

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos

Naturales



Tesis

Goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas – Apurímac, 2018

Presentada por:

GUIDO NOLASCO CARBAJAL

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac – Perú

2020

Tesis

Goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y su efecto en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas – Apurímac, 2018

Línea de Investigación

Tecnologías Ambientales

Asesor:

Dr. Anderson NÚÑEZ FERNÁNDEZ



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS
NATURALES

“Goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas – Apurímac, 2018”

Presentado por **GUIDO NOLASCO CARBAJAL**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Recursos Naturales

Sustentado y aprobado el 04 de diciembre del 2020 ante el jurado:

Presidente: **ING. JAHER ALEJANDRO MENACHO MORALES**

Primer Miembro: **DRA. SONIA MARÍA LOAYZA CHACARA**

Segundo Miembro: **MG. VANESA SALAS PEÑA**

Asesor: **DR. ANDERSON NUÑEZ FERNANDEZ**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios nuestro señor por darme la vida, y hacer que siga adelante por encima de las dificultades en el camino.

A mis padres por su motivación y apoyo incondicional

A mi hija, quien es el motor y motivo de mi superación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme fortaleza para sobreponerme ante las dificultades y adversidades

A mi familia por su comprensión, bendición y motivación

Al asesor de la tesis Dr. Anderson Nuñez Fernández, por la asesoría, orientación y colaboración en la elaboración de la investigación realizada.

A los docentes de la Universidad Tecnológica de los Andes, al Mg. Jaher Alejandro Menacho Morales, Dra Sonia María Loayza Chácara, Mg. Vanesa Salas Peña.

A todas aquellas personas, familiares, amigos y profesionales que contribuyeron en la realización de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ACRÓNIMOS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I.....	1
PLAN DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Identificación y formulación e identificación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos de la investigación	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Delimitaciones de la investigación	6
1.6. Viabilidad de la investigación.....	8
1.7. Limitaciones de la investigación	8
CAPITULO II.....	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.2. Bases teóricas.....	15
2.2.1. Aguas residuales	15
2.2.2. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	16
2.2.3. Partículas coloidales	21
2.2.4. Remoción de partículas coloidales.....	24
2.2.5. Tipos de Coagulantes	34
2.2.6. Sedimentación	38
2.2.7. Tipos de sedimentación	38
2.2.8. Ensayo de la prueba de jarras	38
2.2.9. Tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>)	39
2.2.10. Goma de tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>).....	40
2.3. Marco Conceptual.....	43

CAPITULO III.....	47
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	47
3.1. Hipótesis	47
3.1.2. Hipótesis específicas	47
3.2. Método	48
3.3 Tipo de investigación	48
3.4 Nivel o alcance de investigación	48
3.5. Diseño de la investigación	49
3.6. Operacionalización de variables.....	51
3.7. Población, muestra y muestreo	52
3.8. Técnicas e instrumentos	53
3.9 Procesamiento estadístico	53
CAPITULO IV	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Discusión de resultados	74
4.2. Prueba de hipótesis	76
CONCLUSIONES	94
Conclusiones	94
RECOMENDACIONES.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Características de algunos coagulantes inorgánicos	35
Tabla 2: Especificaciones de la goma de tara	43
Tabla 3: Dosis de coagulante natural aplicados	50
Tabla 4: Programación de equipo de jarras.....	54
Tabla 5: Parámetros a medir	55
Tabla 6: Parámetros fisicoquímicos del agua del río Chumbao.....	57
Tabla 7: Parámetros fisicoquímicos del agua del río Chumbao.....	58
Tabla 8: Parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Chumbao	58
Tabla 9: Dosis óptima en muestras de 53 NTU	59
Tabla 10: Concentración óptima de coagulante	60
Tabla 11: pH óptimo en muestras de 53 UNT	62
Tabla 12: Dosis óptima en muestras de 58 NTU	63
Tabla 13: Concentración óptima en muestras de 58 NTU.....	64
Tabla 14: Ph óptimo en muestras de 58 NTU	65
Tabla 15: Dosis óptima en muestras de 60 NTU	66
Tabla 16: Concentración óptima en muestras de 60 NTU.....	67
Tabla 17: Ph óptimo en muestras de 60 NTU	68
Tabla 18: Dosis óptima en muestras de 130 NTU.....	70
Tabla 19: Concentración óptima en muestras de 130 NTU.....	71
Tabla 20: Ph óptimo en muestras de 130 NTU	72
Tabla 21: Resultados más óptimos de cada muestra (53, 58, 60 y 130 NTU)	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de coagulación - floculación en el tratamiento de aguas residuales.....	25
Figura 2: Secuencia de fases del proceso de coagulación - floculación.....	27
Figura 3: Coagulación por adsorción.....	28
Figura 4:Coagulación por barrido.....	29
Figura 5: Influencia de la mezcla de coagulante en los procesos de coagulación - floculación.....	34
Figura 6: Estructura parcial de la goma de tara.....	41
Figura 7: Proceso de investigación.....	48
Figura 8: Dosis óptima en muestras de 53 NTU.....	60
Figura 9: Concentración óptima de coagulante.....	61
Figura 10: PH óptimo en muestras de 53 NTU.....	62
Figura 11: Dosis óptima en muestras de 58 NTU.....	63
Figura 12: Concentración óptima en muestras de 58 NTU.....	64
Figura 13: Ph óptimo en muestras de 58 NTU.....	65
Figura 14: Dosis óptima en muestras de 60 NTU.....	67
Figura 15: Concentración óptima en muestras de 60 NTU.....	68
Figura 16: Ph óptimo en muestras de 60 NTU.....	69
Figura 17: Dosis óptima en muestras de 130 NTU.....	70
Figura 18: Concentración óptima en muestras de 130 NTU.....	71
Figura 19: Ph óptimo en muestras de 130 NTU.....	72
Figura 20: Correlación de turbidez inicial y final.....	74
Figura 21: Prueba de hipótesis de turbidez.....	78
Figura 22: Distribución normal de turbidez final - Prueba de Tukey.....	81
Figura 23: Intervalos de turbiedad residual - Prueba de Tukey.....	81
Figura 24: Índice de confianza simultáneos de turbiedad - Prueba de Tukey.....	82
Figura 25: Prueba de hipótesis color final de agua residual.....	84
Figura 26: Distribución normal para color final de agua - Prueba de Tukey.....	86
Figura 27: Intervalos de color final de agua - Prueba de Tukey.....	86
Figura 28: Índice de confianza simultanea - Prueba de Tukey.....	87
Figura 29: Distribución normal de conductividad de agua residual.....	89
Figura 30: Distribución normal conductividad final - Prueba de Tukey.....	91

Figura 31: Intervalos de conductividad final de agua - Prueba de Tukey	92
Figura 32: Índice de confianza simultanea conductividad de agua - Prueba de Tukey.....	92

ACRÓNIMOS

OMS: Organización Mundial de la Salud

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez

UPC: Unidades de platino cobalto

STD: Solidos Disueltos Totales

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

LMP: Límite Máximo Permisible

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

LMP: Límite Máximo Permisible

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

RESUMEN

En la coagulación – floculación de aguas hay uso excesivo de sustancias químicas, al adicionar al agua reaccionan originando un proceso de separación de partículas generando sedimentos y agua transparente; pero han mostrado efectos dañinos para el ambiente y la salud. Mientras que coagulantes de origen natural (vegetales) no contaminan, son más económicos y contribuyen al desarrollo sostenible.

La finalidad de la investigación fue “evaluar el efecto que tiene la goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) en la coagulación - floculación del agua del río Chumbao, Andahuaylas – Apurímac”, mediante la prueba de jarras, teniendo en cuenta factores de turbidez, color, pH y conductividad; a concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/L.

Los resultados muestran que hubo variaciones de turbidez de 53 NTU, a 11.7 NTU y 19.20 NTU, el color de 14 UPC hasta 17 UPC y la conductividad de 12.8 - 24.4 $\mu\text{S/cm}$. De 58 NTU hasta 11.84 NTU - 18.89 NTU, color de 14 UPC - 19 UPC y conductividad de 12.32 - 23.2 $\mu\text{S/cm}$. De 60 NTU hasta 12.86 NTU - 20.20 NTU, color de 14 UPC - 24 UPC y conductividad de 24.46 - 42.32 $\mu\text{S/cm}$. Comprobando que la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*), tiene efectos significativos en la reducción y remoción de los sólidos suspendidos, con eficiencias de 81%, 77.92 % y 79.59% respectivamente. Además, el pH y la conductividad eléctrica son factores determinantes en la coagulación – floculación del agua.

Palabras clave: Coagulación y floculación; goma de tara, río Chumbao, turbidez

ABSTRACT

In the coagulation - flocculation of water there is excessive use of chemical substances, when added to the water they react causing a process of separation of particles generating sediments and transparent water; but they have shown harmful effects for the environment and health. While coagulants of natural origin (vegetable) do not pollute, they are cheaper and contribute to sustainable development.

The purpose of the research was "to evaluate the effect that tara gum (*Caesalpinia Spinosa*) has on the coagulation - flocculation of the water of the Chumbao River, Andahuaylas - Apurímac", by means of the jar test, taking into account turbidity factors, color, pH and conductivity; at concentrations of 100, 200, 300, 400, 500 and 600 mg / L.

The results show that there were variations in turbidity from 53 NTU, at 11.7 NTU and 19.20 NTU, the color from 14 UPC to 17 UPC and the conductivity from 12.8 - 24.4 $\mu\text{S} / \text{cm}$. From 58 NTU to 11.84 NTU - 18.89 NTU, color from 14 UPC - 19 UPC and conductivity from 12.32 - 23.2 $\mu\text{S} / \text{cm}$. From 60 NTU to 12.86 NTU - 20.20 NTU, color from 14 UPC - 24 UPC and conductivity from 24.46 - 42.32 $\mu\text{S} / \text{cm}$. Proving that tara gum (*Caesalpinia spinosa*) has significant effects on the reduction and removal of suspended solids, with efficiencies of 81%, 77.92% and 79.59% respectively. Furthermore, pH and electrical conductivity are determining factors in the coagulation - flocculation of water.

Keywords: Coagulation and flocculation; tara gum, Chumbao river, turbidity

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para los procesos ambientales, actividades económica y actividades sociales, por tanto es muy importante para el desarrollo de la vida; sin embargo, en cada una de las actividades pasa por diversos procesos en las que adquiere sustancias y contaminantes que alteran la calidad del agua, en su trayecto el agua que discurre conduce sustancias y organismos hacia distintos lugares como lagunas, ríos, y terrenos de cultivo, donde se ven afectados la flora y fauna, así mismo la población en general. El agua por su naturaleza, por su trayecto en el medio contiene gran cantidad y variedad de impurezas, debido a la naturaleza del ciclo hidrológico que tiene continuo Moreno, (2014). Entre los principales factores que hacen que las partículas, impurezas que están presentes en el agua (partículas coloidales), no pueden sedimentar con facilidad, por lo que pueden estar suspendidos durante largos periodos de tiempo, son: el tamaño (10^{-7} cm y 10^{-4} cm) y por la presencia de carga eléctrica que poseen (relacionado con pH y conductividad eléctrica) el pH puede ser o bien alcalinos o ácidos elevados o muy bajos. Las partículas coloidales presentes pueden permanecen en suspensión por tiempos bastante prolongados, incluso pueden atravesar los procesos de filtración. A pesar de que la concentración es muy estable, no pueden aproximarse una con otra partícula en suspensión Castillo, (2011).

Ante esta situación para poder acelerar el proceso de coagulación – floculación en el tratamiento de aguas se ha agregado sustancias de origen natural y vegetal con fines de poder formar flóculos de mayor tamaño y mayor peso, con la finalidad de que puedan sedimentar al momento de

realizar el proceso de tratamiento del agua. Sin embargo, en la actualidad se usan con más frecuencia coagulantes inorgánicos y sintéticos, que tienen efectivamente una gran capacidad de poder remover las partículas coloidales, pero que producen una gran cantidad de lodos contaminados, y su presencia posterior al tratamiento sigue constituyendo un peligro para la salud de las personas y animales. Así Olivero Verbel, Mercado Martínez, & Montes Gozabón, (2013) indican que “el sulfato de aluminio es un coagulante químico, que más ha sido utilizado para la clarificación del agua”, pero se ha visto que estos compuestos químicos constituyen una amenaza en la salud de las personas y el ambiente.

La presente investigación muestra la utilización de un producto natural como el caso de goma de tara (*Caesalpinia spinosa*), como un ingrediente capaz de poder apoyar en los procesos de coagulación – floculación en el tratamiento de las aguas, como una alternativa para sustituir o minimizar el uso de coagulantes y floculantes químicos, y poder contribuir en el tratamiento de las aguas del río Chumbao de la Provincia de Andahuaylas.

En el capítulo I, se describe de manera clara los aspectos relacionados al problema de investigación, las causas que nos conducen para realizar la presente investigación, porque es importante el uso de los coagulantes – floculantes naturales, así mismo se realiza un planteamiento de los objetivos que se quiere lograr en el trabajo.

En el capítulo II, se ha abordado los antecedentes y las bases teóricas que sustentan el trabajo de investigación; en el primer caso se da a conocer los trabajos anteriores que han sido realizados con el uso de productos orgánicos como coagulantes naturales, lo cual constituye que vivimos en un

medio natural, donde existen abundantes productos orgánicos que pueden ser aprovechados para la remediación de aguas, suelos y aire, sino que es cuestión de ponerlos en funcionamiento, teniendo en cuenta las condiciones de parámetros determinados.

En el capítulo III, se da a conocer la metodología del trabajo de investigación, siguiendo una secuencia clara, precisa y concreta para el proceso de tratamiento de agua del río Chumbao, enfocándonos prioritariamente en los procesos de coagulación – floculación, ya que es la parte en la que el proyecto de investigación pretende aportar una mejora con el uso de coagulantes naturales, goma de tara (***caesalpinia spinosa***).

En los capítulos IV y V, se describen los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas en la presente investigación, las cuales se muestran en tablas, cuadros y gráficos para su mejor entendimiento y comprensión.

CAPITULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

Por siglos, desde nuestros antepasados el agua ha constituido el elemento importante en el perfeccionamiento y cumplimiento de las diferentes actividades económicas, sociales y culturales, así como también en los procesos industriales o tecnológicas. El hecho de que sea primordial en todas las actividades realizadas, hace que este recurso este expuesto a procesos de contaminación, que según el paso del tiempo ha venido en aumento según el crecimiento de la población, urbanización, uso de tecnologías, construcción de infraestructura; constituyendo así en la excesiva adición de materia extraña indeseable que deteriora la calidad de fuente de recursos hídricos como el mar, los ríos, lagos, humedales, manantiales, bofedales, etc., los contaminantes pueden ser de origen inerte como los derivados de compuestos de plomo, mercurio, o de origen orgánico como las provenientes de los microorganismos y vegetales, Segura & Arriaga, (2003).

En los últimos años se ha visto la realización de múltiples acciones con fines de mejorar la calidad y cantidad de los recursos hídricos, a pesar de ello la Organización Mundial de la Salud (OMS), se ha pronunciado indicando que, 663 millones de personas no pueden acceder al agua potable, a nivel de todo el mundo, así también la OMS indica que al año mueren 842 000 personas por motivos de enfermedades provocados por contaminación del agua (Cooperación, 2016).

En nuestro país los problemas ambientales por la contaminación del agua han afectado de manera desmesurada la salud, de la población; de los cuales los más perjudicados son personas que vive en condiciones de pobreza, que son los más vulnerables, esta situación amenaza el bienestar de las generaciones futuras Bustios, Martina, & Arroyo, (2013).

En Lima Metropolitana el volumen de agua servida tratada, ha tenido un aumento hasta en cinco veces: los datos obtenidos durante los años 2010 y 2014 muestran resultados en la que hubo un aumento de 2 754 l/s a 12 978 l/s, con veintiuna plantas de tratamiento para el 2014. Mientras que, a nivel nacional para el año 2013, había 1838 municipios de los cuales 786 declararon tratar las aguas servidas, y un año más tarde para el 2014 fueron 1 059 los municipios que declararon tratar esas aguas. Quedando una diferencia importante para mejorar, así mismo es necesario indicar que “en las regiones de Amazonas, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali no realizan el tratamiento de aguas residuales” Dourojeanni, Luna, & Valle-Riestra, (2017).

En la región Apurímac, el río Chumbao presenta características hidrobiológicas, físicas, químicas y biológicas que muestran el deterioro ambiental de su ecosistema, esto es causado por la excesiva contaminación, observándose un aumento gradual en la concentración de sólidos suspendidos y concentración de parámetros, desde la parte más alta hasta la parte más baja de la microcuenca del río; Torres, (2016).

La calidad del agua es definida como una aptitud que el agua tiene en el uso que se da beneficiando al desarrollo y actividad económica, sea

este para fines de consumo humano o de los animales, garantizando una vida sana, así como uso para riego y para las actividades de recreación Segura & Arriaga, (2003). En los procesos de separación de sólidos y líquidos en su mayoría en los sistemas de tratamiento de aguas excedentes son usados los compuestos químicos como el cloruro férrico, sales de aluminio y de hierro, polímeros de aluminio Moreno, (2014); sin embargo existen también coagulantes naturales que pueden realizar los métodos de coagulación – floculación que favorecerían de manera sustancial a la sostenibilidad del ambiente, y mejorar la salud de la población fauna y flora que se encuentra en el ecosistema del río Chumbao.

En ese sentido de que el agua del río Chumbao presenta, una concentración de sólidos suspendidos y turbidez bastante elevados 53 – 60 NTU, constituyendo un problema para uso normal y tradicional de la población, afectando en la salud de las personas y no apta para uso en la agricultura y alimentación, se pretende dar una solución mediante el uso de la goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) en el proceso de coagulación – floculación, en el tratamiento de agua del río Chumbao de la Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

1.2. Identificación y formulación e identificación del problema

1.2.1. Problema general

¿"Cuál es el efecto de la goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018"?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿"Cuál es el efecto de la goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) en la remoción de la turbidez en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018"?
- ¿"Cuál es el efecto del pH en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, utilizando goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*), Andahuaylas - Apurímac 2018"?
- ¿"Qué efecto tiene la conductividad eléctrica en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, al utilizar goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*), Andahuaylas - Apurímac 2018"?

1.3. Justificación de la investigación

Para el proceso de coagulación – floculación para realizar el tratamiento de aguas contaminadas se usan productos químicos, estas sustancias al agregarlos al agua que se va a tratar, reaccionan con las partículas del agua, especialmente con los compuestos alcalinos, tales como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, entre otros; Cárdenas, (2000). Siempre se ha usado compuestos químicos como agentes coagulantes como las sales de sulfato, aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y tricloruro de hierro $FeCl_3$, y otras sustancias más usadas para los procesos de coagulación son los poliacrilamidas sintéticas; resultando bastante efectivos estos últimos en la coagulación y floculación, la remoción de la turbidez, de colorantes y

los sólidos que se encuentran en suspensión de líquidos residuales, sin embargo recientemente han aparecido muchas inconvenientes en el uso de compuestos químicos, el impacto generado a las personas como las enfermedades Alzheimer y cáncer y los impactos generados al ambiente, Gallardo, (2017).

En contraste los coagulantes naturales de origen vegetal son más seguros que los coagulantes químicos, respetuosos del medio ambiente, y libre de componentes tóxicos, los coagulantes de origen vegetal no son tan eficientes, puesto que generan un volumen de lodo hasta cinco veces más altos, sin embargo los residuos o lodos producidos tienen un valor nutricional más alto, por lo que el tratamiento y manejo de residuos es menos costoso, constituyendo así una mejor opción para poder adoptar y contribuir a un desarrollo sostenible (Gallardo, 2017).

El río Chumbao, por el nivel de contaminación que tiene, la presencia de partículas en suspensión, requiere un tratamiento con fines de poder garantizar su uso responsable en las diferentes actividades económicas, sociales y ambientales, por lo que resulta mucho más conveniente utilizar compuestos orgánicos, derivados de vegetales, al mismo tiempo de poder investigar y preservar la diversidad de vegetales silvestres y endémicas de la Región, que tienen muchos beneficios, para apoyar a los sistemas de purificación del agua.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

“Evaluar el efecto que tiene la goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018”

1.4.2. Objetivos específicos

- “Determinar el efecto de la goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) en la remoción de la turbidez en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018”.
- “Determinar qué efecto tiene el pH en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, utilizando goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*), Andahuaylas - Apurímac 2018”
- “Determinar el efecto que tiene la conductividad eléctrica en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, al utilizar goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*), Andahuaylas - Apurímac 2018”.

1.5. Delimitaciones de la investigación

1.5.1 Espacial

La presente investigación fue realizada en el Departamento de Apurímac, Provincia de Andahuaylas, en sectores que comprende el

distrito de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera por donde transcurre el río Chumbao, que es la principal fuente de recurso hídrico para la actividad agrícola y pecuaria en este sector.

1.5.2 Temporal

La investigación fue realizada en el periodo de abril del 2018 y setiembre del 2020, periodo en la que se ha realizado procesos de recojo de muestras, análisis, coagulación – floculación, transformación de datos, y realización del informe final de la tesis.

1.5.3 Social

La presente investigación es de beneficio para la población urbana del distrito de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera en la Provincia de Andahuaylas, quienes hacen uso del recurso hídrico de río Chumbao. Mediante el uso de compuestos de origen natural, y tener agua con buenas condiciones para uso y consumo, a su vez mejorar las condiciones de vida población del sector.

1.5.4 Conceptual

La presente investigación pretende determinar los efectos de la goma de tara (*caesalpinia spinosa*) en las operaciones de coagulación – floculación en los sistemas de purificación de agua del río Chumbao, como un agente que puede coadyuvar en la eliminación de la turbidez, sólidos suspendidos, clarificación del agua. Con la investigación se promueve la utilización de sustancias de origen vegetal que se encuentra

en gran cantidad en nuestra localidad, que tienen un poder coagulante – floculante y su manejo en la purificación de aguas residuales y que contribuye al desarrollo sostenible de la región.

1.6. Viabilidad de la investigación

Existen un compromiso y disposición de cuidar el ambiente, mediante la aplicación de tecnologías limpias, como el tratamiento de aguas contaminadas haciendo uso de compuestos de origen vegetal como el caso de la goma de tara, la misma que muestra que tenemos una gran biodiversidad de vegetales silvestres que muestran esta capacidad de mejorar el ambiente, reemplazando de esa manera el uso de compuestos químicos procesados.

1.7. Limitaciones de la investigación

Las principales limitaciones para la realización de la investigación fue la distancia entre la ubicación de la Universidad Tecnológica de los Andes ubicada en la ciudad de Abancay, y el lugar de desarrollo de la investigación que se llevó a cabo en la ciudad de Andahuaylas; puesto que para realizar la presentación de la investigación y solicitar el apoyo de algunos profesionales de la carrera se tenía que viajar constantemente a la ciudad de Abancay, en la que no siempre se encontraba la habilidad de los docentes y laboratorio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Entre los antecedentes bibliográficos relativos a los procesos de coagulación – floculación en los sistemas de purificación de aguas residuales se tiene los siguientes:

Tesis realizada en la Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería; intitulado “Remoción de Materia Orgánica Natural del Agua de la Presa Madín Mediante Procesos Fisicoquímicos”, en la averiguación se obtuvo a las conclusiones siguientes: Después de una evaluación realizada en la remoción de algas en época de estiaje mediante las operaciones de coagulación-floculación con la prueba de jarrones, haciendo uso del agua cruda de la presa Madín. Para el proceso se ha empleado las mejores combinaciones determinadas en pruebas realizadas, a su vez se ha aplicado un diseño experimental factorial, teniendo como factores de diseño la concentración inicial de clorofila-a (Cl-a), y la cantidad de coagulante y floculante. Para realizar la purificación de agua cruda con características de 10 µg/L Cl-a, 43.38 UTN y 268 U Pt-Co, la combinación PDADMAC-PA1 (0.1 y 0.7 mg/L, respectivamente) lo cual presentó los valores residuales más bajos de Cl-a 0.384 µg/L, con 4.59 UTN y 18 U Pt-Co.

Tesis desarrollada en la Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, Maestría en Formación en Ciencias Naturales con Orientación en la Enseñanza de la Química; tesis intitulado “Coagulantes

y floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados a partir de plantas y del reciclaje de la chatarra, para la purificación de aguas contaminadas”, llegando a las siguientes conclusiones: El coagulante-floculante de origen natural que tuvo mayor efectividad fue el caulote y el coagulante-floculante obtenido de chatarra de aluminio, el agua contaminada se ha clarificado en su totalidad (100% de turbiedad), teniendo parámetros estándar de turbidez y OD (oxígeno disuelto). El autor también indica que esta alternativa de uso de clarificantes de origen vegetal tienen la capacidad de remover la turbidez, entre ellos se puede indicar a la Moringa Oleífera, caulote, café, almidón de papa, y almidón de yuca resultan ser más factibles en el ámbito rural, comunidades, y sectores periurbanos, con lo que se estaría previniendo enfermedades. Por lo obtenido concluye que los coagulantes-floculantes de origen vegetal y obtenido a partir de restos de metales son opciones que deben ser utilizados en la clarificación del agua, por el hecho de que estas resultan ser más económicas, y a su vez causan menos impacto sobre los ecosistemas naturales, puesto que son biodegradables.

Artículo científico: “El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua, 2015” presentado por, Contreras, Salcedo, Olivero, & Mendoza, (2015). Realizan el trabajo con la finalidad de valorar la capacidad del mucilago de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) para tener un coagulante de origen vegetal que pueda complementar a coagulantes químicos como el sulfato de aluminio, para la purificación del agua del río Magdalena; por lo que se ha

realizado una prueba de jarras, teniendo en cuenta los factores de cantidad, la proporción de los coagulante, el pH y la velocidad de convulsión, con la finalidad de medir la turbidez (NTU), el color (UPC), los sólidos totales disueltos (mg/L), y la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua. Obteniendo los resultados siguientes: al aplicar 20% de mucilago de tuna, con 200 rpm de velocidad de agitación, se ha logrado reducir la turbidez del agua hasta un valor de 2 NTU, logrando una validez superior al 50% en la eliminación de turbidez, los valores logrados más eficientes fueron de 96 y 98 %. Logrando así disminuir casi la totalidad en el color (0 UPC), mientras que en el contenido de STD se ha logrado reducir hasta valores inferiores a 200 mg/L. en su conclusión Indicaron también que el coagulante de origen natural no tiene un efecto significativo en el pH del agua que se va a tratar, sin embargo, la conductividad aumentó para ciertos tratamientos, esto posiblemente sea una causa de los coagulantes inorgánicos. Concluyendo así que el mucilago de la tuna mostro gran certidumbre en la purificación del agua, como un coagulante complementario en el uso del sulfato de aluminio.

Tesis realizado en la Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, en los procesos de coagulación – floculación con compuestos orgánicos e inorgánicos que han sido elaborados a partir de plantas y chatarra reciclada, con la finalidad de tratar aguas, 2014, se llegó a las siguientes conclusiones: El uso de coagulantes – floculantes de origen natural en el proceso de purificación de agua con fines de consumo para personas, es de suma importancia para los procesos realizados en los sectores rurales y los sectores marginales de localidades, uno de los

caminos a seguir para clarificar el agua, las partículas disueltas que son causados por la turbidez, es mediante el uso y adición de compuestos de origen natural o los compuestos químicos, para facilitar la aglomeración de las partículas, estas sustancias forman los denominados floc, por lo que decantarán a la parte inferior por la diferencia de pesos, densidad y peso específico.

Tesis: “Acoplamiento del proceso de coagulación – floculación por biopolímeros y desinfección por ozono de aguas residuales municipales” desarrollado por Evelyn Zamudio Pérez, para obtener el grado académico de doctor en ciencias en bioprocesos; Instituto Politécnico Nacional; 2013. El autor concluye que la articulación de las operaciones de coagulación – floculación con la utilización de la goma HPTAC-guar y a su vez realizado la ozonación, ha demostrado efectos efectivos en la purificación y separación de compuestos orgánicos y organismos patógenos presentes en el agua.

Los mejores resultados obtenidos en el proceso realizado (con una concentración de 15 mg/L de ozono y 25 mg/L de HPTAC-guar, realizado a un pH de 11.0) resultaron ser superiores a las reportadas inicialmente.

- Separación de la DQO: 73%
- Separación de turbiedad: 99%
- Separación de coliformes: 100%
- Separación de HH: 100%

Artículo científico: “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua, 2015” presentado por Hildebrando Ramírez Arcila y Jhoan Jaramillo Peralta. El autor concluye que los compuestos de origen natural comparados con sulfato férrico o aluminio resultaron ser efectivos en la separación de turbidez del agua. Así mismo al adicionar los coagulantes naturales, para ayudar los procesos de coagulación, han podido reducir significativamente la dosis de productos químicos que se utilizaba. Los investigadores indicaron que los coagulantes de origen natural funcionan mediante un mecanismo de adsorción, siguiendo los procesos de neutralización de carga (aniones y cationes). Por lo que el uso de coagulantes de origen orgánico y natural reducen los impactos negativos al ambiente, y a su vez también reduce el costo de posteriores tratamientos.

En una investigación realizada en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba, al utilizar coagulantes orgánicos “*Caesalpinia spinosa*”, para disminuir la turbidez del agua; en la prueba realizada se ha logrado reducir hasta más del 45% de la turbidez del agua del río, utilizando una cantidad de 6g y 9g de coagulante; también se observó que la cantidad de coagulante utilizado influyen de manera ínfima en los resultados Moreno, (2016).

En una investigación realizada, utilizando coagulante y floculante de origen vegetal de semillas de ***Caesalpinia spinosa*** (Tara) con fines de purificación de las aguas del río Pollo (Otuzco, la Libertad, Perú), después de realizado pruebas en laboratorio, con una adaptación a la prueba de

Jarras, utilizando una cantidad determinada de floculante (concentración de coagulante – floculante de ***Caesalpinia spinosa*** 3000 ppm), a una velocidad de 200 rpm por un tiempo de 25 minutos; demostrando una disminución de turbidez de hasta el 70% Bravo & Gutiérrez, (2016).

En investigaciones realizadas en tratamiento de aguas, para poder realizar las operaciones de coagulación – floculación, se ha visto importante obtener un coagulante de origen vegetal a partir de los taninos del guarango; para lo cual se ha extraído los taninos de guarango, para la extracción se ha utilizado etanol, con lo cual se ha logrado obtener un coagulante con características, que tiene un efecto considerable en la disminución de contaminantes en aguas residuales Revelo, (2014).

En una investigación realizada “Determinación de la ***Opuntia ficus-indica*** con la finalidad de contar con un coagulante de origen vegetal”; con fines de poder evaluar la capacidad coagulante de la tuna, la prueba realizada demostró que la capacidad de la *Opuntia ficus indica* de coagular la turbidez, pudo disminuir la turbidez del agua de un 85.4% hasta los 52.26%, al usar una cantidad de 50 mg/l, imprimiendo una velocidad de 40 rpm Villabona, et al; (2013).

En un trabajo de tesis denominado “-Evaluación de capacidad coagulante de tuna (***Opuntia ficus indica***) para la purificación de turbidez y color en aguas”. Los autores después de realizado un experimento mediante la técnica de jarras, demostraron que el coagulante extraído logro remover, la mayor cantidad de turbidez hasta más del 80%, influyendo además en la clarificación del color del agua cruda. Para esta

operación se ha utilizado una cantidad de 50 mg/l y una velocidad de 40 rpm.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Polo & Torrecillas, (2008) indican que las aguas residuales son aquellas vertientes que provienen de haberlos usado en las industrias, sistemas de fabricación y producción; indican que estas aguas no pueden ser desechados sin previo tratamiento, por lo que es preciso que sean tratados previamente, para que no ocasionen daños ambientales al medio circundante, como el caso de los embalses, lagos, ríos, entre otros.

En la naturaleza encontramos agua conjuntamente con sustancias disueltas, partículas en suspensión, que han sido adquiridas durante su trayecto y recorrido, como parte del ciclo hidrológico, en su recorrido el agua adquiere muchos tipos de compuestos sea esta en la superficie del suelo o subterráneo. A su vez se suma a este las distintas actividades que realizamos, las cuales generan distintitos tipos de residuos que finalizan en las fuentes de agua.

El agua residual puede definirse como aquellas aguas que conducen elementos extraños, sean estas producidas por causas naturales, o que también pueden ser provocadas de manera directa o indirecta por las distintas actividades humanas Moreno, (2014):

Se entiende por aguas residuales urbanas, como las aguas provenientes del uso doméstico o también aquellas aguas que han tenido una mezcla con restos de agua provenientes de las industrias o provenientes de la escorrentía de precipitaciones pluviales. Así mismo

estas aguas provienen de zonas donde hay mayor concentración de viviendas y servicios, donde el metabolismo humano, así como las actividades domésticas son el principal factor por la que se generan García, y otros, (2006).

Así mismo (Moreno, 2014) indica que las aguas urbanas residuales son aquellas determinadas por:

- Líquidos provenientes del desagüe de viviendas, de centros de actividad comercial, de las oficinas e instituciones.
- Efluentes líquidos provenientes de empresas industriales.
- Efluentes líquidos provenientes de actividades agrícolas y ganaderas
- Aguas que discurren por el subsuelo, aguas que discurren por la superficie provenientes de precipitaciones pluviales que pasan por el centro urbano, tejado de viviendas, edificios que son conducidos por las alcantarillas.
- Cuando la composición de sólidos en suspensión y solución (orgánicos y inorgánicos) constituyen el 99% del agua.

2.2.2. Parámetros fisicoquímicos del agua

Si se va establecer la calidad del agua, es necesario verificar los parámetros físicos, con la finalidad de poder establecer una idea aproximada de los procesos de tratamiento a realizar en una estación depuradora de aguas residuales Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, (2010). Los principales parámetros físicos que pueden ser medidos son la temperatura, olores, conductividad eléctrica y turbidez.

- **Turbiedad**

Las partículas en suspensión o coloides como la presencia de las arcillas, el limo, la tierra finamente dividida, entre otros; son responsable de la turbidez del agua, reduciendo la transparencia del agua.

La turbidez se puede determinar mediante el uso de instrumentos como el turbidímetro o también llamado nefelómetro. Las cuales son determinadas en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT).

Cuando se realiza el procedimiento de clarificación de las aguas residuales, es necesario la remoción de la turbiedad, por lo que es necesario el uso de coagulantes, los que regulan el pH, compuestos que ayudan, facilitan el proceso de coagulación, etc.

A pesar de que se desconocen las consecuencias directas producidas por la turbiedad en la salud de las personas, la turbiedad modifica las propiedades y estética del agua limitando ciertos usos y rechazo de parte de los consumidores; Tracy, Senderson y Kelly, citados por (Vargas, 2004) muestran que las sustancias que generan la turbiedad actúan como factores limitantes en los procesos de desinfección para eliminar organismos patógenos, puesto que el microorganismo se encuentra protegida físicamente, por lo que no entra en contacto directo con los desinfectantes. Motivo por la que es importante mantener la turbiedad con valores mínimos para la eficacia de los desinfectantes.

Según los patrones provistos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) quienes han establecido que las aguas que son para consumo de las personas deben de tener una turbiedad de 1 UNT y por nada debe exceder los 5 UNT. También, las

pautas de calidad para que el agua deba ser apta para consumo humano dada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que debería ser de 5 UNT de Turbiedad; al mismo tiempo menciona que para tener una eficiente desinfección del agua, la turbiedad debe de ser menor que 1 UNT.

A esto se suma los lineamientos establecidos por el reglamento de la calidad de agua para que el agua sea apta para consumo humano, que fue por D.S. N° 031-2010-SA dada el 24 de setiembre del año 2010, la cual determina que el límite máximo permisible (LMP) para el agua debe de ser 5 UNT.

- **Color**

El agua define su color de acuerdo a la presencia de compuestos entre ellos sustancias como los taninos, la lignina, los ácidos húmicos, ácidos grasos, factores por citar. Además, el color del agua es considerada como un color normal o propia del agua, sin tener en cuenta los que resultan de la derivación de ciertas industrias, en ese caso el color es originados de las siguientes causas o por la combinación de estas:

- Presencia de partículas de origen biológico (plantas)
- Desintegración de materia
- Presencia de sustancias orgánica en el suelo
- Existencia de compuestos orgánicos como el hierro, manganeso y sustancias de origen metálico.

El color del agua está dado por los elementos como el pH, la temperatura, también influye el tiempo de contacto a ciertos factores y

sustancias, la materia favorable y la disolución de los compuestos atenuados.

Para la separación del color existen muchos métodos. Sin embargo, la principal e importante es el proceso de coagulación utilizando compuestos químicos dependiendo del nivel de pH (pH bajos o altos), y también por las sustancias en contacto o procesos de filtración. Además, se debe considerar el color del agua en diversos casos es consecuencia de presencia de compuestos vivientes, la desinfección se debe realizar después de que las partículas suspendidas hayan sido separadas, con fines de impedir que al agregar el cloro como desinfectante pueda dar inicio a la formación de trihalometanos, la cual tiene consecuencias cancerígeno en animales.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el valor óptimo de color es 15 unidades de color (UC) para aquellas aguas de consumo humano; sin embargo según el reglamento de la calidad de agua para que la población pueda consumir, que fue aprobado según el DS N° 031-2010-SA de fecha 24 de setiembre del año 2010, se ha establece que el límite máximo permisible (LMP) para el color de las aguas con fines de que la población pueda consumirlo debe de tener un valor de 15 UCV escala Pt/Co.

- **Conductividad**

Expresa la capacidad de conducir o transportar la corriente eléctrica, el agua pura actúa como un aislante de la corriente eléctrica, motivo por la que las sustancias presentes y disueltas en el agua son las

que determinan la capacidad de conducir la corriente eléctrica, en conclusión la capacidad que tiene el agua para transportar la corriente eléctrica esta determinada por la existencia de iones presentes y la cantidad en que se encuentra estos iones, a su vez depende del estado de oxidación, valencia, y otras concentraciones y factores presentes. Espinoza, Castillo, & Rivera, (2014)

La conductividad eléctrica es una manera no directa de determinar la cuantificar presencia de sólidos disueltos que se encuentran en el agua, por lo que es necesario e importante la conocer la cantidad de los sólidos disueltos presentes en el agua. Según detallan Espinoza, Castillo, & Rovira, (2014), los elementos de las sustancias orgánicas que no se disgregan en soluciones con el agua tienen una conductividad eléctrica muy exigua o nula, también indica que generalmente los valores de la conductividad eléctrica para los cuerpos de agua superficiales varían entre los valores de 700 $\mu\text{mhos/cm}$ a 1200 $\mu\text{mhos/cm}$.

- **pH**

Romero, Navarro, & Noguera, (2019): casi siempre la concentración de las soluciones utiliza las unidades de mol/litro, y como el logaritmo de la concentración generalmente resulta ser un número negativo. Sin embargo, es más fácil y preferible trabajar con números positivos motivo por lo cual se considera del 1 hasta un valor de 10, por lo que la cantidad de iones hidrogeno esta expresado como pH, que en soluciones disueltas está dado por la siguiente ecuación, que expresa una relación aproximada:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Por ejemplo, una solución que tiene presencia de iones hidrógeno desde $1,0 \times 10^{-5}$ moles /litro puede tener un $pH = 5.00$. porque existe un error congénito a la escala de pH , pocas veces estos valores pueden tener una exactitud mayor de $\pm 0,01$, lo cual corresponde a $\pm 2\%$ en $[H^+]$.

Es conocido que el pH no ha tenido efectos directos en el bienestar de las personas, sin embargo, sigue siendo un factor que influye en los procesos de tratamiento del agua, en las operaciones de coagulación y la desinfección. Habitualmente el pH de las aguas en estado natural se encuentra en el rango de 5 y 9; por lo que, al momento de tratar aguas con un valor de pH bajo, se debe de adicionar un álcali, con fines de optimizar el proceso de coagulación.

2.2.3. Partículas coloidales

Son aquellas partículas cuyos tamaños oscilan dentro de los términos de 1 nm (equivalente a 10^{-7} cm) y 1000 nm (equivalente a 10^{-4} cm.), es por este motivo que no se pueden aislar utilizando membranas “Entonces las partículas coloidales son dispersiones n un medio determinado (especialmente presentes en el agua y el aire) Ariza, (2015).

Las partículas coloidales que también son denominados coloides, son las que determinan la turbiedad y el color del agua; las partículas coloidales tienen aproximadamente un diámetro de entre 1 y 1000 mili micrómetros, además su actuación va a depender de su naturaleza y origen. Muestran una carga ligera, por lo generalmente negativa, que imposibilita que puedan acercarse unas con otras, haciendo que esta

separación persista de manera constante y suspendidas en el agua que los rodea. Es por esta razón, para que se puedan remover se les añade sustancias denominada “coagulante” (Vargas, 2004).

Así mismo Vargas, (2004) indica que existen dos tipologías de coloides dependiendo de su conducta en el agua, las cuales podrían ser hidrófobos si es que resisten el agua, aunque no repelen el agua en su totalidad; e hidrófilas por que presentan analogía con el agua.

Propiedades de los coloides

Richter, Pérez, & Cánepa, (1984) indicaron que las propiedades más importantes que presentan las partículas coloidales o coloides son:

- **Movimiento Browniano**

Es la tendencia permanente y no regular de las partículas coloidales, como consecuencia de encuentro desigual y imprevisto de las partículas suspendidas gracias a las moléculas presentes en el líquido. Como los coloides se encuentran en constante movimiento y choque entre las mismas, no permite que puedan sedimentar.

- **Difusión**

Cuando las partículas coloidales presentan un movimiento constante de sus moléculas, es esta situación que conocemos como el movimiento Browniano, la cual origina que las mismas partículas queden dispersas por todo el disolvente; el proceso de difusión se da con menor intensidad que el movimiento Browniano.

- Electrocinética

Todas las partículas coloidales que se hallan dispersa en el agua, todas mantienen una carga eléctrica, cuya magnitud varía de acuerdo al tipo de coloide o naturaleza del coloide, pudiendo ser de carga positiva o negativa. Es por ello que la estabilidad depende de la carga que puedan presentar los coloides, manteniendo el principio de cargas iguales se repelen por lo que no pueden formar los floculos.

- Presión osmótica

La tendencia es encontrar un estado de equilibrio, por lo que es necesario la presión hidrostática para que se pueda producir el movimiento osmótico de manera espontánea de parte del solvente hacia el sistema.

- Opalescencia

La opalescencia está dada por la presencia de partículas coloidales generalmente no tienen un color definido, son incoloras pero algunas presentan ciertos colores, de acuerdo a la deseminación de la radiación de la luz y aglutinación selectiva a una cierta longitud de onda.

- Efecto de Tyndall-Faraday

Es aquel cambio, alteración por medio de la que las sustancias coloidales presentes dispersan la luz y no permiten el paso a través de la solución donde está presente las partículas coloidales, la magnitud del

esparcimiento varia de manera proporcional, dependiendo del tamaño de partículas presentes.

- Superficie – adsorción

La capacidad de adsorción de partículas en coloidales en suspensión, está determinada por la superficie específica que presentan los coloides, esta superficie guarda una relación con la masa del coloide; la adsorción selectiva constituye una base importante en la estabilidad de ciertas dispersiones coloidales.

2.2.4. Remoción de partículas coloidales

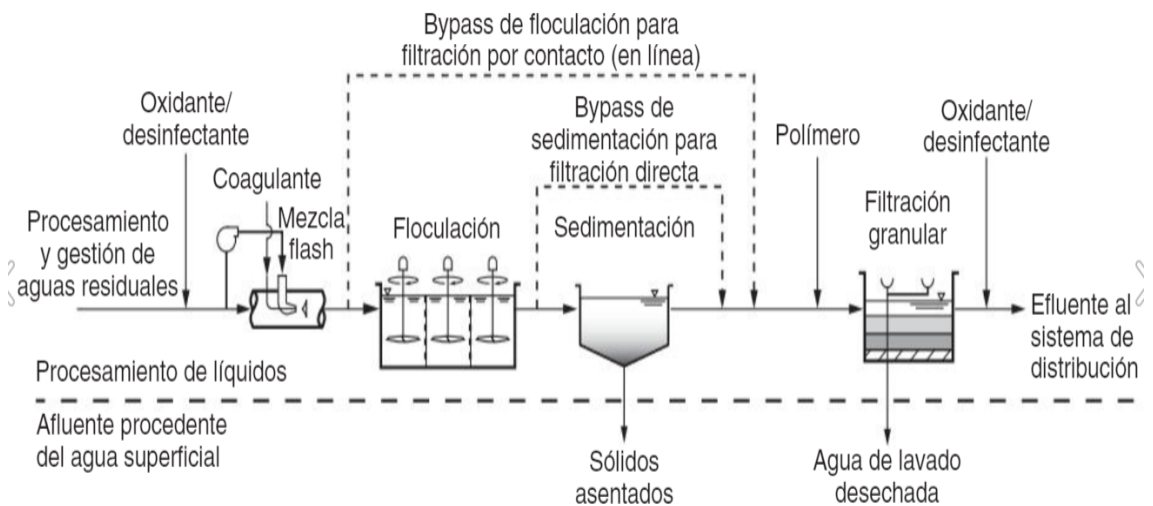
2.2.4.1. Coagulación – Floculación

Algunos autores como (Fernández-Alba, y otros, 2006) indican que en diversos casos parte de los componentes en suspensión que se encuentran en las aguas residuales, están formados por partículas de tamaños minúsculos (10^{-6} – 10^{-9} m), motivo por lo cual hay presencia de detención coloidal. Las suspensiones coloidales resultan ser muy firmes, debido a las colisiones eléctricas entre las mismas partículas, puesto que se producen fuerzas de repulsión y expansión entre ellos. Es por este motivo que presentan una sedimentación considerablemente lenta, esta situación hace que el proceso de tratamiento mecánico clásico sea inviable. Para mejorar la eficacia de esta situación y de todo el sistema con fines de eliminar la materia coloidal en suspensión, se adiciona ciertos reactivos químicos o de origen natural, las cuales desestabilicen la suspensión coloidal la cual es denominado como coagulación,

seguidamente se forman los floculos proceso que lleva la denominación de floculación, formada por las mismas partiuculas y finalmente ocurre el proceso de sedimentación de manera mas rapida. En el tratamiento de aguas esta operación es utilizada constantemente.

La coagulación involucra la adición de sustancias de origen químico denominado coagulante o coagulantes con la finalidad de acondicionar el medio para que las partículas suspendidas, coloidal y disuelta puedan formar floculos y permitan la remoción posterior de materia toda la materia suspendida disuelta. La floculación es adicionar partículas que puedan desestabilizar las partículas con carga eléctrica superficial reducida y generar la precipitación por la adición de coagulantes que tienen la función de convertir a partículas más grandes denominados comunmente como partículas floculantes o flóculos Howe, Hand, Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, (2017)

Figura 1: “Proceso de coagulación - floculación en el tratamiento de aguas residuales”



Fuente: (Howe, Hand, Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, 2017)

2.2.4.2. Mecanismos de la coagulación

Según Moreno, (2014); define al proceso de coagulación como aquel resultado que se obtiene a partir de la acción de los siguientes:

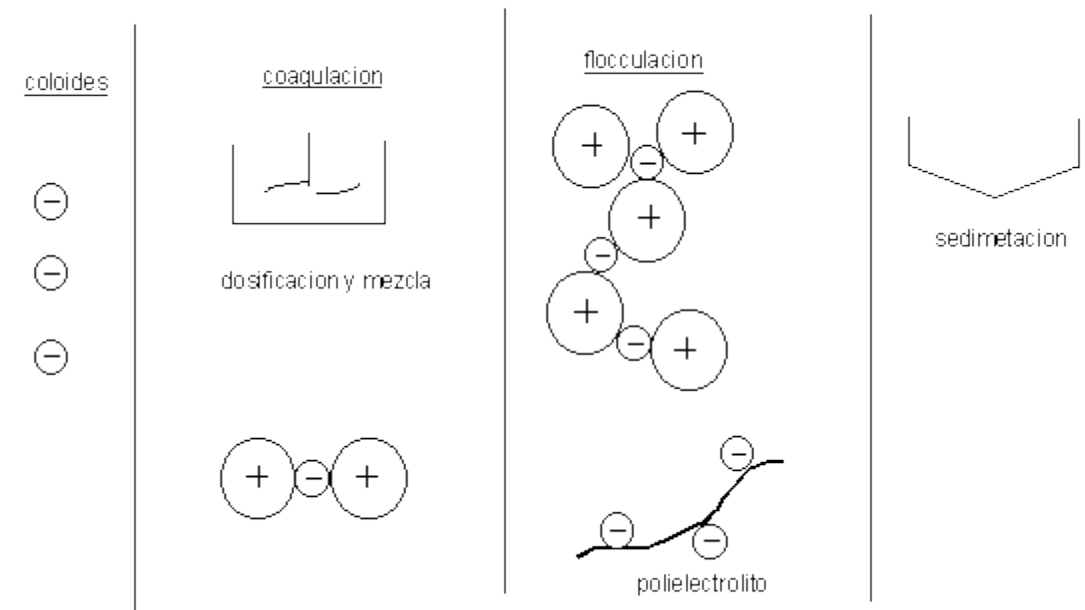
1. Comprensión de manto indefinida.
2. Aglutinación e interrupción
3. Proceso de barrido
4. Proceso de adhesión

2.2.4.3. Fases de la coagulación

Este proceso es desarrollado en un tiempos muy cortos, el proceso de coagulación consta de 5 fases que se desarrollan de manera consecutiva y simultánea a su vez, como se muestra en el siguiente detalle:

- Primera fase: se hidroliza el coagulante y se desestabiliza las partículas en detención.
- Segunda fase: Producción de sustancias de origen químico y poliméricos.
- Tercera fase: Adhesión de las cadenas poliméricos de coloides.
- Cuarta fase: Adhesión recíproca de partículas coloidales.
- Quinta fase: Se realiza el proceso de barrido.

Figura 2: Secuencia de fases del proceso de coagulación - floculación



Fuente: Richter, Pérez, & Cánepa, (1984)

2.2.4.4. Tipos de coagulación

Richter, Pérez, & Cánepa, (1984) indican que existen dos ejemplos principales de coagulación: la primera es por adhesión y la segunda producida por barrido, estos tipos de coagulación a continuación se detallan.

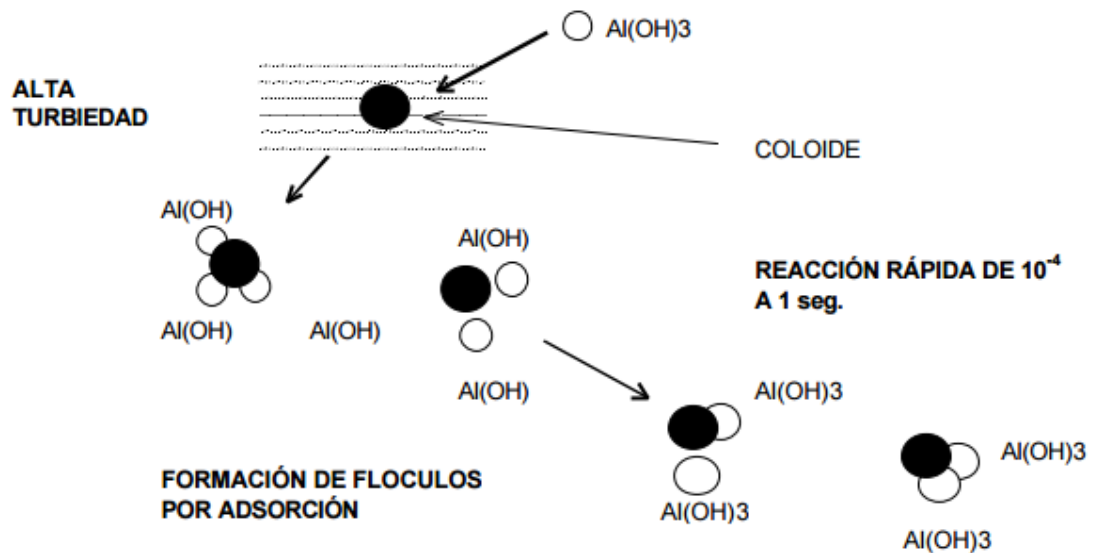
A. Coagulación por adsorción

Se da cuando existe una alta reunión de sustancias en estado coloidal presentes en el agua, en la que al poner el coagulante las sustancias hidrolíticas son adsorbidas por los coloides haciendo que se formen flóculos en instantes, o tiempos muy cortos.

La forma de reacción es inmediata debido a la presencia de bastante cantidad de sustancias coloidales, que al tropezar entre ellas

tienden a generar fuerzas de atracción mucho mayores, favoreciendo la operación de coagulación.

Figura 3: Coagulación por adsorción



Fuente: Moreno, (2014)

Al adicionarse el sulfato de aluminio y las sales de hierro al agua teniendo en cuenta las situaciones de pH, concentración de coagulante se ha de formar una secuencia de especies hidrolizadas. Estas especies hidrolizadas se aglutinan formando una serie de complejos superficiales con los compuestos SILANOL (SiOH) con el coloide, desestabilizando y aceptando la alineación de los flóculos. Este procedimiento es el denominado proceso de neutralización de carga, o también llamado como la desestabilización – absorción.

Si el conjunto de partículas coloidales que se encuentran en el agua es sustancial, la distancia entre partículas es ínfima, en estas condiciones la fuerza de atracción es mucho mayor por lo que la

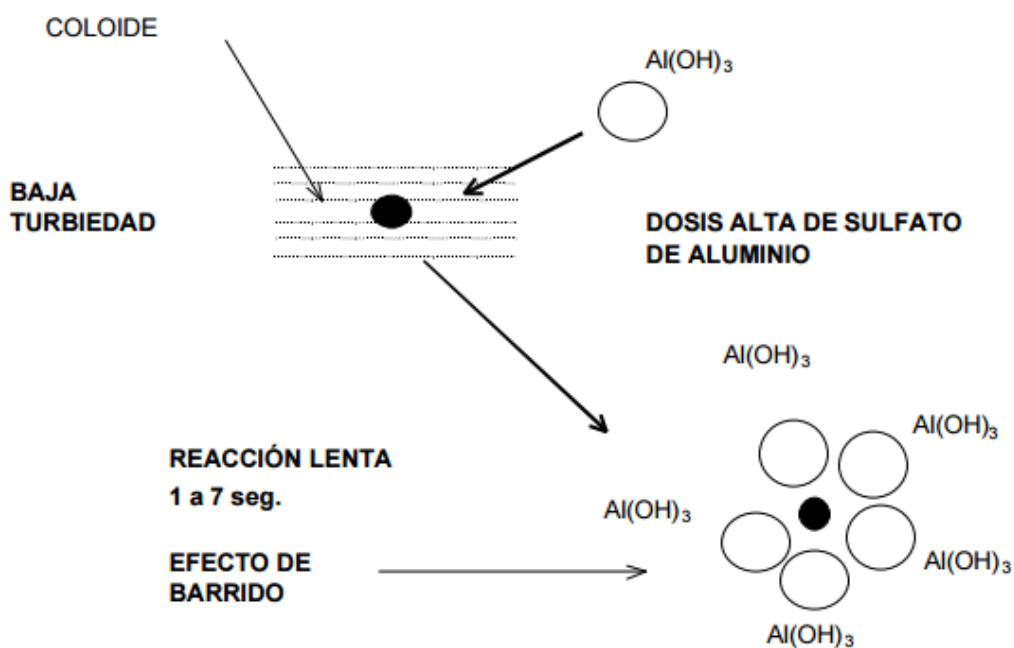
energía requerida para la desestabilización de las partículas coloidales será mucho menor.

B. Coagulación por barrido

Si el agua que se desea trata tiene una baja concentración de partículas coloidales y por tanto la turbiedad es menor, entonces el proceso de coagulación a realizar será el de barrido. El principio de funcionamiento consiste en que las partículas se enredan a filamentos por la sobresaturación del coagulante que se ha añadido.

En esta operación de coagulación la distancia de las partículas coloidales es más pronunciada, por lo que existen fuerzas que se atraen y que son inferiores, motivo por lo cual, es necesario adicionar una cantidad mayor concentración de coagulante y mayor energía para poder desequilibrar.

Figura 4: Coagulación por barrido



Fuente: Moreno, (2014)

2.2.4.5. Factores que influyen en la coagulación

Para poder desestabilizar las partículas es importante conocer otros factores como el pH, especies iónicas presentes, la temperatura, la concentración y tipo de partículas, la dosis y concentración de coagulante, condiciones de mezclado al momento de la inoculación de los reactivos, entre otros factores, (Moreno, 2014); ha definido que los factores principales que tienen mayor influencia en las operaciones de coagulación-floculación son el pH, que tiene un doble efecto; puesto que afecta en la solubilidad del agua y sus moléculas, de las partículas coloidales, motivo por lo que cuando se ajustan el pH, la mayoría de las partículas pueden sedimentar naturalmente. Por el contrario, las aguas residuales, por el hecho de tener una constitución muy complicada no tienen un punto isoeléctrico definido. Además el pH determina significativamente la descomposición de los coagulantes. Puesto que están presentes los iones H^+ y OH^- . En conclusión, según (Moreno, 2014) los elementos que definen en la operación de coagulación son de importancia para mejorar la coagulación:

- El pH
- Sales diluidas presentes
- Dimensión de partículas coloidales
- Temperatura del agua que se desea tratar
- Clase y conjunto de coagulante
- Situaciones de Mezclado
- Métodos de aplicación y adición de los coagulantes

- **Influencia del pH.**

El nivel de pH depende de la clase de coagulante que vamos a utilizar, así como del entorno del agua que se va a tratar; si es que la coagulación es desarrollada fuera del rango de pH necesario, se tendrá que adicionar una cantidad del coagulante determinado; en tanto, la cantidad de coagulante requerida es bastante, Moreno, (2014). A si, por ejemplo, para las sales de aluminio trabajan en un rango de pH entre 6.5 a 8.0 en los procesos de coagulación y mientras que las sales de hierro, trabajan en un rango de pH necesario correspondiente de 5.5 a 8.5.

- **Influencia de las sales disueltas**

Las sales presentes en el agua también tienen un efecto significativo sobre las operaciones de coagulación y floculación:

- Las sales disueltas modifican el rango de pH
- Las sales disueltas alteran el tiempo requerido para la floculación
- Las sales disueltas definen la cantidad de coagulante requerido
- Así como también modifican la cantidad de excedente del coagulante dentro de la solución a tratar.

- **Influencia de la temperatura del agua**

La temperatura es otro de los factores que tienen un efecto sobre los procesos de coagulación y floculación puesto que al

variar en 1 °C lleva a la alineación acelerada de corrientes variando su densidad, en diferentes valores lo cual perturba a la energía de velocidad de las sustancias en suspensión, lo cual hace que el proceso de coagulación sea más lento; las temperaturas elevadas no favorecen la coagulación Cárdenas, (2000).

Si la temperatura disminuye en un grado centígrado la decantación puede conducir a una ampliación en la viscosidad; generando conflictos en la sedimentación de los flóculos.

- **Influencia de la dosis del coagulante**

Según Moreno, (2014) en las operaciones de coagulación – floculación se debe poseer como factor principal el tipo de coagulante que se va a utilizar, la cantidad que se debe de añadir y la buena o mala calidad del agua que se va a clarificar; puesto que son factores que determinan la eficiencia del proceso.

En tanto para que el proceso de coagulación sea más eficiente es ineludible que exista una relación favorable entre el coagulante y las sustancias que se encuentran en el agua, puesto que ciertos contaminantes tienen mayor afinidad a las sales de hierro y otros tienen mayor afinidad por las sales de aluminio. Así también tener en cuenta la apariencia de otros iones, como el calcio, el magnesio que puede modificar drásticamente esta afinidad.

Las peculiaridades más importantes a tener en cuenta de los coagulantes son:

- La Valencia del elemento: cuanto elevado sea la valencia o carga del ion, resulta ser más efectivo el coagulante.
- Capacidad de cambio: mientras tenga mayor amplitud, mayor opción para poder ser reemplazados y efectos.
- Tiene influencia directa, la cantidad de coagulante y la eficiencia del proceso de coagulación
- Si es muy poco la cantidad de coagulante, puede que no neutralice la carga de las partículas presentes.
- Si se adiciona mayor cantidad de coagulante producirá la transformación de la carga eléctrica de la sustancia particulada.

En conclusión, es de vital importancia la elección adecuada del coagulante, así como la cantidad optima que se debe de aplicar, por lo que es necesario establecer mediante exámenes (Jar-Test) para poder evitar las dosificaciones escasas o sobredosificaciones que perjudiquen el proceso de coagulación y rompan la adsorción superficial.

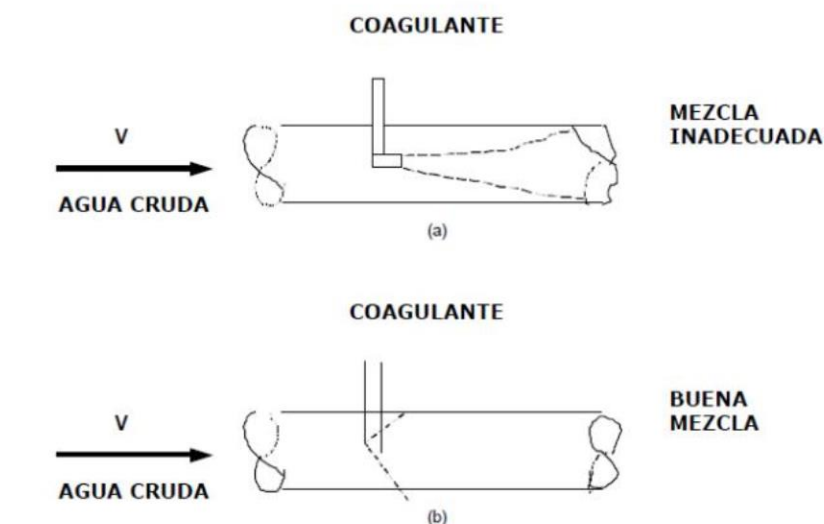
- **Influencia de la mezcla**

El mezclado que se realiza influye de manera significativa en los procesos de coagulación-floculación, motivo por lo que es necesario tener en cuenta el grado y tiempo de agitación, teniendo en cuenta que la convulsión debe ser de manera uniforme en toda la cantidad de agua, para poder asegurar el mezclado adecuado

con fines de producir una reacción química que favorezca la neutralización de cargas, Castillo (2011).

El mezclado debe de realizarse en dos etapas de la coagulación y floculación, en primero con mayor intensidad y de poca duración una mezcla rápida; y el segundo de manera más lenta con finalidad de desarrollar micro flóculos.

Figura 5: Influencia de la mezcla de coagulante en los procesos de coagulación - floculación



Fuente: Howe, Hand, Crittenden, Trussell, & Tchobanoglous, (2017)

2.2.5. Tipos de Coagulantes

- **Coagulantes inorgánicos**

Estos coagulantes se utilizan en el tratamiento del agua de origen industrial y también doméstico con fines de eliminar metales pesados, los aceites y grasas, fosfatos, entre otros Nieto, (2011) citado por Pérez, (2018). Los principales coagulantes químicos que más uso tienen en la desestabilización de las sustancias y formación de flóculos para

coagulación son el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, polielectrolitos (como ayudantes de floculación).

Tabla 1: Características de algunos coagulantes inorgánicos

Coagulante	Dosis (mg/l)	pH óptimo	Aplicaciones
CaI	150 – 500	9 - 11	Son aplicados en la eliminación de coloides, en aguas con poca alcalinidad y mayor cantidad de fosforo
Al ₂ (SO ₄) ₃	75 – 250	4.5 - 7	En la separación de coloides en aguas con poca o nada alcalinidad y alta presencia de fosforo
FeCl ₃	35 – 150	4 - 7	En la separación de coloides en aguas con alta alcalinidad y concentración de fosforo
FeCl ₂	70 – 200	4 - 7	
FeSO ₄ ·7H ₂ O			
Polímero catiónico	2 – 5		Eliminación de coloides. Ayudante con coagulantes metálicos
Polímero aniónico e iónico	0.25 - 1.0	0.25 - 1.0	Facilita las operaciones de floculación y precipitación

Fuente: Fernández-Alba, y otros, (2006)

- **Coagulantes naturales**

Son considerados como provenientes de origen vegetal y/o animal, que son sustancias solubles en el agua Pérez, (2018) esas actúan de modo análogo a los coagulantes de origen químico o sintéticos, acumulando las sustancias en suspensión presente en el agua cruda, lo cual facilita el proceso de sedimentación, disminuyendo la turbidez inicial del agua. Muchos de estos los coagulantes naturales poseen

características antimicrobianas, a su vez disminuyen o desaparecen la carga microbiana presente en el agua, que son perjudiciales en la salud de las personas y animales. El hecho de que sean derivados de productos naturales garantiza que sean biodegradables y saludables para las personas y el ambiente, además los lodos generados pueden ser usados en la agricultura. Y su modo de aplicación, facilita que naciones en vías de progreso que no refieren con tecnologías de sofisticadas puedan utilizarlos en el tratamiento de aguas residuales.

Jahn (1998) mencionado por Pérez, (2018), en su tesis indica los coagulantes de origen natural proveniente de origen vegetales han sido utilizados en África, en la India y también en América de Sur. Entre los coagulantes naturales utilizados fueron las semillas de productos secos como almendra, albaricoque, melocotón, Cactus Opuntia, legumbres, guisantes, lentejas, nueces, habas, moringa oleífera, entre otros.

Ciertos de estos coagulantes naturales fueron investigados con mayor detalle, obteniendo consecuencias bastante favorables en correspondencia a su efectividad como coagulante. La semilla de Moringa oleífera ha sido estudiado y utilizado considerablemente en distintos procesos de tratamiento de aguas residuales. Estableciendo que para aguas que tengan menor turbiedad las semillas de la moringa pueden ser utilizadas como un suplente viable para reemplazar el sulfato de aluminio con fines de clarificación de las aguas. Ledo *et al.* (2009).

Mientras que, en América Latina, los principales coagulantes de origen natural evaluados y aplicados están la papa, el cactus, maíz, trigo y la yuca, estas han sido manipulados en la depuración de agua, sin

embargo, existe una amplia escala de productos naturales ensayados hasta la actualidad a nivel del mundo Ledo *et al.* (2009).

También (Pérez, 2018), cita a Carpinteyro (2011), indicando de que este manifiesta la aplicación de ciertos polímeros biológicos como la goma de guar, algarrobo, mezquite y mucilago de nopal utilizados en la coagulación y floculación, que han sido utilizados en aguas de origen municipal como también en aguas de origen industrial con presencia de materia orgánica alta.

A su vez Benchosten *et al.* (1990), Boisevert *et al.* (1997) y Najm *et al.* (1998), la utilización de coagulantes sintéticos para la purificación del agua potable, como es el caso del sulfato de aluminio o el cloruro férrico, es discutida debido a que se relaciona con:

- Inconvenientes con el ambiente, porque genera lodos tóxicos que ya no se pueden volver a utilizar en otras actividades, por ejemplo, en la agricultura.
- Está relacionada con enfermedades cancerígenas como el Alzheimer
- Acelera la aparición de enfermedades neurodegerantivas

Por estos factores antes mencionados el advierte que la utilización de estos compuestos inorgánicos está relacionada con la existencia de algunas enfermedades, por motivos de que una vez utilizados estos quedan como residuos en las aguas tratadas, motivo por lo cual existe un interés mayor por los coagulantes naturales, que sean más seguros para el ser humano.

2.2.6. Sedimentación

En el tratamiento del agua la precipitación es un proceso físico que consiste en reducir la concentración de sólidos suspendidos, así como la carga orgánica de las aguas residuales, el proceso de sedimentación es realizado con fines de facilitar posteriores tratamientos en el tratamiento del agua residual. Para la clarificación de efluentes de unidades de tratamiento biológico y para el espesamiento de lodos orgánicos es necesario realizar los procesos de sedimentación. Este proceso resulta ser bastante efectiva en la remoción de sólidos suspendidos, el funcionamiento se debe a la fuerza de gravedad que se desarrolló sobre las partículas suspendidas que se quiere remover. Gutiérrez & Olmo, (2007).

2.2.7. Tipos de sedimentación

Atendiendo la naturaleza de las partículas suspendidos y concentración, presentes en el agua, los procesos de sedimentación se clasifican en:

- Sedimentación discreta
- Sedimentación floculenta
- Sedimentación retardada o por zonas
- Sedimentación por compresión.

2.2.8. Ensayo de la prueba de jarras

La prueba de jarras constituye la técnica más usada para la determinación del comportamiento de los coagulantes y al mismo tiempo

poder simular los factores, condiciones del proceso, lo cual permite determinar el tipo, la dosificación y concentración óptimos que se debe usar en los procesos de coagulación – floculación, en el tratamiento de aguas residuales.

Los procedimientos que se deben realizar en una prueba de jarras son las siguientes, primero es necesario agregar concentraciones de coagulante a los envases y/o vasos precipitados que están contenidos con muestras de agua. Mientras que los vasos están expuestos a una agitación constante con fines de disolver homogéneamente en todo el medio de la solución, la agitación se da de manera rápida en un inicio y luego tiende a ser más lenta para permitir la formación de los flóculos. Luego de haber terminado con la agitación se debe de poner en reposo por un tiempo determinado, para finalmente poder realizar el análisis de las muestras.

2.2.9. Tara (*Caesalpinia spinosa*)

La Tara que tiene por nombre científico ***Caesalpinia Spinosa*** es un vegetal que puede ser un árbol o arbusto, que generalmente tiene una copa ancha no muy densa en la concentración de sus hojas, este árbol puede llegar a alcanzar hasta los 12 m de altura. Ente sus características podemos describir que tiene un tortuoso, espinoso, con diversos ejes, pudiendo llegar a tener un diámetro hasta los 30 cm de diámetro, tiene una corteza rugosa, presentan un color marrón claro o gris cenizo. Las ramas de este árbol son cortas y retorcidas, pero resistentes, presentan colores grises y estriadas, las ramas presentan espinas cónicas, cortas y

fuertes Ojeda, Urrutia, & Becchi, (2012). El árbol de tara puede crecer en suelos sueltos, en un rango de altitud que varía desde los 1900 a 2500 msnm. Esta planta es bastante apreciada por la variedad de usos que se puede dar como en la medicina, como forraje para la alimentación de animales, también pueden mejorar los suelos, también es bastante utilizado como cerco vivo para proteger terrenos de cultivos, así mismo mucha gente utiliza como combustible (leña) y también en algunas construcciones rurales, también es usado en las industrias para la fabricación de colorantes, tintes y taninos para curtiembre Gallardo, *et al*, (2015).

2.2.10. Goma de tara (*Caesalpinia spinosa*)

La goma de la tara constituye un polisacárido que se puede disolver en el agua y que es ampliamente usado en la industria de los alimentos, entre ellos podemos mencionar la elaboración de jugos, helados, salsas, así también en la elaboración de alimento de mascotas, es utilizado en la elaboración de compost, entre otros productos por citar, la goma de tara tiene la forma de un polvo blanco insípido, pudiendo formar geles viscosos al mezclarlos con el agua.

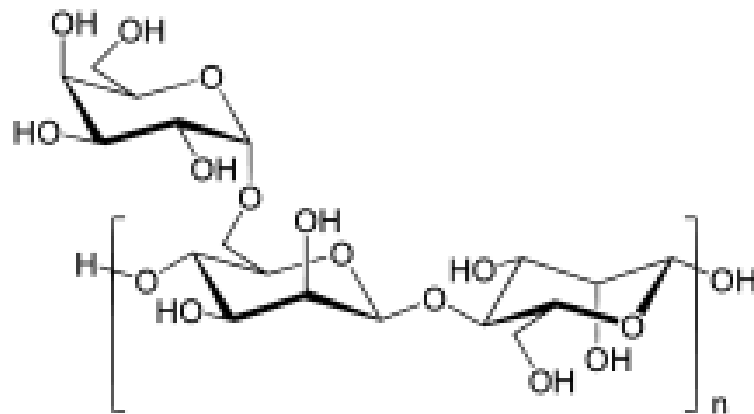
La goma de tara es obtenida al moler el endospermo de las semillas de Tara. Las semillas de la tara se encuentran dentro de vainas con una longitud que varía entre 8 y 10 cm, presentándose entre cuatro a siete semillas en cada vaina, con un diámetro de 6 a 7 mm aproximadamente. Según los datos obtenidos el 39.5 a 41.1% de la semilla corresponde a la cascara, el 25 a 27% representa el endospermo, 25.5 a 27% representa

el germen y 11% a 5% es la humedad. También Ojeda, Urrutia, & Becchi, (2012) indican que la goma de tara que se encuentra en las semillas es bastante utilizada como emulsificantes y estabilizantes en la preparación de alimentos.

Los componentes que conforman la goma de tara, como son la galactosa y manosa se encuentran en una relación de 24, 41; 70, 90, sostiene Cabello I., 2009.

La magnitud de la viscosidad que presentan en una solución dependerá de la longitud que presenta la cadena de galactomano que contiene. La goma de tara da lugar a soluciones acuosas con características de un fluido pseudoplástico, cuya magnitud promedio de la viscosidad es de 4000 Cp.

Figura 6: Estructura parcial de la goma de tara



Fuente: (Gallardo, Gonzalo, & Dominguez, 2015)

El Codex Alimentarios han clasificado a la goma de tara con el N° 147 del SIN (Sistema Internacional de Numeración). En el continente europeo aparece con el código E417. La cual es bastante utilizada en la

industria alimentaria y farmacéutica para la estabilización, como estabilizante, emulgente o espesante, sin embargo, la goma de tara no contribuye en el aroma, sabor o poder nutritivo de los alimentos, pero si mejoran en la aceptabilidad del producto, puesto que mejora la textura o consistencia; Ojeda et al, (2012).

La goma de tara es obtenida por dos medios la primera es la vía seca (que comprende un tratamiento térmico), y la segunda corresponde a la vía húmeda.

En el primer caso las semillas de la tara son sometidas a altas temperaturas y posterior molienda y tamizado, en el proceso de tamizado es separado la cascara y el germen de las semillas de tara, quedando de esa manera la goma de tara en forma de hojuela, las cuales tendrán que ser molidas para tener goma de tara en polvo, el rendimiento es de 34%. Siccha A., (1993). El segundo método de obtención de goma de tara consiste en la obtención por vía húmeda, para lo cual las semillas son previamente hidratadas para luego poder seguir con otros procedimientos.

Después de obtenida la goma de tara es importante hacer una declaración de la goma obtenida mediante ensayos realizados en el tratamiento de agua, para lo que se usa arcilla activada o también utilizando hipoclorito de sodio Rojas H., (1991).

Tabla 2: Especificaciones de la goma de tara

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Apariencia	Polvo blanco
Olor	Inodoro
Humedad	Máximo 15%
Proteínas (Nx5.7)	Máximo 3.5%
Grasas	Máximo 0.75%
Cenizas	Máximo 1.5%
Insolubles en ácido	Máximo 2%
Almidones	No detectable
TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
Malla 100	> 80%
Solubilidad	Parcialmente soluble en agua fría, soluble en agua caliente.
Viscosidad 20°C	a Solución al 1%, 25°C, 20 rpm, spindle #4: 5000-6800 cps
METALES PESADOS	
Plomo	Máximo 5 ppm
Arsénico	Máximo 3 ppm
Mercurio	Máximo 1 ppm
Cadmio	Máximo 1 ppm
ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS	
Conteo total	< 5000 ufc/g
Hongos y Levaduras	< 500 ufc/g
E. Coli y Coliformes	< 1 ufc/g
Salmonella	Negativo en 25 g

Fuente: Gallardo, Gonzalo, & Dominguez, (2015)

2.3. Marco Conceptual

- **Agua:** “El agua es un recurso hídrico renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la nación” ANA, (2011).

- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA):** “Parámetros físicos, químicos y biológicos, que se encuentran presentes en el aire, agua o suelo; tal que la concentración de estas sustancias no represente ningún riesgo característico para la salud de las personas ni para el ambiente”. los ECA están basados en su condición de cuerpo receptor de fuentes **OEFA, (2015).**
- **¿Qué son los ECA para agua?:** Las ECAs para el agua son definidas como el “grado o concentración de elementos, sustancias o parámetros sean estas de origen físicos, químicos y biológicos que se presenta en el agua, puesto que el agua, en su condición de un cuerpo receptor, no represente riesgo alguno en la salud de las personas” OEFA (2015).
- **Aguas residuales:** La OEFA considera como aguas residuales a aquellas provenientes del uso de las personas en sus diferentes actividades económicas, las cuales han variado en sus características físicas, químicas y biológicas.
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Medida de la concentración de los elementos, concentración de sustancias, de parámetros físicos, químicos y biológicos, las cuales al ser excedidos pueden generar consecuencias graves en la salud y bienestar de la población y el ambiente.

- **Muestreo de agua:** El muestreo es una herramienta que se utiliza para la extracción de una parte del agua, con fines de realizar un análisis y determinara características y condiciones actuales que presenta el agua.
- **Río:** Es la corriente de agua de origen natural que fluye de manera continua y posee un caudal determinado para finalmente poder desembocar en el mar, un lago u otro río.
- **Conductividad eléctrica:** La capacidad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica es denominado como conductividad eléctrica. Para saber la magnitud de la corriente eléctrica es necesario determinar el contenido de sales presentes, puesto que la disolución de las sales genera iones positivos o negativos las cuales determinan la capacidad de transportar la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica se mide en siemens por metro en el sistema de medición SI.
- **Contaminante:** Es cualquier sustancia y/o elemento de origen físico, químico y/o biológico presente en el agua y cuya concentración altera y perjudica negativamente la calidad del agua, y con ello de las personas y demás seres vivos.
- **Alcalinidad:** La capacidad del agua para con fines de neutralizar y evitar la variación del pH, y por tanto el agua presente no pueda ser demasiado básico o ácido MINSA, (2011).
 - Estándar de calidad ambiental (ECA)
 - Flóculos:
 - Límite Máximo Permisible (LMP):

- Mircroflóculos:
- pH:
- Turbidez
- **Polímeros naturales:** son polímeros o biocoagulantes/ coagulantes naturales, procedentes de vegetales, por lo que son seguros y respetuosos con el ambiente, puesto que son libres de toxicidad bajo condiciones adecuadas de uso. Estos polímeros contienen compuestos bioactivos como las proteínas, los polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides.
- **Coagulación:** Proceso de desestabilización de las partículas suspendidas presentes en el agua, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación o repulsión presentes entre las partículas en suspensión, esto por la adición de sustancias o reactivos (coagulante) al agua, originando productos insolubles. Las sustancias que se agrega al agua deben de tener la capacidad de formar coágulos y flóculos en cuestión de segundos y formar un precipitado.” Apaza Asqui, (2015).
- **Floculación:** La floculación es un proceso que continua al proceso de coagulación, la floculación consiste en la formación de flóculos para que adquieran mayor peso y puedan sedimentar, por la diferencia de pesos y densidad que existe.” Gómez Puente, (2005)

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) tendrá un efecto significativo en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del rio Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018

3.1.2. Hipótesis específicas

- La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) tendrá un efecto significativo en la remoción de la turbidez en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del rio Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018.
- El pH tendrá un efecto significativo en los procesos de coagulación - floculación, en el tratamiento de las aguas del rio Chumbao, utilizando goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***), Andahuaylas - Apurímac 2018.
- La conductividad eléctrica tendrá un efecto significativo en los procesos de coagulación – floculación en el tratamiento de las aguas del rio Chumbao, utilizando goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***), Andahuaylas - Apurímac 2018.

3.2. Método

El método que se ha seguido en el proceso de investigación fue la siguiente.

Figura 7: Proceso de investigación



3.3 Tipo de investigación

La investigación que se realizó es de tipo aplicada, puesto que sus aportes están dirigidos a la comprensión y solución de los problemas ambientales, que afectan el recurso hídrico del río Chumbao Sampieri, Collado, & Lucio, (2014). Motivo por el cual la investigación es de tipo Aplicada.

3.4 Nivel o alcance de investigación

El nivel que tiene una investigación es concerniente al grado de profundidad con que se realiza un cambio u objeto de estudio (Arias, 2012). Así mismo indica que la investigación explicativa es cuando se

busca por qué se realizan los hechos, para ello establece relaciones de causa – efecto. La investigación está dirigida a explicar las causas físicas de porqué y en qué condiciones ocurre el fenómeno de coagulación – floculación, y su influencia entre las variables.

La investigación es de nivel EXPLICATIVO, puesto que el estudio se realiza mediante la aplicación de un coagulante orgánico a las aguas residuales, y su efecto en el proceso de coagulación – floculación, para el tratamiento del agua residual.

Enfoque

Sampieri, *eta al.* (2014) indica que existe una realidad por conocer. La cual se puede realizar a través de la mente. Existe una realidad objetiva única. El mundo es concebido como externo a investigador. Según lo antes mencionado se puede indicar que la investigación tiene un enfoque **cuantitativo**, puesto que la ponderación de datos se basa en la cuantificación de las variables, tiempo, concentración de coagulante y velocidad de agitación.

3.5. Diseño de la investigación

El diseño de experimentos consiste en determinar y realizar pruebas, con fines de obtener datos que cuando son analizados estadísticamente, provean evidencias objetivas que nos permitirán responder, incógnitas planteadas, para finalmente poder aclarar aspectos inciertos que se dan en un proceso, y finalmente resolver un problema o lograr mejoras Gutiérrez & De la Vara, (2008).

Bernal, (2010) indica que el diseño de la investigación está determinado por el tipo de la investigación que va a ser realizado también por la hipótesis que se quiere probar en el desarrollo de la investigación, en una investigación experimental, en la que se modifica la variable independiente, para ver los cambios en la variable dependiente, se debe realizar el diseño de la investigación.

La investigación experimental es realizada por medio de diseños, las cuales se pueden definir como el conjunto de procedimientos mediante los cuales se operan una o más variables independientes y se mide su el efecto que tienen sobre una o más variables dependientes Bernal, (2010). En síntesis, el presente trabajo corresponde a una investigación tecnológica y nivel experimental y aplicativo, porque se ha manejado variables aplicados a la floculación en aguas para finalmente disminuir partículas en suspensión con la goma de tara.

Tabla 3: Dosis de coagulante natural aplicados

Nivel de turbidez (NTU)	Dosis de coagulante natural (mg/L)					
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
53	100	200	300	400	500	600
58	100	200	300	400	500	600
60	100	200	300	400	500	600
130	100	200	300	400	500	600

3.6. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Índice
VI: Goma de tara <i>(Caesalpinia Spinosa)</i>	Son polímeros naturales que utilizados como auxiliares en los procesos de floculación y filtración. Se obtienen en las reacciones bioquímicas naturales de los seres vivos animales y plantas, como las proteínas, los carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos) (Ojeda, L. 2012).	La goma de tara fue aprobada por el Servicio de Salud Pública europeo para su uso en el tratamiento de agua potable, junto con otros coagulantes como alumbre (potasio de sulfato de aluminio) hierro (III) sulfato, y cal (óxido de calcio). Incrementa la sedimentación de impurezas sólidas, reduciendo el paso de sólidos a los filtros y el tiempo entre retro-lavados. En aguas industriales, la goma de tara forma flóculos con arcilla, sílice, carbonatos e hidroxidos cuando es usado solo o junto con coagulantes inorgánicos.	Dosis optima de goma de tara	mg/L
			Concentración optima de goma de tara	%
VD: Procesos de Coagulación-Floculación	La coagulación está referido a las reacciones que ocurren al agregar un coagulante al líquido que se desea tratar, formando productos insolubles. La floculación es el proceso de crecimiento de las partículas coaguladas, dando origen a un floculo suficientemente grande y pesado (Moreno, A. 2014; p. 226).	Es la etapa en la que las partículas se juntan en pequeñas masas denominadas flóculos tal que su peso específico y densidad supere a la del líquido que se está tratando y puedan precipitar en función a las características fisicoquímicas (Moreno, A. 2014; p. 226).	Turbidez	NTU
			pH	%
			Conductividad eléctrica	μS/cm

3.7. Población, muestra y muestreo

La técnica de muestreo que se ha utilizado para estimar el tamaño de una muestra está en función de la investigación que se desea realizar, además la hipótesis planteada y del diseño de investigación que se hayan definido para desarrollar el estudio Bernal, (2010). Así mismo Giraldo; 1995. Menciona que: “el éxito de un análisis de aguas, depende en gran parte de las precauciones que se tengan en la toma de la misma y su forma de conservación para cada uno de los parámetros que se quiera determinar”.

Por lo que se debe tener en cuenta una muestra que represente de manera clara y precisa el material del cual fue extraído y al mismo tiempo poder evitar que se produzcan ciertas alteraciones en la composición antes que puedan realizarse las pruebas correspondientes.

Por otro lado, Giraldo; 1995. También cita dos técnicas de muestreo la cual es el muestreo puntual y muestras compuestas. Giraldo indica que el tipo de muestreo que más se ajusta para el trabajo que se está realizando es la del muestreo puntual, un tipo de muestreo no probabilístico la cual indica que la muestra debe ser recogida en un lugar y un tiempo definidos por el investigador. Esta técnica de recojo de muestra es usado cuando se sabe la procedencia de la muestra es constante, y a su vez presenta una composición constante durante un largo periodo de tiempo.

Tomando en cuenta a Giraldo, la selección de la muestra se realizó de la siguiente manera, en primer lugar se determinaron los puntos de recolección de manera no probabilística teniendo en consideración la trayectoria del río Chumbao y la constancia de flujo de sus aguas, origen

y procedencia, de tal manera que en su evaluación puedan notar de manera clara la diferencias por los contaminantes adquiridos, motivo por lo cual los puntos de muestreo fueron tres (03) puntos del río Chumbao, entre ellos el primer punto distrito de San Jerónimo, segundo punto de recolección de muestra fue el distrito de Andahuaylas y finalmente el tercer punto de recolección de muestra fue en sector del distrito de Talavera.

De cada uno de los puntos de muestreo se ha recogido muestras de 600 ml, por triplicado, en envases distintos, haciendo un total de 1.8 litros de muestra en cada sector.

3.8. Técnicas e instrumentos

3.8.1 Técnicas de recolección de datos

- Observación
- Protocolo de muestreo
- Análisis de laboratorio

3.8.2 Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de registro de datos
- Cadena de custodia

3.9 Procesamiento estadístico

Para el procesamiento estadístico se hizo uso de hojas de cálculo Excel y el software estadístico MiniTab 17, para la determinación del tratamiento más efectivo con respecto a la reducción de sólidos suspendidos presente en el agua del río Chumbao.

Las muestras recogidas en campo fueron llevados al laboratorio de fisicoquímica del departamento académico de Ciencias Básicas, de la Universidad Nacional José María Arguedas, en la cual se ha realizado el siguiente procedimiento.

- Las muestras fueron recolectadas en envases de 1 litro, color ámbar.
- Se calculo el porcentaje del insumo (coagulante, floculante)
- Se peso el insumo para hacer la solución al porcentaje estipulado
- Se tomó los parámetros iniciales (turbidez, pH, color, conductividad)
- Se lleno las 6 probetas con la muestra problema, cada uno con una capacidad de 500 mL.
- Se procedió a realizar la simulación de prueba de jarras a diferentes tiempos.

El trabajo de investigación se realizado mediante la prueba de jarras, teniendo en cuenta como referencia los valores utilizados por Parra et al. (2011) y Martínez et al. (2003), citados en (Pérez, 2018); asimismo, se aplicó una agitación previa a fin de homogenizar las muestras. Las velocidades y tiempos programados en el equipo acondicionado de la prueba de jarras:

Tabla 4: Programación de equipo de jarras

Etapa	Secuencia	Velocidad	Tiempo
Homogenización	1	50 RPM	10 segundos
Mezcla rápida	2	100 RPM	60 segundos
Mezcla lenta	3	30 RPM	20 minutos

Fuente: (Parra, y otros, 2011)

Una vez realizado la preparación de las muestras de agua y coagulante – floculante, se realizó el proceso para que las partículas coloidales puedan sedimentar según transcurre el tiempo.

Transcurridos el tiempo de sedimentación, se descartaron los primeros 10 mL de muestra de cada jarra, retenidos en la superficie, y se procedió a recolectar el sobrenadante de cada jarra, en un volumen aproximado de 50 ml, de las muestras recolectadas se midieron la turbiedad residual, pH, conductividad y color.

Se evaluaron y compararon los valores finales de los parámetros fisicoquímicos de turbiedad, conductividad, pH y color medidos en las pruebas. Para determinar dichos parámetros se ha seguido la metodología propuesta por Severiche et al. (2013) m, citado por (Pérez, 2018).

Tabla 5: Parámetros a medir

Parámetro	Unidad de medida	Instrumentos de medición
Turbiedad	UNT	Turbidímetro
Color	UPC escala Pt/Co	Colorímetro
pH	Valor de pH	Multiparámetro
Conductividad	μS/cm	Multiparámetro

Nota: UCV=Unidad de color platino cobalto; UNT=Unidad Nefelométrica de Turbidez.

Fuente: Severiche, Castillo, & Acevedo, (2013)

Para la validación del proceso se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con el programa Minitab 17, realizando el análisis de datos experimentales, con un nivel de significancia de 0.05, con la finalidad de determinar si los tratamientos, variables, y dimensiones planteadas (dosis

aplicadas, concentraciones) o la interacción de estos, influyen en los parámetros de turbiedad residual, color y pH.

Así mismo se ha establecido la correlación que presenta la dosis del coagulante natural utilizado y la turbiedad inicial de la muestra, esto con la finalidad de obtener una expresión que explique la dosis de coagulante natural optima y necesaria para tener la máxima remoción de la turbidez, teniendo en cuenta la turbiedad inicial de la muestra que se va a tratar. Motivo por la cual se a calculado el coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor oscila entre 0 y 1, e refleja el porcentaje de variabilidad en este caso de la dosis del coagulante adicionado y por la turbidez inicial de las muestras; de igual manera, se determinó el coeficiente de correlación (r), el cual puede tomar valores entre -1 y 1, y a su vez mide la asociación existente entre las variables de la dosis óptima y nivel de turbidez de las muestras, siendo de señalar que si r es igual a cero significa que no existe correlación entre dichas variables.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación de como la goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) afecta en los procesos de coagulación – floculación en el tratamiento de las aguas del rio Chumbao, en primer lugar, se ha determinado las características iniciales de pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, y turbidez de las aguas del rio Chumbao,

En las tablas 7, 8 y 9, se muestran los valores de las variables y/o parámetros que tienen las muestras obtenidas del rio Chumbao.

Tabla 6: Parámetros fisicoquímicos del agua del rio Chumbao

Muestreo 1	Lugar de muestreo	Parámetros y/o Variables					
		pH	Conductividad (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura de agua (°C)	STD (ppt)	Turbidez/ color de agua
1	San Jerónimo	8.37	0.29	5.55	16.7	0.13	53
2	Andahuaylas	8.77	0.175	5.9	17	0.08	58
3	Talavera	8.19	0.28	5.64	17.7	0.14	63

Fuente: Datos obtenidos con multiparámetro HI 98194, turbidímetro QH 200

En la tabla 6 se observa que el sector de San Jerónimo presenta menor turbiedad de sus aguas, mientras que los parámetros de pH, conductividad, oxígeno disuelto se mantiene casi al mismo nivel, presentándose una ligera variación.

Tabla 7: *Parámetros fisicoquímicos del agua del río Chumbao*

Muestreo 2	Lugar de muestreo	Parámetros y/o Variables					
		pH	Conductividad (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura de agua (°C)	STD (ppt)	Turbidez/color de agua
1	San Jerónimo	8.17	0.06	6.58	14.1	0	47
2	Andahuaylas	8.5	0.04	6.9	13.2	0.02	59
3	Talavera	8.5	0.47	6.65	14.1	0.05	60

Fuente: Datos obtenidos con multiparámetro HI 98194, turbidímetro QH 200

Del mismo modo que la anterior la tabla 7, muestra los resultados obtenidos en el análisis físico químico de las aguas del río Chumbao, tomados en los sectores de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera, presentando mayor turbidez 60 NTU por el sector de Talavera, la tabla muestra una variación mínima en los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura.

Tabla 8: *Parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Chumbao*

Muestreo 3	Localidad	Parámetros y/o Variables					
		pH	Conductividad (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura de agua (°C)	STD (ppt)	Turbidez/color de agua
1	San Jerónimo	8.88	0.3	5.58	16.6	0.15	47
2	Andahuaylas	8.8	0.18	5.9	16.8	0.08	54
3	Talavera	8.01	0.46	5.65	17.7	0.14	60

Fuente: Datos obtenidos con multiparámetro HI 98194, turbidímetro QH 200

La tabla 8, muestra los resultados obtenidos en el análisis físico químico de las aguas del río Chumbao, tomados en tres puntos de muestreo San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera, presentando un pH menor 8.01, mayor conductividad 0.46 y mayor turbidez 60 NTU por el

sector de Talavera, sin embargo, esta variación es muy ligera respecto a los demás sectores (San Jerónimo y Andahuaylas).

Resultados de proceso de coagulación – floculación punto de muestreo distrito de San Jerónimo.

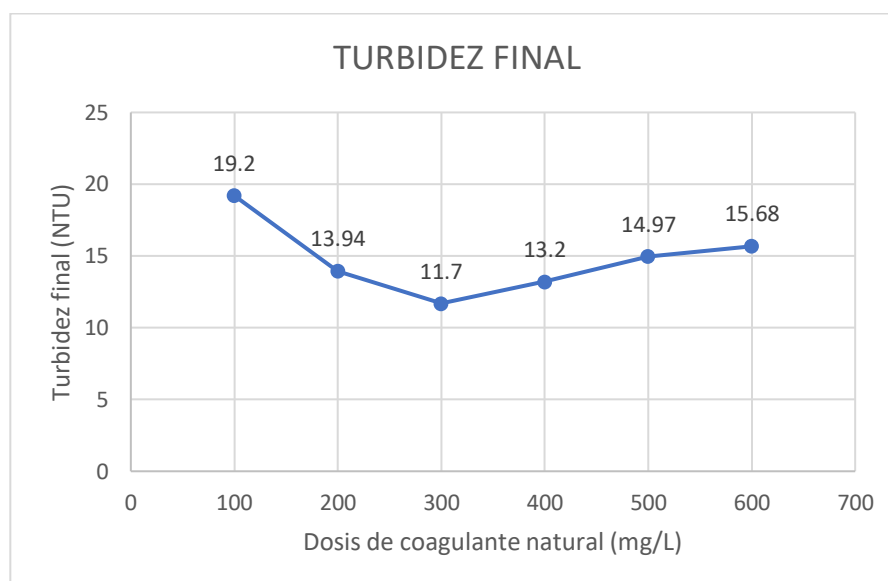
En la siguiente tabla 9 y figura 8, se muestra los resultados obtenidos en la muestra con 53 NTU de turbiedad inicial, adicionando diferentes concentraciones de coagulante.

Tabla 9: Dosis óptima en muestras de 53 NTU

Nivel de turbidez	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio (UNT)	Color final agua (UPC)	Conductividad Final (μ S/cm)
53	1	100	19.2	17	24.4
	2	200	13.94	14	13.36
	3	300	11.7	14	12.8
	4	400	13.2	14	14.2
	5	500	14.97	15	14.02
	6	600	15.68	16	19.5

Los resultados obtenidos muestran que se obtuvo mejores resultados a una concentración de 300mg/l, de coagulante adicionado, a esta concentración se ha alcanzado el nivel más bajo de turbiedad igual 11.7 NTU.

Figura 8: Dosis óptima en muestras de 53 NTU

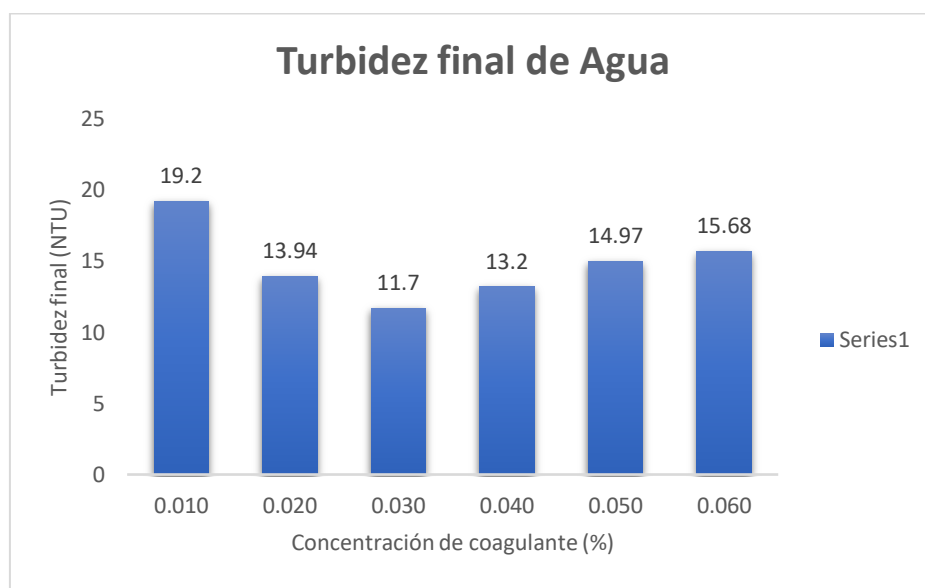


En la siguiente tabla 10, se muestra el tratamiento para un nivel de turbidez de 53 NTU, la aplicación de concentración de coagulante expresado en porcentajes.

Tabla 10: Concentración óptima de coagulante

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Concentración óptima coagulante (%)	Turbiedad residual promedio (UNT)
53	1	0.010	19.2
	2	0.020	13.94
	3	0.030	11.7
	4	0.040	13.2
	5	0.050	14.97
	6	0.060	15.68

Figura 9: Concentración óptima de coagulante



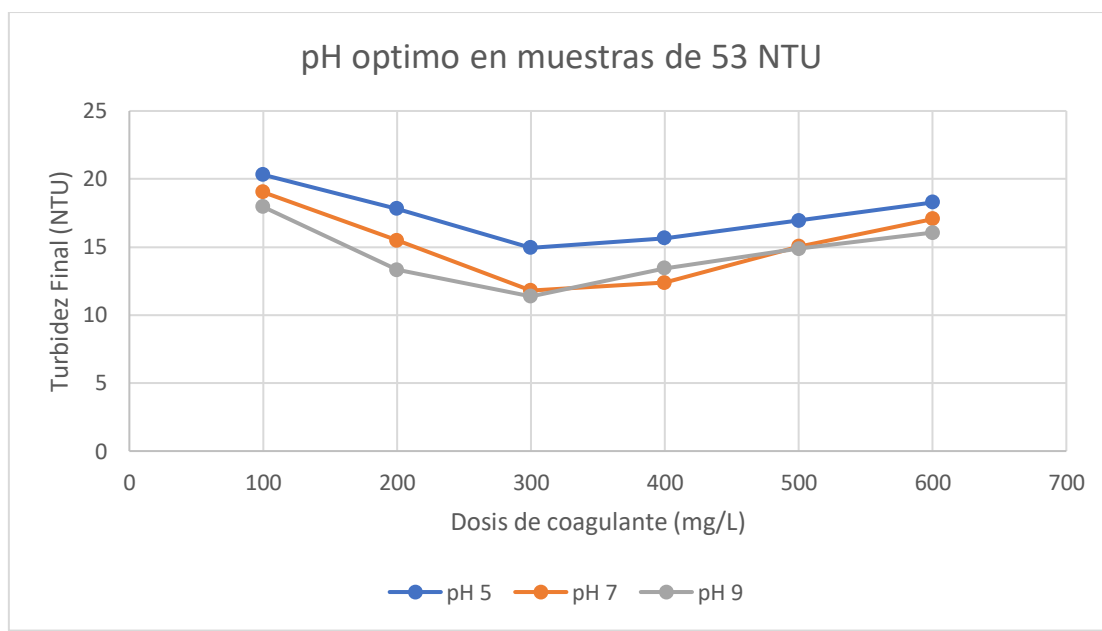
La tabla 10 y figura 9, muestran la relación que existen en cuanto a la concentración de coagulante adicionado expresado en porcentajes y la turbiedad final que resultado del tratamiento realizado.

En la tabla 11 y figura 10 se expresa la relación y resultados obtenidos en cuanto a la concentración adicionada de coagulante y pH, para el sector de San Jerónimo, donde las muestras tienen un nivel de turbidez inicial igual a 53 NTU.

Tabla 11: pH óptimo en muestras de 53 UNT

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio		
			pH 5	pH 7	pH 9
53	1	100	20.31	19.03	17.95
	2	200	17.81	15.49	13.33
	3	300	14.94	11.8	11.37
	4	400	15.66	12.37	13.43
	5	500	16.95	15.04	14.87
	6	600	18.29	17.07	16.04

Figura 10: PH óptimo en muestras de 53 NTU



De la tabla 11 y figura 10, se puede apreciar que para muestras con pH de 7 y 9 la reacción entre coagulante y muestra, resulta ser más efectiva en el proceso de coagulación y floculación, puesto que se observa resultados más bajos, que los obtenidos a un pH de 5.

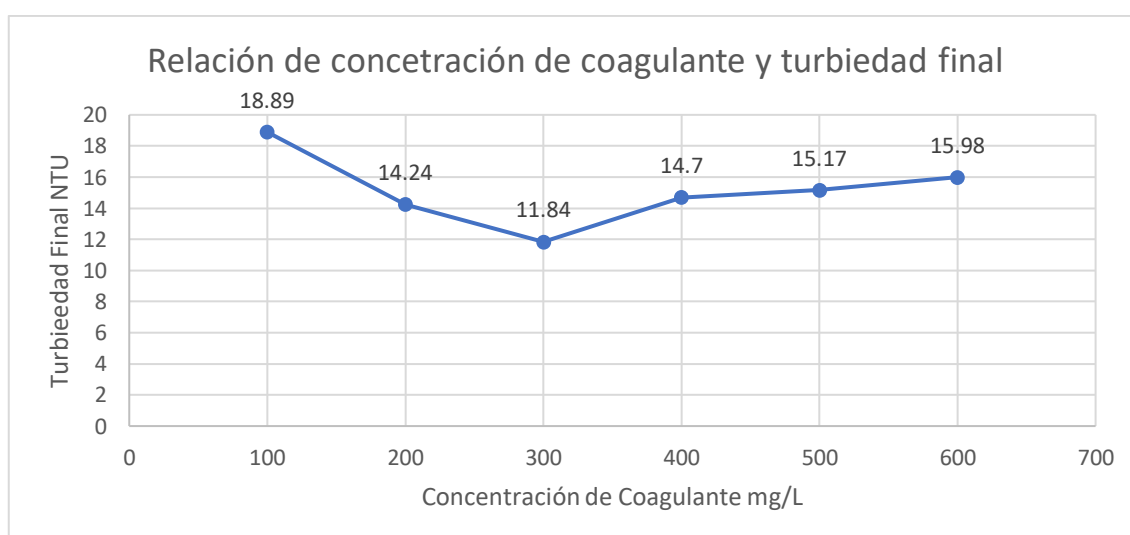
Resultados de proceso de coagulación – floculación punto de muestreo distrito de Andahuaylas

En la tabla 12 y figura 11, muestra los resultados obtenidos en la muestra con 58 NTU de turbiedad inicial, a lo que adicionando diferentes concentraciones de coagulante se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 12: Dosis óptima en muestras de 58 NTU

Nivel de turbidez	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio (UNT)	Color final agua (UPC)	Conductividad Final (μ S/cm)
58	1	100	18.89	19	23.2
	2	200	14.24	14	15.16
	3	300	11.84	14	12.32
	4	400	14.7	15	14.92
	5	500	15.17	15	16.04
	6	600	15.98	16	19.6

Figura 11: Dosis óptima en muestras de 58 NTU



La tabla 11 y figura 10, muestras resultados de turbiedad final, color final de agua, y conductividad final de la muestra obtenida en sector de Andahuaylas; de los datos obtenidos, se puede observar que para los tratamientos

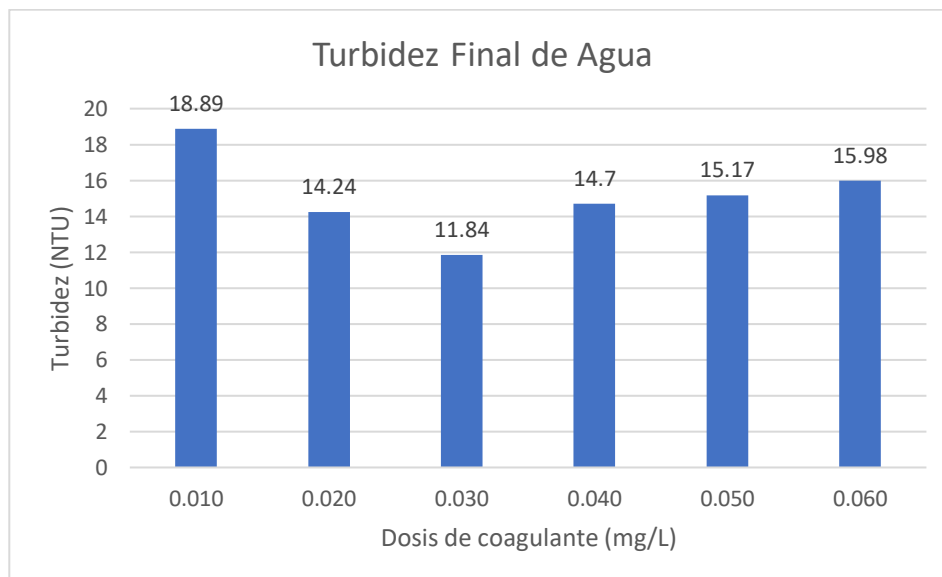
realizados se ha obtenido como niveles más bajos en cuanto a turbidez 11.84 NTU, color final del agua 14 UPC y conductividad final de 12.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Relación de concentración de coagulante adicionado expresado en porcentajes y turbiedad final de muestra obtenidos.

Tabla 13: Concentración óptima en muestras de 58 NTU

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Concentración óptima coagulante (%)	Turbiedad residual promedio (UNT)
58	1	0.010	18.89
	2	0.020	14.24
	3	0.030	11.84
	4	0.040	14.7
	5	0.050	15.17
	6	0.060	15.98

Figura 12: Concentración óptima en muestras de 58 NTU



De la tabla 13 y figura 12, podemos indicar que para concentraciones de 0.02 y 0.03 % de coagulante utilizado se ha obtenido mejores resultados en cuanto a la turbidez

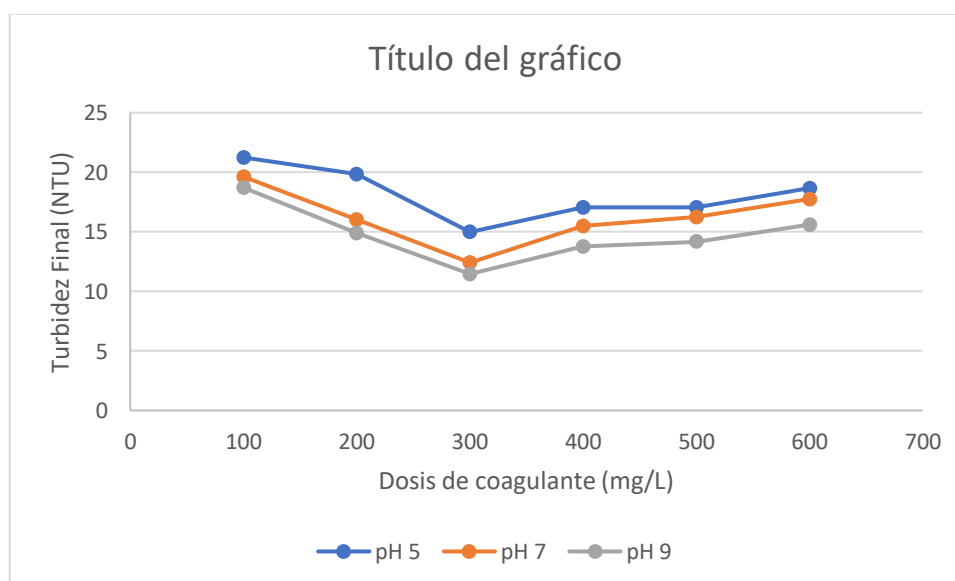
final de agua tratada, puesto que se tienen valores más bajos de turbidez 14.24 NTU y 11.84 NTU.

En la tabla 14 y figura 13 se expresa los resultados de turbidez para pH distintos, de muestra tratada, estos datos son para la muestra obtenidas en el sector de Andahuaylas, donde las muestras tienen un nivel de turbidez inicial igual a 58 NTU.

Tabla 14: Ph óptimo en muestras de 58 NTU

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio		
			pH 5	pH 7	pH 9
58	1	100	21.24	19.62	18.71
	2	200	19.82	16.02	14.88
	3	300	14.98	12.41	11.46
	4	400	17.03	15.49	13.76
	5	500	17.04	16.23	14.17
	6	600	18.64	17.74	15.6

Figura 13: Ph óptimo en muestras de 58 NTU



De la tabla 15 y figura 12, se puede apreciar que para muestras con pH de 7 y 9 la reacción entre coagulante y muestra, resulta ser más efectiva en el proceso de coagulación-floculación, puesto que se observa resultados más bajos, que los obtenidos a un pH de 5.

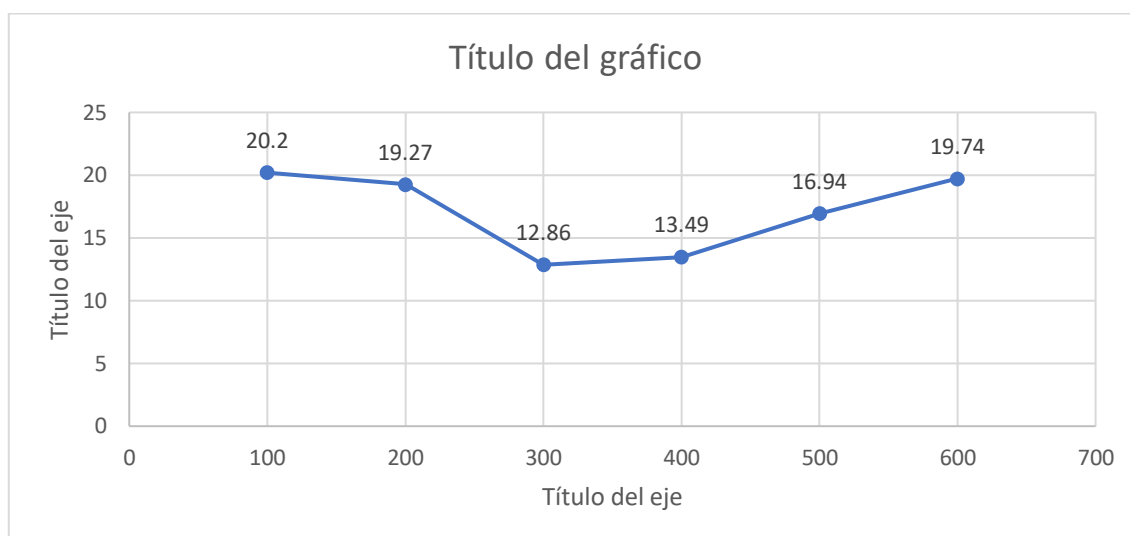
Resultados de proceso de coagulación – floculación, punto de muestreo distrito de Talavera

En la siguiente tabla 15 y figura 14, se muestra los resultados obtenidos en la muestra con 60 NTU de turbiedad inicial, recogidos en el sector de Talavera, a lo que se ha adicionando diferentes concentraciones de coagulante, se obtuvieron los siguientes resultados de turbiedad, color final de agua y conductividad final.

Tabla 15: Dosis óptima en muestras de 60 NTU

Nivel de turbidez	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio (UNT)	Color final agua (UPC)	Conductividad Final (µS/cm)
60	1	100	20.2	24	34
	2	200	19.27	22	24.46
	3	300	12.86	14	32
	4	400	13.49	14	32.92
	5	500	16.94	17	42.32
	6	600	19.74	21	34.6

Figura 14: Dosis óptima en muestras de 60 NTU



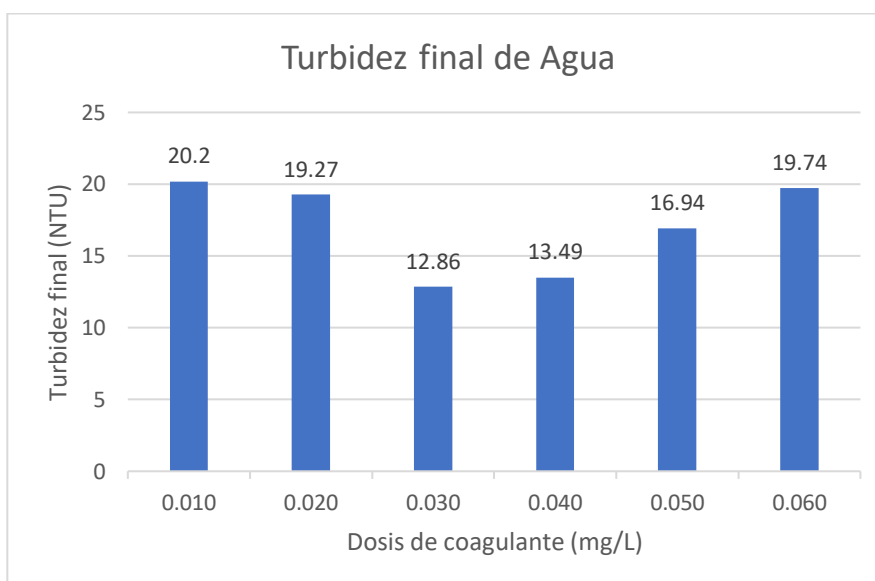
De la tabla 15 y figura 14, los valores más bajos de turbiedad final son de 12.86 y 13.49 NTU; para una muestra con una turbidez inicial de 60 NTU.

Así también se puede expresar en la tabla 17, la concentración de coagulante adicionado expresado en porcentaje, las cuales fueron adicionado a los diferentes tratamientos realizados en el punto tres, para muestra con 60 NTU de turbiedad inicial, recogidos en el sector de Talavera.

Tabla 16: Concentración óptima en muestras de 60 NTU

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Concentración óptima coagulante (%)	Turbiedad residual promedio (UNT)
60	1	0.010	20.2
	2	0.020	19.27
	3	0.030	12.86
	4	0.040	13.49
	5	0.050	16.94
	6	0.060	19.74

Figura 15: Concentración óptima en muestras de 60 NTU

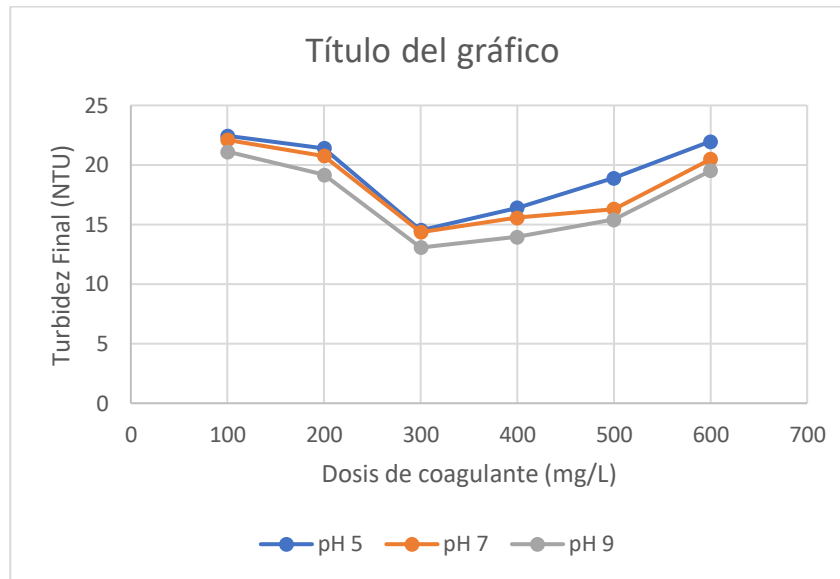


Los resultados obtenidos para una muestra de turbiedad inicial de 60 NTU, después de ser tratados con concentraciones de coagulantes variados, la tabla y figura indican que se puede obtener hasta un nivel más bajo de 12.86 NTU, dado para una concentración de coagulante adicionado igual a 0.03%. En la tabla 18 y figura 15 se expresa los resultados de turbidez para pH distintos, de muestra tratada, estos datos son para la muestra obtenidas en el sector de Talavera, donde las muestras tienen un nivel de turbidez inicial igual a 60 NTU.

Tabla 17: Ph óptimo en muestras de 60 NTU

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio		
			pH 5	pH 7	pH 9
60	1	100	22.45	22.1	21.12
	2	200	21.41	20.75	19.18
	3	300	14.52	14.36	13.07
	4	400	16.42	15.57	13.97
	5	500	18.92	16.29	15.42
	6	600	21.96	20.5	19.53

Figura 16: Ph óptimo en muestras de 60 NTU



De los datos obtenidos en la tabla 17 y figura 16, se puede indicar una vez más que para muestras con pH de 7 y 9 la reacción entre coagulante y muestra, resulta ser más efectiva en el proceso de coagulación-floculación, puesto que se observa resultados más bajos, que los obtenidos a un pH de 5, aunque esta vez con menor variación.

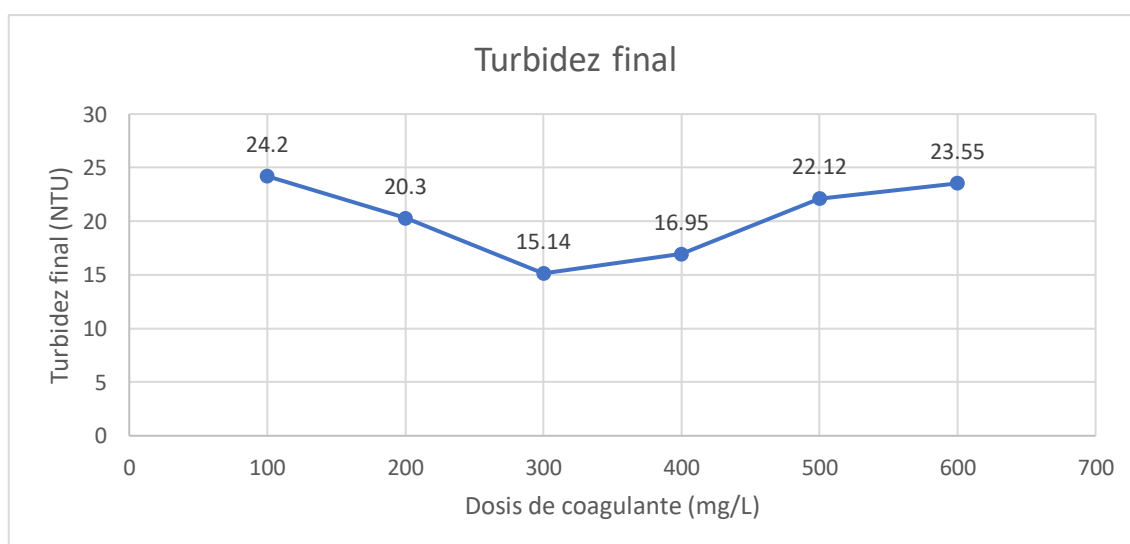
Resultados de proceso de coagulación – floculación, para 130 NTU

En la siguiente tabla 18 y figura 17, se muestra los resultados obtenidos en la muestra con 130 NTU de turbiedad inicial, estas muestras de agua fueron recogidos de aguas estancas en el sector de Talavera, a lo que se ha adicionando diferentes concentraciones de coagulante, se obtuvieron los siguientes resultados de turbiedad, color final de agua y conductividad final.

Tabla 18: Dosis óptima en muestras de 130 NTU

Nivel de turbiedad	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio (UNT)	Color final agua (UPC)	Conductividad Final (μ S/cm)
130	1	100	24.2	25	36
	2	200	20.3	22	27
	3	300	15.14	17	31
	4	400	16.95	17	34.2
	5	500	22.12	23	32.4
	6	600	23.55	25	34.5

Figura 17: Dosis óptima en muestras de 130 NTU



Así también se puede apreciar que en la tabla 18 y figura 17, el comportamiento del proceso de coagulación-floculación muestra valores de turbiedad más bajos de 15.14 NTU, para concentraciones de coagulante igual

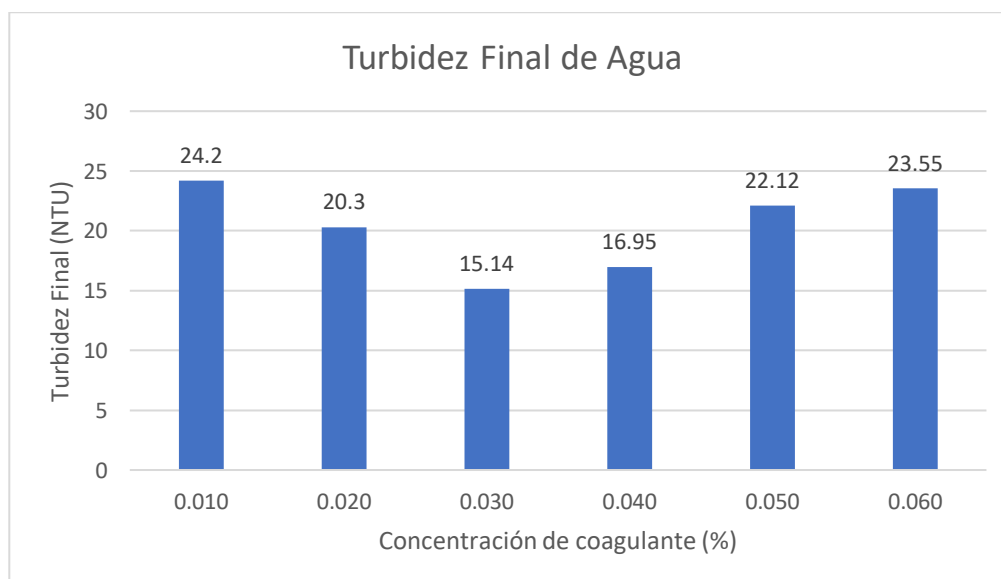
a 300 mg/L, y valores más altos de turbiedad igual a 24.2 NTU, para concentraciones de coagulante igual a 100 mg/L.

La tabla 20 muestra la expresión en porcentaje de dosis adicionado a los diferentes tratamientos realizados en el punto tres, para muestra con 130 NTU de turbiedad inicial, recogidos en el sector de Talavera.

Tabla 19: Concentración óptima en muestras de 130 NTU

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Concentración óptima coagulante (%)	Turbiedad residual promedio (UNT)
130	1	0.010	24.2
	2	0.020	20.3
	3	0.030	15.14
	4	0.040	16.95
	5	0.050	22.12
	6	0.060	23.55

Figura 18: Concentración óptima en muestras de 130 NTU



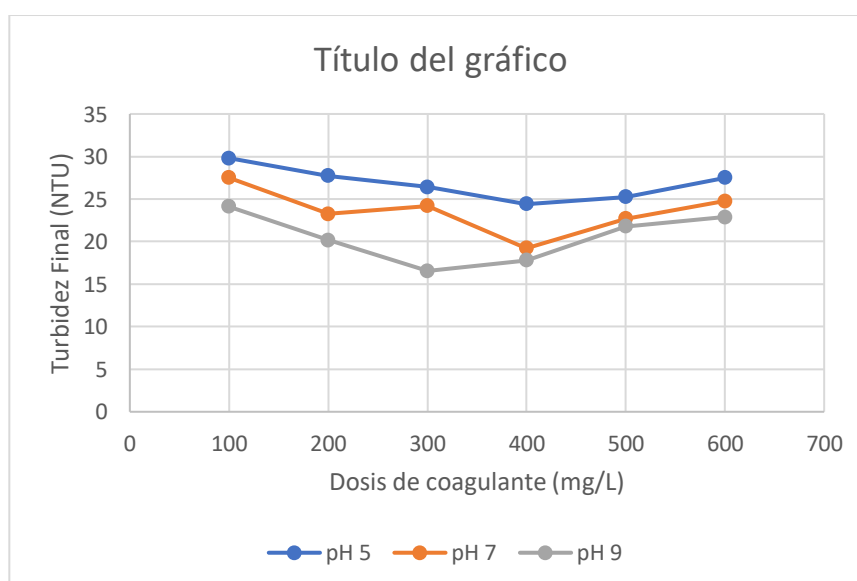
La figura 18 muestra que para concentraciones de coagulante de 0.010% y 0.060% los valores finales de turbidez son más altos, mientras que para una concentración de 0.030% Y 0.040% de coagulante usado los valores de turbiedad final son más bajos igual 15.14 y 16.95 NTU, respectivamente.

En la tabla 20 y figura 19 se expresa los resultados de turbidez para pH distintos, de muestra tratada, estos datos son para la muestra obtenidas en el sector de Talavera, donde las muestras tienen un nivel de turbidez inicial igual a 130 NTU.

Tabla 20: Ph óptimo en muestras de 130 NTU

Nivel de turbidez inicial	N° Jarra	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio		
			pH 5	pH 7	pH 9
130	1	100	29.81	27.5	24.1
	2	200	27.73	23.24	20.17
	3	300	26.41	24.2	16.55
	4	400	24.4	19.21	17.81
	5	500	25.24	22.7	21.79
	6	600	27.5	24.76	22.86

Figura 19: Ph óptimo en muestras de 130 NTU



En este caso la figura 19 muestra que los resultados más bajos son para muestras con Ph de 9, seguido por las muestras con pH de 7 y finalmente las muestras con un pH de 5, tiene valores mayores de turbidez final,

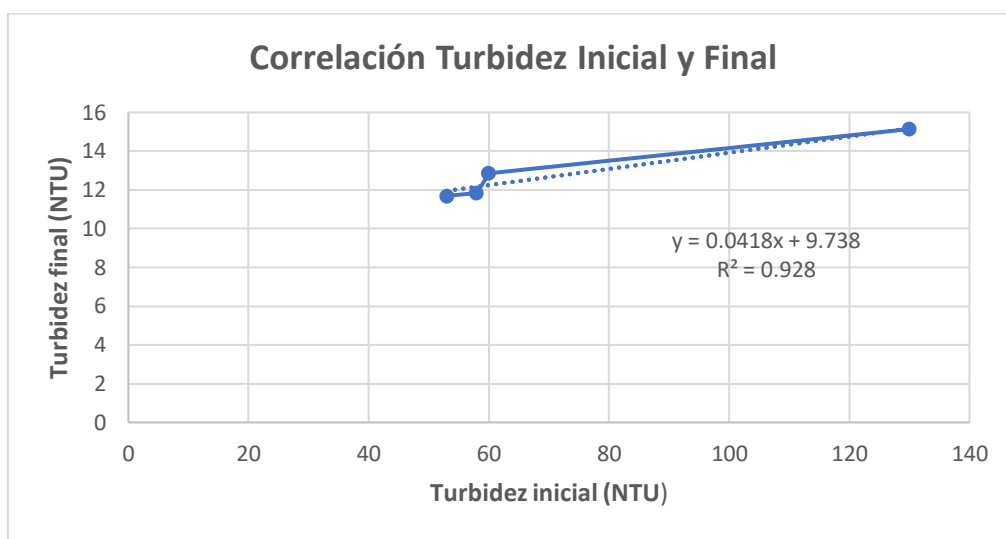
Haciendo un resumen de todo el proceso de tratamiento realizado a diferentes concentraciones; obteniendo como la concentración más óptima y adecuada a la que se debe realizar el proceso de tratamiento de coagulación y floculación del agua fue de 300mg/L. en todas las pruebas se ha obtenido mejores resultados a esta concentración, como muestra el siguiente cuadro.

Tabla 21: Resultados más óptimos de cada muestra (53, 58, 60 y 130 NTU)

Turbiedad inicial (UNT)	Dosis de coagulante (mg/L)	Turbiedad residual promedio (UNT)	Porcentaje de remoción de turbidez (UPC)	Color final agua (UPC)	Conductividad Final (μS/cm)
53	300	11.7	77.92	14	12.8
58	300	11.84	79.59	14	12.32
60	300	12.86	78.57	14	32
130	300	15.14	88.35	17	31

Par verificar el grado de variabilidad y grado de asociación lineal que existe entre las variables de turbidez y concentración de coagulante utilizado, se procedió a realizar la gráfica de coeficiente de correlación lineal, obteniéndose un $R^2=0.928$, lo que significa que existe una relación significativa de las variables.

Figura 20: Correlación de turbidez inicial y final



4.1. Discusión de resultados

En el año 2016 Moreno; realizó una investigación poniendo a prueba coagulantes orgánicos “Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa”, para el tratamiento de las aguas del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba – Cajabamba. “Una vez efectuadas las pruebas se llegó a la conclusión que la disminución de la turbidez del agua que consume la población de Chuquibamba – Cajabamba, se realizó de manera favorable, logrando reducir la turbidez en un 61.09% al usar Caesalpinia spinosa”.

Asimismo, Villabona, et al (2013); Realizaron la evaluación de la capacidad coagulante de la tuna en una investigación realizada “Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural” en la que demostraron que: La actividad coagulante presento un máximo valor para una concentración de 85.4% usando como dosis 50

mg/l y 40 rpm, y un valor mínimo fue de 52.26% cuando la dosis fue de 75 mg/l y 30 rpm”.

Martínez & Cartagena; (2012): En un trabajo de tesis denominado “-Evaluación de poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas”. Los autores des pues de realizar el experimento mediante una prueba de jarras, demostraron que el coagulante natural alcanzo una eficiencia satisfactoria de 84.52%, además logro remover un gran porcentaje de turbidez 85.76% y de color 57.14% presente en el agua cruda, utilizando dosis de 50 mg/l y una velocidad de 40 rpm

En la evaluación realizada del poder coagulante de la goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*), en las aguas del rio Chumbao, se ha observado que fue de 53 NTU hasta 11.7 NTU, que corresponde a un valor de 77.92 % de 58 NTU hasta 11.84 que corresponde a 79.59%, de 60 NTU a 12.86 NTU que corresponde a 78.57% y para 130 NTU la turbidez ha disminuido hasta un 88.35%.

Revelo, et al 2015. Mencionan que la cantidad de coagulante que se debe usar es de gran importancia, puesto que depende en gran medida de la forma adecuada de manejo de las cantidades de sustancia, para poder obtenerlos mejores resultados esperados, Revelo indica que la cantidad de coagulante a

usar debe estar considerada en gramos, dependiendo de la cantidad de muestra de agua que se está tratando en la práctica.

Mojica, et al 2016. Mencionan también que “el tiempo de contacto en el que interactúan tanto el coagulante-floculante vegetal y las muestras de agua a usar, debe ser vigilado constantemente”.

Así mismo Olivero, et al 2014. Indicaron que la “velocidad de agitación se toma en cuenta en el caso de acelerar el proceso de floculación de los coloides, ya que estos por su pequeño tamaño son de difícil sedimentación, ayudando a la aglomeración rápida de las partículas que causan la turbidez en el agua a tratar”

Es así que estos tres factores: tiempo de proceso de coagulación – floculación, la concentración de coagulante utilizado y el nivel de velocidad que se utiliza, en proceso de tratamiento de agua, son factores fundamentales, que se tienen que tomar en cuenta, y tener el cuidado minucioso sobre ellos, el descuido mínimo de estos factores, hacen que la reacción no se pueda desarrollarse como menciona la teoría.

4.2. Prueba de hipótesis

Una prueba de hipótesis (o prueba de significancia) es un procedimiento estándar para poder probar una aseveración acerca de una propiedad de una población Triola, (2009). En cualquier tipo de prueba estadística se compara el valor de un estadístico con su valor teórico en caso de seguir una distribución determinada. Los conceptos relacionados con una prueba de hipótesis son: Valor calculado de un estadístico, valor crítico de un estadístico, hipótesis nula (H_0), hipótesis alternativa (H_1) (Arriaza Balmón,(2003).

H₀: La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) no tiene un efecto significativo en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

H₁: La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) tiene un efecto significativo en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

Se ha realizado una prueba de hipótesis ANOVA.

1. Turbiedad

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots$.

La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) no tiene un efecto significativo en la turbiedad en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

H₁: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 = \dots$.

La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) si tiene un efecto significativo en la turbiedad en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

Si, $F_C \geq F_a$, gln, glp , se rechaza la H₀

Donde:

F_C : efe calculada (obtenida por ANOVA)

F_a : Efe crítica (obtenida por Excel)

gln : Grados de libertad del tratamiento

glp : Grados de libertad del error

Según muestra los resultados de la prueba de hipótesis realizado, la comparación de medias nos indica que son significativamente diferentes

por lo que se concluye que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

ANOVA: Turbiedad final vs. Turbiedad inicial; Tratamiento

ANOVA: Turbiedad residual promedio (UN vs. N° Jarra; Nivel de turbidez)

Factor	Tipo	Niveles	Valores
N° Jarra	fijo	6	1; 2; 3; 4; 5; 6
Nivel de turbidez	fijo	3	53; 58; 60

Análisis de varianza de Turbiedad residual promedio (UN)

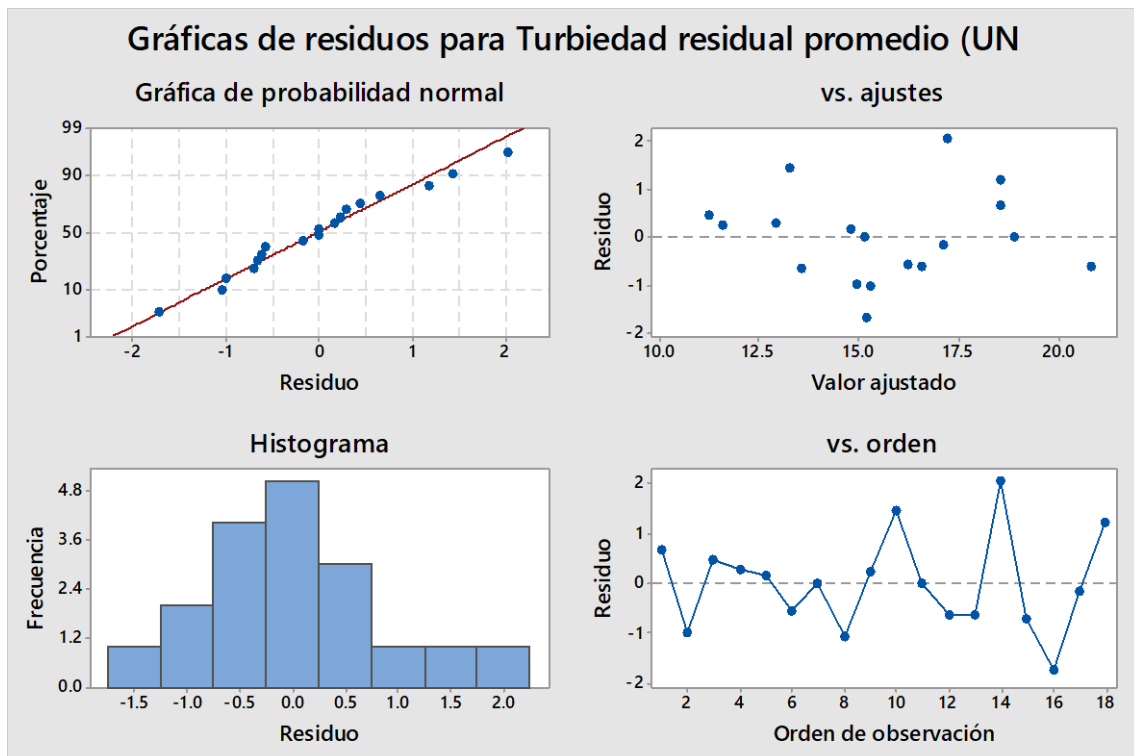
Fuente	GL	SC	MC	F	P
N° Jarra	5	96.955	19.391	12.84	0.000
Nivel de turbidez	2	18.426	9.213	6.10	0.019
Error	10	15.101	1.510		
Total	17	130.482			

S = 1.22884 R-cuad. = 88.43% R-cuad. (ajustado) = 80.33%

La teoría indica que si el valor de P es menor que alfa entonces se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), en los datos obtenidos se observa que P= 0.019, que resulta ser menor que 0.05, por lo que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Así mismo se observa un R – cuad. De 88.43%, que nos indica que el modelo se ajusta de mejor manera a la prueba realizada

Figura 21: Prueba de hipótesis de turbidez



La figura 21, muestra una gráfica de probabilidad normal o distribución de datos normales, puesto que los puntos se alinean sobre una misma línea; y respecto a la gráfica de varianzas los puntos están concentrados sobre un punto, con una corta variación de -2.0 a 2.0, por lo que cumple con los requisitos para realizar el análisis de varianza, presentando un rendimiento igual.

Se calcula el valor de la F crítica (efe de Fisher) y GL (grados de libertad), haciendo uso de la tabla Excel:

Efe crítica de número de Jarra

$$\text{DISTR.F.INV}(5\%;5,10) = 3.32583453$$

Efe crítica de la turbidez del agua

$$\text{DISTR.F.INV}(5\%;5,10) = 4.10282102$$

De los datos obtenidos se observa que $F_C = 6.10$ y $F_{\alpha} = 4.10282102$, de lo que $F_C \geq F_{\alpha}$, por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo así que al menos una media de las pruebas realizadas es diferente.

Prueba de Tukey

ANOVA unidireccional: Turbiedad residual promedio (UN vs. Dosis de coagulante (mg/L))

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Dosis de coagulante (mg/L)	6	100; 200; 300; 400; 500; 600

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de coagulante (mg/L)	5	96.96	19.391	6.94	0.003
Error	12	33.53	2.794		
Total	17	130.48			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.67150	74.31%	63.60%	42.19%

Medias

Dosis de coagulante (mg/L)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
100	3	19.430	0.685	(17.327; 21.533)
200	3	15.82	2.99	(13.71; 17.92)
300	3	12.133	0.633	(10.031; 14.236)
400	3	13.797	0.796	(11.694; 15.899)
500	3	15.693	1.084	(13.591; 17.796)
600	3	17.13	2.26	(15.03; 19.24)

Desv.Est. agrupada = 1.67150

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Dosis de coagulante (mg/L)	N	Media	Agrupación
----------------------------	---	-------	------------

100	3	19.430	A
600	3	17.13	A B
200	3	15.82	A B C
500	3	15.693	A B C
400	3	13.797	B C
300	3	12.133	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 22: Distribución normal de turbidez final - Prueba de Tukey

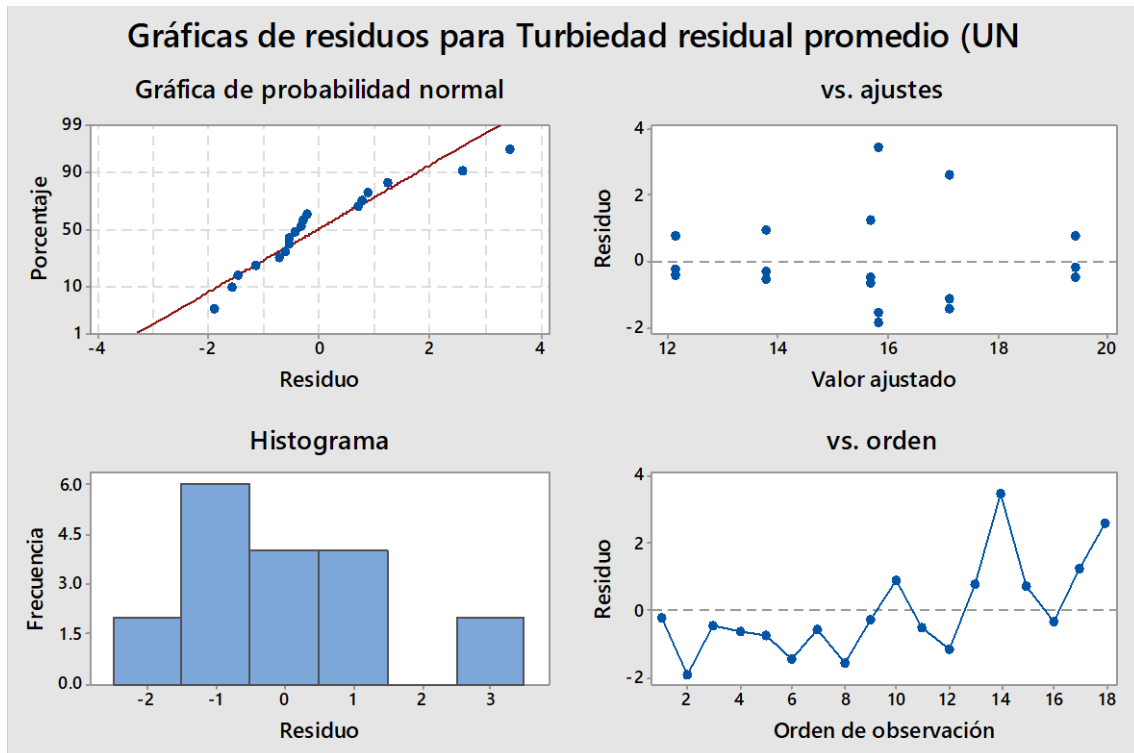
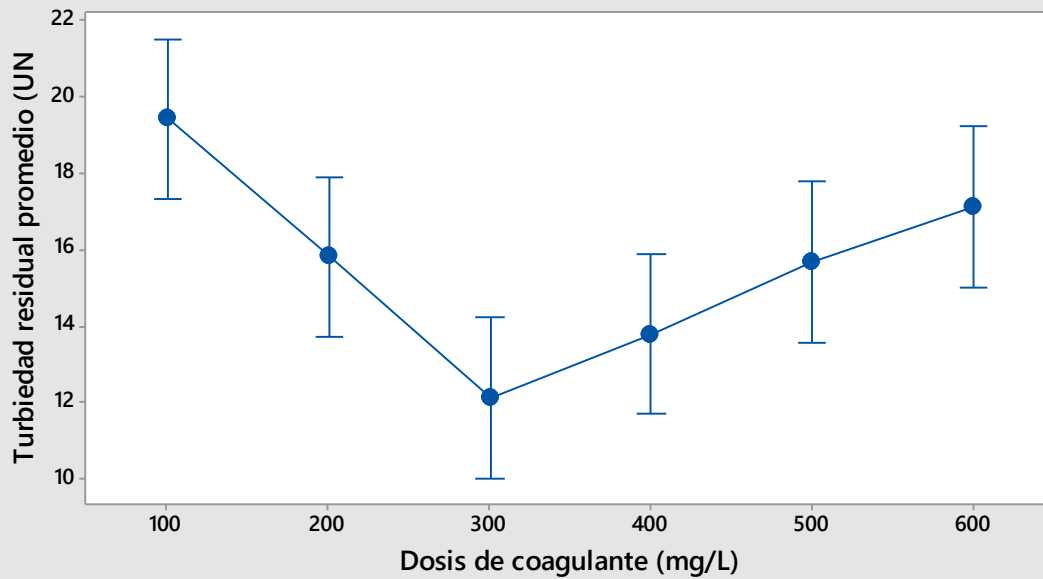


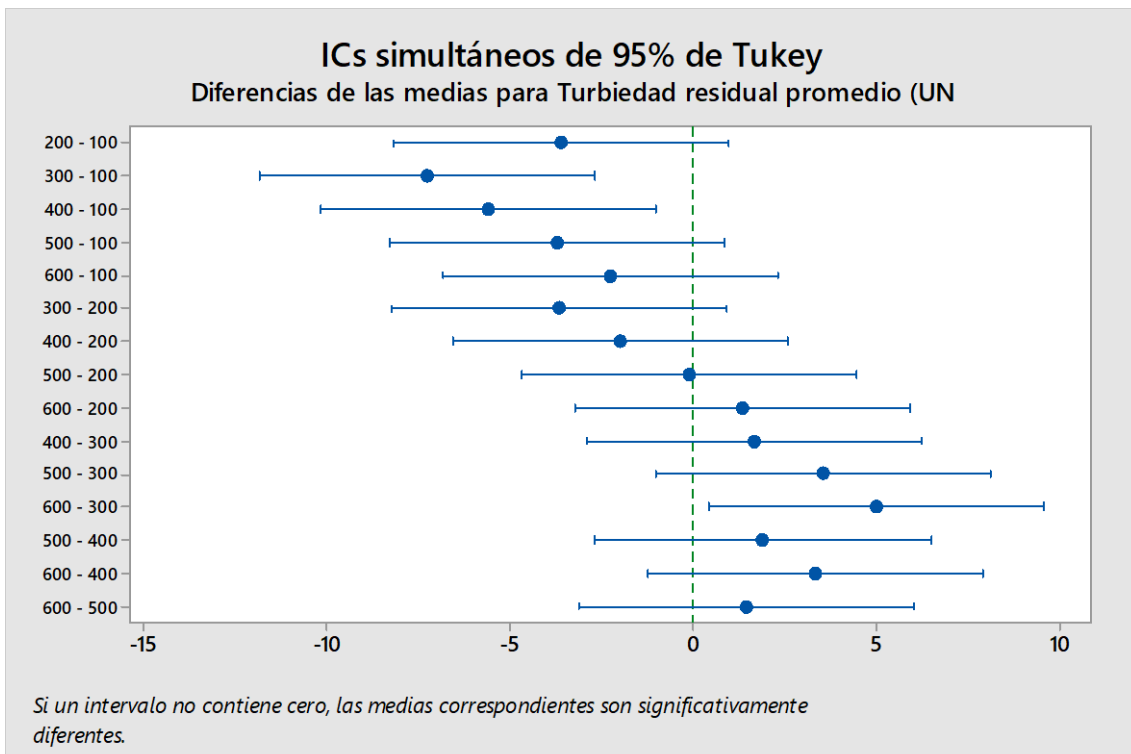
Figura 23: Intervalos de turbiedad residual - Prueba de Tukey

de intervalos de Turbiedad residual promedio (UN vs. Dosis de coagulante
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Figura 24: Índice de confianza simultáneos de turbiedad - Prueba de Tukey



Los datos y gráficas muestran que las pruebas tienen una diferencia de medias significativas. Por lo que se acepta la hipótesis alterna la goma extraída

de tara tiene un efecto significativo sobre la turbiedad en el tratamiento de las aguas residuales.

2. Color

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots$.

H₀: La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) no tiene un efecto significativo en el color en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

H₁: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 = \dots$.

H₁: La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) si tiene un efecto significativo en el color en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

Según muestra los resultados de la prueba de hipótesis realizado en base a los efectos que se obtuvo en el color final del, la comparación de medias nos indica que son significativamente diferentes por lo que se concluye que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

ANOVA: Color final agua (UPC) vs. N° Jarra; Nivel de turbidez

Factor	Tipo	Niveles	Valores
N° Jarra	fijo	6	1; 2; 3; 4; 5; 6
Nivel de turbidez	fijo	3	53; 58; 60

Análisis de varianza de Color final agua (UPC)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
N° Jarra	5	75.611	15.122	3.67	0.038
Nivel de turbidez	2	47.444	23.722	5.75	0.022
Error	10	41.222	4.122		
Total	17	164.278			

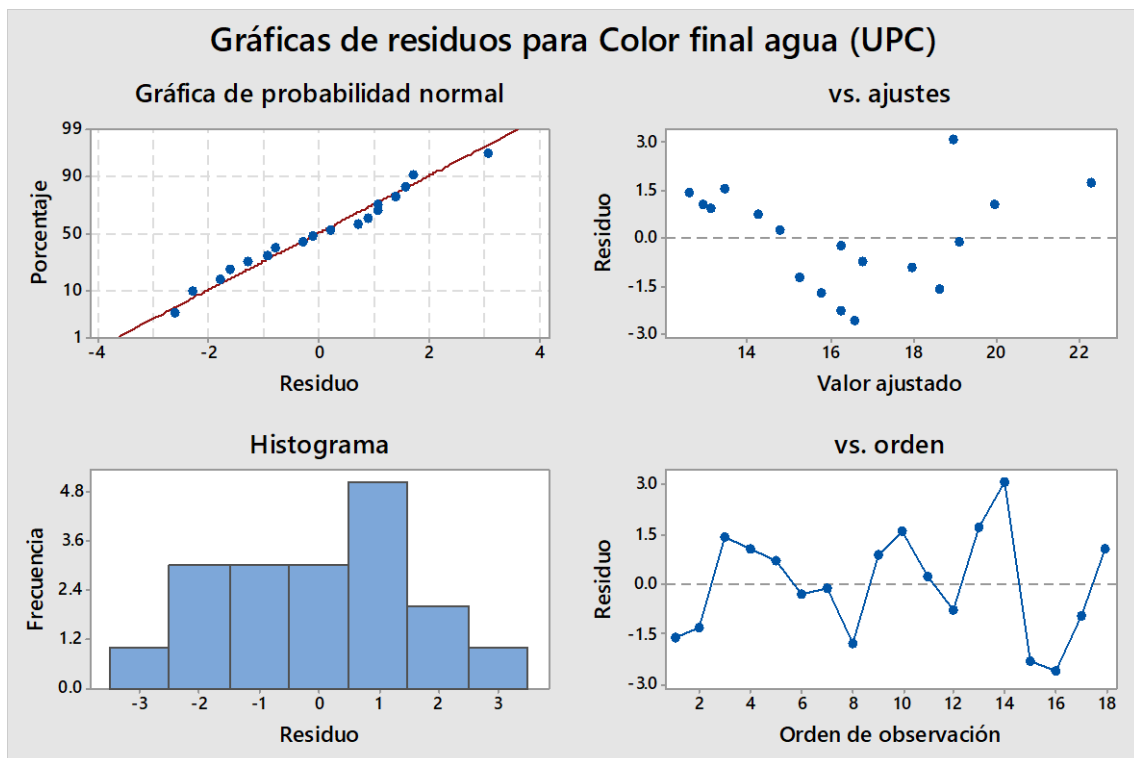
S = 2.03033 R-cuad. = 74.91% R-cuad. (ajustado) = 57.34%

Como el valor de P es menor que alfa entonces se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna (H₁), en los datos

obtenidos se observa que $P= 0.022$, que resulta ser menor que 0.05 , por lo que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Así mismo se observa un $R - \text{cuad.}$ De 74.91% , que nos indica que el modelo se ajusta de mejor manera a la prueba realizada.

Figura 25: Prueba de hipótesis color final de agua residual



La figura 25, muestra una gráfica de probabilidad normal o distribución de datos normales, puesto que los puntos se alinean sobre una misma línea; y respecto a la gráfica de varianzas los puntos están concentrados sobre un punto, con una corta variación de -3.0 a 3.0 , por lo que cumple con los requisitos para realizar el análisis de varianza, presentando un rendimiento igual.

Se calcula el valor de la F crítica (efe de Fisher) y GL (grados de libertad), haciendo uso de la tabla Excel:

Efe crítica de la turbidez del agua

$$\text{DISTR.F.INV}(5\%;2,10) = 4.10282102$$

De los datos obtenidos se observa que $F_C = 5.75$ y $F_a = 4.10282102$, de lo que $F_C \geq F_a$, por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo así que al menos una media de las pruebas realizadas es diferente.

Prueba de Tukey

ANOVA unidireccional: Color final agua (UPC) vs. Dosis de coagulante (mg/L)

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Dosis de coagulante (mg/L)	6	100; 200; 300; 400; 500; 600

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de coagulante (mg/L)	5	75.61	15.122	2.05	0.144
Error	12	88.67	7.389		
Total	17	164.28			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.71825	46.03%	23.54%	0.00%

Medias

Dosis de coagulante (mg/L)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
100	3	20.00	3.61	(16.58; 23.42)
200	3	16.67	4.62	(13.25; 20.09)
300	3	14.00	0.00	(10.58; 17.42)
400	3	14.333	0.577	(10.914; 17.753)

500	3	15.667	1.155	(12.247; 19.086)
600	3	17.67	2.89	(14.25; 21.09)

Desv.Est. agrupada = 2.71825

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Dosis de coagulante (mg/L)	N	Media	Agrupación
100	3	20.00	A
600	3	17.67	A
200	3	16.67	A
500	3	15.667	A
400	3	14.333	A
300	3	14.00	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 26: Distribución normal para color final de agua - Prueba de Tukey

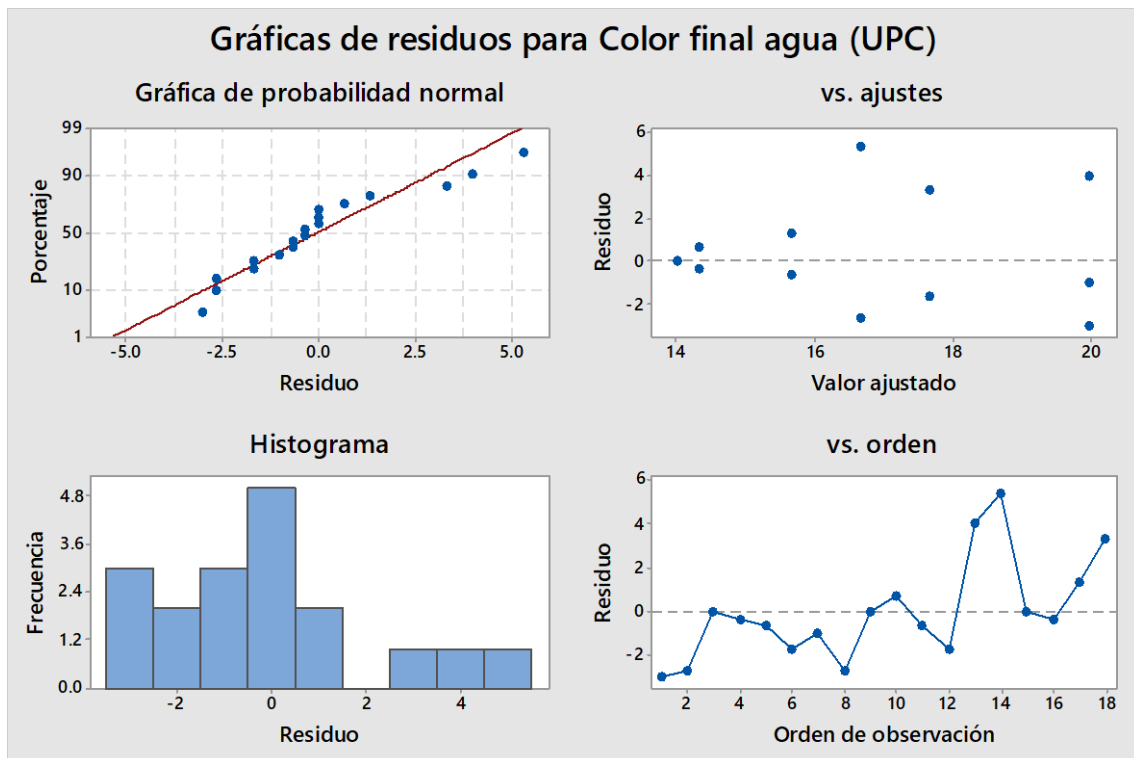
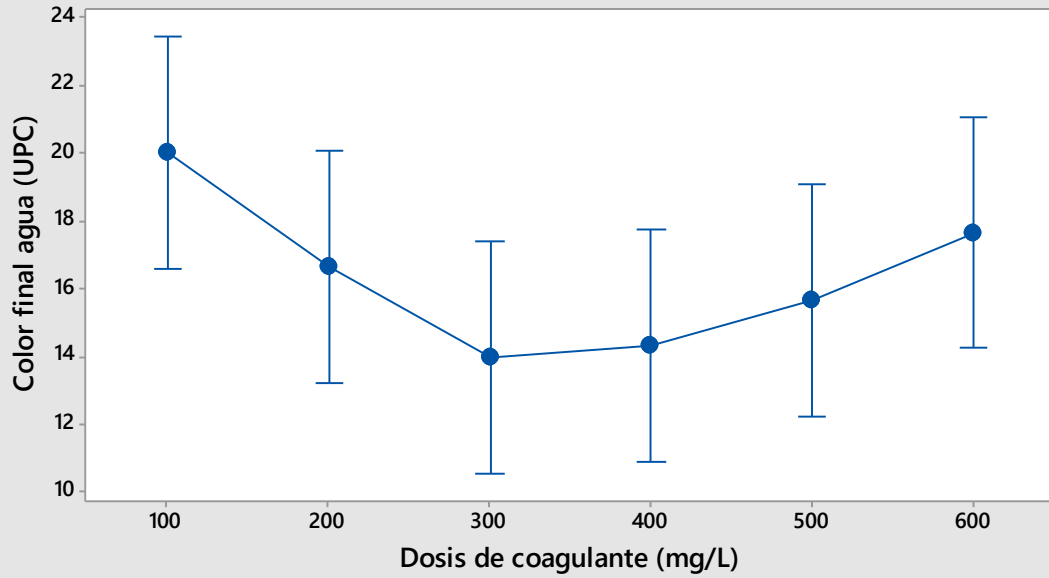


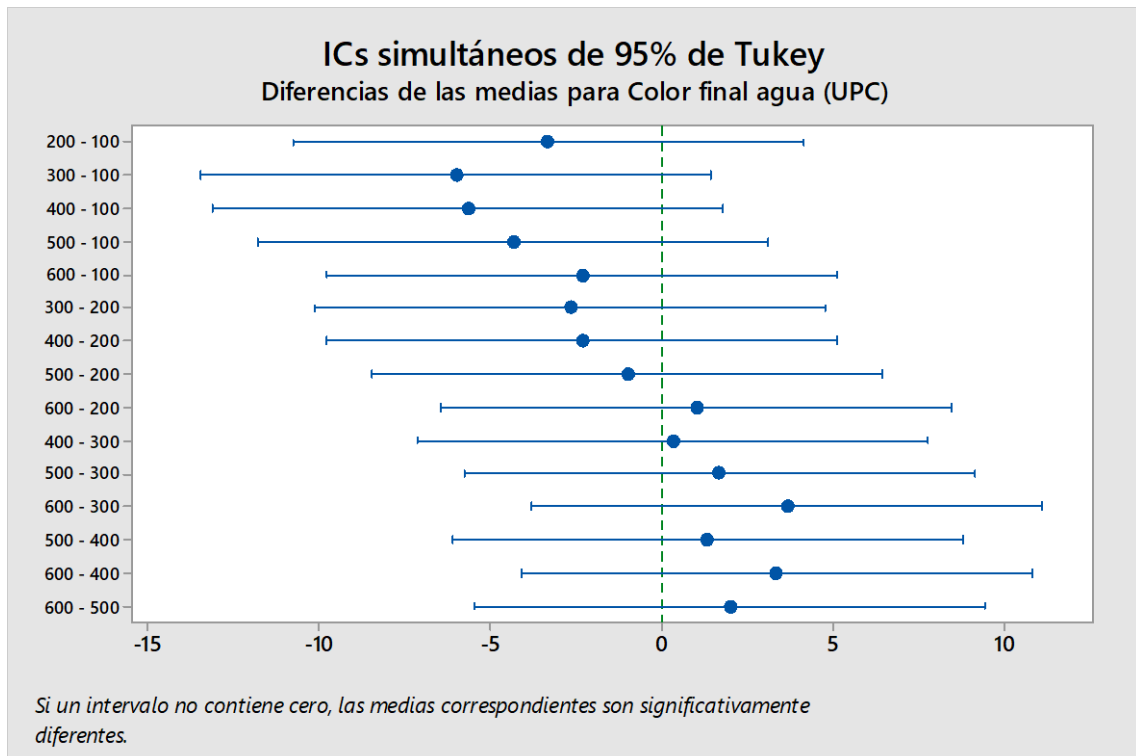
Figura 27: Intervalos de color final de agua - Prueba de Tukey

Gráfica de intervalos de Color final agua (UPC) vs. Dosis de coagulante (mg/L)
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

Figura 28: Índice de confianza simultánea - Prueba de Tukey



Los datos y gráficas muestran que las pruebas tienen una diferencia de medias significativas. Por lo que se acepta la hipótesis alterna la goma extraída de tara tiene un efecto significativo sobre el color del agua en el tratamiento de las aguas residuales.

3. Conductividad

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots$.

La goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) no tiene un efecto significativo en la conductividad en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

H₁: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 = \dots$.

H₁: La goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) si tiene un efecto significativo en la conductividad en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao.

Según muestra los resultados de la prueba de hipótesis realizado, la comparación de medias de los resultados obtenidos de concentración de coagulante utilizado y conductividad final, los resultados indica que existe una ligera significancia entre los variables, sin embargo, son diferentes, motivo por el cual se puede concluir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

ANOVA: Conductividad Final (µS/cm) vs. N° Jarra; Nivel de turbidez

Factor	Tipo	Niveles	Valores
N° Jarra	fijo	6	1; 2; 3; 4; 5; 6
Nivel de turbidez	fijo	3	53; 58; 60

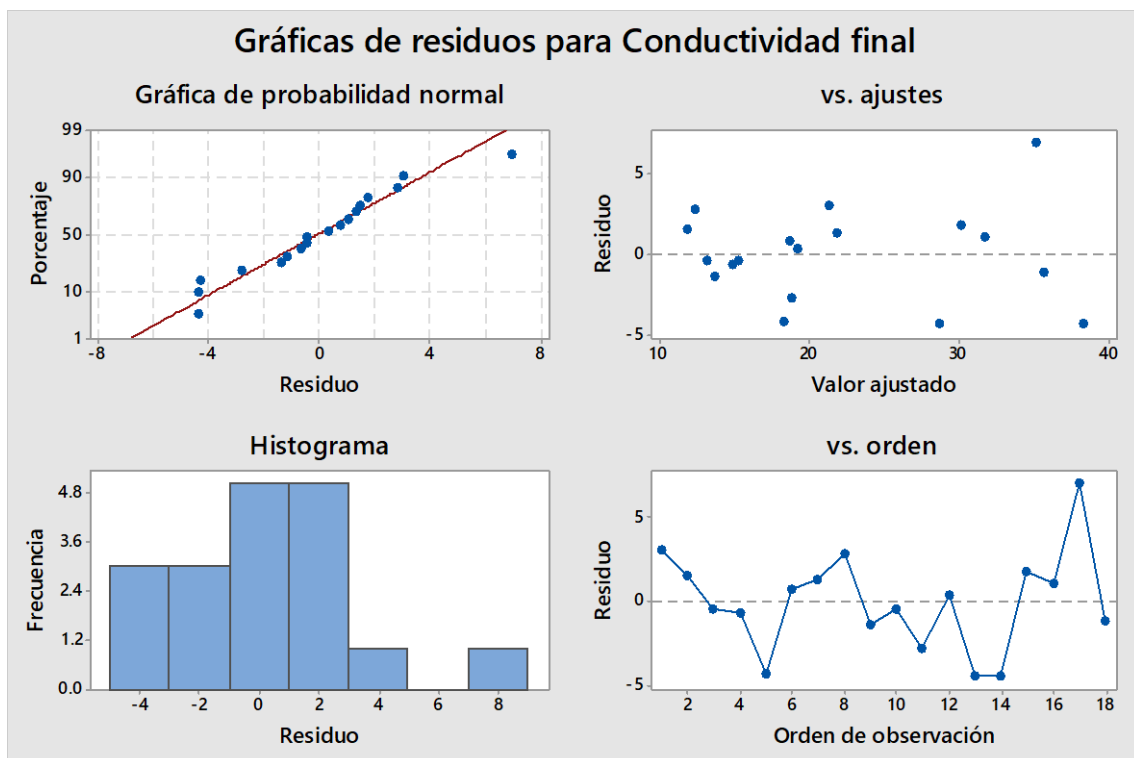
Análisis de varianza de Conductividad Final ($\mu\text{S/cm}$)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
N° Jarra	5	201.66	40.33	2.81	0.078
Nivel de turbidez	2	1123.87	561.94	39.09	0.000
Error	10	143.77	14.38		
Total	17	1469.31			

S = 3.79173 R-cuad. = 90.21% R-cuad. (ajustado) = 83.37%

En la siguiente figura se muestra, los coeficientes de correlación, variabilidad de las variables en tratamiento (concentración de coagulante y conductividad final del agua tratada).

Figura 29: Distribución normal de conductividad de agua residual



La figura 29, muestra una gráfica de probabilidad normal o distribución de datos normales, puesto que los puntos se alinean sobre una misma línea; y respecto a la gráfica de varianzas los puntos están concentrados sobre un punto, con una corta variación de -5.0 a 5.0, por lo

que cumple con los requisitos para realizar el análisis de varianza, presentando un rendimiento igual.

Se calcula el valor de la F crítica (efe de Fisher) y GL (grados de libertad), haciendo uso de la tabla Excel:

Efe crítica de la turbidez del agua
 DISTRI.F.INV(5%;2,10) = 4.10282102

De los datos obtenidos se observa que $F_C = 39$ y $F_a = 4.10282102$, de lo que $F_C \geq F_a$, por lo que se rechaza la hipótesis nula, siendo así que al menos una media de las pruebas realizadas es diferente.

Se realiza la prueba de Tukey

ANOVA unidireccional: Conductividad Final ($\mu\text{S/cm}$) vs. Dosis de coagulante (mg/L)

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Dosis de coagulante (mg/L)	6	100; 200; 300; 400; 500; 600

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de coagulante (mg/L)	5	201.7	40.33	0.38	0.852
Error	12	1267.6	105.64		
Total	17	1469.3			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
10.2780	13.72%	0.00%	0.00%

Medias

Dosis de coagulante

(mg/L)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
100	3	27.20	5.92	(14.27; 40.13)
200	3	17.66	5.96	(4.73; 30.59)
300	3	19.04	11.23	(6.11; 31.97)
400	3	20.68	10.61	(7.75; 33.61)
500	3	24.13	15.79	(11.20; 37.06)
600	3	24.57	8.69	(11.64; 37.50)

Desv.Est. agrupada = 10.2780

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Dosis de coagulante

(mg/L)	N	Media	Agrupación
100	3	27.20	A
600	3	24.57	A
500	3	24.13	A
400	3	20.68	A
300	3	19.04	A
200	3	17.66	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 30: Distribución normal conductividad final - Prueba de Tukey

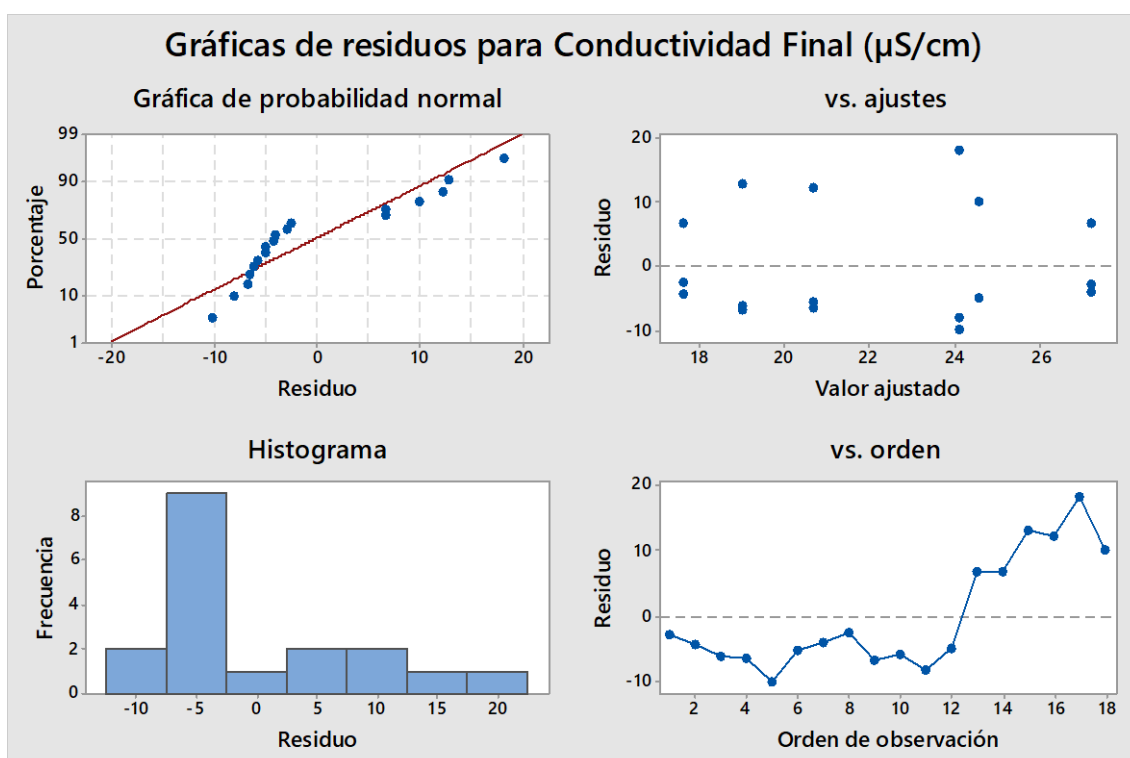


Figura 31: Intervalos de conductividad final de agua - Prueba de Tukey

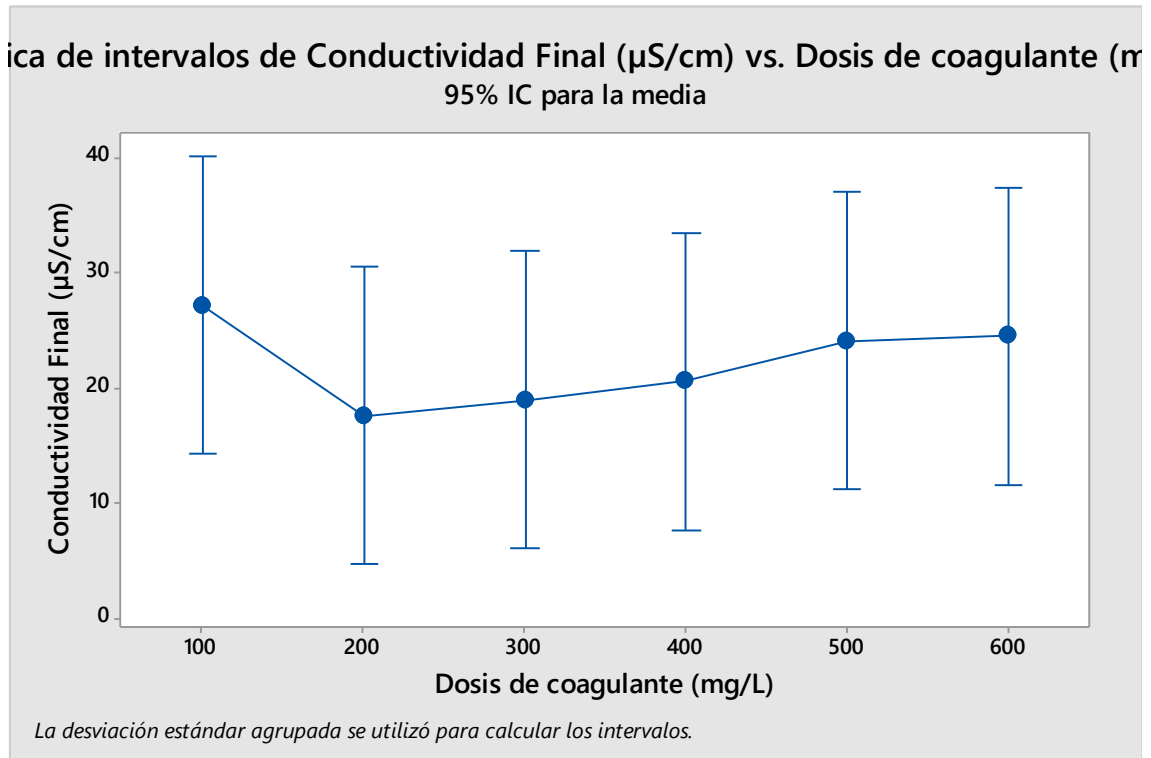
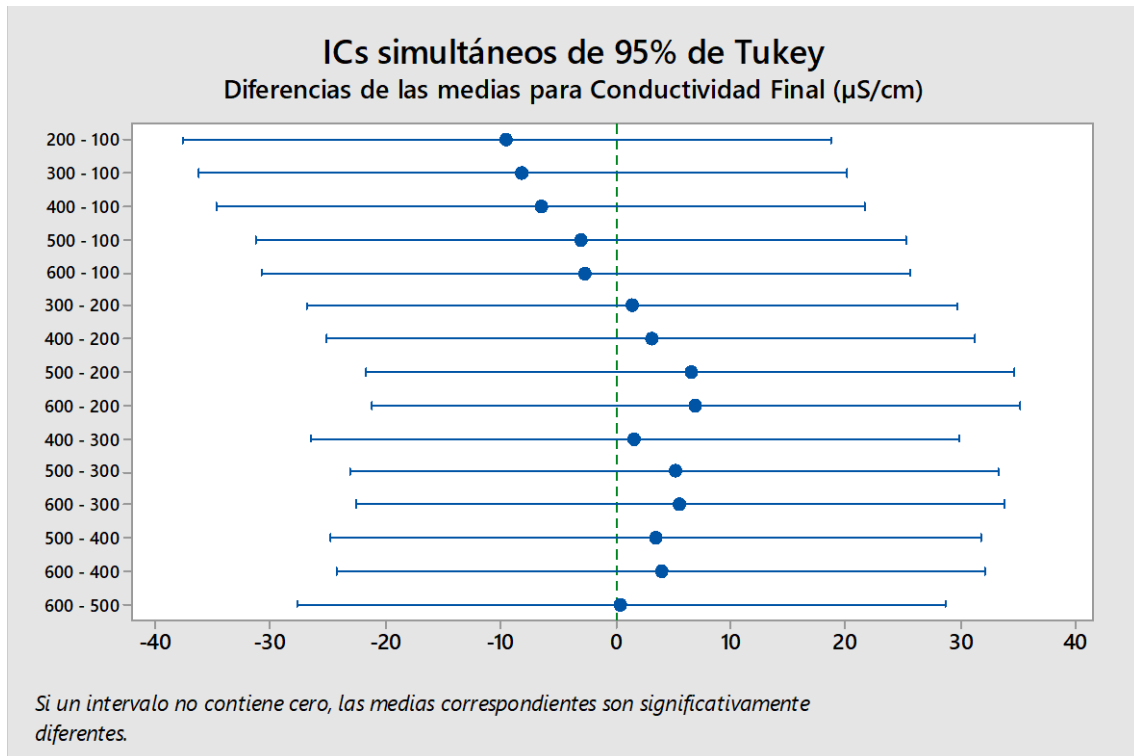


Figura 32: Índice de confianza simultanea conductividad de agua - Prueba de Tukey



Los datos y gráficas muestran que las pruebas tienen una diferencia de medias significativas. Por lo que se acepta la hipótesis alterna la goma extraída de tara tiene un efecto significativo sobre la conductividad final del agua en el tratamiento de las aguas residuales.

CONCLUSIONES

Conclusiones

- La goma de tara (***Caesalpinia spinosa***), al utilizar como coagulante-floculante en el tratamiento del agua del río Chumbao, a condiciones de pH 9, ha disminuido la turbiedad residual en un 81%, así también la conductividad de 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 22.03 $\mu\text{S}/\text{cm}$; por lo que se puede concluir que tuvo un efecto significativo en la reducción y remoción de los sólidos suspendidos.
- La goma de tara (***Caesalpinia Spinosa***) afecta significativamente en la remoción de la turbidez del agua de río Chumbao, al ser utilizada en los procesos de coagulación - floculación, según muestra los resultados se ha obtenido una reducción de hasta un promedio de 81 % (se ha observado que fue de 53 NTU hasta 11.7 NTU, que corresponde a un valor de 77.92 % de 58 NTU hasta 11.84 que corresponde a 79.59%, de 60 NTU a 12.6 NTU que corresponde a 78.57 % y para 130 NTU disminuye hasta un 88.35%).
- El pH constituye uno de los factores que tiene mayor efecto en los procesos de coagulación – floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, puesto que se ha obtenido mejores resultados al trabajar con un pH de 9, se demuestra que se llegó a obtener una turbidez favorable de 11 NTU aproximadamente, mientras que con un pH de 7 se llegó solamente a un promedio de 12 NTU de turbidez.
- La conductividad eléctrica factor importante en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río

Chumbao, al utilizar goma de Tara (***Caesalpinia Spinosa***), tuvo efecto de variación de 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta un promedio de 22.03 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

RECOMENDACIONES

- Es necesario tener en cuenta, los niveles de concentración de coagulante – floculante y velocidad de agitación utilizadas, puesto que un descuido de los mismos, sea en nivel mayor o menor, pueden variar todo el proceso de formación de flóculos.
- Para posteriores investigaciones realizadas sobre temas parecidos, es necesario tener en cuenta factores de temperatura al momento de tostar las semillas de *Caesalpinia spinosa*.
- Al momento de utilizar el coagulante obtenido a partir de las semillas de *Caesalpinia spinosa*, es necesario tener en cuenta la finura de la molienda realizada, a menor tamaño de grumos de las semillas tostadas, se dará de mejor manera la disolución de coagulante en el agua residual, a su vez la reacción de estos compuestos es más pronunciado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica . Caracas Venezuela: EDITORIAL EPISTEME, C.A.
- Ariza, D. L. (2015). Química General. Bogota: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería.
- Arriaza Balmón, M. (2003). Guía práctica de análisis de datos. Venezuela: JUNTA DE ANDALUCÍA.
- Autoridad Nacional del Agua, A. (2011). Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento Ley N° 29338. Perú: Ministerio de Agricultura.
- Bernal, C. A. (2010). Metodología de la investigación. Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.
- Bustios, C., Martina, M., & Arroyo, R. (2013). Deterioro de la calidad ambiental y la salud en el Perú actual. Revista Peruana de Epidemiología, 10.
- Cárdenas, Y. A. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima: SEDAPAL.
- Castillo Juberzay, G. C. (2011). Procesos de Tratamiento de Aguas Coagulación y Floculación. Santa Ana de Coro: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.
- Collazos, J. (2010). Estructura económica mundial, medio ambiente y desarrollo sostenible. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- Contreras Lozano, K. P., Aguas Mendoza, Y., Salcedo Mendoza, J. G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (20 de Junio de 2015). ResearchGate. Obtenido de Search for publications, researchers, or questions:
https://www.researchgate.net/publication/283451658_El_Nopal_Opuntia_ficus-indica_como_coagulante_natural_complementario_en_la_clarificacion_de_agua

- Cooperación, M. d. (2016). Fondo de Cooperación para el Agua y Saneamiento. España: Cooperación Española.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba - Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua).
- Dourojeanni, M., Luna, E. R., & Valle-Riestra, E. (2017). Ambiente y Recursos Naturales. Perú: Realidades SAC.
- Espinoza, V., Castillo, R., & Rovira, D. (2014). Manual Parámetros físico-químicos y microbiológicos como indicadores de la calidad de las aguas de la sub-cuenca baja del río David, Provincia de Chiriquí. Panamá: Universidad Tecnológica Oteima.
- Fernández-Alba, A. R., García, P. L., García, R. R., Valiño, M. D., Fernández, S. V., & García, J. M. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. España: Círculo CITME innovación en tecnologías medioambientales, energía.
- Gallardo, H. M., Gonzalo, K. H., & Dominguez, Y. A. (10 de Mayo de 2015). Tara (*Caesalpinia spinosa*) como retenedor de humedad en una premezcla para pan de molde. Lima, Callao, Perú.
- Gallardo, M. A. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García, I. M., Rodríguez, J. R., Rodríguez, J. J., Suárez, B. P., Bocardo, J. R., & Martín, N. S. (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. España: Copyright.
- Gutiérrez, C. M., & Olmo, J. M. (2007). Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. Ciudad de la Habana: Editorial Universitaria.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. México: McGraw-Hill Interamericana.

- Howe, K. J., Hand, D. W., Crittenden, J. C., Trussell, R. R., & Tchobanoglous, G. (2017). Principios de tratamiento del agua. Australia; Brasil: CENAGAGE Learning.
- MINSA, M. (2011). Decreto Supremo N° 031- 2010-SA. Lima, Perú: MINSA.
- Moreno, A. R. (17 de 07 de 2014). Separación sólido - líquido en hidrometalurgia. Obtenido de issuu:
https://issuu.com/antonioros/docs/separaci_n_s_lido_l_lquido_e_n
- Ojeda, A. A., Urrutia, A. B., & Becchi, F. G. (2012). Arboles urbanos de Chile. Santiago de Chile: Corporación Nacional Forestal; Gerencia Forestal.
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gozabón, L. E. (25 de Noviembre de 2013). Course Hero. Obtenido de Find study resources:
<https://www.coursehero.com/file/34377190/remocion-de-la-turbidez-del-aguapdf/>
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., Gonzalez, Y., & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucilago de *Opuntia Wentiana* (Britton y Rose) / (Cactaceae). Lima - Perú: REDIELUZ.
- Pérez, M. L. (2018). Evaluación de uso de cactacea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Polo, J. F., & Torrecillas, A. S. (2008). Tratamientos biológicos de aguas residuales. Mexico: Universidad Politécnica de Valencia.
- Richter, C., Pérez, J., & Cánepa, L. M. (1984). Coagulación. Lima: PE.CEPIS.
- Romero, X., Navarro, P., & Noguera, J. (16 de Junio de 2019). Saber ULA. Obtenido de Saber ULA bistream:
http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16739/acidez_ph.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). Metodología de la Investigación. Mexico: Mc Graw Hill Educación.

- Segura, L. M., & Arriaga, J. A. (2003). Principios básicos de contaminación ambiental. México: Univesidad Autónoma del Estado de México.
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Cartagena de Indias, CO: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso.
- Torres, L. A. (2016). Distribución Espacio - Temporal de la contaminación del agua del rio Chumbao Andahuaylas, Apurímac, Perú. 2011-2012. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Triola, M. F. (2009). Estadística. México: PEARSON Educación.
- Vargas, L. d. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

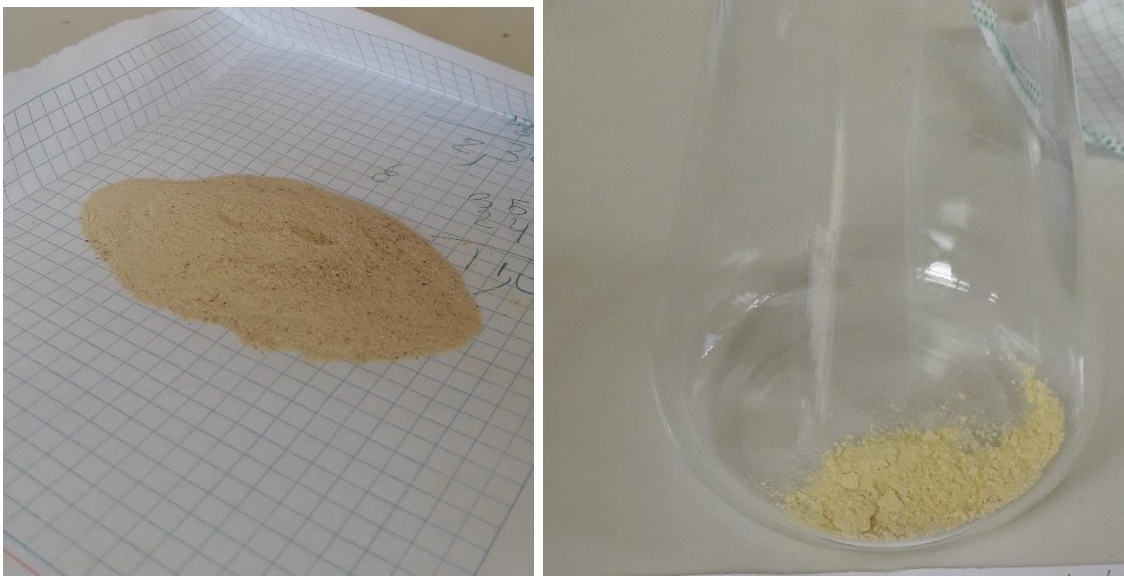
Tesis: "Goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andah+B6+B2:G7

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿En qué medida la goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) afecta en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018?	Evaluar en qué medida la goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) afecta en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018	La goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) afecta significativamente en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018	VI: Goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) VD: Coagulación-floculación		Población: Agua del río Chumbao de la provincia de Andahuaylas, comprendido entre los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera.
¿En qué medida la goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) afecta en la remoción de turbidez en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao?	Evaluar en qué medida la goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) afecta en la remoción de la turbidez en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018	La goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>) afecta significativamente en la remoción de la turbidez en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas - Apurímac 2018		Remoción de turbidez (NTU)	
¿El pH afecta en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, utilizando goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>)?	Determinar el efecto del pH en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, utilizando goma de Tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>).	El pH del agua afecta significativamente en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, al utilizar goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>)		Ph	
¿La conductividad eléctrica afecta en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, al utilizar goma de tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>)?	Determinar el efecto de la conductividad eléctrica en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, utilizando goma de Tara (<i>Caesalpinia Spinosa</i>).	La conductividad eléctrica influye significativamente en los procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, al utilizar goma de tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>).		Conductividad (µS/cm)	

Fotografía 1: Semillas de tara



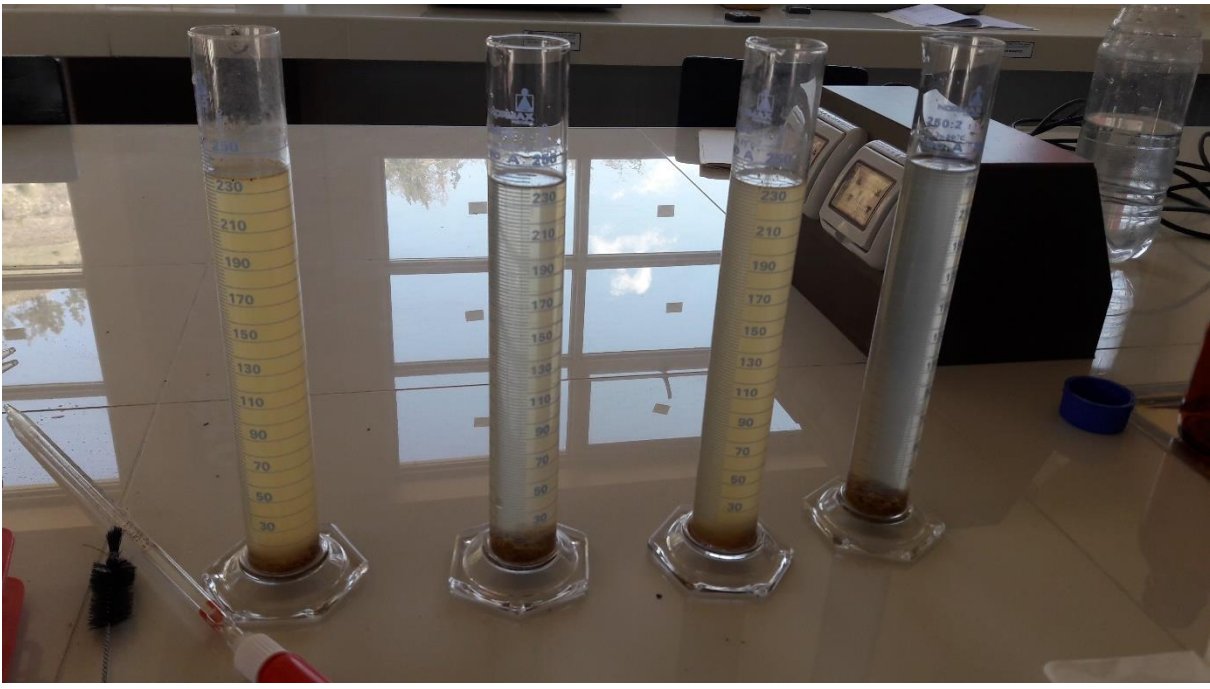
Fotografía 2: Obtención de la goma de tara



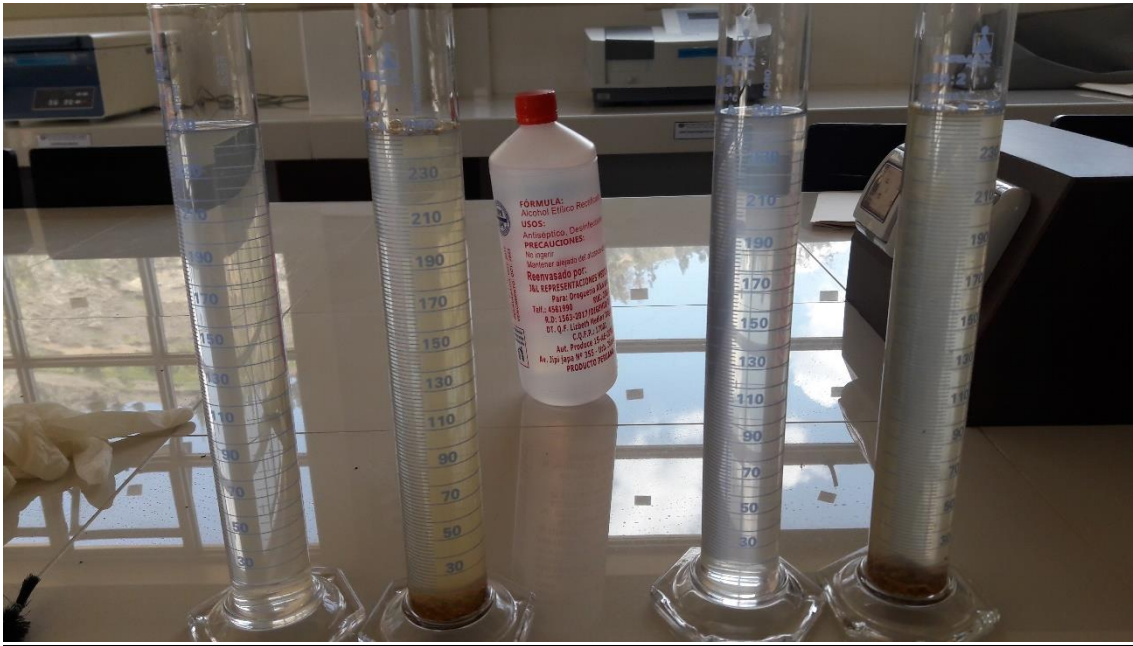
Fotografía 3: Muestras de agua obtenidas del rio Chumbao



Fotografía 4: Mezclado de coagulante goma de tara y muestra de agua



Fotografía 5: Resultados obtenidos y comparación de muestras



Fotografía 6: Comparación de muestras inicial y final

