia de remoción de la Moringa Oleífera y del Sulfato de aluminio obteniéndose porcentajes de remoción en cuanto a turbidez de 96.18 % y 98.32 %, apreciando que la Moringa alcanza una eficiencia de remoción muy similar a la obtenida con el coagulante químico. Así mismo, en el estudio realizado por (Torres, 2019), se realizaron pruebas de remoción de turbidez en un agua superficial, utilizando *C. Spinosa* y Sulfato de aluminio llegando a obtener porcentajes de remoción de 46.15 % y 61.53 % respectivamente, evidenciando la baja eficiencia de *C. Spinosa* en cuanto a remoción de turbidez frente al Sulfato de Aluminio.

En la investigación realizada por (Uralimohan, 2015), se realizaron variaciones en cuanto a las proporciones de *S. Potatorium* con el fin de utilizarlo como ayudante de coagulación del Sulfato de Aluminio, siendo la proporción 40:60 (SP/Sulfato de Aluminio) la que mejores resultados mostro, obteniendo un porcentaje de remoción del 69 %. En otra investigación realizado por (Contreras Lozano et al., 2015) se buscó una proporción óptima entre el coagulante natural y el Sulfato de Aluminio con el fin de alcanzar eficiencias de remoción altas, la dosis óptima fue 10 % Op y 90 % Sulfato de Aluminio a una velocidad de agitación de 200 rpm alcanzando un porcentaje de remoción del 98%.

De estas investigaciones se puede inferir, que los coagulantes naturales, pueden ser utilizados como ayudantes de coagulación del Sulfato de Aluminio puesto que de esta forma se alcanzan porcentajes de remoción altos y se disminuye la dosis del coagulante químico, generando un menor impacto ambiental en los ecosistemas y a su vez disminuyendo la concentración de este metal en los lodos resultantes de los tratamientos de agua potable.

Los cuatro coagulantes mostraron ser eficientes en cuanto a remoción de DQO Y DBO.

El coagulante a base de *C. Spinosa* mostro mayor eficiencia de remoción en cuanto a DQO alcanzando una eficiencia de remoción del 97.72 % a concentraciones iniciales bajas (44 mg/L); por otro lado, *S. Potatorium* alcanzo una eficiencia de remoción de DQO de 74.93 % a una concentración inicial alta (2100 mg/L).

# UCUENCA

En cuanto a eficiencias de remoción de DBO, los coagulantes *S. Potatorium* y *C. Spinosa* presentaron porcentajes de remoción superiores al 60 %, siendo la investigación de (Terrones, 2019) aquella que alcanzo una eficiencia de remoción del 94.77 % en cuanto a DBO.

En la investigación realizada por (Vaca et al., 2014), se evidencia disminución de los Coliformes totales al aplicar la dosis optima del coagulante (70 mg/L), puesto que la concentración inicial de coliformes es de  $5.1 \times 10^6$  UFC y la misma disminuye a  $5.1 \times 10^3$  UFC.

Los coagulantes naturales cumplen un gran papel en el proceso de potabilización del agua, puesto que no solo pueden ser utilizados en los procesos de coagulación/floculación, sino que también cumplen un papel importante en el proceso de desinfección, tal es el caso del coagulante natural a base de *Opuntia Ficus*.

De todos los coagulantes, aquel que presento mejor eficiencia de remoción en cuanto a turbidez fue *Moringa Oleífera*, pues alcanzo porcentajes >90%, con dosis de coagulante bajas y a concentraciones iniciales de turbidez elevadas.

Tabla 16. Resultados obtenidos en los diferentes casos de estudio.

PARÁMETROS	MORINGA OLEIFERA		STRYCHNOS POTATORIUM		OPUNTIA FICUS		CAESALPINIA SPINOSA	
	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2
<b>TURBIDEZ</b>	97,94%	96,18%	69,00%	90,60	91,60%	98,00%	46,15%	58,06%
<b>pH</b>	7,5-7,8	7,82	-	-	7,38	7,0	8,2	7,41
<b>DQO</b>	-	-	74,93%	-	37,90%	-	27,14%	97,72%
<b>DBO</b>	-	-	69,43%	-	-	-	77,20%	94,77

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2. Conclusiones

- Los procesos de Coagulación/Floculación son los más importantes en la potabilización del agua, puesto que en la coagulación se desestabilizan las sustancias coloidales que están presentes en el agua y en la etapa de floculación se añaden sustancias químicas que ayudan a la aglomeración de las sustancias coloidales, logrando así que la etapa de sedimentación sea más rápida.
- Se ha realizado una revisión bibliográfica acerca de los coagulantes naturales más utilizados en el tratamiento de agua potable de los cuales, Moringa Oleífera alcanza porcentajes de remoción de turbidez  $>90\%$ , S. Potatorium y C. Spinosa presentan eficiencias de remoción entre el 69% y 97% para concentraciones altas de DQO y DBO<sub>5</sub> y en cuanto a Opuntia Ficus Indica, esta posee propiedades antimicrobianas y por tanto puede aportar significativamente en la etapa de desinfección del agua potable, puesto que al cumplir una doble función (coagulante/desinfectante) se optimizan costos.
- Entre las ventajas de utilizar coagulantes naturales en el proceso de potabilización de agua se tiene reducción de costos de adquisición del coagulante, menor impacto ambiental a los ecosistemas puesto que el volumen de lodos generado después de un tratamiento de agua sería menor y biodegradable, la utilización de coagulantes naturales como ayudantes de coagulación disminuyen significativamente la dosis de coagulantes químicos, no alteran el pH del agua por tanto no se requiere utilizar sustancias alcalinizantes. Entre las desventajas del uso de coagulantes naturales encontramos que, en algunos coagulantes naturales la dosis óptima para alcanzar eficiencias de remoción superiores al 50%, es elevada.

## 6. Bibliografía

3. Almendárez, N. (2004). *Comprobación de la Efectividad del Coagulante (Cochifloc) en aguas del Lago de Managua «Piedras Azules»*. 5, 9.
4. Alvarado, J., & Manayay, J. (2020). *Eficiencia de la goma de Caesalpinia spinosa (tara) como coagulante en aguas residuales industriales* [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54360/B\\_Alvarado\\_CJ-Manayay\\_PJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/54360/B_Alvarado_CJ-Manayay_PJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
5. Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
6. Arboleda, J. (1992). *Teoría de la Coagulación del Agua*. <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/teoria.pdf>
7. Arellano, A., & Lindao, V. (2019). Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada. *Novasinergia revista digital de ciencia, ingeniería y tecnología*, 2(1), 15-23. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.03.02>
8. Arguello, S., & Saltos Aguilar, W. M. (2017). El Guarango en el Cantón Guano de la Provincia de Chimborazo – Ecuador. *Industrial Data*, 20(1), 43. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13508>
9. Arnoldsson, E., & Bergman, M. (2007). *Assessment of drinking water treatment using Moringa Oleifera natural coagulant*. 74.
10. Arreola, M. M. S., & Canepa, J. R. L. (2013). *Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*. 10.
11. Babu, R., & Chaudhuri, M. (2005). Home Water Treatment by Direct Filtration with Natural Coagulant. *Journal of water and health*, 3, 27-30. <https://doi.org/10.2166/wh.2005.0003>
12. Bajaña, H., & Montero, A. (2015). *Construcción de un Equipo piloto para Tratamiento de aguas de río* [Universidad Estatal de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/34527/1/401-1337%20-%20Construc%20equipo%20piloto%20tratamiento%20aguas%20de%20r%c3%ado.pdf>
13. Banchón, C., Baquerizo, R., Diego, M., & Zambrano, L. (2016, diciembre 4). *Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales (Natural coagulation for the decontamination of industrial effluents)*. 7, 111-126.
14. Becaria, A., Lahiri, D. K., Bondy, S. C., Chen, D., Hamadeh, A., Li, H., Taylor, R., & Campbell, A. (2006). Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain. *Journal of Neuroimmunology*, 176(1-2), 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroim.2006.03.025>
15. Beltrán, J. P. P. (2017). *EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DEL AGENTE COAGULANTE - SULFATO DE ALUMINIO- EN EL PROCESO ACTUAL DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EAF SAS ESP*. 125.

16. Benjumea-Hoyos, C. A., Toro Martínez, M., & Luna Marin, V. (2021). Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización. *Bionatura*, 6(2), 1770-1777. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.02.17>
17. Bonilla, H., López, A., Carbajal, Y., & Siles, M. (2016). Morphometric analysis in «tara» fruits from Yauyos and Ayacucho to identify traits of agromorphological interest. *Scientia Agropecuaria*, 7, 157-164. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.01>
18. Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). *Estudio del proceso de coagulación- floculación de aguas residuales de la empresa textil «desembarco del granma» a escala de laboratorio*. 3, 11.
19. Caldera, Y., Gutierrez, E., Fuentes, L., Mendoza, I., Rodríguez, Y., & Sanchez, M. (2015). *Quitosano: Un coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez*. 5, 184-188.
20. Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa Oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41, 244-256.
21. Castellanos, F. (2017). *Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia*. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17102/CastellanosPinzonFredyLeonardo2017.pdf;jsessionid=11D00A5FFD49CDD3A0D14A12ACF063CF?sequence=1>
22. Castrillón, J. A., Domínguez, J. C. G., Taboada, M. A., & Berdugo, D. R. (2008). *Bases de datos, motores de búsqueda e índices temáticos: Herramientas fundamentales para el ejercicio médico*. 24(1), 25.
23. Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2017). *Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua*. 298-309.
24. Choy, S., Prasad, K., & Wu, T. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Science Direct*. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
25. Choy, S., Prasad, K., Wu, T., Raghunandan, M., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11), 2178-2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>
26. Codina, L. (2018, octubre 8). Science Direct: Base de datos y plataforma digital de Elsevier. *Lluís Codina*. <https://www.lluiscodina.com/science-direct-elsevier/>
27. Cogollo, J. (2011). *Clarificación de Aguas usando Coagulantes Polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de Aluminio*. 78(165), 18-27.
28. Contreras Lozano, K. P., Mendoza, J., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50.
29. De la Cruz, P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara *Caesalpinia spinosa*—*Caesalpinia tinctoria*. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 7(14), 64-73. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v7i14.733>

30. De Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I: Vol. I.* <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
31. Department of AYUSH, National Medicinal Plants Board, Ministry of Health and Family Welfare, & Government of India. (2008). *Agro-techniques of selected medicinal plants* (Vol. 1). [https://www.nmpb.nic.in/sites/default/files/publications/Agro\\_techniques\\_of\\_selected\\_medicinal\\_plants\\_Vol-I.pdf](https://www.nmpb.nic.in/sites/default/files/publications/Agro_techniques_of_selected_medicinal_plants_Vol-I.pdf)
32. Duarte, D., & Hernández, L. F. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 183-196. <https://doi.org/10.22490/21456453.1415>
33. Duran, J. M., & Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral (Guadalajara)*, 12(36), 129-162.
34. Ekambaram, S., Perumal, S. S., & Subramanian, V. (2010). Evaluation of antiarthritic activity of *Strychnos potatorum* Linn seeds in Freund's adjuvant induced arthritic rat model. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1), 56. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-10-56>
35. Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9-22.
36. Feria, J. J., Altamiranda, J. E., & Soto, C. H. (2020). *Uso de semillas de Tamarindus indica como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda.* 11.
37. Feria, J. J., Paternina, R. de J., Marrugo, J. L., & Rodiño, J. (2015). Sinú River raw water treatment by natural coagulants. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 76. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n76a11>
38. Feria, J., Mercado, T., & Jove, F. (2020). *Uso del quitosano como cuagulante natural en el tratamiento de aguas: Una breve revisión.* 41, 11.
39. Flores, I. (2016). *Presencia de esteroides fecales, plaguicidas y alquilfenoles en aguas subterráneas y su relación con el tipo de uso de suelo en el Valle de Maneadero, Baja California* [Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/673/1/tesis\\_Flores\\_Lugo\\_Italia\\_Pamela\\_09\\_dic\\_2016.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/673/1/tesis_Flores_Lugo_Italia_Pamela_09_dic_2016.pdf)
40. Flórez, J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclorigenato de aluminio. *Dyna. DYNA*, 78(165), 18-27.
41. Folkard, G., & Sutherland, J. (1998). *Moringa Oleífera un árbol con enormes potencialidades.* 5(3), 5-8.
42. Fuentes, N., Molina, E., & Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41-54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>



43. Galicia, S., Escamilla, P. E., Alvarado, H., Aquino, L. V., Serna, H., & Hernández, L. M. (2017). Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1087-1099. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.110>
44. García, C. V., Vargas, R. R., & Casas, J. J. (2007). *Control y vigilancia de la calidad del agua de consumo humano*. 24.
45. García, I. (2018). El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad. *Journal of negative and no positive results*, 2, 139-143. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.1704>
46. Gauthier, E., Fortier, I., Courchesne, F., Pepin, P., Mortimer, J., & Gauvreau, D. (2000). Aluminum Forms in Drinking Water and Risk of Alzheimer's Disease. *Environmental Research*, 84(3), 234-246. <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4101>
47. Germán, R. (2021). *Eficiencia de la Tuna Opuntia ficus-indica como biocoagulante para la clarificación del agua de estero Medina, parroquia Bella María, provincia El Oro* [Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RUIZ%20GUZMAN%20GERMAN%20ALEXIS.pdf>
48. Gómez, F. (2018). *Guía de uso ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33773.90086>
49. Gómez, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
50. González, Y., Mendoza, I., & Caldera, Y. (2016). Clarificación de aguas altamente turbias empleando *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. Como coagulante. . . pp., 11, 16.
51. Guzmán, B., Nava, G., & Díaz, P. (2015). Calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 35(0). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>
52. Guzmán, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45.
53. Guzmán, L., Taron, A. A., & Nuñez, A. (2015). Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 123-129. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)123-129](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)123-129)
54. Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
55. Guzmán, L., Villabona, Á., Universidad de Cartagena, Tejada, C., Universidad de Cartagena, García, R., & Servicio Nacional de Aprendizaje. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>

56. Hernández, L., Chamizo, H., & Mora, D. (2011). Calidad del agua para consumo humano y salud: Dos estudios de caso en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 20(1), 25-30.
57. Hurwitz, A., Robinson, R. G., Vats, T. S., Whittier, F. C., & Herrin, W. F. (1976). Effects of Antacids on Gastric Emptying. *Gastroenterology*, 71(2), 268-273. [https://doi.org/10.1016/S0016-5085\(76\)80200-4](https://doi.org/10.1016/S0016-5085(76)80200-4)
58. Jaramillo, M. (2020). *Revision Bibliografica de la Eficiencia de Biocoagulantes respecto a los Coagulantes Sinteticos empleados en el tratamiento de Aguas Residuales* [UDLA]. <http://dspace.udla.edu.ec/jspui/bitstream/33000/12363/1/UDLA-EC-TIAM-2020-27.pdf>
59. Kavita, Y., Prasad, K., Jigna, P., & Manohar, P. (2014). *Strychnos potatorum: Phytochemical and pharmacological review*. 8, 61-66. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.125533>
60. Kawamura, S. (1991). Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. *Journal AWWA*, 83(10), 88-91. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1991.tb07236.x>
61. Kumar, A., Roshan, R., & Bhunia, P. (2012). *A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters | Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.012>
62. Letterman, R. (2013). *Water quality and treatment a handbook of community water supplies american water works association*. [https://www.academia.edu/27831083/WATER\\_QUALITY\\_AND\\_TREATMENT\\_A\\_Handbook\\_of\\_Community\\_Water\\_Supplies\\_American\\_Water\\_Works\\_Association](https://www.academia.edu/27831083/WATER_QUALITY_AND_TREATMENT_A_Handbook_of_Community_Water_Supplies_American_Water_Works_Association)
63. Lifante, P. A. (2009). Las revistas científicas en los repositorios Dialnet, E-Revistas, Infomine, Latindex, REDALYC y SCOPUS: Análisis por formatos y ámbitos disciplinares. *Tejuelo: Revista de ANABAD Murcia*, 9, 46-63.
64. Lorenzo, Y. (2006). *Estado del Arte del Tratamiento de aguas por coagulación—Foculación*. 40, 10-17.
65. Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A., & Zimmerman, J. B. (2008). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. As a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, 42(12), 4274-4279. <https://doi.org/10.1021/es7025054>
66. Muhammad, F., Nur, Z., Pang, C., & Nasrul, H. (2011, julio 22). Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by using Moringa oleifera. *Science Alert*. <https://doi.org/10.3923/jas.2011.2947.2953>
67. Murillo, D. (2011). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE DOS MATERIAS PRIMAS COAGULANTES EN EL ALUMINIO RESIDUAL DEL AGUA TRATADA* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6476/1/131709.pdf>
68. Murillo, H., Barreiro, J., Rizzo, J., & Burgos, G. (2021). *Propiedades coagulantes de extractos naturales secos de semillas de M. Oleifera y hojas C. Spinosa en jugo de naranja*. 6(4), 527-539. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i1.2187>

69. Muthuraman, G., & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1727-1731. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>
70. Ndabigengeser, A., Narasiah, S., & Talbot, B. (1994). ACTIVE AGENTS AND MECHANISM OF COAGULATION OF TURBID WATERS USING MORINGA OLEIFERA. 29(2), 703-710. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)
71. Ojeda, L. (2012). *Determinación de la Eficiencia de las Características Coagulantes y Floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el Tratamiento del Agua cruda de la Planta de Puengasí de la EPMAPS* [Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>
72. Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (1999). Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed. *Water Research*, 33(15), 3373-3378. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00046-9)
73. Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). *Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas*. 11, 71.
74. Orduña, E., Martín, A., & Delgado, E. (2016). ResearchGate como fuente de evaluación científica: Desvelando sus aplicaciones bibliométricas. *Profesional de la Información*, 25(2), 303-310. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.mar.18>
75. Ore, L. (2014). "Evaluación de la eficiencia del floculante de sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) empleado en la depuración de aguas con baja turbiedad en la planta de tratamiento de agua potable Quicapata- Ayacucho" [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. [http://209.45.73.22/bitstream/UNSCH/1037/1/Tesis%20Q476\\_Ore.pdf](http://209.45.73.22/bitstream/UNSCH/1037/1/Tesis%20Q476_Ore.pdf)
76. Ortiz, A. V., Paz, I. C., & García, J. M. (2013). Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144.
77. Pachacama, J. (2020). *Utilización de productos para Potabilización de Agua*. 5, 12.
78. Pacheco, F. (2018). *Diseño y Desarrollo de Queso Fresco con Adición de Goma de Tara «Caesalpinia Spinosa»* [Universidad Nacional de Ingeniería]. [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/16373/1/pacheco\\_qf.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/16373/1/pacheco_qf.pdf)
79. Perea, L., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. (2013). *Influencia de la configuración del medio filtrante sobre el proceso de filtración a tasa constante del agua clarificada del río Cauca*. 38, 38-44.
80. Pérez, D., Martínez, R., Rojo, G., & Félix, J. (2010). *Estudios y Propuestas para el Medio Rural: Vol. VII* (Primera, p. 16). [https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Ortega-Hernandez/publication/282331298\\_Reforma\\_del\\_Articulo\\_27\\_Constitucional\\_Analisis\\_de\\_los\\_argumentos/links/560ca6ad08aed543358d424e/Reforma-del-Articulo-27-Constitucional-Analisis-de-los-argumentos.pdf#page=165](https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Ortega-Hernandez/publication/282331298_Reforma_del_Articulo_27_Constitucional_Analisis_de_los_argumentos/links/560ca6ad08aed543358d424e/Reforma-del-Articulo-27-Constitucional-Analisis-de-los-argumentos.pdf#page=165)
81. Piraquive, M., & Parroquiano, A. (2021). *Análisis bibliográfico sobre extractos derivados de especies naturales utilizados como coagulantes y floculantes y sus aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

82. Revelo, A., Proaño, D., & Banchón, C. (2014). *Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de Caesalpinia spinosa*. 6, 1-12.
83. Revelo, A., Proaño, D., & Banchón, C. (2015). Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. *Enfoque UTE*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n1.50>
84. Ríos, S., Agudelo, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
85. Rodríguez, L. J. M. (2016). *Cómo buscar y usar información científica: Guía para estudiantes universitarios 2016*. 210.
86. Rodríguez, R. (2003). Motores de búsqueda sobre salud en Internet. *ACIMED*, 11(5), 0-0.
87. Rojas, J. (2015). "Modelamiento de los sistemas de potabilización de agua, orientado al diseño de los sistemas de control supervisorio, caso EMAPAL EP - Azogues" [Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8970/1/UPS-CT005251.pdf>
88. Romero, J. (2002). *Calidad del Agua* (Segunda). Escuela Colombiana de Ingeniería. [http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/calidad\\_del\\_agua.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/calidad_del_agua.pdf)
89. Saenz, C. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*. 18.
90. Saenz, C., Sepulveda, E., & Matsuhiro, B. (2004). *Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives*. 275-290. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00106-X)
91. Sandoval, M., & Laines, J. (2013). *Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*. 17, 93-101.
92. Simba, N. (2014). *Caracterización Estructural, Histológica y Espectral del Cultivo de Tuna (Opuntia Ficus-Indica) en el cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi 2013* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2569>
93. Soni, M. G., White, S. M., Flamm, W. G., & Burdock, G. A. (2001). Safety Evaluation of Dietary Aluminum. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 33(1), 66-79. <https://doi.org/10.1006/rtph.2000.1441>
94. Subbaramiah, K., & Basrur, R. (1936). *The Mechanism of the Clarification of the muddy water by Strychnos Potatorum seeds*. <http://repository.ias.ac.in/35893/1/35893.pdf>
95. Subbaramiah, K., & Sanjiva Barsur. (1936). *The Mechanism of the Clarification of Muddy water by Strychnos Potaturum*.
96. Terrones, A. (2019). *Dosis óptima de la goma Caesalpinia spinosa para la mejora de la calidad del agua del Río Chancay – Lambayeque* [Universidad César Vallejo].

97. Toapanta, P. (2018). *Evaluación de los procesos de potabilización de la planta el troje-epmapsquito, por medio de pruebas de tratabilidad y ensayos con trazadores*. [Escuela Poitecnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20151/1/CD%209600.pdf>
98. Torrellas, R. (2012). *La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud | Tecnogestión: Una mirada al ambiente*. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646>
99. Torres, A. (2019). *Comparación de la eficiencia de goma de (Caesalpinia spinosa) y Sulfato de Aluminio para mejorar la calidad del agua del Dren 2210*. [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50302/Torres\\_SAJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50302/Torres_SAJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
100. Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17-34.
101. TULSMA. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI Anexo 1*. Ministerio del Ambiente. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
102. Uralimohan, N. M. (2015). A Study On Strychnomous Potatorum As Natural Coagulant For Treatment Of Textile Waste Water. *International Journal of Advance Engineer Ing and Research Development*, 2(4), 6.
103. Vaca, M., López, R., Flores, J., Terres, H., Lizzard, A., & Rojas, Ma. N. (2014). *Aplicación del nopal (Opuntia Ficus Indica) como coagulante primario de Aguas residuales*. 7, 210-216.
104. Valeriano, J., & Matos, R. (2013). *Polielectrolitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano*. 2, 69-74.
105. Valeriano, J., & Matos, R. (2019a). Influence of Tara (Caesalpinia spinosa) Gum as an Aid in the Coagulation-Flocculation Process to Remove the Turbidity of an Artificial Suspension of Bentonite. *Información tecnológica*, 30(5), 299-308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
106. Valeriano, J., & Matos, R. (2019b). Influencia de la Goma de Tara (Caesalpinia spinosa) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita. *Información tecnológica*, 30(5), 299-308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
107. Vargas, M., & Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Dialnet*, 19. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:u1am1WdDdnAJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835825.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
108. Vázquez, R., & Montoya, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, 25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402508>

109. Veiga de Cabo, J., Martín Pastor, B., Calvo Tello, M., & Pablos Martín, M. de. (2003). El modelo SciELO y su contribución a la difusión de las revistas de ciencias de la salud españolas. *RCOE*, 8(1), 67-72.
110. Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Kumar, A. V. (2011). *Application of plant based coagulants for waste water treatment*. 5.
111. Villegas, J., Castaño, J., & Paredes, D. (2005). *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en plantas de potabilización de agua*. 223-228.
112. Wicklund Glynn, A., Sparen, A., Danielsson, L.-G., Haegglund, G., & Jorhem, L. (1995). Bioavailability of labile aluminium in acidic drinking water: A study in the rat. *Food and Chemical Toxicology*, 33(5), 403-408. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(95\)00002-J](https://doi.org/10.1016/0278-6915(95)00002-J)
113. Yarahmadi, M., Hoseini, M., Bina, B., Mahmoudian, M., Naimabadi, A., & Shsavani, A. (2009). Application of Moringa Olifer Seed extracted and polyaluminum chloride in water treatment. *World Applied Sciences Journal*. [https://www.researchgate.net/publication/230821224\\_Application\\_of\\_Moringa\\_Olifer\\_Seed\\_extracted\\_and\\_polyaluminum\\_chloride\\_in\\_water\\_treatment](https://www.researchgate.net/publication/230821224_Application_of_Moringa_Olifer_Seed_extracted_and_polyaluminum_chloride_in_water_treatment)
114. Yepes, L. V. Q., & Valencia, N. R. (2018). *Evaluación de coagulantes naturales de Moringa Oleifera y Jatropha curcas en las aguas residuales del café*. 68-82.
115. Young, K. A. (2006). *The Mucilage of Opuntia Ficus Indica: A Natural, Sustainable, and Viable Water Treatment Technology for Use in Rural Mexico for Reducing Turbidity and Arsenic Contamination in Drinking Water* [University of South Florida]. <https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5028&context=etd>