

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y
PREVENCIÓN DE RIESGOS**

**EFICIENCIA DE LA GOMA DE CAESALPINIA SPINOSA DE LA
REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, EN LAS AGUAS DEL RÍO
CHONTA, LOS BAÑOS DEL INCA-2018.**

Chicama Aquino, Ina María.

Vigo Lezma, Leydi Elizabeth.

Asesor:

Mg.Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez

Cajamarca, Perú

Octubre - 2018

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

**Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos**

**EFICIENCIA DE LA GOMA DE CAESALPINIA SPINOSA
DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, EN LAS
AGUAS DEL RÍO CHONTA, LOS BAÑOS DEL INCA-2018.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para
optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos

Bach. Ina María Chicoma Aquino.

Bach. Leydi Elizabeth Vigo Lezma.

Asesor:

Mg. Ing. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez.

Cajamarca – Perú

Octubre - 2018

COPYRIGHT © 2018 by
INA MARÍA CHICOMA AQUINO.
LEYDI ELIZABETH VIGO LEZMA.
Todos los derechos reservados.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL

EFICIENCIA DE LA GOMA DE CAESALPINIA SPINOSA DE LA
REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, EN LAS AGUAS DEL RÍO
CHONTA, LOS BAÑOS DEL INCA-2018.

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo, a nuestros padres, ya que ellos han sido nuestra guía para poder llegar a este punto de nuestra carrera, que, con su ejemplo, dedicación, y palabras de aliento nunca bajarón los brazos para nosotros a aún cuando en ciertos casos se complicaba, en el cual a sus infinitas virtudes y su gran corazón nos llevan a admíralos cada día más.

AGRADECIMIENTO:

- Agradecemos a Dios, por otorgarnos salud, sabiduría, y por tener una familia que nos da su apoyo día a día.
- Agradecemos a la universidad UPAGU por pertenecer a ella, así como también a los diferentes docentes que nos brindaron sus conocimientos.
- Se agradece a nuestro asesor de tesis, Mg. Ing. Fernando Camilo, Joaquín Rodríguez, por habernos brindado su apoyo incondicional y paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la ejecución de tesis.

RESUMEN

La eficiencia de la Goma de *Caesalpinia spinosa* en la remoción de los Sólidos Suspendidos de las aguas del Río Chonta; es una investigación cuyo fin es utilizar sustancias orgánicas que sean amigables con el ambiente, en el tratamiento de agua potable. Se planteó como objetivo general, evaluar la eficiencia de la goma *Caesalpinia spinosa* en la remoción de Sólidos Suspendidos de las aguas del Río Chonta, por lo cual se determinó concentración, tiempo, velocidad de agitación y el análisis del cumplimiento con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua categoría I. El método por el cual se realizó dicho estudio llegó a ser experimental; el cual se ejecutó a través de pruebas de laboratorio “Innodevel SAC”, realizadas mediante la prueba de Jarras; dicho análisis de resultados se obtuvieron mediante el Análisis Estadístico ANOVA; por consecuente, se obtuvo una concentración de 6 ml/L, con una velocidad de agitación de 40 RPM y un tiempo de 20 minutos; siendo estos los resultados más óptimos en esta investigación; obteniendo una turbidez de 8.1 UNT con un 62% de disminución de turbidez; no cumpliendo de esta manera con ECA, categoría I. Por lo que se infirió que no es un buen coagulante- floculante siendo este menor a un 80%, sin embargo, se puede considerar como un coadyuvante porque está en el rango de 20% y un 80%.

Palabras clave: Goma de tara, turbidez, coagulación, floculación y coadyuvante.

ABSTRACT

The efficiency of *Caesalpinia spinosa* Gum in the removal of Suspended Solids from the waters of the Chonta River; is an investigation whose purpose is to use organic substances that are friendly to the environment, in the treatment of drinking water. The general objective was to evaluate the efficiency of *Caesalpinia spinosa* gum in the removal of suspended solids from the waters of the Chonta River, for which concentration, time, agitation speed and the analysis of compliance with national quality standards were determined. environmental for category I water. The method by which this study was conducted became experimental; which was carried out through "Innodevel SAC" laboratory tests, carried out through the Jarras test; said analysis of results were obtained through the ANOVA Statistical Analysis; consequently, a concentration of 6 ml / L was obtained, with a stirring speed of 40 RPM and a time of 20 minutes; these being the most optimal results in this investigation; obtaining a turbidity of 8.1 NTU with a 62% decrease in turbidity; not fulfilling this way with ECA, category I. Therefore it was inferred that it is not a good coagulant-flocculant, this being less than 80%, however, it can be considered as a coadjuvant because it is in the range of 20% and 80%.

Key words: Tara gum, turbidity, coagulation, flocculation and adjuvant.

INDICE

Dedicatoria.....	VI
Agradecimiento.....	VII
Resumen	VIII
Abstract.....	IX
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE FIGURAS	XII
CAPÍTULO I.....	1
1. Planteamiento del problema de investigación	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Objetivos de la investigación:.....	2
1.3. Justificación de la investigación.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. Fundamentos teóricos de la investigación	4
2.1. Antecedentes teórico	4
2.2. Marco histórico	7
2.3. Marco teórico.....	8
2.4. Marco conceptual.....	44
2.5. Hipótesis de la Investigación.....	48

2.5.1. Operacionalización de las variables.....	48
CAPITULO III.....	49
3. Metodología de la investigación.....	49
3.1. Tipo de investigación.....	49
3.2. Área de Investigación.	49
3.3. Técnicas de Muestreo.	50
3.4. Técnicas de Investigación.....	53
3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	55
CAPÍTULO IV	57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	57
4.2. Análisis de datos	59
CAPITULO V.....	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones.	76
6. LISTA DE REFERENCIAS.....	76
7. LISTA DE ABREVIATURAS.....	80
8. ANEXOS.....	81
ANEXO A	81
ANEXO B.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Demanda consuntiva total: Distribución por Regiones Hidrográficas	11
Tabla 2. Monómeros y polímeros (orgánicos).....	14
Tabla 3. procesos de tratamiento de agua potable.	21
Tabla 4. Sistema Coloidal de una Superficie de Contacto.....	24
Tabla 5. Efectos de la coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua.....	26
Tabla 6. Índice de Willcomb para Caracterización de Flóculos	32
Tabla 7. coordenadas del punto de muestreo.	50
Tabla 8. Resultados promedios de turbidez inicial y final.....	57
Tabla 9. Hipótesis estadística de ANOVA para la turbidez inicial.....	59
Tabla 10. Análisis de Varianza para turbidez inicial	59
Tabla 11. Comparaciones en parejas de Tukey para turbidez inicial	61
Tabla 12. Comparaciones en parejas de Fisher para turbidez inicial.....	62
Tabla 13. Comparaciones múltiples de Dunnet con un control para turbidez inicial	63
Tabla 14. Hipótesis estadística de ANOVA la turbidez Final	66
Tabla 15. Análisis de Varianza par turbidez final.....	66
Tabla 16. Comparaciones en parejas de Tukey para turbidez final.	66
Tabla 17. Comparaciones en parejas de Fisher para Turbidez Final.	68
Tabla 18. Comparaciones múltiples de Dunnet con un control para turbidez final.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del agua.....	10
Figura 2. tara (caesalpinia spinosa).....	18
Figura 3. Estabilidad de Coloides.	29
Figura 4. Índice de Willcomb para Caracterización de Flóculos.....	41
Figura 5. Cuenca del Río Chonta: Mapa del punto de muestreo.	49
Figura 6. Gráfica de comparaciones de Tukey para turbidez inicial	62
Figura 7. Gráfica de comparaciones de Fisher para turbidez inicial.....	63
Figura 8. Gráfica de comparaciones de Dunnett para turbidez inicial.....	64
Figura 9. Diagrama de box plots para la turbidez inicial.	65
Figura 10. Gráfica de comparaciones de Tukey para turbidez final.	67
Figura 11. Gráfica de comparaciones de Fisher para turbidez final	69
Figura 12. Grafica de comparaciones de Dunnet para turbidez final.	70
Figura 13. Diagrama de box plots para la turbidez final.....	71
Figura 14. Grafico. Caja de Turbidez Inicial y Turbidez Final.	72
Figura 15. Grafico. Caja de Turbidez Inicial y Turbidez Final.	73
Figura 16. Gráfica de Efectos principales para Disminución.	74
Figura 17. Fotos del punto muestreo, Viaducto – Baños del Inca.	81
Figura 18. Tesista observando el punto de muestreo.....	81
Figura 19. Espectro de Niveles de Organización.....	82
Figura 20. <i>Espectro de Niveles de Organización</i>	82
Figura 21. Categorías determinadas en Relación al Uso que se le va a dar al Cuerpo natural de agua.	83
Figura 22. Medición de la turbidez inicial.....	84
Figura 23. Preparación de la Goma de Caesalpinia spinosa	84

Figura 24. Realización de las pruebas utilizando el tes de jast.....	85
Figura 25. proceso de las pruebas de jarras durante la sedimentación. (en un tiempo de media hora)	85

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema de investigación.

1.1. Descripción de la realidad problemática.

La población de América Latina se encuentra concentrada en ciudades en más de un 80%. Sin embargo, la provisión de agua es insuficiente. En Perú, solamente se ha ejecutado el 30% de la inversión pública en tratamiento de agua, de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015. (Larios et al, 2015, p.12)

El agua es el recurso natural más valioso de la tierra, sin ella no existiría vida. Alrededor del 71% de la corteza terrestre está cubierta por agua. A pesar de ser tan abundante, solo un reducido porcentaje es utilizable para el consumo humano. (Arce, 2013, p.4)

En la mayoría de países incluido el Perú, existen dos panoramas frente al tratamiento de agua residual. Las aguas residuales domésticas o industriales que van al alcantarillado, las aguas residuales que debe tratar cada empresa privada o pública, bajo su responsabilidad y cumpliendo los estándares indicados por la ley nacional. (Sanchez, 2017, p.1)

En el proceso de floculación y coagulación de una planta de tratamiento de agua potable, se utiliza sustancias químicas como sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el fin de este proyecto es utilizar una sustancia orgánica (goma de

Caesalpinia spinosa) amigable con el ambiente y no genere repercusión alguna a la población.

1.1.1. Formulación del problema.

¿Cuál es el porcentaje de eficiencia de la Goma de *Caesalpinia spinosa* en la remoción de Sólidos Suspendidos, de las aguas del Río Chonta, para clasificar como Coagulante – Flocculante?

1.2. Objetivos de la investigación:

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el porcentaje de eficiencia de la Goma de *Caesalpinia spinosa* en la remoción de sólidos suspendidos, en las aguas del Río Chonta, para clasificar como Coagulante – Flocculante.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la velocidad óptima del proceso de Flocculación y Coagulación mediante la Goma de *Caesalpinia spinosa*.
- Evaluar el tiempo óptimo durante el proceso de Flocculación y Coagulación mediante la Goma de *Caesalpinia spinosa*.
- Determinar la concentración óptima de la goma de *Caesalpinia spinosa* en la remoción de sólidos suspendidos.

- Analizar el cumplimiento de los resultados obtenidos con los Estándares nacionales de Calidad Ambiental para el agua categoría I.

1.3. Justificación de la investigación.

La contaminación del agua es un problema que se viene acarreado durante muchos años, la falta de un correcto gestionamiento de este recurso, logra causar estragos en cuanto a su aprovechamiento sostenible, aunque la tecnología vaya en aumento y sea accesible para países que cuentan con un crecimiento económico favorable, esta no es costeable por las zonas más pobres, el uso de alternativas ecológicas y seguras para la potabilización del agua son necesarias en zonas de alto índice de pobreza. Los coagulantes y floculantes de origen vegetal en proceso de clarificación del agua podría ser la solución al problema del tratamiento de la turbidez, preparando el agua para su posterior desinfección. (Ramírez, Jaramillo, 2014, p.36)

Las pruebas correspondientes en cuanto eficiencia de remoción de sólidos suspendidos del agua de la cuenca baja del Río Chonta usando la goma de tara, contribuyendo a la solución del problema de la turbidez del agua en dicha zona; además cabe recalcar que el uso de esta especie no causa riesgos para la salud, no es tóxicos y en algunos casos es usado como medicina naturista antibacteriano.

En este proyecto de investigación se busca usar el recurso natural existente en la zona de estudio que es de fácil alcance y vegetal de poco uso o interés para los pobladores; además de que este podría variar su efectividad dependiendo de las características del agua de la zona a estudiar, de igual modo se ve involucrado la minimización de gastos en el tratamiento del agua, mejor conocimiento del manejo de los coagulantes-floculantes, de

esta forma puede mejorar el agua que se consume en dicha zona y a su vez mejorar la salud de los pobladores

CAPÍTULO II

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

En la investigación “utilización de la semilla de tara (*caesalpinia spinosa*) para el tratamiento de aguas residuales”, se demostró que ayuda en mejoras de la calidad de Agua decantada. En la primera etapa de la prueba de jarras se observó la mejora de la remoción de la turbidez originada por la adición de la goma de Tara observándose reflejada en la obtención de turbiedades más bajas, utilizado como el sulfato de aluminio se obtuvo una turbidez de 3.4 UNT y con la goma de tara 1.9 UNT en el caso del agua tipo I : 390 UNT, mientras que en el agua de tipo II= 25 UNT, con el sulfato de aluminio 2.5 UNT y agregado la goma de tara es de 1.7 UNT.(Aguilar, 2010, p.171)

Según Villabona, et al., (2013), La aplicación artesanal de la tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante en una práctica tradicional en comunidades rurales en Colombia. se evaluó el poder del coagulante del material extraído, se realizó un efecto de las tres dosis diferentes sobre el color, turbidez y el pH del agua tratada. Los resultados indicaron que tiene una capacidad de remover 50% de colores 70% turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial, y no altera significativamente su pH. no obstante, se expuso la necesidad de evaluar la dosis óptima de coagulante y el efecto de otras variables, tales como la velocidad de agitación.

En su artículo “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”, propone el uso de diversos coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de clarificación

del agua, teniendo como objetivo realizar el análisis de información existente referente a este tipo de coagulantes de origen natural, evaluando la eficacia y mecanismos que se pueden emplear para remover la turbidez de aguas, mediante la prueba de jarras se pudo determinar la eficacia de estas especies, que en su mayoría se tomaron en cuenta parámetros como la velocidad de agitación entre 100 y 200 rpm, el tiempo de contacto usando de 15-20-30 minutos; entre las principales coagulantes estudiados se encuentran, Moringa Oleífera, aloe vera, cactus, almidones y taninos, llegando a concluir que el uso de materiales naturales minimizaría el impacto de coagulantes químicos, minimizando los costos de tratamiento de aguas, si se dispone de estos a nivel local, en general el coagulante vegetal Moringa Oleífera y el cactus son los que arroja los mejores resultados de efectividad de hasta el 95 % de remoción de turbidez. (Ramírez y Jaramillo, 2015, p.2)

La presente investigación fue llevada a cabo en Pelileo (Tungurahua - Ecuador) donde el agua residual de textileras son descargadas a los cuerpos de agua. Una solución ambientalmente amigable para tratar aguas residuales de textileras con alta carga orgánica es aquí evaluada: un proceso de remediación de biocoagulación fue realizado utilizando extractos de la planta *Caesalpinia spinosa* conocida como guarango o tara. Se determinó que utilizando extractos de *C. spinosa* para tratar agua residual tiene el mismo efecto estadístico que aplicando un coagulante químico (policloruro de aluminio 15%). Zeolita activada adsorbió el color residual del agua tratada para obtener una remoción de turbidez más del 90%. Un modelo matemático mostró que la remoción de turbidez entre 50-90% puede obtenerse aplicando 25-45 g/l de extractos de guarango y zeolita por cada 700 ml de agua residual de textileras. La coagulación natural utilizando extractos de *C. spinosa* produjo 85% menos lodo que el policloruro de aluminio, y removió altos contenidos de materia orgánica en el agua residual (1050 mg/l) en un 52%. (Revelo, 2015, p.4)

En la investigación “Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del Río Pollo en Otuzco empleando las semillas de tara” Los porcentajes de remoción de SST y materia orgánica en términos de DBO_5 y DQO, aumentaron al emplear la mayor concentración de goma extraída de las semillas de *caesalpinia spinosa* (3000 ppm), la mayor velocidad de agitación rápida (300 rpm) durante la etapa de coagulación y la mayor velocidad de agitación lenta (45 rpm), durante la etapa de floculación obteniéndose eficiencia de remoción de SST (17.07%, desde 41 ml/L hasta 34 mg/L), DBO_5 (43.52%; desde 455 mg/L hasta 257 mg/L) y DQO(38.00%; desde 821mg/L hasta 509 mg/L). (Bravo y Gutiérrez, 2016, p.61)

En el estudio “Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*”, el mejor coagulante-floculante vegetal a aplicar a el agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba es el de *Opuntia ficus indica* debido a su alto grado de reducción de la turbidez de estas aguas, como segunda alternativa se puede tener a *Caesalpinia spinosa* ya que también presenta gran eficiencia en la reducción de la turbidez. Al aplicar los tratamientos se observa que el pH no es alterado en gran manera al aplicar el tratamiento vegetal ya sea con *Opuntia ficus indica*, *Caesalpinia spinosa* o con *Aloe vera*, puesto que la ser medido luego de la aplicación del tratamiento no se denotan cambios significativos. (Moreno, 2016, p.40)

2.2. Marco histórico

“Evaluación del poder coagulante de la tuna para la remoción de turbidez y color de aguas crudas”. Así mismo, se evaluó la capacidad que tiene un polvo obtenido a partir de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) para remover turbidez y color presente en aguas crudas. La muestra de agua cruda Utilizada en los ensayos de jarra, se tomó del canal de un dique en Colombia. Los resultados obtenidos permitieron concluir que, bajo las condiciones manejadas durante las pruebas, se logró remover la turbidez y el color en porcentajes significativos, utilizando solo pequeñas dosis del coagulante natural. Altas velocidades de agitación incrementaron la remoción de impurezas, no durante las pruebas de jarra, el coagulante natural alcanzo una eficiencia satisfactoria (84.52%), además logró remover un gran porcentaje de turbidez (85.76%), presente en el obstante, las bajas velocidades de agitación generaron flóculos más grandes y compactos. El análisis de los resultados obtenidos permitió establecer que, en las condiciones manejadas agua cruda, utilizando dosis similares a la de los coagulantes metálicos con mayor uso en la actualidad para los procesos de tratamiento de agua potable. (Martínez y González, 2012, p.31)

El tratamiento físico-químico consiste en la eliminación de partículas finas en suspensión que por sí solas son imposible de sedimentar. Estas partículas coloidales se componen de sílice coloidal, arcilla y/o partículas orgánicas las cuales presentan gran estabilidad en el agua con un tamaño comprendido entre 0,001 y 1 μm . Constituyen una parte importante de la contaminación ya que son la causa principal de la turbidez y color del agua.

El proceso de coagulación reduce la carga negativa, contribuyendo a la agregación de partículas para formar micro-flóculos. La floculación consiste en la agregación de partículas para formar flóculos más grandes, y esto va a depender de la temperatura y el pH

del agua. Por otro lado, la sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo las partículas debidos a la contaminación y sólidos generados por los químicos. (Aguilar, 2010, p.42)

En los estudios de coagulación y floculación es transformar las impurezas que se encuentran en suspensión fina, en estado coloidal o en solución, los microorganismos y el plancton, en partículas de mayor tamaño (flóculos) para que puedan ser eliminadas por sedimentación, y/o filtración o, en algunos casos, por flotación. Las partículas coloidales presentes en el agua exhiben los mayores problemas cuando se trata de remover la turbidez y el color. Esto se debe a las propiedades electrocinéticas de los coloides y también a la consecuencia del tamaño tan reducido de las partículas. Las sales metálicas, como el sulfato de aluminio, cloruro férrico y ferroso, son usadas como coagulantes y forman especies activas al ser adicionadas al agua. Estas especies activas desestabilizan a las partículas por neutralización de cargas, donde las especies catiónicas con alta densidad de carga que se forman con el hidrolisis se adsorben a las partículas presentes en el agua. (Díaz, 2012, p.3)

2.3. Marco teórico

2.3.1. Agua

El creciente incremento de las alteraciones de los cursos de agua y la sensibilidad a este problema por parte de los organismos competentes, ha hecho que en todos los países desarrollados se pongan en marcha programas de control y vigilancia de la calidad de las aguas. Para ello se han desarrollado numerosos métodos o índices que tratan de interpretar la situación real, o grado de alteración de los ecosistemas acuáticos. Unos se basan

exclusivamente en análisis de las condiciones químicas que, si bien en principio son de una gran precisión, presentan el problema de ser testigos, tan sólo, de las condiciones instantáneas de las aguas. Por el contrario, los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras. (Alba, 1986, p.20)

2.3.1.1. Composición y estructura.

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el oxígeno, uno de los elementos más electronegativos, atrae hacia sí los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor del átomo de oxígeno se concentra la mayor densidad electrónica (carga negativa) y cerca de los hidrógenos la menor (carga positiva). La molécula tiene una geometría angular (los dos átomos de hidrógeno forman un ángulo de unos 105°) lo que hace de ella una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares. (Alba, 1986, p.25)

La atracción electrostática entre la carga parcial positiva cercana a los átomos de hidrógeno de una molécula de agua y la carga parcial negativa cerca al oxígeno de otra, permite la unión de moléculas de agua vecinas mediante un enlace químico muy especial y de excepcional importancia para la vida y que explica el amplio abanico de sus propiedades físicas y químicas. (Alba, 1986, p.25)

2.3.1.2. Disponibilidad de agua en el mundo

En el mundo el 97,5% de agua es salada mientras que solo el 2,5% es dulce y solo es consumible el 1%. Gran parte del agua dulce está congelada en los glaciares y otro poco se presenta como humedad en el suelo o permanece en capas acuíferas subterráneas. (Tucci, 2004, p.92)

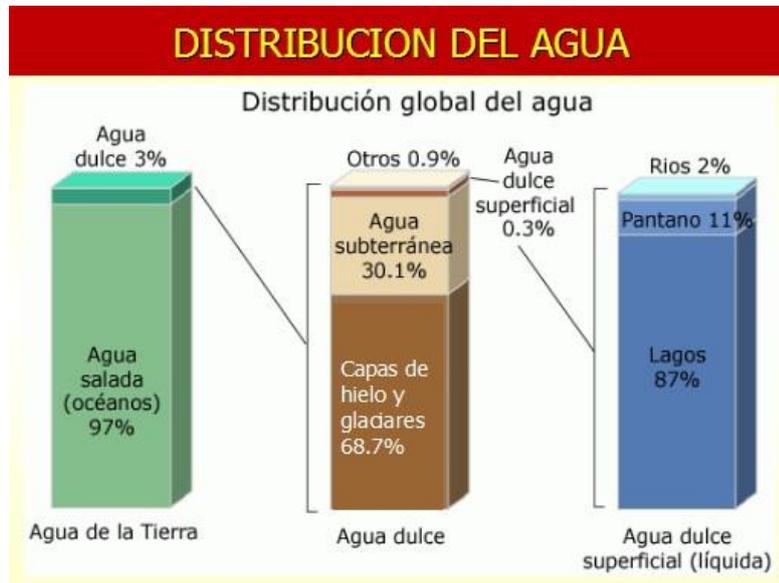


Figura 1. *Distribución del agua.*

2.3.1.3. Disponibilidad de agua en el Perú

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ubica al Perú a nivel mundial en el puesto 17, en relación con la cantidad de agua disponible por persona y el Banco Mundial en el puesto 14 en acceso al agua a nivel de América Latina. (Tabra, 2013, p.31)

Según datos del Ministerio del Ambiente el Perú cuenta con 106 cuencas hidrográficas por las que escurren 2 046 287 millones de metros cúbicos al año (MMC). Así mismo, cuenta con 12,200 lagunas en la sierra y más de 1,007 Ríos. Sin embargo, por acción de la naturaleza, la distribución de los recursos hídricos es muy desigual. (Tabra,2013, p.32)

En la vertiente amazónica reside el 26% de la población y cuenta con 97,7% de agua mientras que en la vertiente del Pacífico reside el 70% de la población y cuenta tan solo con el 1,8% de agua. Es en la costa donde se halla concentrada la actividad agroexportadora con altos requerimientos de agua. En la vertiente del Titicaca reside el 4% de la población y cuenta con el 0,5% de agua. (Tabra, 2013, p.33)

Tabla 1. *Demanda consuntiva total: Distribución por Regiones Hidrográficas*

REGIÓN Hidrográfica	USOS CONSUNTIVOS (HM ³ /Año)							TOTAL
	AGRÍCOLA	POBLACION AL	INDUSTRIAL	MINERO	PECUARI O	RECRE ATIVO	TURÍS TICO	
Pacífico	19 041,54	1 779,15	170,82	155,85	1,90	4,65	0,00	21 153,92
Amazonas	3 017,31	493,84	78,48	110,70	47,92	17,80	1,00	3 767,04
Titicaca	1 106,94	46,75	0,08	5,98	0,00	0,00	0,00	1 159,75
Total (hm ³ /año)	23 165,79	2 319,74	249,38	272,53	49,82	22,45	1,00	26 080,71

2.3.1.4. Calidad del Agua: El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. (Alba, 1986, p.3)

2.3.2. Polímeros

2.3.2.1. Definición y estructura de polímeros. Los Materiales poliméricos están basados en grandes moléculas con enlaces covalentes y formados por la unión de muchas unidades simples (monómero). Su antecesor se puede considerar que son las macromoléculas presentes en organismos, y se pueden enumerar ejemplos como el caucho, lana, algodón, etc. (Magles, 2005, p.10)

Los cuatro tipos de biomoléculas/biopolímeros (naturales) son los ácidos nucleicos, proteínas, lípidos y polisacáridos. Las unidades de construcción de esos polímeros naturales son los nucleótidos, aminoácidos, ácidos grasos y los azúcares. En este tema nos vamos a referir principalmente a los polímeros artificiales, aunque se hará referencia a polímeros naturales. (Magles, 2005, p.11)

Los monómeros son las unidades básicas para la formación de materiales plásticos, y según la forma en que se unan pueden dar estructuras lineales o no lineales. El proceso de polimerización es una condensación de monómeros. Por ejemplo, el eteno polimeriza para dar el polieteno (o polietileno) y el proceso se denomina polimerización por adición. Inicialmente, los polímeros eran muy sencillos como el derivado del aldehído fenólico para dar la bakelita. Cuando en la polimerización solo interviene un único monómero se denomina homopolímero y cuando polimeriza una mezcla de dos o más monómeros se denomina copolimerización. La gran utilidad de los polímeros actuales se debe a que se puede sintetizar el polímero que cumpla una serie de propiedades que se necesiten (dureza, plasticidad, densidad, etc.). (Magles, 2005, p.12)

- a) **Grado de polimerización.** según las condiciones de síntesis se pueden obtener longitudes de las cadenas moleculares de diferente tamaño y por tanto con propiedades ligeramente diferentes. (Magles, 2005, p.12)
- b) **Entramado.** "branching", consiste en crear uniones entre diferentes cadenas del mismo polímero para aumentar su dureza y punto de fusión. Por ejemplo, en el polietileno. (Magles, 2005, p.12)
- c) **Uniones puente.** "crosslinking". Un ejemplo clásico en la vulcanización del caucho usando azufre. El caucho natural es el cispoliisopreno (que es un polímero insaturado) y cuando se añade azufre entre 1-5 % se producen puentes de azufre entre diferentes cadenas poliméricas lo que se conoce como vulcanizado y aumenta mucho la dureza y resistencia al desgaste. El producto de vulcanización completa (40 %) es la ebonita y es un sólido duro y rígido (Magles, 2005, p.15)

2.3.2.2. Tipos de polímeros y copolímeros. Los polímeros se clasifican en función de sus propiedades físicas en varios tipos. Termoplásticos cuyo nombre procede de dos palabras griegas "termos" que significa y "plásticos" que significa "moldeable". Estos polímeros requieren calor para ser conformados y tras el enfriamiento mantienen la forma (p. ej. PE, PVC, Nylon, etc.). Se ablandan al calentarse hasta que funden y al solidificar se endurecen, siendo procesos reversibles que por tanto se pueden repetir. Plásticos termoestables son materiales que no pueden ser refundidos o reprocessados ya que al ser calentados se endurecen y degradan o descomponen (p. ej. resinas epoxi, fenólicos, poliésteres insaturados, etc.). Al iniciar el calentamiento se dan entrecruzamientos covalentes entre las cadenas, y estos enlaces dificultan los movimientos de vibración y rotación. Estos polímeros son

generalmente más duros, más resistentes, pero también más frágiles que los termoplásticos, pero tienen mayor resistencia dimensional. (Magles, 2005, p.20)

En una primera clasificación se pueden distinguir los polímeros puramente orgánicos de aquellos orgánicos inorgánicos (como las siliconas) o simplemente inorgánico. En la siguiente Tabla se dan algunos polímeros orgánicos de gran interés industrial/tecnológico. (Magles, 2005, p.21)

Polímeros	Nombre	Unidad Repetitiva	Monomero
PE,HD, LD	polietileno	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ GP=1200
PP	polipropileno	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)$	$\text{CH}_3=\text{CH}=\text{CH}_2$
PS	poliestireno	$(-\text{CH}_2-\text{CH}-)$	$\text{CH}_2=\text{CH}-$ GP=600 - 6000
PVC	Cloruro de polivinilo	$(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ GP=1100
PAN	poliacrilonitrilo	$(-\text{CH}_2-\text{CHCN}-)$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}=\text{N}$
PMMA	Polimetil metacrilato	$(-\text{CH}_2-(\text{CH}_3)-\text{COOCH}_3)$	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_3$ COOCH_3
PTFE	Politetrafluoro etileno	$(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)$	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$ también $\text{CF}_2=\text{CFCl}$ da PCTFE
POM	polioximetileno	$(-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2-)$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2$
CAUCHO	Cis - poluisopreno	$(\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}-\text{CH}_2-)$	$(\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2)$
NEOPRENO	policloropreno	$(-\text{CH}_2-\text{CCL}=\text{CH}-\text{CH}_2-)$	$(\text{CH}=\text{CCL}-\text{CH}=\text{CH}_2)$
	poliesteres	$(-\text{R}-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{R}'-)$ diácido + diol	$\text{HOH}_2\text{C}-\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{HOOC}-\text{R}'-\text{COOH}$
	poliuretanos	$(-\text{R}-\text{CH}_2-\text{NHCO}-\text{R}'-)$ diácido diamina	$\text{H}_2\text{N}-\text{R}-\text{NH}_2$ $\text{HOOC}-\text{R}'-\text{COOH}$

Tabla 2. *Monómeros y polímeros (orgánicos)*

Nota: Nombre y formulas químicas de monómeros y polímeros. Fuente: - Hernández. H, et al. (1963). "Segunda Parte Parametros Fisico- Quimicos : Solidos Disueltos Totales." Superficies y Vacío"

2.3.2.3. Procesos de obtención de polímeros.

Los polímeros provienen principalmente del petróleo. Aproximadamente, el 4 % de la producción mundial de petróleo se convierte en plástico. Después del “cracking” y del “reforming” se obtienen moléculas sencillas como son el etileno y el benceno que son los compuestos de partida para la fabricación de los polímeros. Se pueden distinguir dos grandes métodos de polimerización: por adición y por condensación. La polimerización por adición consta de tres etapas que son las siguientes: Iniciación, Crecimiento y Terminación. (Beltrán, 2012, p.5)

La polimerización suele ser vía radicalaria de monómeros insaturados y el comienzo se debe a la presencia del iniciador (especie diferente al monómero) que dan radicales con mucha facilidad. (Beltrán, 2012, p.5)

Mediante catalizadores estereoespecíficos (p. ej. Ziegler-Natta) se consigue un PE lineal de mayor empaquetamiento y densidad conocido como HDPE con mejores propiedades mecánicas y que se obtiene a menor temperatura y presión. También se emplean en la actualidad iniciadores aniónicos o catiónicos. Como se ve, la polimerización por adición es mucho más compleja que la simple ecuación química que refleja el proceso. Ejemplo de familias que se obtienen mediante este proceso son: PE, PP, PS, PVC, PAN, PMMA, BUNA, POM, etc. (Beltrán, 2012, p.5)

La polimerización por condensación exige moléculas distintas (o al menos grupos funcionales diferentes) en cantidades estequiométricas. Se suele eliminar subproducto durante la polimerización, normalmente agua. El nailon 6-6 (nombre comercial de la poliamida obtenida por condensación de la hexametildiamina con el ácido adípico) sintetizado inicialmente en 1929 es uno de los ejemplos más apreciados. No suele haber iniciadores y se

termina el crecimiento mediante moléculas mono funcionales que no permiten proseguir la reacción. Ejemplo de familias que se obtienen mediante este proceso son: Poliésteres (dioles y diácidos); Poliamidas (diaminas y diácidos) y poliuretanos (dioles y diisocianatos). (Beltra, 2012, p.6)

Una vez obtenidos, es muy importante el proceso de conformado del polímero en el que se da la forma necesaria. La conformación de los materiales poliméricos depende del tipo de polímero ya que, por ejemplo, el comportamiento de los plásticos termoestables es muy diferente a de los termoplásticos. Por norma general, los termoplásticos se conforman aplicando presión a elevada temperatura y en cualquier caso por encima de la transición vítrea (que se estudiará con detenimiento más adelante) y se pueden repetir los procesos. La conformación de los polímeros termoestables se realiza en dos etapas. (Beltrán, 2012, p.6)

a) En la primera: se prepara un polímero lineal (a veces denominado prepolímero) en fase líquida de bajo punto de fusión y se introduce en un molde de forma determinada. (Beltrán, 2012, p.6)

b) En la segunda: se endurece, proceso conocido como “curado” que puede darse por calentamiento, o añadiendo un catalizador, o bajo presión. Durante el curado hay reacciones químicas y estructurales en las que se entrecruzan las cadenas poliméricas y aumentan mucho las interacciones intermoleculares de naturaleza covalente. (Beltrán, 2012, p.6)

2.3.2.4. Propiedades físicas de los polímeros

Las propiedades físico-químicas importantes de los polímeros son la cristalinidad; en el cual esta propiedad tiene una mayor densidad respecto al polímero amorfo, el

comportamiento térmico, el comportamiento mecánico y la resistencia a la degradación química en general. Cuando los polímeros tienen diferentes sustituyentes R en la cadena C-C polimérica la disposición de estos grupos radicalarios origina diferentes configuraciones. La configuración isotáctica es aquella en la que todos los radicales R se encuentran a un lado de la cadena. (Beltrán, 2012, p.12)

Si los radicales se encuentran ordenados pero alternados original la configuración sindiotáctica. Por último, si los radicales se disponen en forma aleatoria, se denomina configuración atáctica. Esta configuración depende del método de síntesis y tiene una gran implicación en las propiedades mecánicas. Por ejemplo, el cispoliisopreno (caucho natural) es un elastómero mientras que el transpoliisopreno (gutapercha) tiene propiedades muy diferentes y no es un elastómero. El concepto de cristalinidad de un polímero no es similar al que se utiliza en materiales metálicos o cerámicos. Estos compuestos son muy cristalinos y presentan un gran orden a larga distancia. Este no suele ser el caso de la mayoría de los materiales poliméricos donde el orden principal es en el empaquetamiento entre cadenas poliméricas. (Beltrán, 2012, p.6)

2.3.3. Tara. También conocida como "taya", es una planta originaria del Perú utilizada desde la época pre- hispánica en la medicina folklórica o popular y en los años recientes, como materia prima en el mercado mundial de hidrocoloides alimenticios; de nombre científico *Caesalpinia spinosa* o *Caesalpinia tinctoria*. (Alnicolsa, 2011, p.45)

2.3.3.1. Características botánicas

Es un árbol pequeño en sus inicios, de dos a tres metros de altura; pero, puede llegar a medir hasta 12 m. En su vejes; de fuste corto, cilíndrico y a veces tortuoso, y su tronco, está provisto de una corteza gris espinosa, con ramillas densamente pobladas, en muchos casos las ramas se inician desde la base dando la impresión de varios tallos. La copa de la tara es irregular, aparasolada y poco densa, con ramas ascendentes. (Alnicolsa, 2011, p.45)



Figura 2. tara (*caesalpinia spinosa*)

Sus hojas son en forma de plumas, parcadadas, ovoides y brillantes ligeramente espinosa de color verde oscuro y miden aproximadamente 15 cm de largo. (Alnicolsa, 2011, p.56)

- Sus flores son de color amarillo rojizo dispuestos en racimos de 8 cm a 15 cm de largo.
- Sus frutos son vainas explanadas e indehiscentes de color naranja de 8 cm a 10 cm de largo y 2 cm de ancho aproximadamente, que contienen de 4 a 7 granos de semilla redondeadas de 0.6 cm a 0.7 cm de diámetro y son de color pardo negruzco cuando están maduros. (Alnicolsa, 2011, p.57)

Inflorescencia con racimos terminales de 15 a 20 cm de longitud con flores ubicadas en la mitad distal. Flores hermafroditas, zigomorfas; cáliz irregular provisto de un sépalo muy largo de alrededor de 1 cm, con numerosos apéndices en el borde, cóncavo; corola con pétalos libres de color amarillento, dispuestas en racimos de 8 a 20 cm de largo, con pedúnculos pubescentes de 5 cm de largo, articulado debajo de un cáliz corto y tubular de 6 cm de longitud, los pétalos son aproximadamente dos veces más grandes que los estambres. Cada árbol de tara puede rendir un promedio de 20 Kg a 40 Kg de vaina cosechándolos dos veces al año. Generalmente un árbol de tara da frutos a los tres años, y si es silvestre a los cuatro años. Su Fruto de la Tara promedio de vida es de cien años. (Alnicolsa, 2011, p.58)

2.3.3.2. Utilización y productos de la Tara

- La madera, que tiene una densidad alta, se utiliza como mangos de herramientas, postes, utensilios. Las vainas preparadas en infusión para las amigdalitis, tos, e infecciones bucales. (Carrillo, 1995, p.76)
- Se han realizado estudios de investigación sobre las bondades de tara, se pueden obtener los siguientes productos: taninos, proteínas, grasas, gomas, extracto de tara atomizado, ácido tánico, ácido gálico por hidrólisis directa de tara molida. (Sifuentes, 1994, p.89)

2.3.3.3. Composición química de la goma de Tara

La Goma de Tara, es un polisacárido de elevado peso molecular, sobre todo galactomananos. El componente principal consiste en una cadena lineal de unidades de

(1>4)- β -D-manopiranososa con unidades de α -D-galactopiranososa con enlaces (1->6).
(Sifuentes, 1994, p.9)

2.3.4. Los Galactomananos

Se les conoce como Galactomananos porque son macromoléculas formadas por uniones de galactosa y manosa. La estructura general de estas moléculas es una cadena lineal de D-manosas unidas por enlace $\beta(1-4)$ que presenta ramificaciones de moléculas de D-galactosa, unidas a la cadena principal mediante enlaces $\alpha(1-6)$. Molecularmente se diferencian entre ellas por la relación que existe entre moléculas de manosa: galactosa.
(Andía, 2000, p.13)

2.3.5. Turbidez

La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. (Ramón, 2011, p.11)

Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua. Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis.
(Ramón, 2011, p.12)

Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de OD aún más. Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente cerca de la superficie. (Ramón, 2011, p.1)

2.3.5.1. Purificación del agua potable

La turbidez es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad del agua potable. A las empresas que suministran agua a la población se les exige tratarla para eliminar la turbidez. El agua superficial adecuadamente tratada no presenta normalmente problemas de turbidez. La Organización Mundial de la Salud indica un valor de referencia de turbidez de 5 FTU para el agua potable. (Ramón, 2011, p.21)

Este valor ha sido establecido basándose en las características estéticas del agua. Desde un punto de vista higiénico, el valor recomendado es de 1 FTU. La turbidez es un indicador y no ofrecerá resultados sobre un contaminante específico. Sin embargo, informará del grado total de contaminación. La siguiente tabla para procesos de tratamiento de agua potable muestra los valores de referencia de turbidez para cada fase. (Ramón, 2011, p.2)

Tabla 3. *procesos de tratamiento de agua potable.*

Volumen (m ³ /día)	Cantidad	Frecuencia de muestreo (Muestras por año)			
		Reducido		Estándar	Aumentado
		Suelo	Superficie		
≤100	≤500			4	12
101-1000	501-5000			4	12
1001-2000	5001-10000			4	24
2001-4000	10001-20000	4	4	6	24
4001-7000	20001-35000	4	5	10	36
7001-10000	35001-50000	4	5	10	48

Nota: Amenor volumen, aumenta la frecuencia de muestreo. Fuente: Basado En El De Hellowell (1978).”
Limnetica.

2.3.6. Tratamiento de aguas residuales

Históricamente, la turbidez es uno de los parámetros principales a controlar en las aguas residuales. De hecho, hubo un momento en el que el proceso de control y tratamiento de los mismos se basaba solamente en el control de la turbidez. Actualmente, es necesario medir la turbidez al final del proceso de tratamiento de aguas residuales para verificar que los valores están dentro de las normas reguladoras. Hablando en términos generales, el valor de turbidez ha de encontrarse entre 0 FTU y 50 FTU, con una precisión de ± 3 FTU, dependiendo de la fase del proceso de tratamiento de aguas. (Ramón, 2011, p.23)

Vigilando el nivel de turbidez, se puede determinar si las diferentes fases del proceso, en particular los de filtrado y purificación, se han llevado a cabo correctamente. Solución para Medir la Turbidez Hay dos normas diferentes que deben cumplirse: la USEPA y los Métodos Estándar, que recomiendan una longitud de onda concreta en la zona visible del

espectro y el sistema Europeo, que requiere un emisor de rayos infrarrojos (ISO 7027). Para satisfacer estos requisitos, se desarrollan productos que cumplen una de las dos normas, incluso productos que cumplen ambas normas. Método de Infrarrojos (ISO 7027) Los medidores por el método de infrarrojos funcionan mediante el paso de un rayo de luz infrarroja a través de un vial que contiene la muestra a examinar. (Ramón, 2011, p.24)

La fuente de luz suele ser un LED Infrarrojo de Alta Emisión. Un sensor colocado a 90° con respecto a la dirección de la luz detecta la cantidad de luz dispersada por las partículas no disueltas presentes en la muestra, y a través de algún tipo de microprocesador, se convierte dichas lecturas en valores NTU. (Ramón, 2011, p.3)

2.3.7. Velocidad de agitación

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. (Lorenzo, 2006, p.20)

2.3.7.1. Equipo para agitación

Consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador o impulsor mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. (McCabe, 1998, p.6)

Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. (McCabe, 1998, p.6)

Los agitadores se dividen en: Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor que se denominan impulsores de flujo axial y aquellos que generan corrientes en dirección radial tangencial que se llaman impulsores. (McCabe, 1998, p.7)

2.3.8. Partículas en suspensión.

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. (Andía, 2000, p.13)

En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas, en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas. (Andía, 2000, p.14)

2.3.8.1. Los Coloides. son suspensiones estables, por lo que es imposible sus sedimentaciones naturales, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. (Andía, 2000, p.14)

Tabla 4. *Sistema Coloidal de una Superficie de Contacto*

Tipo	Partícula Dispersa	Tamaño de Partículas	Fase (masa homogénea)	Al reposar	Filtrabilidad	Ejemplos
Solución	Átomo, ion o molécula	0 < 1 nm	Monofásica(1 fase)	No se separa	No filtrable	Agua azucarada, aire húmedo
Coloide	Partícula coloidal	1nm < 0 < 1000nm	Difásica. (2 fases)	No se separa	No filtrable	Gelatina. Neblina, spray
Suspensión	Partícula ordinaria	0 > 1000nm	Trifásica (3 fases)	se separa	Es filtrable	

Nota: La partícula más pequeña son aquellas que se encuentran en suspensión. Fuente: Arboleda(2000).Teoría y práctica de Tratamiento de Agua Residuales, Mac,Graw.

2.3.8.2. Afinidad de las partículas coloidales por el agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (tienen afinidad por el agua) e hidrófobos (es decir que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos. (Andía, 2000, p.15)

2.3.9. Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. (Andía, 2000, p.16)

2.3.9.1. Teoría de la coagulación

La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan. (Lorenzo, 2006, p.67)

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. (Lorenzo, 2006, p.68)

La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, ésta debería estar clara; si esto no ocurre, lo más probable es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante. (Lorenzo, 2006, p.68)

		Tabla	
5.	PARAMETROS	reducción máxima obtenida mediante la coagulación. 0: nada de reducción +: de 0 a 20% de reducción ++: 20 a 80% de reducción +++: > 80% de reducción	de la
	Minerales Turbidez	+++	
	Materias en Suspensión	+++	
	Fosfatos (P ₂ O ₅)	+++	
	Nitratos	0	

coagulación sobre las sustancias contenidas en el agua

Nota: Los parámetros es un buen indicador del estado de calidad del Agua. Fuente: Lorenzo-Acosta, 2006 p.68).

2.3.9.2. Mecanismo de la coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa. (Andía, 2000, p.55)
- Adsorción y neutralización de cargas. (Andía, 2000, p.55)
- Atrapamiento de partículas. (Andía, 2000, p.55)
- Adsorción y puente. (Andía, 2000, p.55)

2.3.9.3. Compresión de la doble capa

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. (Andía, 2000, p.56)

2.3.9.4. Adsorción y neutralización de cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. (Andía, 2000, p.53)

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio. (Andía, 2000, p.58)
- b) Aluminato de Sodio. (Andía, 2000, p.58)
- c) Cloruro de Aluminio. (Andía, 2000, p.58)
- d) Cloruro Férrico. (Andía, 2000, p.58)
- e) Sulfato Férrico. (Andía, 2000, p.58)
- f) Sulfato Ferroso. (Andía, 2000, p.58)
- g) Polielectrolitos. (Andía, 2000, p.58)

2.3.9.5. Factores que influyen en la coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH. (Andía, 2000, p.60)
- Turbiedad. (Andía, 2000, p.60)
- Sales disueltas. (Andía, 2000, p.60)

- Temperatura del agua. (Andía, 2000, p.60)
- Tipo de coagulante utilizado. (Andía, 2000, p.60)
- Condiciones de Mezcla. (Andía, 2000, p.60)
- Sistemas de aplicación de los coagulantes. (Andía, 2000, p.60)
- Tipos de mezcla y el color. (Andía, 2000, p.60)

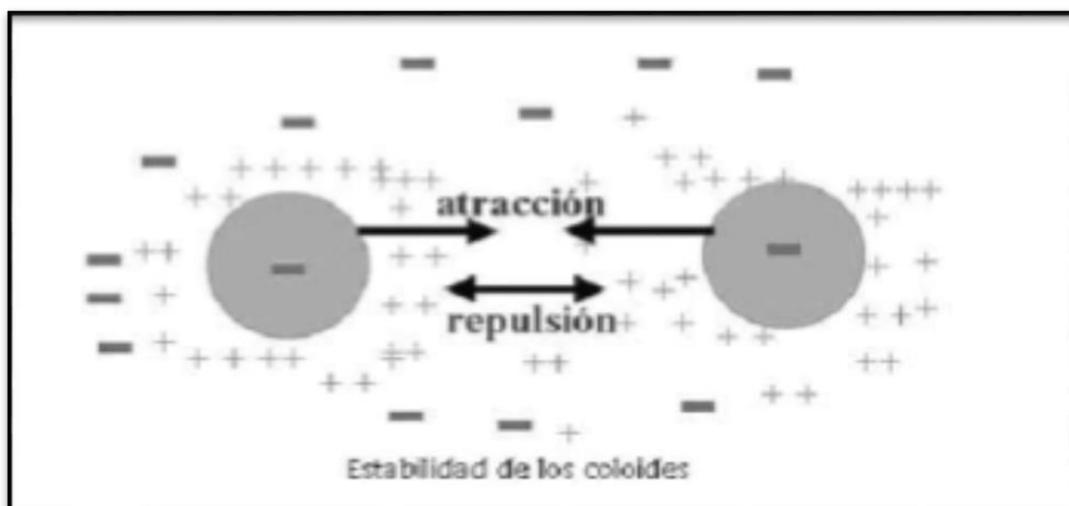
Las interrelaciones entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua. (Andía, 2000, p.60)

2.3.9.6. Sistema de aplicación del coagulante.

Se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando:

La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente mezclado con el agua. (Andía, 2000, p.62)

Figura 3.



Estabilidad de Coloides.

Nota: Fuerzas de atracción y repulsión. Fuente: Andía, Yolanda. (2000). “Tratamiento de Agua Coagulación Y Floculación.” Sedapal 2: 1–44.

2.3.10. Floculación.

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico –flóculos. (Restrepo, 2009, p.21)

Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración. (Restrepo, 2009, p.21)

2.3.10.2. Cinética de la floculación

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo. (Restrepo, 2009, p.22)

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia. (Restrepo, 2009, p.22)

Los contactos pueden realizarse por dos modos distintos:

2.3.10.3. Flocculación pericinética.

Contactos por bombardeo de las partículas producidos por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que sólo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Sólo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10 segundos y es independiente del tamaño de la partícula. (Restrepo, 2009, p.23)

2.3.10.4. Flocculación ortocinética.

Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo sólo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 min. (Restrepo, 2009, p.23)

2.3.10.5. Concentración y naturaleza de las partículas

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas. (Restrepo, 2009, p.24)

2.3.10.6. Tiempo de detención

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de flocculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de flocculación en serie. Por razones de orden práctico el número de

cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades. (Restrepo, 2009, p.24)

2.3.10.7. Gradiente de velocidad

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados. (Restrepo, 2009, p.25)

Tabla 6. *Índice de Willcomb para Caracterización de Flóculos*

Índice	Descripción del índice de willcomb
0	Flóculo coloidal. Sin ninguna señal de aglutinamiento
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible.
4	Disperso. Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido.
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande, pero que precipita con lentitud
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina

Nota: Andía, Yolanda. (2000). "Tratamiento de Agua Coagulación Y Floculación."

2.3.11. El Balance de repulsión y atracción.

La teoría DLVO (llamada así por Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek) es la clásica explicación de los coloides en suspensión. Esta se basa en el equilibrio entre las fuerzas opuestas de repulsión electrostática y atracción tipo Van Der Waals y explica por qué algunos coloides se aglomeran mientras que otros no lo hacen. La repulsión electrostática llega a ser importante cuando los coloides se aproximan y la doble capa comienza a interferir. Se requiere energía para sobrepasar esta repulsión y forzar la unión entre las partículas. Esta energía aumenta fuertemente cuando las partículas se acercan. Se usa una curva de repulsión electrostática para indicar la cantidad de energía que hay que vencer para que las partículas

puedan ser forzadas a juntarse. Esta energía llega a un valor máximo cuando las partículas están casi juntas y disminuye a cero fuera de la doble capa. Su valor máximo está relacionado con el potencial de la superficie. La atracción de Van Der Waals entre los coloides es ciertamente el resultado de las fuerzas entre las moléculas individuales de cada coloide. El efecto es aditivo; o sea, una molécula del primer coloide experimenta la atracción de Van Der Waals de cada molécula del segundo coloide. Esto se repite para cada molécula del primer coloide y la fuerza total corresponde a la suma de todas ellas. Se usa una curva de energía de atracción para indicar la variación en las fuerzas de Van Der Waals con la distribución entre las partículas. (Restrepo, 2009, p.27)

La teoría DLVO explica la tendencia de los coloides a aglomerarse o permanecer separados al combinar la atracción de Van Der Waals y la curva de repulsión electrostática: la curva combinada es llamada la energía neta de interacción. A cada distancia el pequeño valor se resta del mayor valor para dar la energía neta. El valor neto se representa entonces arriba si es repulsivo o abajo si es atractivo, y así se forma la curva. (Restrepo, 2009, p.27)

La curva de interacción neta cambia siempre de atracción a repulsión y nuevamente a atracción. Si existe una zona repulsiva, entonces el punto de máxima energía de repulsión se llama la barrera de energía. La altura de esta barrera indica cuan estable es el sistema. (Restrepo, 2009, p.28)

Para aglomerar dos partículas que van a chocar estas deben tener suficiente energía cinética debido a su velocidad y masa, como para pasar sobre dicha barrera. Si la barrera desaparece, entonces la interacción neta es totalmente atractiva y consecuentemente las partículas se aglomeran. Esta región interna es referida como la *trampa de energía*, pues los

coloides pueden considerarse como sistemas unidos por fuerzas de van der Waals. (Restrepo, 2009, p.28)

Dependiendo de nuestros propósitos es posible alterar el entorno del coloide para aumentar o disminuir la barrera energética. Varios métodos pueden ser usados para este propósito, tales como cambios en la atmósfera iónica, el pH o agregando compuestos activos para afectar directamente la carga del coloide. En cada caso la medida de la potencial zeta indicará el efecto de la alteración, principalmente en su estabilidad. (Restrepo, 2009, p.29)

2.3.11.1. Efecto de tipo y concentración de electrolitos

Electrolitos simples e inorgánicos pueden tener un efecto significativo en la potencial zeta. El efecto frecuentemente depende de la valencia relativa de los iones y de su concentración. La valencia relativa también puede considerarse como el tipo de electrolito, el cual se entiende como la razón estequiometría entre el catión y el anión. En este ejemplo, la potencial zeta de una suspensión diluida de sílice coloidal fue modificada al añadir diferentes electrolitos. Cloruro de aluminio es un electrolito 3:1 y sus cationes trivalentes fácilmente desplazan la potencial zeta hacia cero. (Restrepo, 2009, p.29)

2.3.12. Coadyuvantes de la floculación

Las dificultades que pueden presentar algunos coloides desestabilizados para formar flóculos pesados que sedimentan bien han dado lugar a la búsqueda de sustancias que ayudan a la formación de estos flóculos. (Restrepo, 2009, p.30)

Entre las dificultades que se pueden presentar en un proceso de floculación están:

- Formación de flóculos pequeños de lenta sedimentación. (Restrepo, 2009, p.31)

- Formación lenta de flóculos. (Restrepo, 2009, p.31)
- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo. (Restrepo, 2009, p.31)
- Formación de microflóculos que pasan por los filtros. (Restrepo, 2009, p.31)

Para eliminar estas dificultades y lograr flóculos grandes y bien formados de fácil sedimentación se han utilizado sustancias y procedimientos muy variados. Los más usados son los siguientes:

- a) Oxidantes:** Como la percloración, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales, ayudando a una mejor floculación posterior. (Restrepo, 2009, p.31)
- b) Adsorbentes:** Las aguas muy coloreadas y de baja mineralización en que los flóculos de aluminio ó hierro tienen muy poca densidad, coagulan muy bien al añadir arcilla que da lugar a que se adsorba y origine flóculos pesados de fácil sedimentación. Otros adsorbentes son la caliza pulverizada, sílice en polvo y carbón activo. (Restrepo, 2009, p.32)
- c) Sílice activa:** Algunos compuestos inorgánicos pueden ser polimerizados en agua para formar polímeros floculantes inorgánicos. Este es el caso de la sílice activa que presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con Alumbre. (Restrepo, 2009, p.32)

2.3.13. Sedimentación

Definimos como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. (Pérez, 2005, p.12)

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro:

- a) Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm. (Pérez, 2005, p.12)
- b) Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm. (Pérez, 2005, p.12)
- c) Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm. (Pérez, 2005, p.12)

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos Para eliminar las impurezas. El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. Constituye la "sedimentación simple", el segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar. (Pérez, 2005, p.12)

Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "floc" y permitir así la sedimentación. Es decir que en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación. (Pérez, 2005, p.14).

A continuación, detallaremos una tabla en el que se presenta a título ilustrativo valores de la "velocidad de sedimentación" correspondiente a partículas de peso específico 2,65 kg./dm³ y a una temperatura del agua de 10° C, teniendo. (Pérez, 2005, p.16)

De un rápido análisis del cuadro se deduce que en la práctica es necesario establecer un tiempo límite para la sedimentación estableciendo a priori el diámetro mínimo que la estructura podrá remover. Lo contrario implicaría diseñar tanques de sedimentación con las posibilidades económicas y aún físicas de los proyectos. (Pérez, 2005, p.16)

2.3.13.1. Sedimentación de partículas discretas

Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los pre sedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta. (Maldonado, 2004, p.3)

2.3.13.2. Sedimentación de partículas floculantes

Partículas floculantes son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizados a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia

de las partículas discretas, la característica de este tipo de partículas forma, tamaño, densidad sí cambian durante la caída. (Maldonado, 2004, p.3)

Se denomina sedimentación floculante o decantación al proceso de depósito de partículas floculantes. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación floculación y la filtración rápida. (Maldonado, 2004, p.3)

2.3.13.3. Sedimentación por caída libre e interferida

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida. (Maldonado, 2004, p.3)

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos. (Maldonado, 2004, p.3)

2.3.13.4. Expresiones de velocidad de sedimentación

a) Partículas discretas con caída libre

El fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre, también denominado en soluciones diluidas, puede describirse por medio de la mecánica clásica. (Maldonado, 2004, p.3)

La sedimentación es solamente una función de las propiedades del fluido y las características de las partículas según se demuestra a continuación. (Maldonado, 2004, p.3)

b) Sedimentación interferida

Cuando una partícula discreta sedimenta a través de un líquido en caída libre, el líquido desplazado por la partícula se mueve hacia arriba a través de un área suficientemente grande sin afectar el movimiento. En la sedimentación interferida, las partículas se encuentran colocadas a distancias tan reducidas que el líquido desplazado se confina como dentro de un tubo y la velocidad aumenta conforme se interfiere en los campos situados alrededor de las partículas individuales. (Maldonado, 2004, p.8)

El flujo no sigue líneas paralelas, sino trayectorias irregulares, a causa de la interferencia de las partículas en suspensión, lo que produce un fenómeno similar al que se genera en el retrolavado de un filtro. (Maldonado, 2004, p.8)

c) Sedimentación de partículas floculantes

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad. (Maldonado, 2004, p.11)

La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos (fúlvicos, húmicos, etc.) de origen vegetal con densidades variables de 1 a 5 dependiendo de su concentración. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación. (Maldonado, 2004, p.11)

Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos donde son formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 o Fe_2O_3), agua en 85% a 95%, la turbiedad y/o color con densidades variables entre 1,002 cuando predomina el color y 1,03 cuando predomina la turbiedad. En procesos de ablandamiento los flóculos tienen densidades cercanas a 1,20. El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación. (Maldonado, 2004, p.11)

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculantes depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores y de la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencia de velocidades de sedimentación de los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad, factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático

general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas remocionales en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas. (Maldonado, 2004, p.13)

2.3.14. Pruebas de Jarras.

2.3.14.1. ¿Qué es la prueba de jarra?

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor (Rodie, 2001, p.15).



Figura 4. *Índice de Willcomb para Caracterización de Flóculos*

Nota. En cada una de las jarras se colocara una determinada muestra a analizarSegún . Fuente: Basado En El De Hellowell (1978).”

El aparato de prueba de jarra contiene seis remos que remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras que la condición de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores. (Hernández et al, 1963, p.10)

Teniendo en cuenta las aplicaciones que se llevan a cabo en la práctica se han puesto a punto las siguientes técnicas:

- a) **Absorbancia:** Se mide mediante un espectrofotómetro. Se seleccionarán los tratamientos que dejen una menor turbidez en el agua tratada en el caso de la clarificación de aguas. (Hernández et al, 1963, p.10)
- b) **pH:** Se mide mediante un electrodo y un pH neutro. Previamente calibrado con patrones de 4 y 7. El valor del pH sirve para establecer el tipo de reactivos a utilizar y, en el caso de la eliminación de dureza, está relacionado con la eficacia en la precipitación del $Mg(OH)_2$. (Hernández et al, 1963, p.10)
- c) **Dureza:** Se mide mediante valoración con EDTA usando Negro de Eriogromo (NET) como indicador. Indica la efectividad del tratamiento de "ablandamiento" de las aguas de pozo. (Hernández et al, 1963, p.11)

2.3.14.2. Procedimiento experimental y resultados Según Villabona, et al., (2013),

Según Hernández, et al., (1963), El objetivo es eliminar el color a un agua residual industrial sintética. Por este motivo, la eficacia del tratamiento será determinada por medida espectrofotométrica. Las suspensiones coloidales suelen estar cargadas negativamente por lo

que se usa un coagulante que aporte cargas positivas, como son sulfato de alúmina y sulfato de hierro (III). El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) Se preparan seis vasos de precipitados de 1000 cm³ de capacidad, introduciendo en cada uno 600 cm³ del agua a tratar. (Hernández et al, 1963, p.12)
- b) Utilizando la disolución de uno de los coagulantes preparada anteriormente, añadir diferentes dosis del mismo de forma que las concentraciones sean 20, 40, 60, 80,100 y 120 ppm. (Hernández et al, 1963, p.12)
- c) Se toma una pequeña cantidad de muestra de cada uno de los vasos de precipitados y se mide su absorbancia a 575 nm. (Hernández et al, 1963, p.12)
- d) Se agita de forma enérgica (150 rpm) durante 3 minutos y a continuación de una forma más lenta (25 rpm) durante 12 minutos. Transcurrido este tiempo se levanta el agitador, teniendo cuidado de no romper flóculos, y se deja decantar 20 minutos. (Hernández et al, 1963, p.12)
- e) Una vez decantado se toma una muestra de cada vaso y se mide su absorbancia a 575 nm. (Hernández et al, 1963, p.12)
- f) Con los valores de absorbancia medidos se construye una gráfica donde se represente el porcentaje de reducción de absorbancia frente a la concentración de coagulante empleada. (Hernández et al, 1963, p.12)
- g) Se repiten los pasos 1 a 3, pero añadiendo en todos los vasos la dosis de coagulante óptima determinada anteriormente. (Hernández et al, 1963, p.12)
- h) Se agita durante 3 minutos a una velocidad de 150 rpm. (Hernández et al, 1963, p.12)

- i) Se añade de la disolución madre de polielectrolito de 1000 ppm los volúmenes necesarios para que la concentración del mismo en los distintos vasos de precipitados varíe entre 1 y 6 ppm. (Hernández et al, 1963, p.12)
- j) Se agita durante 12 minutos a una velocidad de 25 rpm. 11. Se deja reposar para que se produzca la sedimentación. (Hernández et al, 1963, p.12)

Observar la diferente velocidad de sedimentación en función de la cantidad de polielectrolito empleado. (Hernández et al, 1963, p.12)

2.4. Marco conceptual

2.4.1. Ambiente

“Medio ambiente” toda la red de interacciones geológicas y biológicas que determinan la relación entre la vida y el planeta Tierra. Pero es además el conjunto de relaciones fundamentales que existen entre el mundo material o biofísico (atmósfera, litosfera, hidrosfera, biosfera) y el mundo sociopolítico. (Estrella, 2014, p.9)

La última cumbre mundial relacionada con el medio ambiente, bajo el lema construyendo la cumbre de los pueblos (Río+20), vuelve a incidir en la necesidad de otro tipo de desarrollo, como por ejemplo en frenar el cambio climático que trae como consecuencia crisis alimentaria en algunos países continentales o la desaparición de pequeños estados insulares. O, también, cómo irse encaminando para proponer una nueva forma de vida en el planeta, en solidaridad contra la mercantilización de la naturaleza y en defensa de los bienes comunes, hablando de la justicia social y ambiental. Y para todo ello es también fundamental

conocer los servicios que proporcionan los ecosistemas al bienestar humano, clave para las interacciones económicas con la ciencia ecológica. (Estrella, 2014, p.16)

2.4.2. Impacto ambiental

Desde siempre la especie humana ha interactuado con el medio natural y lo ha modificado, Pero ha sido en las últimas décadas dónde más hemos modificado la Naturaleza para obtener beneficios olvidando sus costes. (Encinas, 2011, p.14)

La evaluación de los ecosistemas del milenio, cuya síntesis mostramos a continuación, puede ser un buen indicador de la afirmación anterior: prácticamente todos los ecosistemas de la tierra han sido transformados de forma significativa por las actividades humanas, pero los cambios han sido especialmente rápidos en los últimos 50 años. Hoy en día, las transformaciones más rápidas están teniendo lugar en los países en vías de desarrollo económico. (Encinas, 2011, p.15)

La actividad humana ha causado entre 50 y 1000 veces más extinciones en los últimos 100 años que las que hubieran ocurrido por procesos naturales. Los costos de estos impactos han resultado ser un verdadero problema. Por eso hablamos de problemas ambientales que, aunque no son nuevos, hacen que sea especialmente preocupante la situación actual: la aceleración de esas modificaciones, su carácter masivo y la universalidad de sus consecuencias. Los problemas ambientales ya no aparecen como independientes unos de otros, sino que constituyen elementos que se relacionan entre sí configurando una realidad diferente a la simple acumulación de todos ellos. Por ello, hoy en día podemos hablar de algo más que de simples problemas ambientales. Nos enfrentamos a una auténtica crisis ambiental y la gravedad de la crisis se manifiesta en su carácter global. (Encinas, 2011, p.18)

Problemas que se potencian mutuamente y que han creado una situación insostenible. Necesitamos un sistema socioeconómico, para anteponer la protección del medio ambiente, la erradicación de la pobreza y la universalización de todos los Derechos Humanos, a los beneficios económicos particulares. (Estrella, 2014, p.17)

2.4.3. Recursos naturales renovables y no renovables

Un recurso natural puede ser definido como un bien o servicio proporcionado por la Naturaleza sin alteraciones por parte del ser humano. Se diferencian así de los recursos culturales y humanos que son los bienes transformados, el trabajo o la tecnología. Desde el punto de vista de la economía, los recursos naturales son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y a su desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios de los ecosistemas). (Estrella, 2014, p.17)

Cuando nos referimos a los recursos naturales distinguimos entre aquellos que son renovables, es decir, que pueden ser renovados continuamente mediante su explotación racional (como el suelo, y el agua), o son inagotables (como la energía solar, o la producida por el viento). Y los recursos naturales no renovables, que son los que su explotación conlleva su extinción (minerales, recursos energéticos de origen natural o fósiles, como el petróleo y el carbón). (Estrella, 2014, p.17)

2.4.4. La contaminación

Se entiende por contaminación la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, y al uso y disfrute de lo que ha sido contaminado. Esto es, un

medio o vector ambiental (aire, agua o suelo) estará contaminado si tiene algo (sustancias materiales, energía en forma de ruido, calor.) que provoca efectos negativos en él. (Encinas, 2011, p.12)

2.4.5. ECA

El estándar de calidad Ambiental (ECA), son instrumentos de gestión ambiental que consisten en parámetros y obligaciones que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas (Olea, C. 2012). Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (D.S. N°015-2015-MINAM).

2.4.6. Turbidez

La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua. agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua. (Gonzales, 2013, p.41)

2.5. Hipótesis de la investigación.

Si la disminución de la turbidez es mayor a 80% entonces podemos decir que la *Caesalpinia spinosa* es un buen Floculante y coagulante. Si la turbidez es entre 20 % y 80% entonces la *Caesalpinia spinosa* es un coadyuvante de la floculación.

2.5.1. Operacionalización de las variables.

Tipo de variables	Variable	Definición	indicador	Unidad
Independiente	Concentración de floculante (goma de <i>Caesalpinia spinosa</i>)	Relación de la masa del agente activo por volúmenes de solución.	goma de <i>Caesalpinia spinosa</i>	mg/l
	Turbidez	Es la medida del grado de transparencia aparente del agua.	ECAs D.S. N°0152015-MINAM	NTU
Intervinientes	Tiempo	Período determinado durante el que se realiza una acción	Tiempo inicial – Tiempo final	Minutos.
	Velocidad de Agitación	Forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente	20 – 120 revoluciones por minuto.	Rpm.
Dependiente	Remoción de la turbidez	criterio porcentual de remoción de turbiedad	Eficiencia del % disminución	%

CAPITULO III

3. Metodología de la investigación

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación a realizar es experimental: Cuya finalidad fue evaluar la eficiencia de la goma de *Caesalpinia spinosa* en la remoción de sólidos suspendidos, de las aguas del Río Chonta, Baños del Inca.

3.2. Área de investigación.

Tratamiento de Aguas Residuales.

3.2.1. Localización del área de estudio.



Figura 5. Cuenca del Río Chonta: Mapa del punto de muestreo.

Fuente: Google Earth.

Tabla 7. *coordenadas del punto de muestreo.*

Punto de muestreo	Coordenadas	Referencia Geográfica
P1	7° 10' 19.87''s 78° 28' 5.64''w 2 667 m	Viaducto – Baños del Inca

Nota: Identificación de coordenadas en el Viaducto-Baños del Inca. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2. Población.

Agua superficial de la cuenca baja del Río Chonta Distrito de los Baños del Inca, provincia de Cajamarca.

3.2.3. Muestra

50 litros de agua superficial de la cuenca baja del Río Chonta Distrito de los Baños del Inca, provincia de Cajamarca.

3.2.4. Unidad de análisis.

Un litro de agua por jarra

3.3. Técnicas de muestreo.

Mediante la técnica de muestreo de análisis de agua, permite evaluar las propiedades de una matriz (agua natural superficial o subterránea, agua residual doméstica o industrial, agua tratada, agua marina), cuyos resultados deben ser de alta calidad y confiabilidad y adecuados al propósito para el cual fueron solicitados, ya que con base en esta información se toman

importantes decisiones en materia de legislación, medidas de mitigación, control y protección del medio ambiente las cuales están regidas por normas y regulaciones de carácter oficial.

Las muestras recolectadas para los análisis deben ser relevantes y verdaderamente representativas, por lo tanto, el muestreo es el aspecto más crítico de un monitoreo.

El programa consistió en una visita preliminar para identificar la estación de muestreo representativa y tomar las muestras para probar las metodologías, y dos muestreos que se realizaron de acuerdo al régimen hidrológico de la cuenca baja del Río Chonta.

La inspección preliminar se realizó el 16 de Abril del 2018 (16-04-2018); la primera muestra se realizó el 5 de Junio del 2018 (5-6-2018) a las 7 de la mañana, siendo el día anterior, sin ningún tipo de precipitación; a pocos metros del oleoducto de los Baños del Inca; y la segunda se realizó el 6 de Junio del 2018 (6-6-2018) a las 9 de la mañana.

3.3.1. Provisiones para el muestreo de agua.

a) Logística:

- Mapa de localización de las estaciones.
- Dos baldes, de 30 litros.
- Cámara digital.

b) Limpieza instrumentos

- Agua destilada
- Agua mineral (en caso de no tener agua destilada)

Equipo de protección personal básico (EPP):

- Guantes de nitrilo.
- Mascarillas (para aguas residuales)
- Botas de jebe.

3.3.2. Recolección de muestras.

- Nos colocamos los guantes de látex (agua residual).
- Tomamos la muestra en dos baldes (enjuagando 3 veces), la suficiente cantidad como para llenar los vasos de precipitación.
- Enjuagamos 3 veces los baldes, antes de tomar la muestra.
- Se preservó las muestras en caso lo requiera.
- Colocamos los baldes tapados en la sombra mientras duró el muestreo y transporte al laboratorio.

3.3.3. Transporte y entrega de la muestra al laboratorio

En el momento de almacenarlas revisamos los baldes que estén correctamente tapados para evitar posibles derrames. Llevamos las muestras al laboratorio lo más antes posible ya recolectadas, en el transcurso de 24 horas como máximo.

3.3.4. Recepción de las muestras en el laboratorio

En la recepción nos percatamos que la muestra cumpla con los requisitos mínimos, de los cuales depende la calidad de los resultados. Verificamos que el recipiente sea adecuado para contener la muestra de acuerdo al tipo de ensayo a realizar, si el volumen de muestra es el suficiente para la realización de las pruebas también se verificó, el estado en el cual se encontraba el equipo de Test de Jars, y otros instrumentos utilizados.

3.4. Técnicas de investigación.

El método de investigación se utilizó, fue el método cuantitativo. Este método nos permitió la manipulación de variables como el tiempo, Velocidad de Agitación, y Concentración de la Goma de Tara. Las dos muestras recogidas en su estado natural y para el tratamiento previo se utilizó la goma de tara en la remoción de sólidos suspendidos del agua del río Chonta mediante la floculación y coagulación; en el cual se realizó el análisis en el laboratorio Innodevel SAC.

3.4.1. Procedimiento de laboratorio

En la preparación de la goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como polímero en solución, se usó un producto proporcionado por la empresa AC TIERRA S.A.C, quien nos suministró bolsas selladas de kilo de goma de tara de tipo A.

Se pesó en una balanza Analítica la cantidad de 1 gramo de tara tipo A para la respectiva concentración.

Una vez pesada la goma de tara se disolvió lentamente en un vaso de precipitado con aproximadamente 200 ml de agua para evitar la formación de grumos, ayudados de una bagueta para obtener una solución homogénea y gelatinosa en frío.

La solución obtenida se agregó a una fiola de 500 ml, se agregó agua paulatinamente hasta llegar al volumen de 500 ml. Luego se agitó para homogenizar la solución de goma de tara, obteniendo una solución de aspecto gelatinosa la cual está lista para su uso como polímero natural. Para la aplicación del método de Prueba de Jarras, se midió la Turbidez inicial de las muestras obteniendo un promedio de 41UNT, luego se preparó seis vasos de precipitado de 1000 mg/L de capacidad, introduciendo en cada uno 600mg/L del agua a tratar. Se introdujo diferentes dosis de coagulante con concentraciones de 1, 2, 4, 6,8 y 10 mg/L, luego se agita de forma energética, (según el test de jarras recomienda el tiempo óptimo de 15 minutos) sin embargo se ha creído conveniente utilizar dos tiempos distintos de 15 y 20 minutos, a distintas Rpm como 20, 40, 60, 80, 100 y 120 Rpm; luego se deja decantar por 30 minutos.

Finalmente se mide la turbidez final; medidos ellos se construye una gráfica y se determinó la velocidad de agitación, el tiempo y la concentración óptima.

3.4.2. Instrumentos.

Formatos (Fichas de laboratorio)

3.4.3. Equipos

Se utilizó los siguientes equipos de campo y laboratorio para realizar las pruebas respectivas, estas se realizarán en el laboratorio Innodevel SAC.

- GPS

- Equipo de prueba de Jarras
- Turbidímetro.

3.4.4. Materiales:

- Frascos esterilizados.
- Guantes descartables.
- 01 bureta.
- 01 matraz de Erlenmeyer.
- Fialas de diversos volúmenes.
- 02 pipetas graduadas.
- 06 vasos de precipitados de 50 ml.

3.4.5. Indumentarias de protección

- Mandil. Mascarilla.
- Guantes quirúrgicos.
- Gafas de seguridad.

3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.

La identificación de los resultados se realizó en gabinete con la finalidad de analizar y observar la concentración óptima, el tiempo óptimo y la velocidad de agitación. La ubicación de la zona de muestreo se realizó mediante herramienta informática (Google Earth,), para el procesamiento de datos utilizamos el programa estadístico Minitab.

3.5.1. Técnicas de análisis de datos

Obtenidos los datos en cuestión, se consideró en forma manual, codificados y almacenados en el programa Minitab. El trabajo se culminó con la identificación de indicadores, presentación de tablas y gráficos lineales que permitirán analizar variancia y comparación de dichas muestras.

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

Durante el desarrollo de la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados considerando como factores o variables independientes a la concentración; como variable interviniente a la disminución de la turbidez, la velocidad de agitación, el tiempo y la variable dependiente es Eficiencia de la goma de *Caesalpinia Spinosa*, los cuales se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados promedios de turbidez inicial y final

Etiquetas de fila	Promedio de Turb. Final (NTU)	Promedio de Turb. Inicial (NTU)
20	12.83333333	40.9
15	14.6	40.93333333
1	12.1	41.4
2	14.4	41.4
4	13.8	40.5
6	12.8	40.9
8	19.8	40.7
10	14.7	40.7
20	11.06666667	40.86666667
1	9.4	40.7
2	11.6	41.3
4	11.3	40.5
6	10.9	40.5
8	10.1	40.7
10	13.1	41.5
40	11.3	41.075
15	13.23333333	41.03333333
1	12.5	40.6
2	12.4	41.3
4	13	40.9
6	13.2	40.6
8	14	41.3
10	14.3	41.5
20	9.36666667	41.11666667
1	9.8	41.4
2	9.5	41.4
4	8.4	40.5
6	8.1	41.5
8	10.1	41
10	10.3	40.9
60	15.11666667	41.05
15	14.61666667	41.16666667
1	16	41.5
2	14.9	40.9
4	15.1	41.1
6	14.3	41.4
8	13.8	41
10	13.6	41.1
20	15.61666667	40.93333333
1	16.4	41.3
2	16.2	40.9

4	16.1	41.3
6	15.3	40.6
8	15.7	40.7
10	14	40.8
80	15.01666667	40.9
15	14.5	40.96666667
1	16	40.5
2	15	41.4
4	13	40.5
6	12	41.1
8	15	41.5
10	16	40.8
20	15.53333333	40.83333333
1	15	40.6
2	16.2	40.9
4	16.8	40.6
6	15.9	40.8
8	15.3	41
10	14	41.1
100	21.15	40.96666667
15	24.01666667	41.06666667
1	25.3	41.3
2	24.6	40.7
4	24.3	41.5
6	24.1	40.9
8	23	40.7
10	22.8	41.3
20	18.28333333	40.86666667
1	20.7	41
2	19.8	41.4
4	17.4	40.9
6	17.2	40.8
8	17.3	40.6
10	17.3	40.5
120	25.33333333	41.01666667
15	27.21666667	41.21666667
1	27.6	41.2
2	27.1	40.7
4	26.5	41.5
6	26.2	41.1
8	28.3	41.4
10	27.6	41.4
20	23.45	40.81666667
1	25.1	40.8

2	24.9	40.5
4	24.5	40.6
6	23.9	40.5
8	21.9	41.3
10	20.4	41.2
Total general	16.79166667	40.98472222

4.2. Análisis de datos

4.2.1. Análisis de datos de la turbidez inicial.

Para verificar si existe variabilidad en los valores de la turbidez inicial realizamos las pruebas estadísticas de Análisis de Varianza (ANOVA) con las comparaciones de Tukey, Fisher y Dunnett. Considerando que el valor de p debe ser menor a 0.05 para considerar que existe variabilidad y además que las tres comparaciones tengan las mismas agrupaciones; así mismos se hace uso del diagrama de “box plots” (caja de bigotes) para comparar los intervalos y verificar la similitud. Se hace uso del Minitab.

Tabla 9. *Hipótesis estadística de ANOVA para la turbidez inicial*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 10. *Análisis de Varianza para turbidez inicial*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agitación (RPM)	5	0.3374	0.06747	0.55	0.736
Error	66	8.0558	0.12206		
Total	71	8.3932			

Según los resultados mostrados en las tablas 10 y 11 de la prueba estadística de ANOVA se obtiene un valor de p igual a 0.736, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los valores iniciales de turbidez, es decir proviene de una sola población.

Tabla 11. *Comparaciones en parejas de Tukey para turbidez inicial*

	A gitación (RPM)		M edia	Agr upación
0	4	2	1.075	A
0	6	2	1.0500	A
20	1	2	1.017	A
00	1	2	0.9667	A
0	8	2	0.9000	A
0	2	2	0.900	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza individual = 99.54%

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

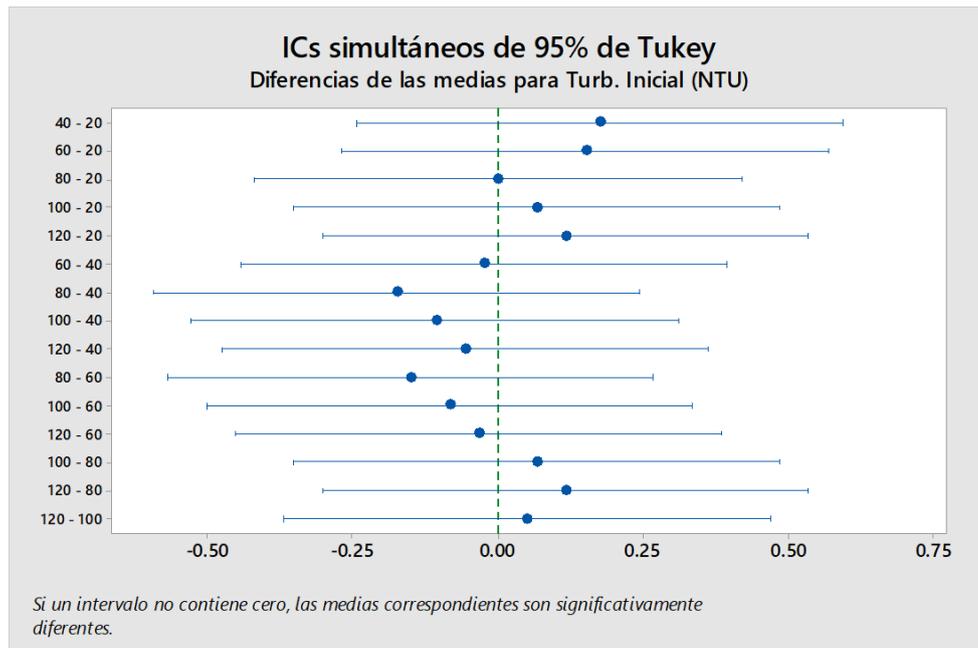


Figura 6. Gráfica de comparaciones de Tukey para turbidez inicial

De acuerdo con las comparaciones de Tukey mostradas en la tabla 12 y la figura 7 para la turbidez inicial se determina que las agrupaciones son las mismas y que el eje central de cero intercepta a todos los intervalos, por lo tanto, los resultados no tienen una variabilidad significativa.

Tabla 12. Comparaciones en parejas de Fisher para turbidez inicial

A		M	Agr
gitación		edia	rupación
(RPM)			
40	2	4	A
		1.075	
60	2	4	A
		1.0500	
12	2	4	A
0		1.017	
10	2	4	A
0		0.9667	
80	2	4	A
		0.9000	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza simultánea = 64.46%

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

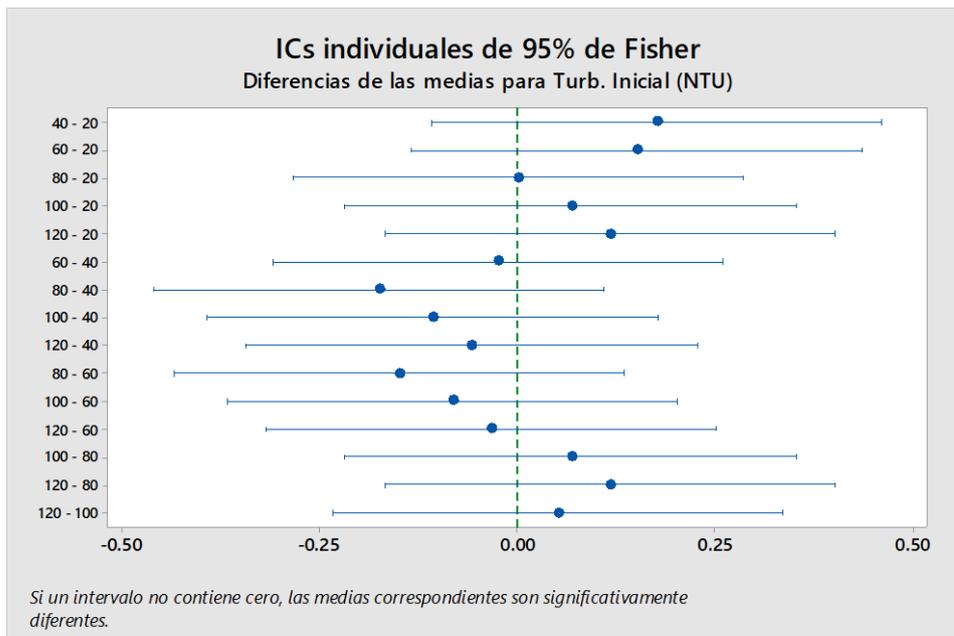


Figura 7. Gráfica de comparaciones de Fisher para turbidez inicial

De acuerdo con las comparaciones de Fisher mostradas en la tabla 13 y la figura 8 para la turbidez inicial se determina que las agrupaciones son las mismas y que el eje central de cero intercepta a todos los intervalos, por lo tanto, los resultados no tienen una variabilidad significativa.

Tabla 13. Comparaciones múltiples de Dunnet con un control para turbidez inicial

Agitación (RPM)	Me dia	Agrupación
20 (control)	40.9	A
	00	

40	2	41.075	A
60	2	41.0500	A
120	2	41.017	A
100	2	40.9667	A
80	2	40.9000	A

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Nivel de confianza individual = 98.78%

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

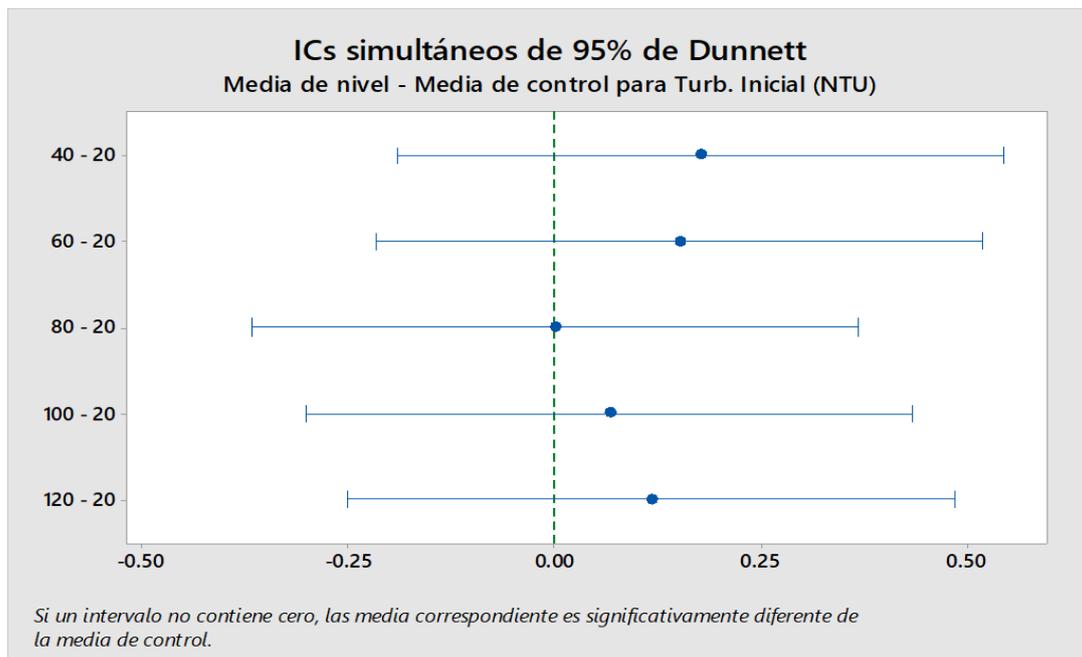


Figura 8. Gráfica de comparaciones de Dunnett para turbidez inicial

De acuerdo con las comparaciones de Dunnett mostradas en la tabla 14 y la figura 9 para la turbidez inicial se determina que las agrupaciones son las mismas y que el eje central

de cero intercepta a todos los intervalos, por lo tanto, los resultados no tienen una variabilidad significativa.

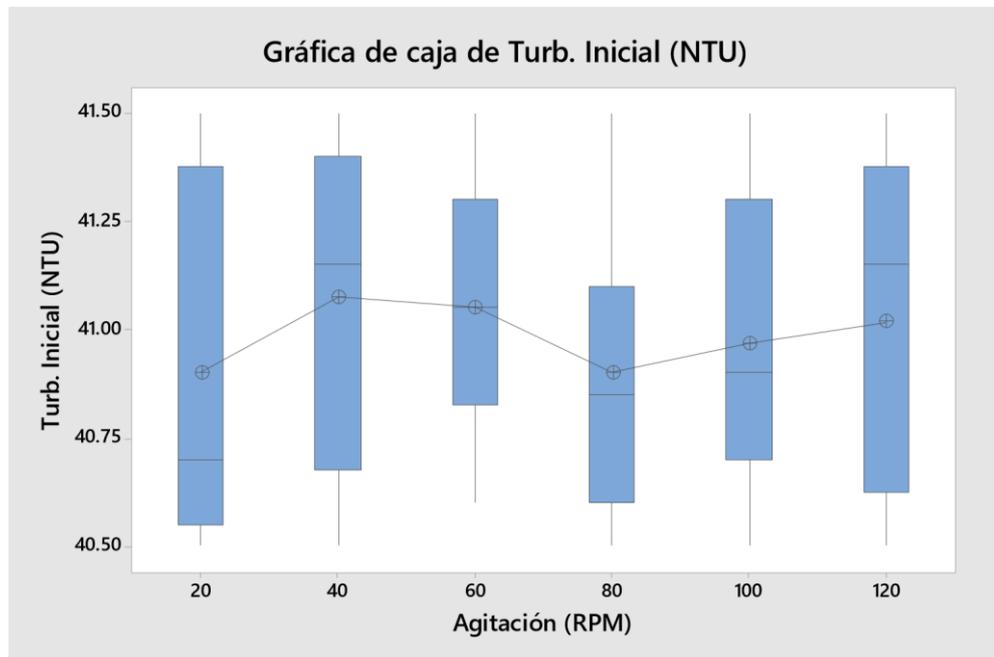


Figura 9. Diagrama de box plots para la turbidez inicial.

De acuerdo al diagrama de box plots mostrado en la figura 10 observamos que todos los intervalos se interceptan lo cual indica que pertenecen a una sola población, es decir la media no tiene una variabilidad significativa.

4.2.2. Análisis de datos de la turbidez final.

Para verificar si existe variabilidad en los valores de la turbidez final realizamos las pruebas estadísticas de Análisis de Varianza (ANOVA) con las comparaciones de Tukey, Fisher y Dunnett.

Considerando que el valor de p debe ser menor a 0.05 para considerar que existe variabilidad y además que las tres comparaciones tengan las mismas agrupaciones; así

mismos se hace uso del diagrama de “box plots” (caja de bigotes) para comparar los intervalos y verificar la similitud. Se hace uso del Minitab.

Tabla 14. *Hipótesis estadística de ANOVA la turbidez Final*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 15. *Análisis de Varianza par turbidez final*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agitación (RPM)	5	1724.9	344.972	65.79	0.000
Error	66	346.1	5.244		
Total	71	2070.9			

Según los resultados mostrados en las tablas 15 y 16 de la prueba estadística de ANOVA se obtiene un valor de p igual a 0.000, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los valores finales de turbidez y proviene de distintas poblaciones.

Tabla 16. *Comparaciones en parejas de Tukey para turbidez final.*

Agitación (RPM)	N	Media	Agrupación
120	12	25.333	A
100	12	21.150	B

60	12	15.117	C	
80	12	15.017	C	
20	12	12.833	C	D
40	12	11.300		D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
 Nivel de confianza individual = 99.54%

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

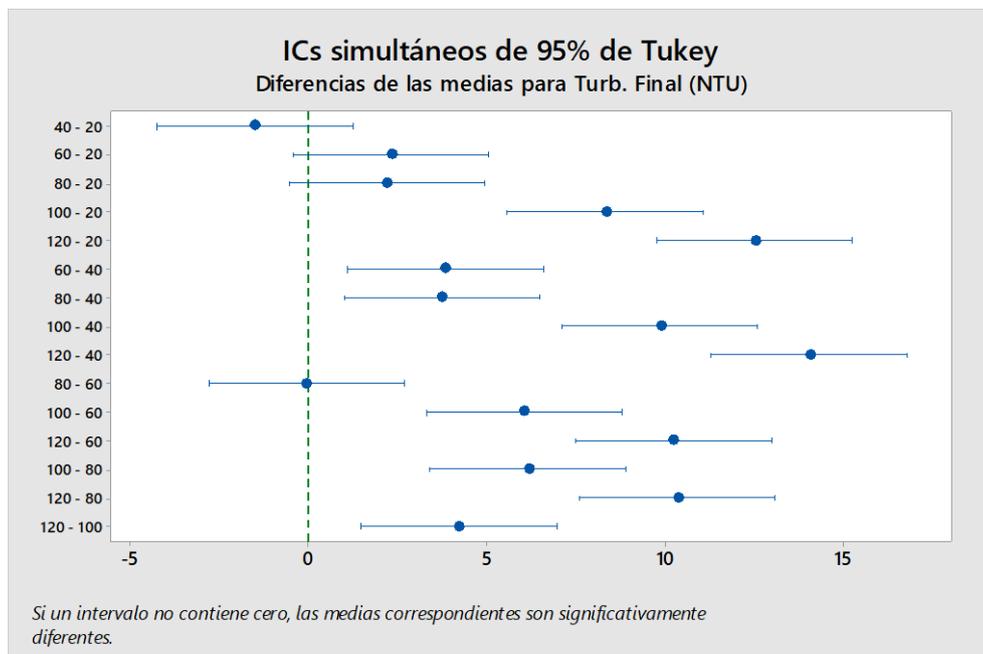


Figura 10. Gráfica de comparaciones de Tukey para turbidez final.

De acuerdo con las comparaciones de Tukey mostradas en la tabla 17 y la figura 11 para la turbidez final, se determina que las agrupaciones son diferentes y que el eje central de cero no intercepta a todos los intervalos, por lo tanto, los resultados tienen una variabilidad significativa.

Tabla 17. Comparaciones en parejas de Fisher para Turbidez Final.

Agitación (RPM)	N	Media	Agrupación	
120	12	25.333	A	
100	12	21.150	B	
60	12	15.117		C
80	12	15.017		C
20	12	12.833		D
40	12	11.300		D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza simultánea = 64.46%

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de

95%

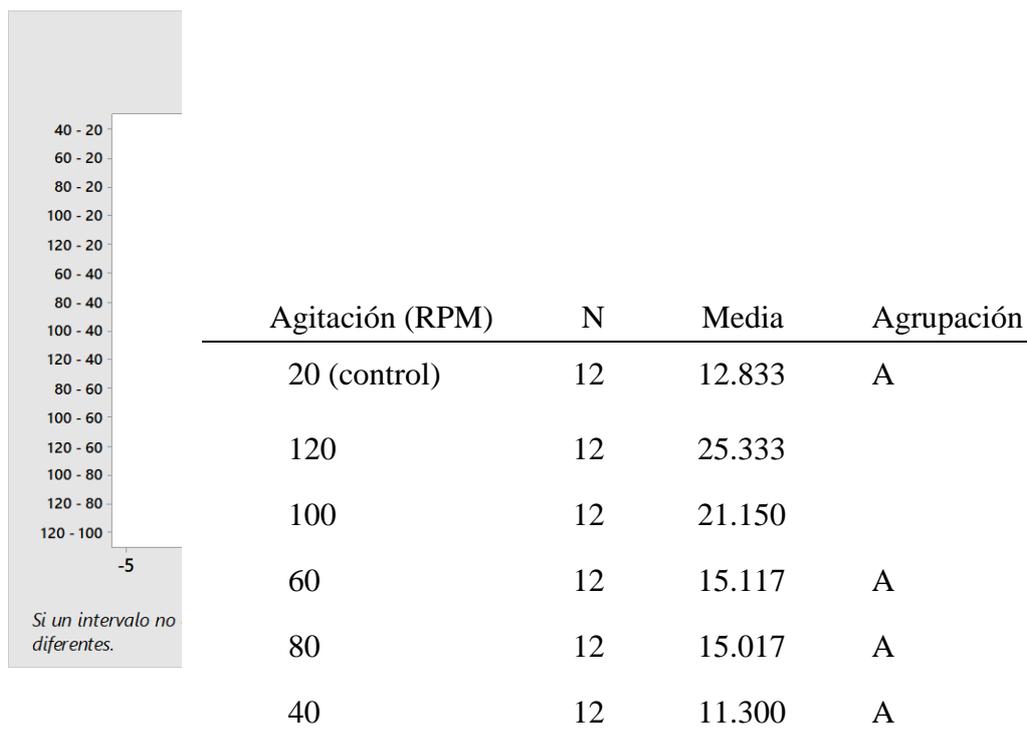


Figura 11. Gráfica de comparaciones de Fisher para turbidez final

De acuerdo con las comparaciones de Fisher mostradas en la tabla 18 y la figura 6, para la turbidez final se determina que las agrupaciones no son las mismas y que el eje central de cero no intercepta a todos los intervalos, por lo tanto, los resultados tienen una variabilidad significativa.

Tabla 18. Comparaciones múltiples de Dunnet con un control para turbidez final.

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Nivel de confianza individual = 98.78%

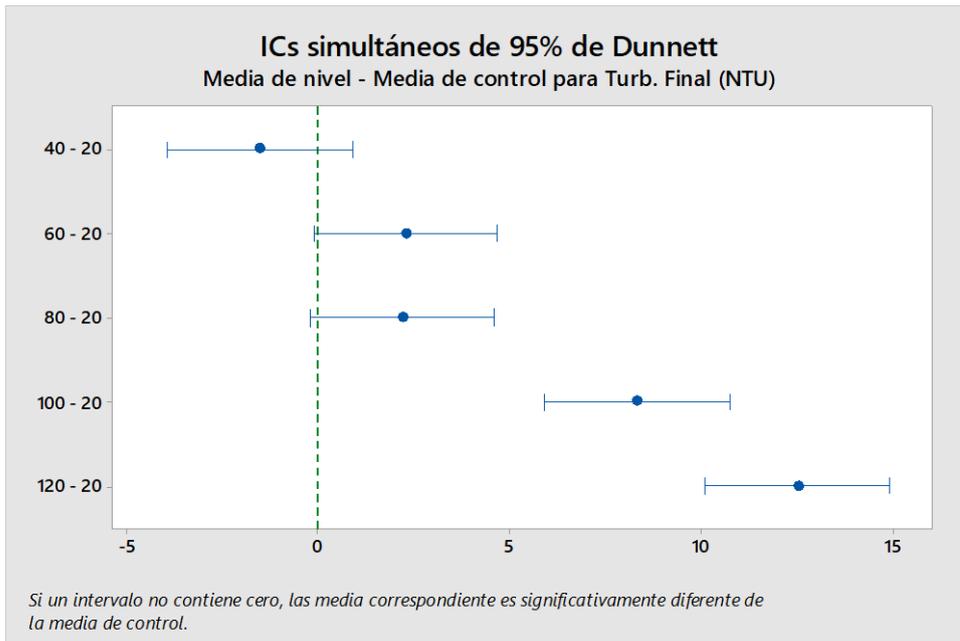


Figura 12. Gráfica de comparaciones de Dunnett para turbidez final.

De acuerdo con las comparaciones de Dunnett mostradas en la tabla 19 y la figura 13 para la turbidez final, se determina que las agrupaciones no son las mismas y que el eje central de cero no intercepta con todos los intervalos, por lo tanto, los resultados tienen una variabilidad significativa.

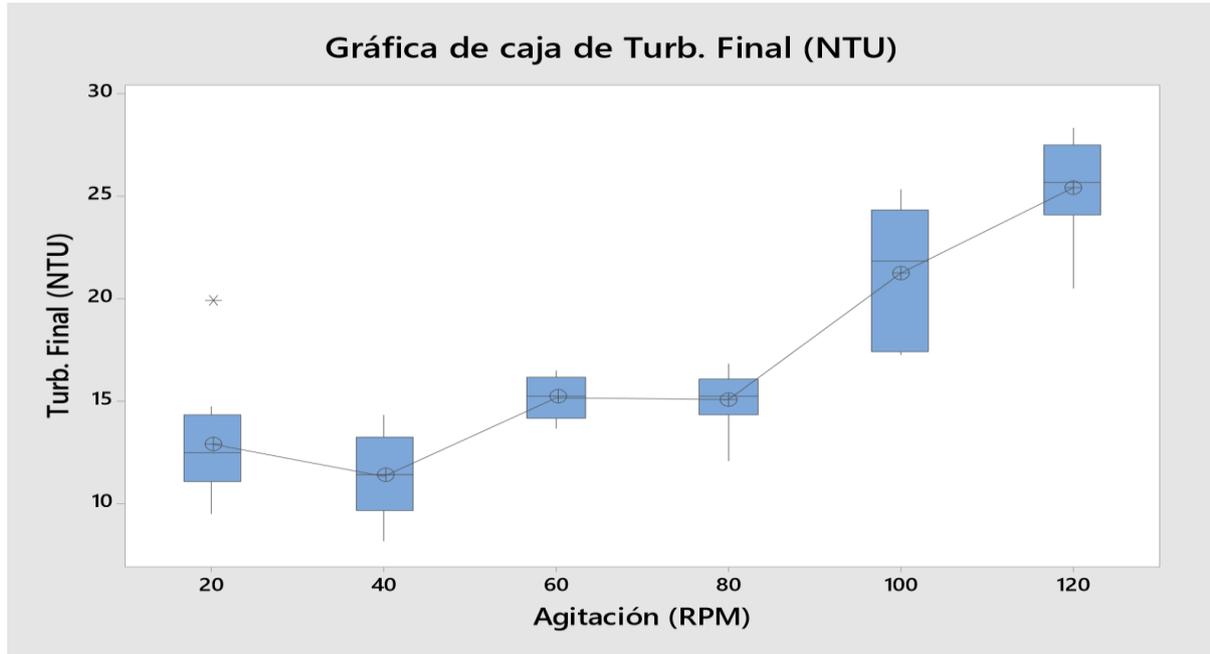


Figura 13. Diagrama de box plots para la turbidez final.

De acuerdo al diagrama de box plots mostrado en la figura 14 observamos que no todos los intervalos se interceptan lo cual indica que no pertenecen a una sola población, es decir la media tiene una variabilidad significativa.

4.2.2. Comparaciones de turbidez inicial y final.

Para verificar si existe diferencia significativa entre los resultados de la turbidez inicial y final realizamos las pruebas estadísticas de Análisis de Varianza (ANOVA) con las comparaciones de Tukey, Fisher y Dunnett. Considerando que el valor de p debe ser menor a 0.05 para considerar que existe variabilidad y además que las tres comparaciones tengas las mismas agrupaciones; así mismos se hace uso del diagrama de “box plots” (caja de bigotes) para comparar los intervalos y verificar la similitud. Se hace uso del Minitab.

En relación a las comparaciones de Tukey, Fishey y Dunnet de la turbidez inicial muestran que las agrupaciones son las mismas y que el eje central de cero intercepta a todos los intervalos, en cambio las comparaciones de Tukey, Fishey y Dunnet de la turbidez final, las agrupaciones son diferentes y el eje central cero no llega a interceptar a todos los intervalos. Asimismo, a las comparaciones de Tukey, Fishey y Dunnet de la turbidez sus resultados no tienen una variabilidad significativa, en contraste a las comparaciones de Tukey, Fishey y Dunnet de la turbidez final, ya que muestran resultados con una variabilidad significativa.

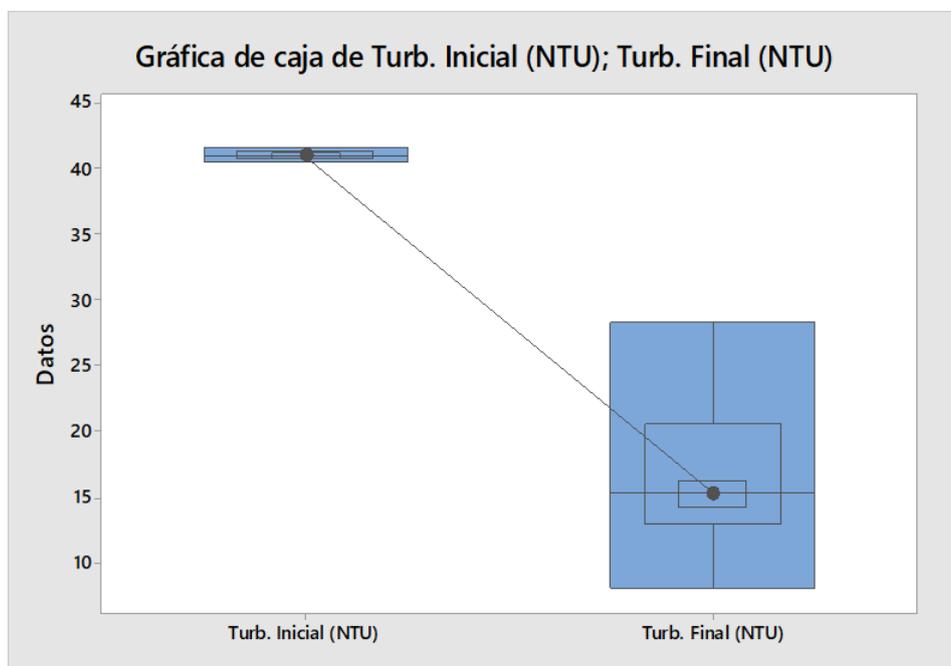


Figura 14. *Gráfico. Caja de Turbidez Inicial y Turbidez Final.*

En la gráfica de caja de turbidez inicial sus agrupaciones pertenecen a una misma población, por tanto, no tienen variabilidad significativa; a diferencia de la gráfica de caja de turbidez final, donde el eje central cero no muestra una intercepción en sus intervalos y por ende hay una variación significativa.

4.2.3. Evaluación de la disminución de la turbidez y el análisis de los efectos principales.

Para verificar si existe diferencia significativa entre los resultados de la turbidez inicial y final realizamos las pruebas estadísticas de Análisis de Varianza (ANOVA) con las comparaciones de Tukey, Fisher y Dunnett. Considerando que el valor de p debe ser menor a 0.05 para considerar que existe variabilidad, a partir de ello se obtuvo la gráfica de intervalos de disminución.

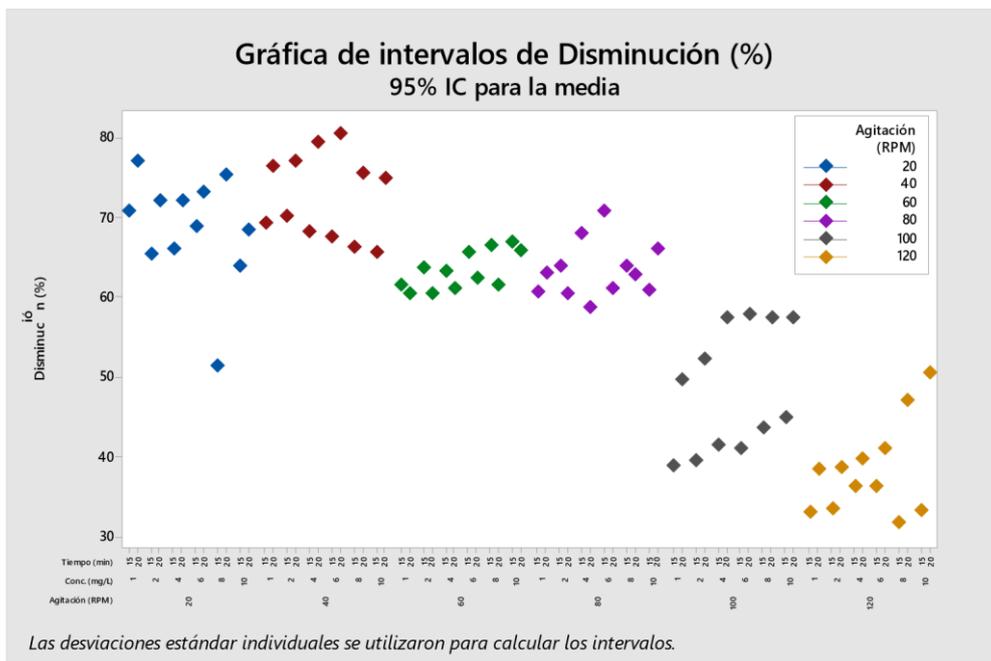


Figura 15. Gráfico. Caja de Turbidez Inicial y Turbidez Final.

De acuerdo a la Figura 10, la disminución de intervalos se debe a la velocidad de Agitación; por ende se muestra que la disminución (%) tiene una relación inversamente proporcional, ya que a mayor Velocidad de Agitación menor disminución (%), indicando de tal forma que a 20 RPM en un tiempo de 20 minutos la disminución (%) es menor; sin embargo a 120 RPM en un tiempo de 15 minutos la disminución aumenta notablemente.

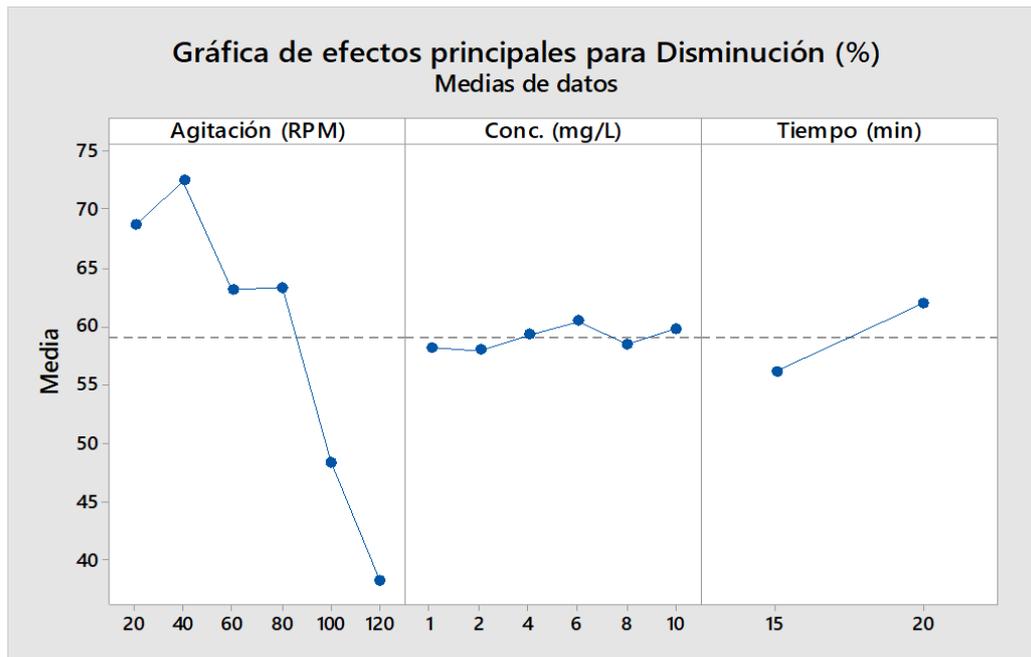


Figura 16. Gráfica de Efectos principales para Disminución.

De acuerdo a la gráfica de efectos principales podemos ver que la agitación es el efecto más significativo en la disminución, siendo a 40 RPM la agitación con la cual se logra mayor disminución. Luego se observa que el tiempo con el cual se logra mayor disminución es a 20 minutos; finalmente observamos que la concentración no tiene un efecto significativo en el rango que se realizaron los experimentos siendo este desde 1 a 10 mg/L de goma de *Caesalpinia spinosa*.

CAPITULO V

5.1. Conclusiones.

- De acuerdo a los resultados, se determinó que el porcentaje de eficiencia de la Goma de *Caesalpinia spinosa* de la remoción de Sólidos Suspendidos, en las aguas del Río Chonta es de 62%; por lo que inferimos que no es un buen coagulante, debido a que es menor a 80%, sin embargo, es un buen coadyuvante porque está en el rango de 20% a 80%.
- La velocidad óptima determinada en remover los Sólidos Suspendidos con la Goma de *Caesalpinia spinosa* es de 40 revoluciones por minuto.
- El tiempo de agitación que generó mejores resultados en la disminución de la turbidez es de 20 minutos.
- La concentración óptima de Goma de *Caesalpinia spinosa* es de 6 mg/L, sin embargo, no tiene cambio significativo entre 1 mg/L hasta 10 mg/L, según las pruebas realizadas en ésta investigación.
- El uso de Goma de *Caesalpinia spinosa* no es suficiente para la remoción de sólidos suspendidos en el proceso de floculación y coagulación, debido a que el valor obtenido de turbidez es 8.1 UNT mientras que el estándar según los ECAs, categoría 1, nos indica que el valor no debe sobrepasar las 5 UNT

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda la utilización de la Goma de *Caesalpinia spinosa* como un aditivo coadyuvante en los procesos de floculación y coagulación, debido a que es un polímero natural, siendo inofensivo para los consumidores del agua tratada con esta Goma.
- Se recomienda la realización de más pruebas de laboratorio; utilizando la Goma de *Caesalpinia spinosa*, teniendo en cuenta la variación del tiempo, manteniendo la velocidad de agitación a 40 revoluciones por minuto y colocar fija la concentración en el rango de 1 mg/L hasta 10 mg/L.
- Se recomienda realizar estudios del tiempo de sedimentación, para determinar su tiempo más óptimo, debido a que en el presente estudio se consideró para todos 30 minutos.
- Se recomienda hacer estudios sobre la relación de la goma *Caesalpinia spinosa* con otro polímero para introducirlo como coadyuvante.

6. LISTA DE REFERENCIAS.

- Aguilar.A. (2010) “*Utilización de semillas de tara (Caesalpinia spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas*”. Barcelona, España: Crítica.
- Alba.T. (1986). “*Un Método Rápido Y Simple Para Evaluar La Calidad Biológica De Las Aguas Corrientes*”. España: Editorial Domingo Pome.
- Alnicolasa, B. (2011). “*Todo sobre la Tara.*” Disponible en: <http://taninos.tripod.com>.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154.
- Beltrán, M. (2012). *Estructura y propiedades de los polímeros*. Barcelona, España: Editorial Domingo Pome
- Bravo, A. y Gutiérrez, H. (2016). *Saneamiento Ambiental*. Disponible en: <http://www.scielo.org/php/index.php?lang=e>
- Carrillo, B. (1998). *La cuenca hidrográfica. Metodologías para la elaboración de planes maestros de cuencas*. Disponible en: http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/metodologia_planes_maestros/metodologia_planes_maestros1.pdf
- Díaz, S. (2012). *Remoción en masa*. Disponible en: <http://taninos.tripod.com/>.

- Encinas, D. (2011). Medio Ambiente. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/documentos/consejo_editorial/09_medio_ambiente_ecologia.pdf.
- Farras, M. (2005). *Medio Ambiente*. Disponible en: <http://anbireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&basEPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=163484&indexSearc>.
- Hernández, V. et al. (1963). *Segunda Parte Parámetros Físico- químicos: Solidos disueltos totales*. Disponible en: http://smcsyv.fis.cinvestav.mx/supyvac/22_3/SV2235709.pdf.
- Lopez, G. (2016). “*Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa*”. (tesis de pregrado) Universidad cesar vallejo, Perú.
- Lorenzo, A. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación*. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello.
- McCabe, W. (1998). *Agitación y mezcla de fluidos. Operaciones unitarias en ingeniería química*. Santiago de Chile: Editorial Akevero.
- Maldonado, V. (2004). *Sedimentación. Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida*. Recuperado de: <https://www.google.com/search?source=hp&ei=BOX6WsPICq>.
- Martínez, R. y González, S. (2012). *Análisis de floculación y coagulación a través de polímeros naturales*. Recuperado de <http://iq.ua.es/TPO/scielo.pe.Tema1.pdf>.
- Mangles, C. (2005). *Tema 5. Estructura y aplicaciones de los polímeros*. Cali, Valle del Cauca: Sello Editorial Javeriano. Santiago de Chile: Editorial Akevero.

- Moreno, A. (2016). “*Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*”. Tratamiento de agua para consumo humano Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/un_o.pdf.
- Pérez, F. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Disponible en: <http://www.scielo.org/php/index.php?lang=es>.
- Ramírez, A. y Jaramillo, P. (2012). *Tratamiento por medio de Polímeros Naturales*. <http://www.scielo.org/php/index.php?lang=es>.
- Ramón, A. (2011). *Turbidez Aspectos teóricos*. Recuperado de <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>.
- Restrepo, T. (2009). *Efectos de la Turbidez*. Recuperado de: <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>.
- Revelo, C. (2015). “*Textile wastewater biocoagulation by Caesalpinia Spinosa Extracts*”. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/load/50/54>.
- Rodie, S. (2001). *Tratamiento de Aguas Residuales, Ingeniería Sanitaria.*: Recuperado de: http://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=aguas+residuales+%22concepto%.pe.
- Sifuentes. S, (1994). *Procesos de polímeros naturales*. Recuperado de: <https://www.ort.edu.uy/ie/pdf/ejemplosdecitacionapa.pdf>
- Tabra, T. (2013). *Disponibilidad de agua*. Disponible en: <http://www.sedapal.com.pe/c/document>.

Villabona, A. (2013), *Hidrología aplicada*. São Paulo. Editorial: McGraw-Hil.

7. LISTA DE ABREVIATURAS.

CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres

COT: Carbono Orgánico Total

ECA: Estándar de Calidad Ambiental.

GPS: Sistema americano de navegación y localización mediante satélites.

ICG: Índice de Calidad General

ISO: Organización Internacional de Normalización

LDPE: Termoplástico derivado del Petróleo

PVC: Cloruro de polivinilo

PMMA: Polimetil metacrilato

RPM: Revoluciones por Minuto

USEPA: Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos)

UNT: unidad nefelométrica de turbidez

8. ANEXOS.

ANEXO A



Figura 17. *Fotos del punto muestreo, Viaducto – los Baños del Inca.*

Fuente: Propia.



Figura 18. *Tesista observando el punto de muestreo*

Fuente: Propia.

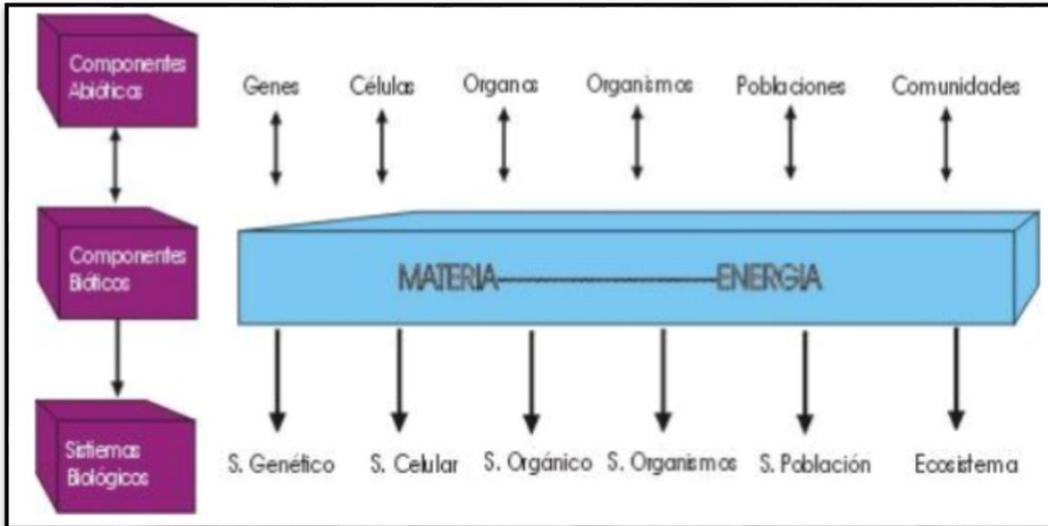


Figura 19. *Espectro de Niveles de Organización.*

Nota: Convertir de Matetia a Energia. Fuente: Basado En El De Hellawell (1978).” Limnetica 4(1978): 51–56. <http://limnetica.info/Limnetica/Limne4/Limnetica-vol4pag51-56.pdf>.

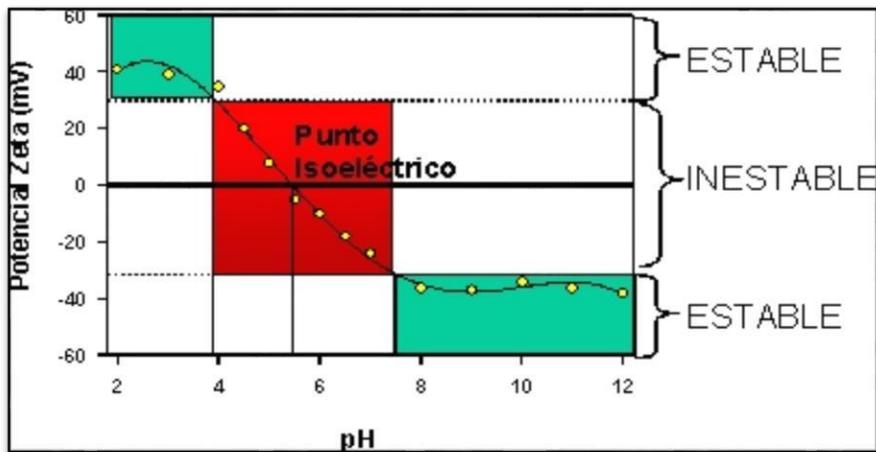


Figura 20. *Espectro de Niveles de Organización*

Nota: Importancia de l punto isométrico. Fuente: INECC. (2016). “Qué Son, Cómo Son Y Cómo Se Originan Las Partículas.” (x): 13–32

Figura 21. *Categorías determinadas en Relación al Uso que se le va a dar al Cuerpo natural de agua.*

Categoría	Descripción	Subcategoría	Descripción
Categoría 1-A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A 1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección.
		A 2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional.
		A 3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
Categoría 1-B	Agua superficiales destinadas a recreacion	B 1	Contacto primario
	Agua de mar	B 2	Contacto secundario
Categoría 2: actividades de extracion y cultivo marino costeras y continentales	Agua continental	C 1	Extraccion y cultivo de moluscos bovaivos.
		C 2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas. Otras actividades.
		C 3	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.
Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales	Parámetros para riesgo de vegetales	D 1	Riesgo de cultivo de tallo alto y bajo
	Parámetros para bebida de animales	D 2	Bebida de animales
Categoría 4	Conservación del ambiente acuático.	E 1	Lagunas y lagos
		E 2: Ríos	Ríos de costa y sierra Ríos de selva
		E 3: ecosistemas marino costeras	Estuarios Marinos

Nota: Distintas descripciones de acuerdo a la categoría de calidda de agua. Fuente: MINAM(Ministerio del Ambiente). sf. El agua y las cuencas hidrográficas: El agua. (en línea). Disponible en <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-del-2011>.

ANEXO B



Figura 22. *Medición de la turbidez inicial.*

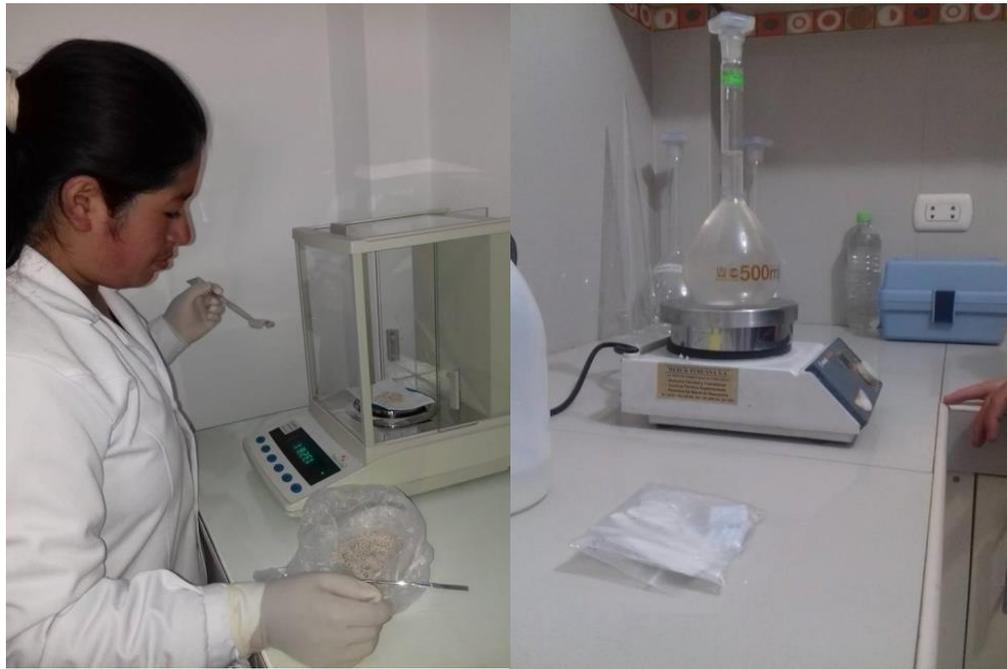


Figura 23. *Preparación de la Goma de Caesalpinia spinosa*



Figura 24. Realización de las pruebas utilizando el tes de jast

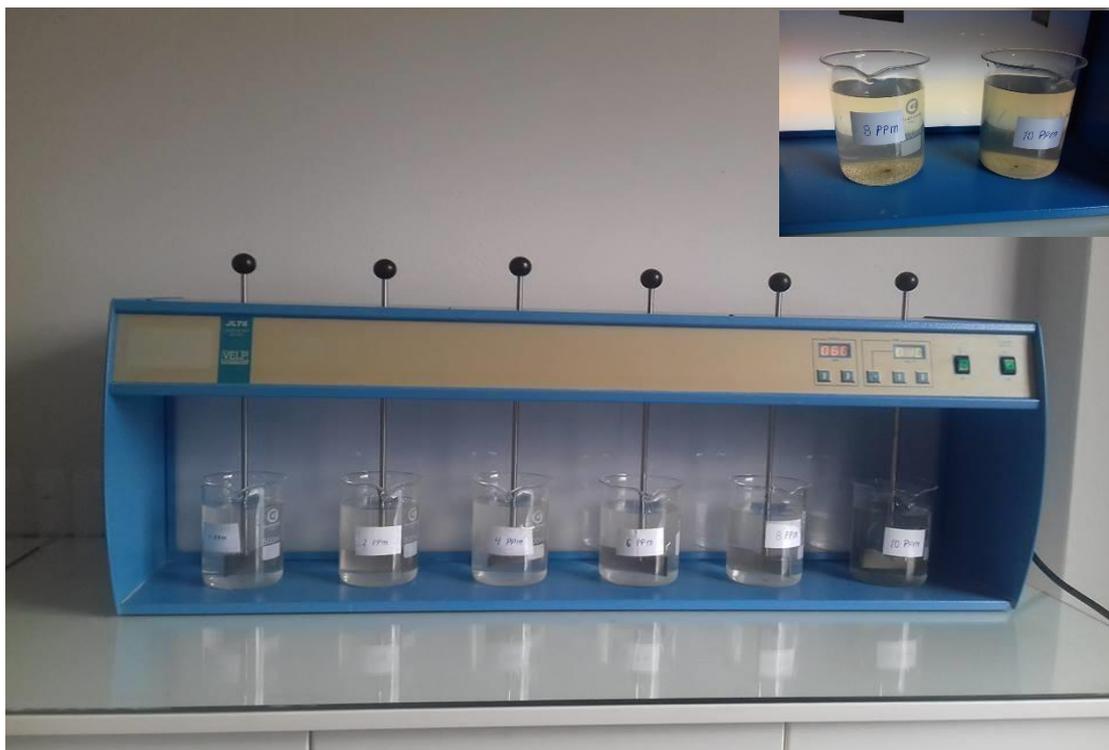


Figura 25. proceso de las pruebas de jarras durante la sedimentación. (en un tiempo de media hora)