



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

TESIS

**EVALUACIÓN DEL POLVO DE LA SEMILLA DE “*Cassia fistula*”
COMO COAGULANTE NATURAL
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
DE LA UNIDAD MINERA HUACHOCOLPA UNO DE LA CÍA.
MINERA KOLPA S.A. – HUANCAVELICA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

VLADIMIR LISBER MUCHA MENDOZA

ASESOR:

MG. SEGUNDO JOSÉ HUAMAN AYALA

HUANCAYO – PERÚ

2019

ASESOR:
MG. SEGUNDO JOSÉ HUAMAN AYALA

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis: Al amor de mi vida Mary luz Camarena, a mis adorables hijos míos Jemss, Almendra y como no mencionar a Dios padre todo poderoso por protegerme e iluminarme por alcanzar uno de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

En el término de mi trabajo de tesis quiero mencionar:

A Dios todo poderoso por protegerme, iluminarme y guiar mis pasos para la cristalización de uno de mis objetivos.

A mis Abuelitos Maternos Felicia y Grimaldo que fueron como mis padres, por destinos de la vida me acogieron con mucho cariño y amor que me forjaron con sus sabios consejos de no desfallecer ante las adversidades y perseguir la perseverancia para obtener mis objetivos.

A mi madre Nelly quien me dio la vida y su apoyo moral e incondicional.

A mi Compañera Mary Luz Camarena, que siempre estuvo conmigo en los momentos más alegres y tristes en el arduo camino de mis objetivos.

A mis Adorables Hijos míos Jemss y Almendra, por su comprensión, motivación, cariño y paciencia.

A mi amigo incondicional Ing. Hugo Villa por esos sabios consejos y compartir muchas ideas de desarrollo profesional.

A mi asesor de tesis por corregir mis errores, aclarar mis dudas y orientaciones desde que se inició y se concluyó con la tesis.

A los ingenieros Jorge Flores, Juan José Collacso del área de Asuntos Ambientales de la Cía. Minera Kolpa S.A. por permitir que desarrolle mi tesis y sus sabios consejos.

A la Empresa Especializada de Manejo de Residuos Sólidos San Gabriel S.R.L., que laboro como supervisor por facilitarme un espacio de tiempo libre.

A la Universidad Alas Peruanas en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, que me permitieron formar parte de ello y al desarrollo de mi vocación profesional.

Para todos ellos en mención:

Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I.....	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Caracterización de la realidad problemática.....	15
1.2 Formulación del problema.....	16
1.2.1 Problema general	16
1.2.2 Problemas específicos	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación	17
1.5 Importancia	18
1.6 Limitaciones	18
CAPÍTULO II.....	19
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
2.1 Marco referencial	19

2.1.1	Antecedentes de la investigación	19
2.1.2	Referencias históricas	21
2.2	Marco legal	23
2.2.1	Decreto supremo	23
2.3	Marco conceptual.....	23
2.4	Marco teórico	23
2.4.1	Aguas residuales:.....	23
2.4.2	La coagulación y floculación.....	25
2.4.3	Estabilización e inestabilidad de coloides	28
2.4.4	Coagulación	29
2.4.5	Tipos de coagulantes - floculantes	30
2.4.6	Mecanismos de floculación y coagulación	31
2.4.7	Floculación	35
2.4.8	Modelos de floculación	36
2.4.9	Tipos de floculantes.....	36
2.4.10	Parámetros fisicoquímicos a evaluar	38
2.4.11	Cassia fistula	39
CAPÍTULO III.....		42
3	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	42
3.1	Metodología	42
3.1.1	Método	42
3.1.2	Proceso Experimental	43
3.1.3	Proceso Experimental	48
3.1.4	Tipo de la investigación	51
3.1.5	Nivel de la investigación	52
3.2	Diseño de la investigación	52

3.3	Hipótesis de la investigación	53
3.3.1	Hipótesis general.....	53
3.3.2	Hipótesis específicas	53
3.4	Variables.....	54
3.4.1	Variable independiente	54
3.4.2	Variable dependiente.....	54
3.5	Cobertura del estudio.....	54
3.5.1	Universo	54
3.5.2	Población	54
3.5.3	Muestra	54
3.5.4	Muestreo	55
3.6	Técnicas e instrumentos	55
3.6.1	Técnicas de la investigación.....	55
3.6.2	Instrumentos de la investigación.....	55
3.7	Procesamiento estadístico de la información	56
3.7.1	Estadísticos	56
3.7.2	Representación	56
3.7.3	Técnica de comprobación de la hipótesis	56
CAPITULO IV		57
4	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
4.1	Resultados de las pruebas experimentales:.....	57
4.2	Discusión de resultados	66
4.2.1	Características fisicoquímicas del agua	66
4.2.2	Influencia de la concentración del polvo de la “ <i>Cassia fistula</i> ” ...	66
4.2.3	Influencia del tiempo de agitación.....	74
4.3	Contrastación de Hipótesis	77

CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DQO:	Demanda química de oxígeno
DBO ₅ :	Demanda Bioquímica del Oxígeno
D.S.:	Decreto supremo
ECA:	Estándar de calidad ambiental
FTIR:	Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier
gr:	Gramos
L:	Litro
LMP:	Límites máximos permisibles
M:	Metro
mg:	Miligramo
MINAM:	Ministerio del ambiente
Mol:	Es la unidad con que se mide la cantidad de sustancia
mL:	Mililitro
NTU:	Unidad de medición para la turbidez.
R.M.:	Resolución Ministerial
Rpm:	Revolución por minuto
SST:	Sólidos totales suspendidos
UC:	Unidades de colonia
UTN:	Unidad nefelometría de turbidez
PTAR:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dosis para preparar las concentraciones del coagulante	47
Tabla 2: Volumen requerido del agente coagulante	49
Tabla 3: Diseño experimental	53
Tabla 4: Parámetros físico químicos iniciales de los ensayos	57
Tabla 5: Resultados de turbiedad y DBO ₅ - Ensayo I	58
Tabla 6: Resultados de turbiedad y DBO ₅ - Ensayo II	59
Tabla 7: Resultados de turbiedad y DBO ₅ - Ensayo III	59
Tabla 8: Caracterización fisicoquímica del agua residual	66
Tabla 9: Porcentaje de turbiedad promedio de los ensayos I, II y III.	67
Tabla 10: Porcentaje de remoción de DBO ₅ promedio de los ensayos	71
Tabla 11: Prueba de T de Student en DBO ₅	77
Tabla 12: Resumen del diseño factorial de múltiples niveles	78
Tabla 13: Información del factor	78
Tabla 14: Regresión factorial general: porcentaje de turbiedad vs Tiempo.	78
Tabla 15: Resumen del modelo de análisis de varianza	79
Tabla 16: Información del factor	81
Tabla 17: Regresión factorial general: porcentaje de remoción de DBO ₅	81
Tabla 18: Resumen del modelo de análisis de varianza	81
Tabla 19: Comparaciones en parejas de Fisher para Turbiedad	83
Tabla 20: Comparaciones en parejas de Fisher para DBO ₅	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fuerza de Van Der Waals.....	29
Figura 2: Representación de la neutralización de carga.....	32
Figura 3: (a) Adsorción de polímero y formación.....	33
Figura 4: (a) Partículas con carga (-) (b) Coagulantes	35
Figura 5: (a) hojuelas o vainas y (b) flores de Cassia fistula	40
Figura 6: Espectro infrarrojo de flóculos formados con Cassia fistula	41
Figura 7: Esquema de los pasos a seguir dentro de la metodología	51
Figura 8: Turbiedad vs tiempo de agitación-Ensayo I.....	60
Figura 9: Turbiedad vs tiempo de agitación-Ensayo II.....	61
Figura 10: Turbiedad vs tiempo de agitación-Ensayo III.....	62
Figura 11: DBO ₅ vs tiempo de agitación-Ensayo I.....	63
Figura 12: DBO ₅ vs tiempo de agitación-Ensayo II.....	64
Figura 13: DBO ₅ vs tiempo de agitación-Ensayo III.....	65
Figura 14: Porcentaje de turbiedad promedio	68
Figura 15: Gráfica de contorno de porcentaje de turbiedad	69
Figura 16: Gráfica de efectos principales para el porcentaje de rem de tub	70
Figura 17: Porcentaje de remoción de DBO ₅ promedio.....	72
Figura 18: Gráfica de contorno del porcentaje de remoción del DBO ₅	73
Figura 19: Gráfica de efectos principales para porcentaje de rem de DBO ₅	74
Figura 20: Gráfica de interacción para el porcentaje de remoción de turb.....	75
Figura 21: Gráfica de interacción para el porcentaje de remoción de DBO ₅	76
Figura 22: Gráfica de probabilidad de porcentaje remoción turbiedad	80
Figura 23: Gráfica de probabilidad de porcentaje remoción DBO ₅	82

RESUMEN

Por muchos años se utilizaron diferentes compuestos naturales extraídos de diversas plantas, derivadas de hojas, raíces y frutas; en esta investigación se utilizó el polvo de la semilla de la "***Cassia fistula***" como un coagulante natural para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa - Huancavelica, se caracterizó los parámetros fisicoquímicos de turbidez y DBO₅ de las aguas residuales domésticas de la Unidad Minera en mención, obteniendo 254,70 NTU de turbidez y 217,35 mg/L de demanda bioquímica del oxígeno (DBO₅).

Al evaluar la dosificación del coagulante natural de 120 mg/L; 160 mg/L y 200 mg/L con el tiempo de agitación de 20; 30 y 40 (min) mediante prueba de jarras, encontrándose una dosificación óptima del coagulante natural de 160 mg/L, obteniendo porcentajes finales de 90,80% en la remoción de turbiedad y 70,60% en la remoción de DBO₅, en el caso del pH los valores no presentaron altas variaciones.

La disminución de la turbidez y DBO₅ del efluente se registró un valor inicial de 254,70 NTU y se redujo a 19,50 NTU obteniendo un porcentaje de remoción 90,80% de turbidez, de igual manera se registró un valor inicial de 217,35 mg/L y se redujo a 63,82 mg/L obteniendo un porcentaje de remoción 70,60% de DBO₅ siendo estos valores los mayores obtenidos en los diferentes tratamientos.

Con los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión que la "***Cassia fistula***" es un coagulante natural eficaz que puede sustituir a los coagulantes inorgánicos en el proceso de coagulación de aguas residuales domésticas.

Palabras claves: aguas residuales, turbiedad, ***Cassia fistula***, coagulante natural.

ABSTRACT

For many years' different natural compounds extracted from various plants were used, derived from leaves, roots and fruits; in this research the seed powder of the "***Cassia fistula***" was used as a natural coagulant for the treatment of domestic wastewater generated in the Huachocolpa One Mining Unit of the Cía. Minera Kolpa S.A. - Huancavelica, characterized the physicochemical parameters of turbidity and DBO₆ of the mining unit's domestic wastewater in mention, obtaining 254.70 NTUs of turbidity and 217.35 mg/L of biochemical oxygen demand (DBO₅).

When evaluating the natural coagulant dosage of 120 mg/L; 160 mg/L and 200 mg/L with stirring time of 20; 30 and 40 (min) by jug test, with an optimal natural coagulant dosage of 160 mg/L, obtaining final percentages of 90.80% in turbidity removal and 70.60% DBO₅, in the case of pH the values did not have high variations.

The decrease in turbidity and DBO₅ of the effluent was recorded an initial value of 254.70 NTU and reduced to 19.50 NTU obtaining a removal percentage 90.80% turbidity, similarly an initial value of 217.35 mg/L was recorded and reduced to 63.82 mg/L removal rating 70.60% of DBO₅ being these values the largest obtained in the different treatments.

With the results obtained, it was concluded that "***Cassia fistula***" is an effective natural coagulant that can replace inorganic coagulants in the domestic wastewater coagulation process.

Keywords: sewage, turbidity, ***Cassia fistula***, natural coagulant.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales domésticas incluye procesos físicos y químicos tales como sedimentación, coagulación, floculación, filtración y desinfección. La floculación/coagulación es una técnica común ampliamente utilizada en muchas actividades industriales para promover procesos de separación sólidos / líquidos. La eliminación de turbiedad presente en el agua residual se realiza tradicionalmente mediante el uso de coagulantes como las sales sintéticas (sulfato de aluminio o hierro férrico). Grandes dosis de estos coagulantes inorgánicos son requeridas para la floculación eficiente, lo que lleva a la producción de grandes volúmenes de lodos de hidróxido metálico. Otro inconveniente del uso de coagulantes sintéticos es su alta sensibilidad al pH y baja eficiencia en la eliminación de partículas muy finas (Pueblo, 2015).

Hoy en día, el uso de productos naturales está siendo ampliamente estudiado por sus ventajas sobre los productos químicos, estos estudios pretenden demostrar la eficacia que tienen estos productos naturales como coagulantes primarios y auxiliares de coagulación en aguas altamente turbias, así considerarlos como coagulantes naturales económicos y seguros (González, 2017).

Esta investigación busca evaluar el polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.; con el propósito de plantear la posibilidad de sustituir a los coagulantes sintéticos de uso común por el polvo de semillas de "***Cassia fistula***" y su aplicabilidad en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas que en la actualidad vienen generando altos índices de contaminación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Caracterización de la realidad problemática

El crecimiento de las actividades industriales y la población hace que haya mayor generación de residuos sólidos y líquidos, si no se realiza el adecuado tratamiento de estos residuos pueden impactar negativamente al aire, agua y suelo, a ello se suma los daños a la salud que se podrían generar en los seres humanos y animales (Pueblo, 2015).

El tratamiento de las aguas residuales está constituido por diferentes procesos, en el proceso de coagulación se utilizan diversos coagulantes sintéticos o químicos que aumentan los costos de operación en una planta de tratamiento de aguas residuales, este proceso es esencial para la remoción de turbidez, color y materia orgánica, el cloruro férrico y el sulfato de aluminio son coagulantes sintéticos que eliminan las impurezas y partículas coloidales del agua, estos coagulantes requieren de altos costos de adquisición y volúmenes grandes de lodos contaminados (González, 2017).

Los coagulantes naturales a base de taninos se caracterizan por ser seguros y libre de tóxicos, que derivan principalmente de hojas, cortezas,

raíces y fruto, también se pueden extraer de animales, tejidos vegetales y microorganismos (Guzman C. & Barrios P., 2017).

En la unidad minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A. – Huancavelica, tiene problemas al tratar las aguas residuales domésticas debido al no contar con un acondicionamiento de dichas aguas antes de ingresar a la planta de tratamiento por lodos activados es por ello que la disminución de la DBO₅ es mínima y no estaba cumpliendo con la LMP que la normativa establece.

La “***Cassia fistula***” es un coagulante natural a base de taninos que tiene la capacidad de formar flóculos que al aglomerarse empiezan rápidamente a sedimentarse es por ello el estudio que busca encontrar una solución al problema de las aguas que ingresan a la planta de tratamiento.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuán eficiente será el polvo de la semilla de “***Cassia fistula***” como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A. – Huancavelica?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la composición fisicoquímica (turbidez y DBO₅) de las aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica?
- ¿Cuál será la influencia de la concentración del polvo de la semilla “***Cassia fistula***” como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica?
- ¿Cómo influirá el tiempo de agitación utilizando el polvo de la semilla “***Cassia fistula***” como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia del polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición fisicoquímica (turbidez y DBO₅) de las aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A. - Huancavelica.
- Determinar la influencia de la concentración del polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica.
- Determinar la influencia del tiempo de agitación utilizando el polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica.

1.4 Justificación

Los recursos hídricos son de importancia crítica tanto para el ecosistema natural como para el desarrollo humano en los últimos años, el aumento drásticamente de la contaminación del agua y la calidad del agua que se deteriora día a día debido a la descarga continua de aguas residuales generadas en nuestros hogares e industrias (Zhang, 2015).

La floculación y coagulación son técnicas empleadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales, en estas etapas se pretende desestabilizar las partículas coloidales, formar grandes flóculos para que puedan decantar, para ello se necesita de un coagulante químico o natural que garantice la eficacia del proceso (Gonzales B., 2015).

Los coagulantes químicos como los polímeros y las sales de aluminio, tienen un elevado costo para tratar grandes volúmenes de agua, en las diferentes regiones del país, las municipalidades y empresas no pueden asumir los costos de los productos químicos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, sumado a los elevados costos son los efectos negativos a la salud de las personas y daños ambientales, por la composición química que tienen estos coagulantes sintéticos son de muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, los que generan volúmenes considerables de lodos con altos niveles de toxicidad y alteración fisicoquímica al cuerpo receptor (Zhang, 2015).

Este trabajo de investigación es importante porque plantea la utilización de un coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas, el coagulante natural que se propone es a partir del polvo de la ***Cassia fistula***, una planta abundante en nuestra región que no se le da ningún tipo de uso, por lo tanto, el costo de adquisición se reduce y presenta una mayor biodegradabilidad, a comparación con los coagulantes químicos.

1.5 Importancia

La importancia del trabajo de investigación es principalmente proponer una alternativa sostenible para clarificar las aguas residuales domésticas a base de coagulante natural elaborado a partir del polvo de la semilla de ***Cassia fistula*** considerando su disponibilidad en el medio y bajo costo.

1.6 Limitaciones

Las limitaciones teóricas se presentaron en los escasos antecedentes a nivel nacional y regional que utilicen las semillas de la ***Cassia fistula*** como un coagulante natural para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas, en las limitaciones metodológicas se encontraron la preparación de las semillas de la ***Cassia fistula*** a diferentes concentraciones.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco referencial

2.1.1 Antecedentes de la investigación

(Guzman C. & Barrios P., 2017) en su investigación utilizaron la semilla de la ***Cassia fistula*** en polvo para aplicarlo como coagulante natural en el tratamiento (primera etapa) de aguas residuales domésticas, mediante la prueba de jarras se determinó la dosis optima y los parámetros fisicoquímicos como la turbidez, DQO y la DBO₅, el agua residual doméstica que se trabajó se recolectó de una estación de bombeo de la ciudad de Cartagena – Colombia, después del tratamiento se registró una concentración óptima de 15,25 mg/L, 30,22 de NTU en turbidez y finalmente 84 UC en color. El pH y la alcalinidad total no presentaron variaciones representativas, en conclusión, la ***Cassia fistula*** es un coagulante natural, eficaz y prometedor para sustituir los coagulantes sintéticos.

(Guzman V. & Torres P., 2016) En su artículo de investigación titulado “Aplicación de las semillas de ***Cassia fistula*** como auxiliar

bio-coagulante para tratamiento de aguas residuales”, manifiestan que la coagulación-floculación se ha considerado como un método eficaz para el tratamiento de aguas y aguas residuales en la primera etapa para eliminar la turbidez, los sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda química de oxígeno (DQO). Los coagulantes poliméricos u orgánicos extraídos de las plantas son nuevas alternativas para sustituir los coagulantes sintéticos, ya que son altamente biodegradables, no son tóxicos, no son corrosivos y generan menos fangos voluminosos. El objetivo de este estudio fue verificar la capacidad de los coagulantes de la goma de la semilla de **Cassia fistula** (MHY) en el tratamiento de efluentes de procesamiento de pescado. Se realizaron experimentos de prueba de jarras para dos fuentes de aguas residuales de dos fábricas diferentes para determinar la dosis de coagulantes considerando el cambio de color, la eliminación de SST y DQO. Los primeros parámetros principales variaron de 2624 a 2683 mgO₂/L para DQO, 580 a 571 mg/L para SS y 333,72 – 334,09 Pt-Co para intensidad de color. Los resultados obtenidos indican que la mejor dosis de PAC (policloruro de aluminio) es 480 mg/L, y con un suplemento de 4 mg/L MHY podría eliminar 70,54 – 80,50% de DQO, 68,34% – 70,12% de SS y 35,94 – 37,01% color. Los productos naturales como la goma de semilla de **Cassia fistula** se han utilizado como coagulante auxiliar en el proceso de floculación-coagulación para mejorar la calidad de las aguas residuales que procesan el pescado.

(González, 2017) En su artículo de investigación titulado “Eficacia en el color y DQO de la eliminación de aguas residuales textiles mediante material biológico obtenido de la semilla de “**Cassia fistula**”. Hoy en día, los polímeros naturales extraídos de las plantas son las nuevas alternativas para los productos químicos sintéticos en el tratamiento de aguas residuales. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de la goma de semilla de **Cassia**

fistula (CFG) como coagulante coadyuvante con poli cloruro de aluminio (PAC) en el tratamiento de aguas residuales textiles. Se realizaron experimentos de prueba de jarras para eliminar color y DQO en las aguas residuales sintéticas que contenían azul de metilo y colorantes RB21, se identificó el pH, el tiempo de sedimentación, la dosis del PAC y la dosis óptima de CFG. Las aguas residuales textiles se trataron utilizando PAC y PAC más CFG para evaluar el rol que cumple el CFG. La suplementación con CFG ha ayudado a los efectos del proceso a casi 98% de color, 85% de DQO para RB21 y 90% de color, 70% de DQO para MB a la mejor dosis de CFG fue de 0,15 mL y 0,1 mL, respectivamente. Los parámetros optimizados para la coagulación de aguas residuales textiles utilizando PAC fueron con un pH 6 y una dosis de 0,6 mL pudiendo eliminar el 66% del color. Al agregar CFG a PAC, la eficacia del tratamiento aumentó aproximadamente un 70% incluso con la dosis más baja de PAC y CFG (0,5 mL para cada reactivo). Estos logros demostraron un sustituto viable de productos naturales como la goma de semilla de **Cassia fistula** para productos químicos sintéticos en el proceso de coagulación-floculación.

2.1.2 Referencias históricas

(Arcila & Peralta, 2015) En su artículo de investigación titulado “Adsorción del colorante rojo congo de la solución acuosa sobre las semillas de ceniza de **Cassia fistula** estudios cinéticos y termodinámicos”. Este artículo presenta la viabilidad de la eliminación del rojo Congo de la solución acuosa sobre las cenizas de las semillas de **Cassia fistula** mediante el uso de la técnica de adsorción. Los estudios de adsorción por lotes mostraron que la adsorción de colorante aumentó con el aumento del tiempo de contacto y la dosis de adsorbente. Los datos de adsorción de equilibrio se han analizado utilizando las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich. Los datos cinéticos de adsorción se

modelaron utilizando un modelo de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y difusión por partícula. Los datos de adsorción cinética se ajustaron bien al modelo cinético de pseudo segundo orden y al modelo de difusión intra-partícula. Se calcularon parámetros termodinámicos como ΔG , ΔH y ΔS . El valor negativo de ΔG y ΔH indica la naturaleza espontánea y exotérmica de la adsorción y hay una disminución de la entropía en la interfaz sólido-líquido.

(Díaz & Ramos, 2018) En su investigación “Eficiencia de la semilla de ***Cassia fistula*** como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda del río Sinú, Colombia”, desarrollaron con la finalidad de evaluar la actividad coagulante de las semillas de ***Cassia fistula*** en la eliminación de la turbidez del agua bruta del río Sinú y su influencia en el pH del agua tratada. Métodos / Análisis estadístico: Los extractos salinos de semillas de ***Cassia fistula*** se analizaron en muestras de agua cruda con 10 niveles diferentes de turbidez y diferentes concentraciones de coagulante en una prueba de jarra, según técnicas estandarizadas. Se utilizaron los blancos y las tablas de ANOVA con un nivel de confianza del 95% para verificar si hubo diferencias estadísticamente significativas en el pH después del tratamiento. Resultados: Las extracciones de turbidez en agua cruda alcanzaron hasta el 70% para muestras altamente turbias (500 a 800 NTU), con una concentración óptima de 50 mg L⁻¹. La actividad de coagulante alcanzó hasta un 50% para muestras con niveles de turbidez entre 250 y 492 NTU, y fue inferior al 30% para niveles de 158 a 241 NTU. No se encontraron evidencias de cambios estadísticamente significativos en el pH del agua tratada con semillas de ***Cassia fistula*** como coagulante. Aplicación / Mejoras: Este trabajo demostró que el uso de ***Cassia fistula*** para el tratamiento de agua cruda del río Sinú podría servir como coagulación y no como coagulante primario.

2.2 Marco legal

2.2.1 Decreto supremo

- Decreto Supremo. N° 003-2010-MINAM.
- Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA

2.3 Marco conceptual

Aguas residuales domésticas: Las aguas residuales domésticas consisten en aguas negras (excretas, orina y lodos fecales) y aguas grises (cocina y baño de aguas residuales). La mezcla y la composición dependerán del suministro de agua y las instalaciones de saneamiento disponibles (MINAM, 2017).

Coagulación: Consiste en un proceso donde se añade el coagulante a un líquido con material coloidal, este coagulante desestabiliza los coloides dispersos en el agua y los aglomera en flóculos para su decantación (Almendárez, 2016).

Coagulante: Una sustancia que provoca la coagulación (Almendárez, 2016).

Turbidez: Causado por sólidos en suspensión que generalmente son difíciles de ser observada a simple vista, su medición es importante para determinar la calidad del agua (MINAM, 2017).

Prueba de jarras: Es un método para simular un proceso de tratamiento de agua a gran escala, que brinda a los operadores del sistema una idea razonable de la forma en que tratamiento químico se comportará y operará con un tipo particular de agua (Almendárez, 2016).

2.4 Marco teórico

2.4.1 Aguas residuales:

Las aguas residuales son el subproducto de muchos usos del agua. Existen usos domésticos como ducharse, lavar platos, lavar la ropa y, por supuesto, descargar el inodoro. Además, las empresas utilizan el agua para muchos fines, incluidos procesos, productos y limpieza o enjuague de piezas, es por eso que se caracterizan por presentar grandes cantidades de sustancias contaminantes y generalmente son de color oscuro y turbio. Una vez que se ha

utilizado el agua, ingresa a la corriente de alcantarillado fluye a la planta de tratamiento de aguas residuales (Bailòn, 2015).

Es necesario eliminar los contaminantes de las aguas residuales para proteger el medio ambiente y la salud pública. Cuando el agua es utilizada por nuestra sociedad, el agua se contamina con contaminantes. Si no se trata, estos contaminantes podrían afectar negativamente nuestro entorno acuático. Por ejemplo, la materia orgánica puede causar el agotamiento de oxígeno en lagos, ríos y arroyos. Esta descomposición biológica de sustancias orgánicas podría causar la muerte de peces y / o malos olores. Las enfermedades transmitidas por el agua también se eliminan a través del tratamiento adecuado de las aguas residuales (Garcia & Lopez, 2013).

a) Agua residual doméstica

Son aquellas aguas que han sido utilizadas por la población (viviendas, comercios e instituciones) que contiene todos los materiales agregados al agua durante su uso. Por lo tanto, se compone de aguas negras que vienen a ser los desechos del cuerpo humano (heces y orina) provenientes de los inodoros y las aguas grises que son las aguas residuales que resultan del lavado personal, el lavado de alimentos, la preparación de alimentos y la limpieza de los utensilios de cocina (Garcia & Lopez, 2013).

Estas aguas contienen sólidos grandes flotantes y suspendidos (tales como heces y trapos, toallas higiénicas y pañales descartables), sólidos suspendidos más pequeños (tales como heces parcialmente desintegradas, papel, cáscara de vegetales) y sólidos muy pequeños en suspensión coloidal (que no se puede asentar) (Garcia & Lopez, 2013).

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) en el año 2008 informo que el 70% de las aguas residuales en todo el Perú, no reciben tratamiento alguno; de

las 143 plantas de tratamiento de agua residual que existen en nuestro país, solo el 14 % cumple con la normativa vigente para su funcionamiento, en muchos lugares del país, estas aguas son vertidas a cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento (Barba, 2014).

2.4.2 La coagulación y floculación

El material suspendido en aguas residuales se origina principalmente por la erosión de la tierra, la disolución de los minerales, la descomposición de la vegetación y por varias descargas de desechos domésticos e industriales. Para un agua residual dada, dicho material puede comprender materia orgánica y / o inorgánica suspendida, disuelta, así como varios organismos biológicos, como bacterias, algas o virus. Este material debe eliminarse, ya que causa el deterioro de la calidad del agua al reducir la claridad (por ejemplo, turbidez o color), causando infecciones (Barba, 2014).

Las partículas menores de alrededor de 10^{-5} mm se pueden denominar coloides y las partículas menores de 10^{-6} mm como soluciones. A medida que disminuye el tamaño, el tiempo requerido para la sedimentación aumenta. Debido al tamaño muy pequeño, la única forma de sedimentar es agregar un agente coagulante para formar partículas más grandes, que pueden sedimentarse con mayor facilidad. Sin embargo, este procedimiento se ve obstaculizado debido a la carga negativa homónima que lleva este material. Las fuerzas de repulsión electrostática restringen las partículas para que no se acerquen entre sí y la suspensión se caracteriza por ser estable; por lo tanto, se requiere un largo período de tiempo para la sedimentación (Barba, 2014).

Para acelerar el tiempo de sedimentación, se requiere desestabilización, lo que denota la importancia de la coagulación. La desestabilización se puede lograr con uno, o una combinación

de dos o más de los siguientes mecanismos, después de la adición de un agente coagulante:

- Compresión de la doble capa eléctrica.
- Adsorción y neutralización de carga.
- Adsorción y puente entre partículas.
- Malla en el precipitado (mediante el uso de una dosis de coagulante en exceso, "floculación de barrido").

Después de la desestabilización, la floculación promueve la agregación y la formación de flóculos, generalmente después de la adición de un agente floculante apropiado. Se pueden identificar dos tipos generales de floculación: la micro-floculación o (floculación periquinética), en la que la agregación de partículas se produce por el movimiento térmico de las moléculas de fluido (movimiento browniano) y la macro-floculación (floculación ortoquinética), en la que la agregación de partículas es provocada por la inducción de gradientes de velocidad y la mezcla en la suspensión.

La coagulación-floculación se usa ampliamente durante el tratamiento de aguas residuales. Es un paso de tratamiento integral en el tratamiento de aguas superficiales o subterráneas, para el consumo humano. Las aplicaciones típicas son la eliminación / separación de coloides y partículas suspendidas, de materia orgánica natural o de iones metálicos. En el tratamiento de aguas residuales, las aplicaciones adicionales incluyen la eliminación de metales tóxicos, aniones (es decir, fosfatos), color, olor, etc. (Aguilar M. , 2013).

En este proceso es esencial el uso de coagulantes, los mismos que se clasifican en coagulantes orgánicos sintéticos, inorgánicos y naturales, estos coagulantes alteran el estado físico de los SD y SS, para facilitar su eliminación (Verma & Rajesh, 2013).

a) Coloide

Con el tiempo, ha quedado claro que los coloides no deben considerarse como una clase especial de productos químicos, sino que corresponden a estados en los que la materia está asociada, natural o artificialmente, debido a alguna división física. En general, los sistemas coloidales están compuestos por un medio continuo y una fase dispersa. El caso que nos preocupa es que la suspensión coloidal es una en la que el medio continuo está en estado líquido (llamado "solvente"), mientras que la fase dispersa consiste en partículas sólidas (llamadas "soluta"). El tamaño de las partículas de soluto varía de 10 nm a 1 μm aproximadamente (Ojeda, 2013).

Los coloides que se encuentran comúnmente en las aguas residuales son estables debido a la carga eléctrica que transportan. La carga de los coloides puede ser positiva o negativa. Sin embargo, la mayoría de las partículas coloidales en las aguas residuales son hidrofílicas tienen una carga negativa (Ojeda, 2013).

Los coloides se clasifican comúnmente en:

- Hidrofílico (por ejemplo, proteínas)
- Hidrofóbico (por ejemplo, arcillas, óxidos metálicos)

Los coloides hidrofílicos están formados típicamente por grandes moléculas orgánicas que se hidratan cuando están en presencia de agua, estas moléculas son termodinámicamente estables en su forma hidratada. La carga en dichas moléculas se origina a partir de la presencia de grupos ionizables en la molécula que transforma la molécula en un "macroión" cuando se colocan en solución. La aglomeración de coloides hidrofílicos típicamente implica la adición de cantidades significativas de iones que compiten con los coloides por las moléculas de agua, lo que resulta en la deshidratación de las partículas coloidales (Ojeda, 2013).

2.4.3 Estabilización e inestabilidad de coloides

La fuerza atractiva entre partículas, conocida como fuerza de Van der Waals, se da en caso de partículas coloidales en suspensión. Pero la repulsión electrostática de las cargas superficiales se opone a que las partes se acerquen y formen aglomerados. El principal mecanismo que controla la estabilidad tanto de las partículas hidrófobas como de las hidrófilas es la repulsión electrostática. Las superficies hidrófobas pueden adquirir un exceso de aniones o cationes en la interfaz que produce una barrera eléctrica que puede repeler las partículas de potencial de superficie similar. Las partículas hidrófilas adquieren una carga superficial de la disociación de grupos inorgánicos (grupos carboxílicos u otros ácidos orgánicos) localizados en la superficie o interfaz de la partícula. Además de la repulsión eléctrica, una suspensión puede estar limitada a la presencia de moléculas de agua adsorbidas que proporcionan una barrera líquida física que evita que las partículas hagan colisiones y desestabilización. Las partículas pueden adquirir cargas superficiales debido a la distribución desigual de los iones constituyentes en la superficie de la partícula, la adsorción preferencial de iones específicos, la ionización de los grupos de superficie, la imperfección del cristal o cualquier combinación de estos. (Gomez, 2015).

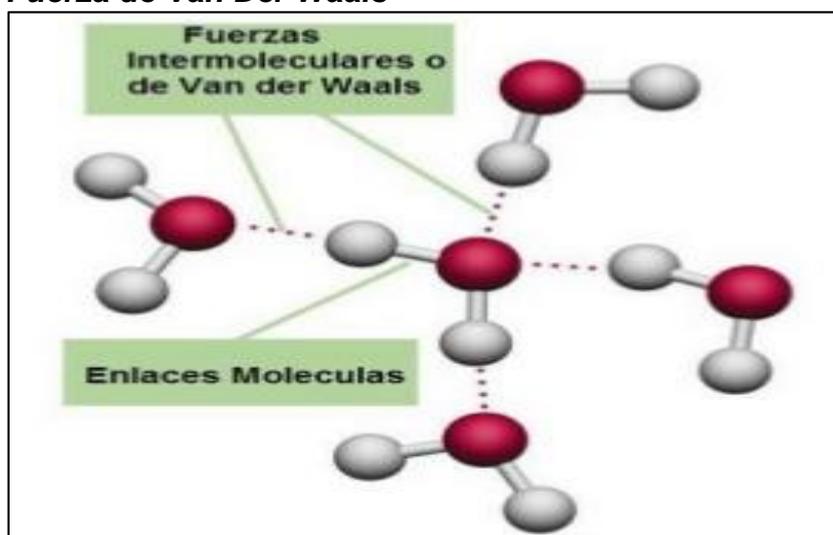
a) Fuerza de Van Der Waals

Son catalogadas como fuerzas que atraen átomos y moléculas para juntarse. Su importancia se desprende de dos propiedades únicas. En primer lugar, son universales. Todos los átomos y moléculas se atraen entre sí a través de este mecanismo, por lo que representan fenómenos, como la cohesión de los gases inertes en los estados sólidos y líquido, y la adsorción física de moléculas a superficies sólidas, donde no se forman enlaces químicos normales. En segundo lugar, la fuerza aún es significativa cuando las moléculas están comparativamente

alejadas, y es aditiva para un gran número de moléculas. Las fuerzas de Van der Waals afectan a varias propiedades de los líquidos y también dan lugar a una fuerza atractiva entre dos objetos sólidos separados por un pequeño espacio, lo que es importante en la adherencia y en la estabilidad de los coloides (Cervantes, 2016).

Cuando las moléculas están a cierta distancia, las expresiones teóricas para la fuerza son particularmente simples, y ahora se han verificado experimentalmente, tanto para dos moléculas aisladas como para dos objetos sólidos separados por un pequeño espacio (Cervantes, 2016).

Figura 1:
Fuerza de Van Der Waals



Fuente: (Cervantes, 2016).

2.4.4 Coagulación

La coagulación es el proceso por el cual las partículas se desestabilizan y comienzan a agruparse. La coagulación es un componente esencial en las operaciones de tratamiento de agua. La evaluación y optimización de la etapa de coagulación / mezcla rápida del proceso de tratamiento de agua incluye una variedad de aspectos. Las dosis óptimas de coagulante y el tiempo de agitación son importantes para la formación adecuada de flóculos y el rendimiento del filtro. Mantener el control adecuado puede significar

la diferencia entre una planta de superficie optimizada y una planta de superficie con un funcionamiento deficiente. La mezcla inadecuada de productos químicos o su adición en puntos inadecuados en la planta de tratamiento también puede limitar el rendimiento (Aguilar M. , 2014).

2.4.5 Tipos de coagulantes - floculantes

a) Compuestos inorgánicos

Son utilizados con mayor frecuencia para el tratamiento de aguas residuales en la primera etapa, cuando son disueltos en el agua forman complejos hidratados, los que se encuentran disponibles en el mercado y con mayor uso son las diferentes sales químicas como: los sulfatos ferrosos, sulfato de aluminio, aluminato de sodio y cloruro férrico, aunque presentan mayor capacidad de coagulación y floculación, a dosis elevadas y un mal manejo puede causar efectos nocivos a la salud de las personas y el medio ambiente (Shak & Wu, 2014).

b) Compuestos orgánicos sintéticos

A diferencia de los inorgánicos, estos son polímeros compuestos por monómeros (ácido acrílico y acrilamida) que son solubles en el agua residual, son derivados de materias primas como el petróleo, el compuesto más efectivo son las poliacrilamidas aniónicas con masas moleculares elevadas y bajas concentraciones, disminuye su costo; la toxicidad de estos compuestos orgánicos sintéticos pueden ser tóxicos para la salud de las personas (Arvoleda, 2013).

c) Coagulantes y floculantes naturales

Estos compuestos se caracterizan por ser biodegradables y de gran potencial, a diferencia de los coagulantes sintéticos e inorgánicos; son de origen vegetal que tienen dentro de su composición proteínas, carbohidratos y taninos, podemos encontrar estos componentes en semillas del frijol, maíz y

Cassia fistula, la ***Cassia fistula*** resalta entre estas semillas por poseer componentes activos (proteínas catiónicas) las mismas que ayudan al proceso de coagulación y floculación (Arvoleda, 2013).

2.4.6 Mecanismos de floculación y coagulación

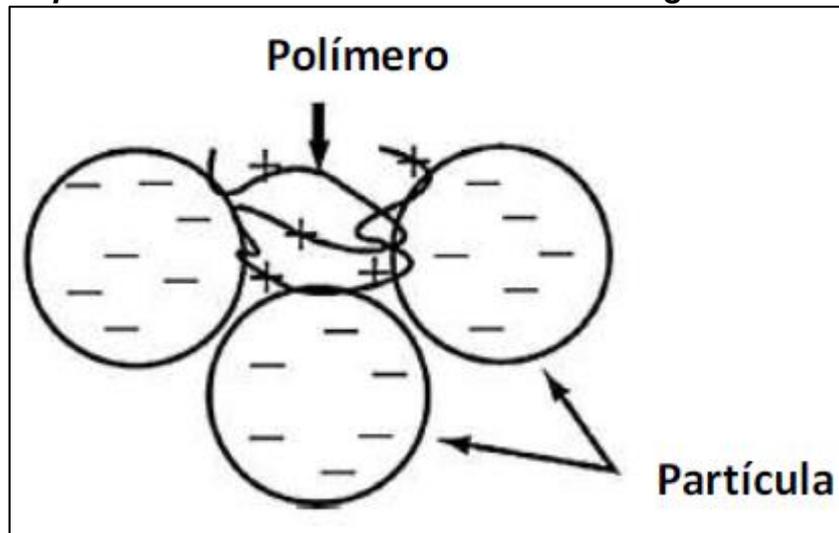
Los mecanismos de floculación y coagulación son importantes para interpretar la interacción que existe entre las partículas coloidales con los agentes coagulantes en el agua, estos principales mecanismos son: la formación de puentes, neutralización de cargas, formación de puentes y finalmente los parches electrostáticos y de barrido (Montes V., 2015).

a) Neutralización de carga

El mecanismo de neutralización de carga se logra cuando la floculación es efectiva a través de un aumento en la fuerza iónica de la solución, disminuye el grosor de la doble capa. Esta compresión permite el acercamiento de las partículas coloidales hacia donde predominan las fuerzas atractivas de corto alcance sobre las fuerzas repulsivas electrostáticas. En presencia de iones metálicos hidrolizables como Al^{3+} y Fe^{3+} o polielectrolitos de carga opuesta a la superficie coloidal, la carga se neutraliza por adsorción de estas especies sobre la superficie de la partícula, en muchos casos, la acción de los polímeros catiónicos se puede explicar en términos de su fuerte adsorción en partículas cargadas negativamente. Para que la floculación continúe con el mecanismo de neutralización de carga pura, es neutral esperar que la potencial zeta sea cero en el punto de floculación óptimo. Pero en la práctica, la potencial zeta tiende a volverse negativo a una floculación óptima con un aumento del peso molecular del polielectrolito. Esto se debe a que el aumento del peso molecular del floculante favorece el puenteo relativo al mecanismo de neutralización de la carga. Por lo tanto,

en cualquier sistema en el que la floculación se vea afectada por la adición de electrolito o polielectrolito con carga opuesta, es probable que se produzca cierto grado de neutralización de la carga, dependiendo en gran medida de las características del sistema (Montes V., 2015).

Figura 2:
Representación de la neutralización de carga.



Fuente: (Montes V., 2015)

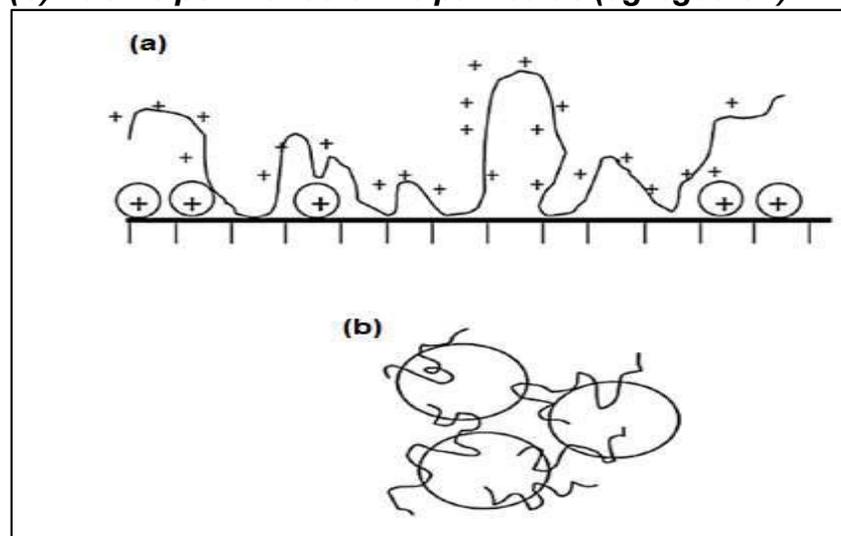
b) Puente polímero

Los polímeros de cadena larga, cuando se agregan en pequeñas dosis a una suspensión de partículas coloidales, se adsorben sobre ellos de tal manera que una cadena individual puede unirse a dos o más partículas, lo que las "une" entre sí. Pero, curiosamente, este fenómeno se observa hasta una dosis de polímero óptima particular más allá de la cual la floculación disminuye, un proceso que se conoce como estabilización estérica. Los requisitos esenciales para la unión de polímeros son que debe haber suficiente superficie de partículas desocupadas para la unión de segmentos de polímeros de cadenas unidas a otras partículas y que el puente de polímeros debe ser tan amplio que abarque la distancia sobre la cual se produce la repulsión entre partículas. Por lo tanto, a dosis más bajas, no hay suficiente polímero para formar enlaces de puente

adecuados entre las partículas. Con el exceso de polímero, ya no hay suficiente superficie desnuda disponible para la unión de segmentos y las partículas se desestabilizan, lo que puede implicar algo de repulsión estérica. En promedio, la floculación de puente proporciona agregados (flóculos) que son mucho más fuertes que los producidos por la adición de sales (es decir, por reducción de la repulsión eléctrica) (Montes V., 2015).

Figura 3:

(a) Adsorción de polímero y formación de flocs
(b) Puente polimérico entre partículas (agregación)



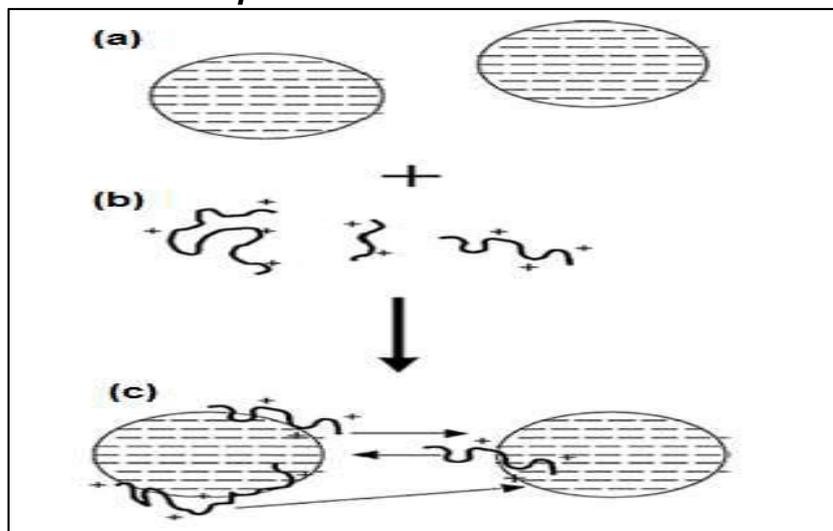
Fuente: (Montes V., 2015)

c) Parche electrostático

Aunque el mecanismo de puente sirve bien para interpretar los efectos de los polímeros no iónicos y aniónicos en la floculación de partículas coloidales, la concordancia con el experimento es pobre con respecto a la acción de los catiónicos de alta carga en partículas coloidales cargadas negativamente, particularmente para moléculas de bajo peso molecular en suspensiones diluidas. De particular importancia para determinar el mecanismo de floculación es la configuración de equilibrio del polímero adsorbido. Se ha observado que para

sistemas con un floculante de alta carga catiónica en suspensiones coloidales aniónicos, la alta energía de interacción favorece una configuración de adsorción aplanada que reduce significativamente la formación de bucles y trenes, que pueden unir las partículas suspendidas (Salvador C., 2015). En tales casos, cada sitio cargado en la superficie de la partícula no puede ser neutralizado individualmente por un segmento de polímero de carga opuesta simplemente por razones geométricas. Las cadenas de polímero luego se adsorben para dar "islas" o "parches" de carga, rodeados por áreas de carga opuesta. Las partículas con polielectrolitos adsorbidos de esta manera "en forma de parche" pueden interactuar de manera tal que las áreas de diferentes partículas cargadas de manera opuesta entren en contacto y provoquen una fuerte atracción. El mecanismo de parche electrostático debe predominar en los sistemas caracterizados por una alta carga catiónica en el floculante y sólidos coloidales aniónicos, especialmente a baja concentración de partículas. Sin embargo, se pueden producir puentes en tales sistemas si la concentración de partículas es lo suficientemente alta para que se produzcan colisiones en una escala de tiempo similar a la requerida para que el polímero alcance una configuración aplanada (Salvador C., 2015).

Figura 4:
(a) Partículas con carga (-) (b) Coagulantes catiónicos (c) Coagulación por neutralización de carga mediante mecanismo de parche



Fuente: (Salvador C., 2015)

d) Mecanismo de coagulación de barrido

Se desarrolla cuando se añade el agente coagulante a las muestras de agua con baja turbiedad, las partículas coloidales son atrapadas por el coagulante y forman flóculos en forma de red tridimensional, esto se debe a la gran área superficial y a la capacidad de adsorción del coagulante (Salvador C., 2015).

2.4.7 Floculación

La floculación es un proceso de movimiento suave del agua que promueve la reunión de las pequeñas partículas de flóculo (microflocs) producidas por coagulación en masas más grandes, más adecuadas para la eliminación mediante procesos de clarificación (Aguilar M. , 2013).

El proceso de floculación proporciona condiciones para que el contacto entre las partículas promueva su reunión en flóculos para facilitar su eliminación, principalmente por clarificación y finalmente por filtración.

Estos contactos o colisiones entre partículas resultan de una agitación suave creada por un medio mecánico u otro de mezcla, a

una velocidad mucho más lenta que la velocidad de mezcla en coagulación (Aguilar M. , 2013).

2.4.8 Modelos de floculación

Se presentan 2 modelos de floculación, para ello se toma en cuenta el tamaño de partículas que fueron desestabilizadas.

a) Modelo ortocinético

Este modelo depende principalmente de las colisiones que se dan entre las partículas causadas por el movimiento del agua, que mayormente son inducidas por energías externas (mecánicas o hidráulicas) en la masa del líquido (Quintanilla P., 2013).

b) Modelo pericínético

Este modelo depende del movimiento browniano y de la decantación de las partículas que son inducidas por energías térmicas, el movimiento browniano actúa en la partícula de menor tamaño hasta lograr que el aglutinado alcance tamaños de una micra (Ojeda, 2013).

2.4.9 Tipos de floculantes

Las amplias categorías de materiales utilizados como agentes floculantes pueden clasificarse en dos categorías: inorgánica, orgánicas y polimérica. (Algunos de los materiales inorgánicos existen en forma polimérica, por ejemplo, poli (cloruro de aluminio), no están incluidos en esta clasificación). Los materiales poliméricos se clasifican además en naturales y sintéticos. Los materiales sintéticos pueden ser catiónicos, aniónicos o no iónicos. Se ha desarrollado una nueva clase de floculantes poliméricos, es decir, los polímeros de injerto que se sintetizan a partir de polímeros naturales y sintéticos (Cardenas, 2015).

a) Floculantes inorgánicos

Los floculantes inorgánicos se basan principalmente en las sales hidrolizables del hierro y el aluminio (Valdes, 2013).

- **Compuestos de aluminio**

Los principales compuestos de aluminio que están disponibles comercialmente para la eliminación de sólidos en suspensión son alumbre seco y líquido. El alumbre seco comercial que se usa con más frecuencia en el tratamiento de aguas residuales se conoce como alumbre de relleno y tiene la fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$. Otro compuesto de aluminio en uso es el aluminato de sodio es un compuesto mucho más alcalino que el alumbre (Valdes, 2013).

- **Compuestos de hierro**

Los compuestos de hierro poseen rangos de coagulación de pH y características de flóculo similares al sulfato de aluminio. El costo de los compuestos de hierro a menudo puede ser menor que el del alumbre. Sin embargo, los compuestos de hierro son generalmente corrosivos y a menudo presentan dificultades para disolverse, y su uso puede dar como resultado una alta concentración de hierro soluble en los efluentes del proceso. Las sales de hierro que se usan comúnmente como coagulantes incluyen sulfato férrico, cloruro férrico y sulfato ferroso (Valdes, 2013).

b) Floculantes poliméricos

Los materiales poliméricos utilizados como floculantes / auxiliares de retención son en su mayoría polímeros solubles en agua de peso molecular muy alto. Las contrapartes catiónicas y aniónicas de estos polímeros se conocen como polielectrolitos con muchas características propias. Algunos de los polímeros solubles en agua no iónicos a veces llevan algunos grupos iónicos como resultado de una hidrólisis inadvertida (Gonzales, 2014).

c) Floculantes orgánicos naturales

Varias sustancias derivadas de la naturaleza se usan como floculantes, la mayoría de las cuales se basan en un esqueleto de polisacáridos. Algunos de ellos contienen grupos aniónicos como carboxilo (Gonzales, 2014).

- **Almidón**

Entre los floculantes naturales, los más utilizados son el almidón y sus derivados. Los enjambres aislados de diferentes fuentes se usan hasta cierto punto como floculantes, pero algunos funcionan mejor con ciertos sustratos que con otros (Gonzales, 2014).

2.4.10 Parámetros fisicoquímicos a evaluar

a) Turbiedad

Cuando establecemos valores de turbiedad son básicamente para determinar la calidad del agua y proponer los tratamientos para su remoción, dentro de ellos podemos destacar a la filtración, coagulación, floculación y sedimentación (Carpio, 2013).

b) pH

El pH es un indicador importante, mediante su medición podemos neutralizar el agua residual para tratamientos posteriores, es importante conocer la composición de sales fuertes, ácidos minerales, bases débiles y la alcalinidad del agua para determinar la cantidad de agentes químicos que se adicionara para amortiguar el pH (Pringles, 2014).

c) Influencia de la concentración del coagulante

La cantidad de coagulante que se aplica influye directamente en la eficiencia dentro del proceso de coagulación, si aplicamos pocas cantidades no llegaremos a neutralizar en su totalidad las cargas de partículas coloidales por ende la turbiedad residual que se genera es alta; si aplicamos altas cantidades de

coagulante se llega a formar cantidades considerables de microflocs pequeños cuya velocidad de sedimentación es muy baja, por ende, la turbiedad residual que se genera es elevada (Pringles, 2014).

Para determinar con exactitud la cantidad óptima de coagulante y seleccionar el tipo de coagulante es necesario realizar ensayos de prueba de jarras (Pringles, 2014).

d) Influencia de la agitación

Para determinar si la coagulación es completa o no, depende principalmente de la agitación o el grado de agitación que se da en el agua al momento de añadir el coagulante, si se observa una turbulencia desigual es indicador de que solo cierta proporción de agua presenta mayor concentración de coagulante y la otra porción de agua tenga poco o nada; es importante que la agitación se dé uniformemente para conseguir una mezcla homogénea entre el coagulante y la masa de agua y producir las reacciones químicas de neutralización de cargas (Valdes, 2013).

2.4.11 Cassia fistula

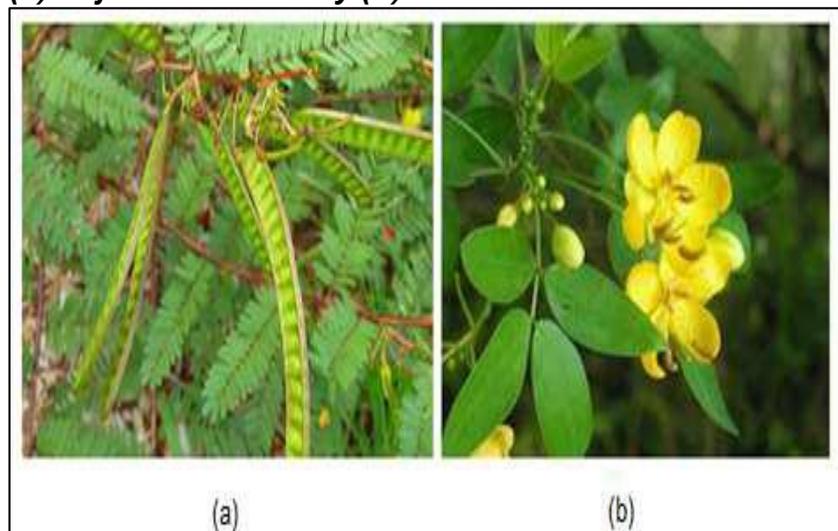
La ***Cassia fistula*** es un árbol que mide aproximadamente 5 metros de alto por 30 centímetros de diámetro, abundante en América, perteneciente a la familia de las Fabáceas (genero ***Cassia***), es mucho más conocida como lluvia de oro, se caracteriza por tener hojas compuestas, una corteza gris verdosa, con 5 a 8 hojuelas, sus flores son de color amarillo distribuidas en grandes racimos colgantes. Los frutos que poseen son vainas delgadas, cilíndricas, alargadas y de color negro que miden aproximadamente de 40 a 50 centímetros de largo (Gonzales B., 2015).

En el valle del Mantaro podemos encontrar en mayor abundancia en la provincia de Jauja, este arbusto no tiene ningún tipo de uso en todo el valle del Mantaro; ante esta situación se conoce que los polvos de las semillas de árboles se vienen utilizando en otros

países como coagulantes naturales para clarificar las aguas, es por ello que se plantea con esta investigación sustituir a los agentes coagulantes convencionales por el polvo de la semilla de **Cassia fistula** (coagulante natural) y aplicarlo en el proceso de coagulación (tratamiento primario de aguas residuales domesticas) (Gonzales B., 2015).

Según los antecedentes, se usa las semillas secas de la **Cassia fistula** para el tratamiento de las aguas residuales que se caracterizan por su contenido en abundancia de DQO y SST, los estudios demostraron la remoción de DQO hasta un 36 % y en SST se llegó hasta valores de 87% (Gonzales B., 2015).

Figura 5:
(a) hojuelas o vainas y (b) flores de Cassia fistula

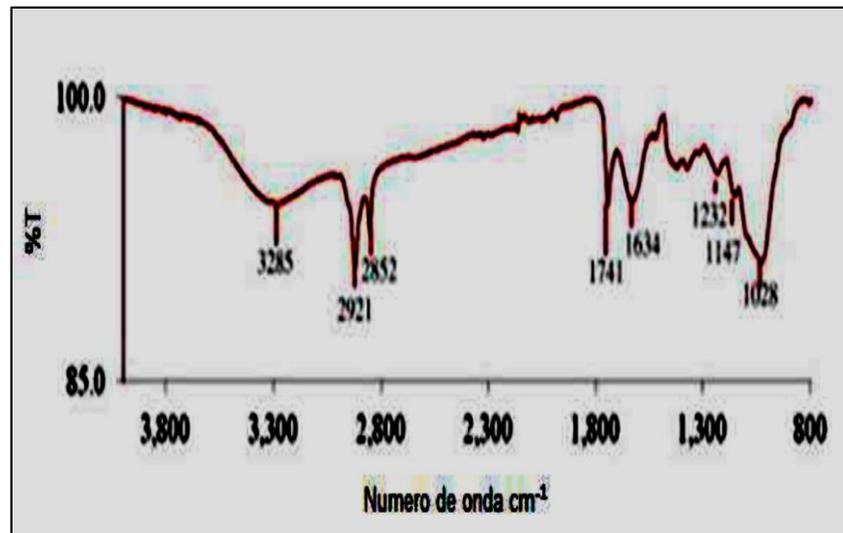


Fuente: (Gonzales B., 2015)

Se tienen que conocer las características que presentan estos coagulantes naturales, por ello es importante realizar la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para identificar los grupos funcionales presentes en la **Cassia fistula**, en la figura 6 se observa picos que indican presencia de galactomanano (biopolímeros de tipo polisacárido presente en la **Cassia fistula**), también se observa presencia de 2 grupos funcionales: una banda ancha en la región de 3285 cm^{-1} (estiramiento de O-H) presencia de grupo hidroxilo formado por un

átomo de oxígeno y otro de hidrógeno, así como bandas en las regiones 2921 y 2852 cm^{-1} (simétrica y asimétrica de estiramiento de C-H) es decir estiramiento del grupo carbonilo que consiste en un átomo de carbono con un doble enlace a un átomo de oxígeno.

Figura 6:
Espectro infrarrojo de flóculos formados con *Cassia fistula*



Fuente: (Gonzales B., 2015)

La presencia de grupos quelantes de cis-hidroxilo metálico en la goma de la semilla de *C. fistula* ayuda a establecer y comprender su capacidad como adsorbente (Gonzales B., 2015).

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Metodología

3.1.1 Método

El método empírico resulta el más complejo y eficaz; este surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano, este tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental. Las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes (las que queremos medir o el objeto de estudio del investigador) y las variables independientes (las que el investigador manipula para ver la relación con la dependiente). Además, debemos controlar todas las demás variables que puedan influir en el estudio (variables extrañas).

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el agua residual doméstica generados por campamentos y comedores (zona

Comihuasa) de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A. – Huancavelica.

La toma de muestra se realizó en el punto de ingreso al cajón de recepción de aguas residuales domésticas de campamentos y comedores (zona Comihuasa), a las 8:00 a.m. en que se alcanza el pico máximo de descarga.

3.1.2 Proceso Experimental

A. Caracterización de las aguas residuales domésticas

Se realizó la toma de muestra de acuerdo al (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2013) de las aguas residuales domésticas que genera la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A., para realizar la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de sus aguas (pH, turbidez, conductividad, SS, SD, ST, DQO y DBO₅), los parámetros en estudio fueron (Turbidez y DBO₅).

a) Preparación antes del muestreo

- Antes de realizar el monitoreo, se registraron datos de la altitud, determinación del área donde se realizará el monitoreo y determinación del punto de muestreo.
- Se realizó un muestreo puntual, tomando un solo punto de muestreo (afluente de las aguas residuales domésticas de campamentos y comedores (zona Comihuasa) al ingreso al cajón de recepción de aguas residuales).
- Ya identificado el punto de muestreo, se anotó la ubicación exacta de éste mediante el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), para ello usamos un GPS marca GARMIN (OREGON 650), registrándolo en coordenadas UTM y sistema WGS84 y se anotó en el formato correspondiente siendo las coordenadas: 18L, 0501150 mE, 8556183 mS a 4373 msnm (ver ANEXO B).

- Se preparó las soluciones estándar de pH, el registro de campo, cadena de custodia, materiales y equipos para la toma de muestra, se verificó que estén en buen estado y calibrados correctamente (ver ANEXO C).
- Antes de la toma de muestra se rotularon los recipientes con etiquetas autoadhesivas, y posteriormente fueron enviadas al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional del Centro del Perú para su análisis fisicoquímico y bioquímico (ver ANEXO E).

b) Procedimiento para la toma de muestra

- Se realizó la medición de los parámetros de campo con un equipo multiparámetro marca HQ_{40d}: pH, conductividad y temperatura; para ello sacamos una muestra simple en un recipiente limpio y se realizó las mediciones inmediatamente (ver ANEXO E).
- Para la toma de muestras de las aguas residuales domésticas, se tuvo la protección de un casco, un par de botas de jebe, guantes de jebe antideslizante, guantes descartables de látex, gafas de seguridad y mascarilla descartable.
- Para la toma de cada muestra se colocó en los frascos de plástico la cantidad correspondiente de 500mL de las aguas residuales domésticas dependiendo de cada parámetro a analizar (turbidez y DBO₅) para estos parámetros a analizar no fue necesario agregarle ningún tipo de preservante, la toma de muestra fue en dirección contraria al flujo del afluente, se enjuagó dos veces el envase y luego se llenó las muestras y finalmente se sellaron los envases con las muestras para su adecuado traslado.
- Se realizó el llenado del formato de la cadena de custodia, dónde se indicó el tipo de muestra de agua (residual

doméstica), los parámetros que se evaluaron, tipo de envase, volumen y número de muestras.

- Los frascos se almacenaron en un cooler en forma vertical para su transporte y envió al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional del Centro del Perú para su análisis fisicoquímico y bioquímicos (pH, turbidez, SS, SD, ST, DQO y DBO₅) siendo los parámetros de interés en la investigación (Turbidez y DBO₅).
- Adicionalmente a las muestras para los análisis de los parámetros iniciales, se recolectó también 14 litros de las aguas residuales domésticas para realizar los ensayos experimentales en laboratorio, para lo cual se siguió los mismos procedimientos de seguridad y se usó 3 baldes de plástico de 5L de capacidad cada uno (Veliz, Guadalupe Llanes, Asela Fernández, & Bataller, 2016).

B. Características del coagulante natural

La especie vegetal de la ***Cassia fistula***, también denominada carao o caña fístula; es un árbol perenne de la familia de las *Fabaceae* del género ***Cassia***, oriunda de Centro América y áreas de la costa de Antillas, también se la puede encontrar en los países de México y Colombia dónde es conocida como “lluvia de oro” (***Cassia fistula Golden-shower***) (Gilman & Watson, 1993). Este árbol presenta flores amarillas dispuestas en unos racimos que cuelgan de las ramas, sus frutos son vainas negras que son delgadas, alargadas y cilíndricas y miden alrededor de 50 centímetros de largo (Sánchez & Cascante, 2008) (ver ANEXO F).

C. Lugar de desarrollo de las pruebas experimentales

Se realizaron en el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la UNCP – Huancayo.

D. Obtención del coagulante natural a partir de la *Cassia fistula*

El coagulante natural se obtuvo conforme al procedimiento propuesto por (Yang Yin, 2010). Las semillas de “***Cassia fistula***”

se recolectaron de la zona de Molinos Valle Yacus – provincia de Jauja, una cantidad de 1 Kg, libre de daños por insectos (ver ANEXO G).

a) Proceso de secado

Una vez seleccionadas las semillas, estas se expusieron al sol durante un tiempo de 8 días para el secado a temperatura ambiente (ver ANEXO I).

b) Proceso de molienda

Seguidamente con la ayuda de un molino tradicional o convencional, las semillas ya secas, fueron molidas con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas en un molino convencional.

c) Proceso de tamizado

Después de la molienda, las partículas pasaron por el proceso de tamizado, para ello se usó un tamiz de acero inoxidable N° 10 (2mm de diámetro) (American Society for Testing and Materials, 2001). La operación se realizó hasta obtener partículas finas de la semilla de ***Cassia fistula***.

E. Preparación del agente coagulante natural (*Cassia fistula*) a diferentes concentraciones

Se preparó una solución madre del coagulante a base de la ***Cassia fistula*** para ello se disolvió 10 g de polvo de semilla en 1000 mL de agua destilada, que es equivalente a una concentración de 10000 ppm (mg/L) (Flores Diaz & Ramos Parra, 2018).

Se preparó soluciones de 100mL a las concentraciones de 120, 160 y 200 mg/L, para conocer el volumen que se tomara de la solución madre de ***Cassia fistula*** se utilizó la siguiente formula:

$$C_a \times V_a = C_b \times V_b$$

Dónde:

C_a= concentración madre del coagulante en mg/L

V_a = volumen que se utiliza del frasco madre en mL

C_b = concentración que se calcularon (120,160 y 200) en mg/L

V_b = volumen en mL

Reemplazando en la formula los valores para 120 mg/L del coagulante natural a partir de la solución madre de **Cassia fistula** se calculó el siguiente volumen:

$$10000 \frac{mg}{L} \times V_a = 120 \frac{mg}{L} \times 0,1L$$
$$V_a = 0,0012 L = 1,2 mL$$

Se aplicó la misma fórmula para el cálculo de los demás volúmenes necesarios de la solución madre para las concentraciones restantes (160 mg/L y 200 mg/L), la tabla 1 muestra los volúmenes que se utilizó de la muestra madre para cada concentración del coagulante natural a partir de la **Cassia fistula** que se requirió para la preparación de cada concentración (120 mg/L, 160 mg/L y 200 mg/L del coagulante a partir de la **Cassia fistula**.

Tabla 1:
Dosis para preparar las concentraciones del coagulante natural a partir de la Cassia fistula.

Concentración en mg/L	Volumen que se sacó de la concentración madre (mL)
120	1,2
160	1,6
200	2,0

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida los volúmenes de la solución madre de la **Cassia fistula** expresada en mililitros (1,2 mL, 1,6 mL y 2 mL) estas fueron aforadas con agua destilada a 100 mL en fioles de esa capacidad para obtener las concentraciones del coagulante natural a (120 mg/L, 160 mg/L y 200 mg/L).

3.1.3 Proceso Experimental

A. Materiales

- Semillas de ***Cassia fistula***
- 04 vasos precipitados de 500 mL
- 03 fioles de 100 mL
- 01 pipeta de 1 mL
- 01 pipeta de 0,1 mL
- 01 pipeta de 25 mL
- 07 viales de 20 mL
- 01 tamiz de acero inoxidable N° 10 (2mm de diámetro)
- 08 pares de guantes para laboratorio
- 03 mascarillas
- 04 unidades de papel toalla

B. Equipos

- 01 balanza analítica de 4 dígitos
- 01 multiparámetro de laboratorio
- 01 cronómetro
- 01 Equipo de prueba de jarras

C. Parámetros controlados en los ensayos

- **La concentración del coagulante (mg/L):** determina la proporción de soluto (coagulante a partir de la semilla de la ***Cassia fistula***) y solvente (agua destilada) en una solución química.
- **Tiempo de agitación (min):** es el periodo de tiempo que se considera para la agitación del coagulante con las aguas residuales domésticas.

D. Procedimiento para la prueba de Coagulación – Prueba de Jarras

Para el presente procedimiento se usó la prueba de jarras, especificado por (Zane Satterfield, 2005) con la finalidad de precisar las propiedades coagulantes de las soluciones

elaboradas a base de ***Cassia fistula***. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente (18 °C).

- Se utilizó 4 vasos de precipitación de 500 mL, se vertieron las muestras de agua residual doméstica con cantidades de 500mL para cada prueba, usando una como control, a la que no se le agrego ninguna concentración del coagulante natural.
- Se dosificó a los 3 vasos precipitados de prueba que contenían 500mL de muestra con las aguas residuales domésticas las concentraciones del coagulante a partir de la ***Cassia fistula*** de 120, 160 y 200 mg/L respectivamente.
- El volumen que se le agregó para cada prueba experimental fue de 1mL del agente coagulante con diferentes concentraciones de coagulante natural a partir de la ***Cassia fistula*** (120 mg/L, 160 mg/L y 200 mg/L).

Tabla 2:
Volumen requerido del agente coagulante para cada prueba experimental

N° de prueba	Concentración en mg/L del coagulante natural	Agregado de agente coagulante a cada prueba (mL)
1	120	1
2	160	1
3	200	1

Fuente: Elaboración propia.

- Seguidamente los vasos precipitados que contenían las agitaciones fueron montados en el agitador, verificando de que las paletas queden al centro de cada uno de los vasos.
- Se comenzó con la agitación encendiendo el equipo de jarras a una velocidad de 100 rpm, realizando en primer lugar una agitación rápida de las muestras por un periodo de un minuto con la finalidad de mezclar homogéneamente el coagulante natural con el agua residual, enseguida se realizó una agitación

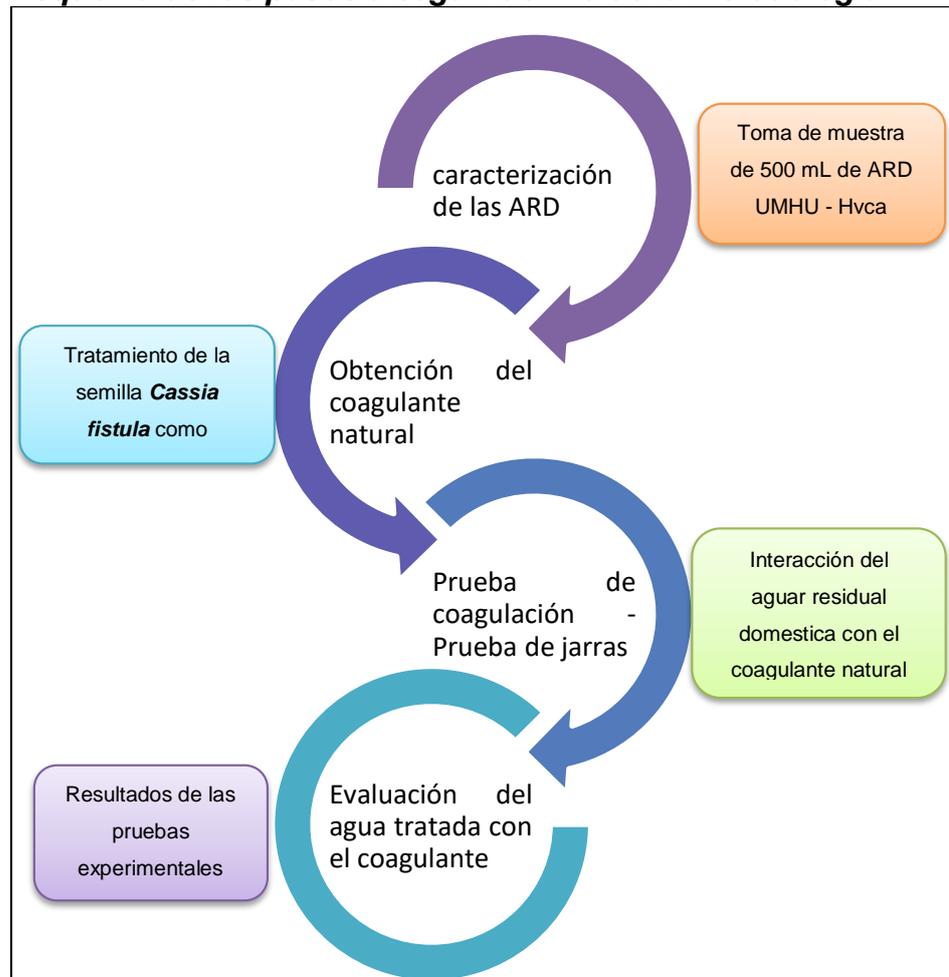
lenta por un periodo de 20, 30 y 40 minutos a 50 rpm, de acuerdo al diseño experimental.

- Finalmente, transcurrido el tiempo, se apaga el equipo de jarras para pasar a la sedimentación de las muestras por un tiempo de 40 minutos.
- Pasado el tiempo de sedimentación, se colectaron muestras significativas en viales de 20 mL del agua sobrenadante con apoyo de una pipeta graduada, para el análisis final de los parámetros fisicoquímicos (turbidez y DBO₅) en el laboratorio de análisis químico de la Universidad Nacional del Centro del Perú y una muestra representativa en el laboratorio Certificaciones del Perú S.A.
- En cada corrida del “test de jarras” se usó un blanco, para comprobar la remoción de turbidez y actividad del agente coagulante, las que fueron calculadas con las ecuaciones propuestas por (Lee, Lee, Jang, & Lee, 1995); (Antov, Sciban, & Prodanovic, 2012).

$$\%Remoción = \frac{Turbidez\ inicial - Turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} \times 100$$

A continuación, se esquematizó los pasos a seguir dentro de la metodología para el desarrollo experimental del presente trabajo de investigación (Figura 7).

Figura 7:
Esquema de los pasos a seguir dentro de la metodología



Fuente: Elaboración Propia.

3.1.4 Tipo de la investigación

Experimental – Experimento de laboratorio, los experimentos de laboratorio se realizaron en un entorno controlado. Los resultados se midieron después de manipular las variables independientes (tiempo de agitación y concentración del coagulante) en un entorno controlado. Estas variables fueron controladas para limitar su efecto sobre la variable dependiente (turbidez; DBO_5). Este método experimental se utilizó para medir una relación causa-efecto entre las variables.

3.1.5 Nivel de la investigación

Nivel Correlacional: El propósito principal es determinar las relaciones entre las variables (tiempo de contacto y concentración de coagulante) y, si existe una relación, utilizar la prueba estadística de correlación para describir y medir el grado de asociación (o relación) entre las variables independientes y dependiente.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño a desarrollar en la investigación es un diseño factorial son de gran utilidad cuando se tienen 2 variables independiente y varios niveles de una o varias de ellas. Para llevarlo a efecto se requieren tantos grupos como combinaciones posibles que existan entre las variables o niveles.

El diseño específicamente es un diseño de bloques completamente randomizado con arreglo factorial de $3a \times 3b$, teniendo dos variables A, B y 3 niveles para cada variable cuyo modelo lineal aditivo es:

$$X_{ijk} = \mu + \delta_k + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

X_{ijk} = Observación cualesquiera dentro del experimento

μ = Media poblacional

δ_k = Efecto aleatorio del k-ésimo bloque o repetición

τ_i = Efecto aleatorio del i-ésimo nivel del factor A

β_j = Efecto aleatorio del j-ésimo nivel del factor B

$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto aleatorio del i-ésimo nivel del factor A, interaccionado con el j-ésimo nivel del factor B

ε_{ijk} = Error experimental

$i = 1, 2, \dots, a$; niveles del factor A

$j = 1, 2, \dots, b$; niveles del factor B

$k = 1, 2, \dots, r$; bloques o repeticiones

Tabla 3:
Diseño experimental

		Dosificación del coagulante (mg/L)		
		a1	a2	a3
Tiempo de Agitación (min)	b1	a ₁ b ₁	a ₂ b ₁	a ₃ b ₁
	b2	a ₁ b ₂	a ₂ b ₂	a ₃ b ₂
	b3	a ₁ b ₃	a ₂ b ₃	a ₃ b ₃

Fuente: Elaboración Propia

DONDE: a_xb_y: pruebas experimentales

Según el diseño se realizó 9 pruebas experimentales y para cada prueba se realizó 3 réplicas, obteniendo en total 27 pruebas experimentales.

3.3 Hipótesis de la investigación

3.3.1 Hipótesis general

La eficiencia del polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural es efectiva al 90% en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica.

3.3.2 Hipótesis específicas

- La composición fisicoquímica (turbidez y DBO₅) de las aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica sobrepasan los límites máximos permisibles para vertimiento.
- La concentración del polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica.
- El tiempo de agitación utilizando el polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural no influye en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica.

3.4 Variables

3.4.1 Variable independiente

- Dosificación del coagulante (mg/L)
- Tiempo de agitación (minutos)

3.4.2 Variable dependiente

- Turbidez (NTU)
- DBO₅ (mg/L)

3.5 Cobertura del estudio

3.5.1 Universo

- Aguas residuales domésticas de campamentos y comedores de la unidad Minera.

3.5.2 Población

- Aguas residuales domésticas de campamentos y comedores (zona Comihuasa) de la Unidad Minera Huachocolpa Uno – Cía. Minera Kolpa S.A. - Huancavelica

3.5.3 Muestra

Para determinar la cantidad de muestra que se utilizó para cada ensayo experimental, se realizó el cálculo mediante la siguiente formula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{i^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

n : Tamaño de muestras

Z_{α}^2 : Nivel de confianza

N : Tamaño de la población bajo estudio

p : Probabilidad de éxito

q : Probabilidad de proceso

i^2 : Error de confianza

Entonces: P = 0,7

$$Q = 0,3$$

$$i^2 = 0,1$$

$$Z = 1,96$$

$$\alpha = 0,05$$

$$N = 0.5$$

$$n = 0,500$$

Al reemplazar los valores en la fórmula, se determinó la cantidad de muestra para cada ensayo, siendo 500 mL de agua residual doméstica de campamentos y comedores (zona Comihuasa) de la Unidad Minera Huachocolpa Uno – Cía. Minera Kolpa S.A.

Considerando los 27 ensayos experimentales que se realizó, se utilizó un total de 13,5 Litros de agua residual doméstica.

3.5.4 Muestreo

El muestreo se llevó a cabo según el protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las PTAR-D (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2013).

Para la toma de muestra se consideró los parámetros regulados por el MINAM en su decreto supremo N° 003-2010 el mismo que da a conocer los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

3.6 Técnicas e instrumentos

3.6.1 Técnicas de la investigación

- Observaciones de Campo y experimentos en el laboratorio.
- Muestreo puntual al ingreso del Cajón de Recepción de aguas residuales domésticas de campamentos y comedores (zona Comihuasa).

3.6.2 Instrumentos de la investigación

- Procedimiento aplicado para el muestreo de las aguas residuales.

- Monitoreo de parámetros en tiempo real durante la toma de muestra y durante los experimentos en laboratorio.
- Reportes de los laboratorios emitidos por los laboratorios.

3.7 Procesamiento estadístico de la información

3.7.1 Estadísticos

Se aplicó el software estadístico Minitab versión 18 para realizar los análisis de los resultados obtenidos en los experimentos.

3.7.2 Representación

Para representar los resultados se utilizaron diferentes gráficos (barra y superficie) y tablas.

3.7.3 Técnica de comprobación de la hipótesis

Se realizó mediante un análisis de t student y un análisis de ANOVA aplicando la prueba de Fisher en el diseño factorial, para comparar las eficiencias de los experimentos.

Para la primera hipótesis específica se realiza la comparación de medias de los resultados obtenidos y los valores de límite máximo permisible para aguas residuales domésticas mediante una prueba de t de student, para las dos siguientes hipótesis se determinará mediante el propio diseño factorial el cual analizará la varianza mediante un análisis de ANOVA y la prueba de Fisher, el valor de probabilidad los cuales indican que variable influye con mayor efecto.

CAPITULO IV

ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de las pruebas experimentales:

Después de finalizar las pruebas experimentales a las condiciones explicadas en la metodología paginas anteriores, las muestras de agua residual doméstica después del tratamiento fueron enviados al laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional del Centro del Perú para sus respectivos análisis según los parámetros en estudio (turbidez y DBO₅) obteniendo los resultados en las tablas 4,5,6 y 7:

Tabla 4:
Parámetros físico químicos iniciales de los ensayos

	Turbiedad (NTU)	DBO ₅ (mg/L)	pH
Ensayo I	254,70	217,35	5,60
Ensayo II	238,92	224,70	5,61
Ensayo III	250,51	245,82	5,56

Fuente: Elaboración propia

En el desarrollo de la parte experimental, se realizaron 3 ensayos, cada muestra fue tomada en 3 días diferentes durante una semana, cada muestreo se realizó según el protocolo descrito en la metodología.

Se tomó en cuenta las dos variables de investigación (tiempo de agitación y dosificación de coagulante a partir de la *Cassia fistula*) cada una de ellas con tres niveles diferentes según el diseño experimental, la distribución de las variables presentaron nueve pruebas experimentales cada uno con su respectivas réplicas (ensayo II y ensayo III), los parámetros que se evaluaron fueron la turbidez (NTU) y la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) para cada uno de las pruebas experimentales, la Tabla 5, muestra los resultados que se obtuvieron en laboratorio en el ensayo I:

Tabla 5:
Resultados de turbiedad y DBO₅ - Ensayo I

Tiempo de agitación (min)	Concentración de coagulante mg/L	Turbiedad NTU	DBO ₅ mg/L	pH
20	120	196,25	145,48	6,53
30	120	148,60	106,00	6,95
40	120	120,47	99,04	7,12
20	160	105,03	131,40	6,16
30	160	54,10	70,10	6,95
40	160	21,50	63,82	7,27
20	200	168,31	138,60	6,04
30	200	124,95	100,07	6,21
40	200	70,06	78,91	7,13

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5, muestra los valores de los parámetros de operación siendo: 20, 30 y 40 minutos de tiempo de agitación 120, 160 y 200 mg/L de la concentración del coagulante, obteniendo un valor mínimo de turbiedad de 21,50 NTU y un valor máximo de 196,25 NTU; con respecto a la DBO₅, se obtuvo una concentración mínima de 70,10 mg/L y máxima de 145,48 mg/L; y con respecto al pH, se obtuvo un valor mínimo de 6,04 y máximo de 7,27.

Tabla 6:
Resultados de turbiedad y DBO₅ - Ensayo II

Tiempo de agitación (min)	Concentración de coagulante mg/L	Turbiedad NTU	DBO ₅ mg/L	pH
20	120	185,75	149,00	6,16
30	120	140,90	105,70	6,88
40	120	113,11	102,95	7,19
20	160	97,06	135,80	6,10
30	160	50,60	74,07	6,58
40	160	19,50	67,16	7,12
20	200	160,00	142,61	6,20
30	200	116,89	103,99	6,69
40	200	64,55	82,00	7,31

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 6, los resultados tuvieron una variación mínima comparando con los valores de la tabla 5, esto se debe a que las condiciones de los parámetros son iguales y no afectaron a los resultados esperados.

Tabla 7:
Resultados de turbiedad y DBO₅ - Ensayo III

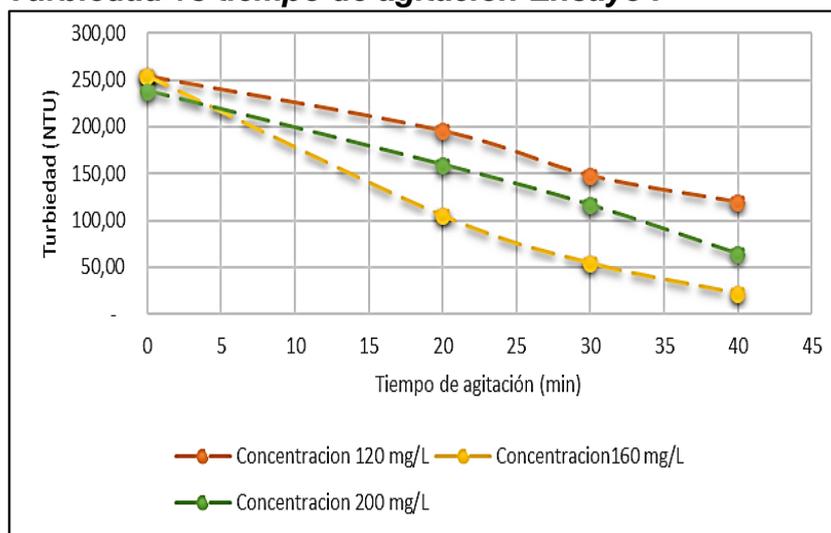
Tiempo de agitación (min)	Concentración de coagulante mg/L	Turbiedad NTU	DBO ₅ mg/L	pH
20	120	195,22	162,82	5,99
30	120	148,10	117,58	6,88
40	120	119,53	115,06	6,87
20	160	103,98	137,10	5,95
30	160	53,24	100,11	6,24
40	160	20,00	71,16	6,99
20	200	167,36	143,90	6,06
30	200	123,05	117,09	6,33
40	200	68,97	89,20	7,08

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se presentaron los resultados del Ensayo III, que es una réplica de los ensayos anteriores, obteniendo un valor mínimo de turbiedad de 20,00 NTU y un valor máximo de 195,22 NTU; con respecto al DBO₅, se obtuvo una concentración mínima de 71,16 mg/L y máxima de 162,82 mg/L;

y con respecto al pH, se obtuvo un valor mínimo de 5,95 y máximo de 7,08; los resultados al comparar con los dos ensayos anteriores fluctúan con una diferencia mínima esto quiere decir que las pruebas realizadas en el laboratorio fueron correctas y que todos los resultados fueron utilizados para los cálculos respectivos que requiere la investigación.

Figura 8:
Turbiedad vs tiempo de agitación-Ensayo I

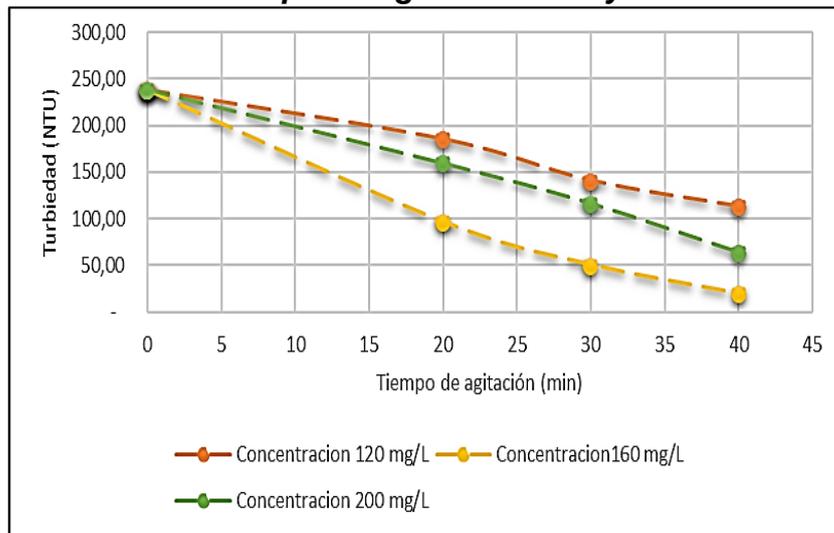


Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, se puede observar que, a una concentración de coagulante de 160 mg/L con un tiempo de agitación de 20 min, se llegó a obtener el valor de turbiedad de 105,03 NTU, cuando el tiempo de agitación se incrementa a 40 min, se observa el descenso de turbiedad a 21,50 NTU. Este patrón se vuelve a observar a una concentración de coagulante de 120 mg/L, con un tiempo de agitación de 20 min, presentó 196,25 NTU de turbiedad; al incrementar el tiempo de agitación a 40 min, la turbiedad descendió a 120,47 NTU, esto indica que, a mayor tiempo de agitación la turbiedad disminuye.

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 30 min, la turbiedad disminuye, de 148,60 NTU a 54,10 NTU, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, la turbiedad se incrementa de 54,10 NTU a 124,95 NTU.

Figura 9:
Turbiedad vs tiempo de agitación-Ensayo II

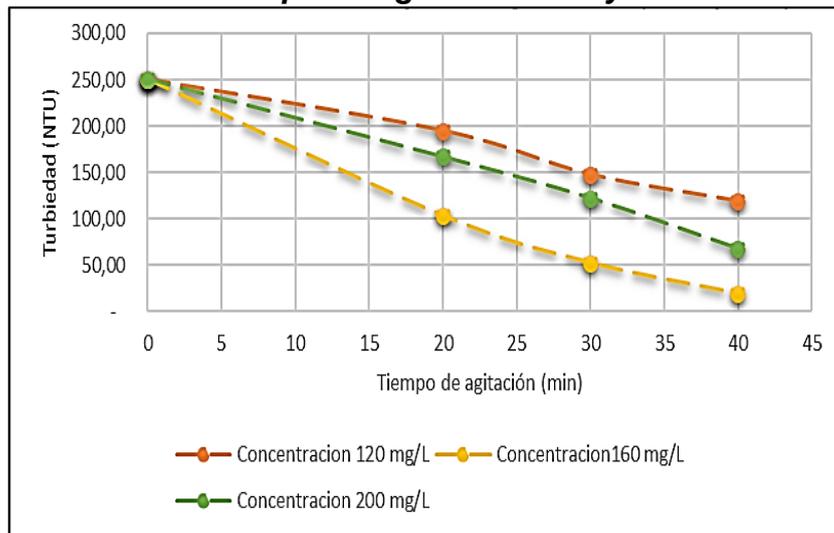


Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se puede observar que, a una concentración de coagulante de 120 mg/L con un tiempo de agitación de 30 min, se llegó a obtener el valor de turbiedad de 140,90 NTU, cuando el tiempo de agitación se incrementa a 40 min, se observa el descenso de turbiedad a 113,11 NTU. Este patrón se vuelve a observar a una concentración de coagulante de 160 mg/L, con un tiempo de agitación de 20 min, presentó 97,06 NTU de turbiedad; al incrementar el tiempo de agitación a 40 min, la turbiedad descendió a 19,50 NTU, esto indica que, a mayor tiempo de agitación la turbiedad disminuye.

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, la turbiedad disminuye, de 113,11 NTU a 19,50 NTU, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, la turbiedad se incrementa de 19,50 NTU a 64,55 NTU.

Figura 10:
Turbiedad vs tiempo de agitación-Ensayo III

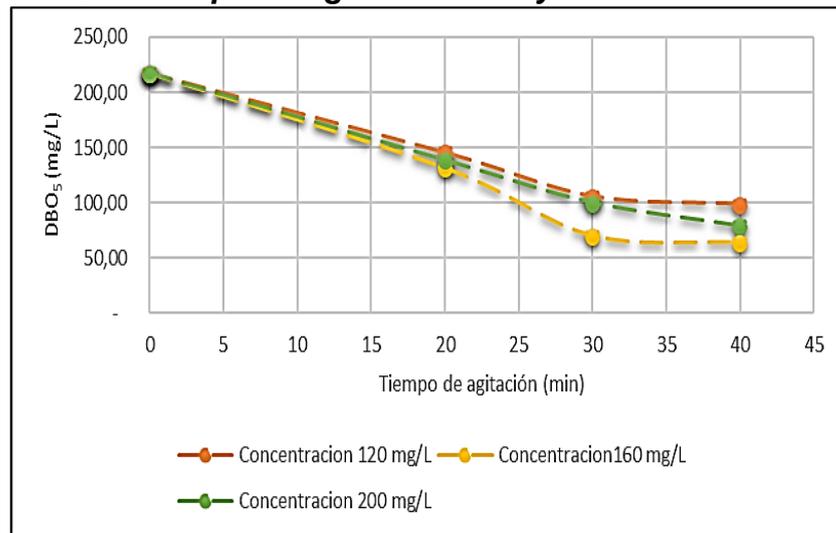


Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se puede observar que, a una concentración de coagulante de 200 mg/L con un tiempo de agitación de 30 min, se llegó a obtener el valor de turbiedad de 123,05 NTU, cuando el tiempo de agitación se incrementa a 40 min, se observa el descenso de turbiedad a 68,97 NTU. Este patrón se vuelve a observar a una concentración de coagulante de 120 mg/L, con un tiempo de agitación de 20 min, presentó 195,22 NTU de turbiedad; al incrementar el tiempo de agitación a 40 min, la turbiedad descendió a 119,53 NTU, esto indica que, a mayor tiempo de agitación la turbiedad disminuye.

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, la turbiedad disminuye, de 119,53 NTU a 20,00 NTU, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, la turbiedad se incrementa de 20,00 NTU a 68,97 NTU.

Figura 11:
DBO₅ vs tiempo de agitación-Ensayo I

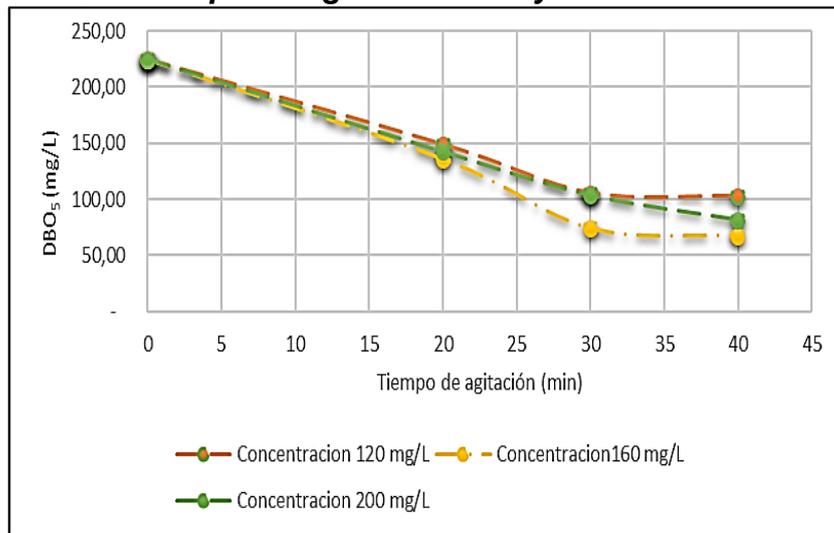


Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, se observa que, la concentración de coagulante de 120 mg/L y a un tiempo de agitación de 20 min, se llegó a obtener un valor de DBO₅ de 145,48 mg/L, al incrementar el tiempo de agitación a 40 min, se presentó un menor valor de DBO₅ que fue de 99,04 mg/L. Este patrón se observó a la concentración de 160 mg/L, ya que, a un tiempo de agitación de 30 min, presentó un valor de DBO₅ de 70,10 mg/L; e incrementando el tiempo de agitación a 40 min, el valor de DBO₅ disminuyó a 63,82 mg/L, es decir, este patrón indica que, al incrementar el tiempo de agitación, el valor de la DBO₅ disminuye.

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, el valor del DBO₅ disminuye, de 99,04 mg/L a 63,82 mg/L, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, el valor de la DBO₅ se incrementa de 63,82 mg/L a 78,91 mg/L.

Figura 12:
DBO₅ vs tiempo de agitación-Ensayo II

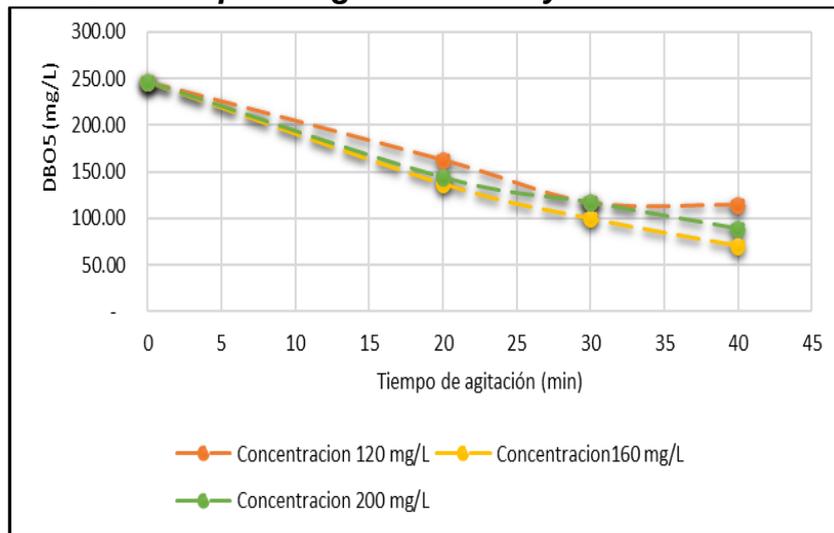


Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se puede observar que a una concentración de coagulante de 120 mg/L con un tiempo de agitación de 20 min, se llegó a obtener 149,00 mg/L de DBO₅, cuando el tiempo de agitación fue prolongándose a los 40 min la DBO₅ disminuyó a 102,95 mg/L, este patrón también se observó a una concentración de coagulante de 200 mg/L con un tiempo de agitación de 30 min, se llegó a obtener 103,99 mg/L de DBO₅ e incrementando el tiempo de agitación a 40 min, el valor de DBO₅ disminuyó a 82 mg/L, entonces este patrón indica que, al incrementar el tiempo de agitación, el valor de la DBO₅ disminuye.

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, el valor del DBO₅ disminuye, de 102,95 mg/L a 67,16 mg/L, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, el valor de la DBO₅ se incrementa de 67,16mg/L a 82,00 mg/L.

Figura 13:
DBO₅ vs tiempo de agitación-Ensayo III



Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, se puede observar que a una concentración de coagulante de 160 mg/L con un tiempo de agitación de 30 min, se llegó a obtener 100,11 mg/L de DBO₅, cuando el tiempo de agitación fue prolongándose a los 40 min la DBO₅ disminuyó a 71,16 mg/L, este patrón también se observó a una concentración de coagulante de 200 mg/L con un tiempo de agitación de 20 min, se llegó a obtener 143,90 mg/L de DBO₅ e incrementando el tiempo de agitación a 40 min, el valor de DBO₅ disminuyó a 89,20 mg/L, entonces este patrón indica que, al incrementar el tiempo de agitación, el valor de la DBO₅ disminuye.

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, el valor del DBO₅ disminuye, de 115,06 mg/L a 71,16 mg/L, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, el valor de la DBO₅ se incrementa de 71,16 mg/L a 89,20 mg/L.

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Características fisicoquímicas del agua

Las muestras tomadas del agua residual de los campamentos y comedores (zona Comihuasa) de la Unidad Minera Huachocolpa Uno – Cía. Minera Kolpa S.A. se caracterizaron fisicoquímicamente en el Laboratorio de Análisis Químico de la UNCP obteniendo los resultados en la siguiente tabla 8.

Tabla 8:
Caracterización fisicoquímica del agua residual

Parámetros	Resultados
Potencial de hidrogeno	5,60
Turbidez	254,70 NTU
Sólidos en suspensión	491,00 mg/L
Sólidos disueltos	240,00 mg/L
Sólidos totales	731,00 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	217,35 mg/L
Demanda química de oxígeno	423,23 mg/L

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los parámetros de la tabla 8 son superiores a los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM para aguas residuales, como se observa la DBO y DQO son valores que superan los 100 y 200 mg/L respectivamente según el decreto, siendo necesario un tratamiento adecuado.

4.2.2 Influencia de la concentración del polvo de la semilla “*Cassia fistula*”

Los resultados de la Tabla 9 se obtuvieron a partir de los de la siguiente ecuación.

$$\%Remoción = \frac{Turbidez\ inicial - Turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} \times 100$$

Los datos que se remplazaron en la ecuación fueron tomados de las Tablas 5, 6 y 7 determinando el % de turbidez.

Tabla 9:
Porcentaje de turbiedad promedio de los ensayos I, II y III.

Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III	Promedio del
% de turbidez	% de turbidez	% de turbidez	% de turbidez
22,95%	22,25%	22,07%	22,42%
41,66%	41,03%	40,88%	41,19%
52,70%	52,66%	52,29%	52,55%
58,76%	59,38%	58,49%	58,88%
78,76%	78,82%	78,75%	78,78%
91,56%	91,84%	92,02%	91,80%
33,92%	33,03%	33,19%	33,38%
50,94%	51,08%	50,88%	50,97%
72,49%	72,98%	72,47%	72,65%

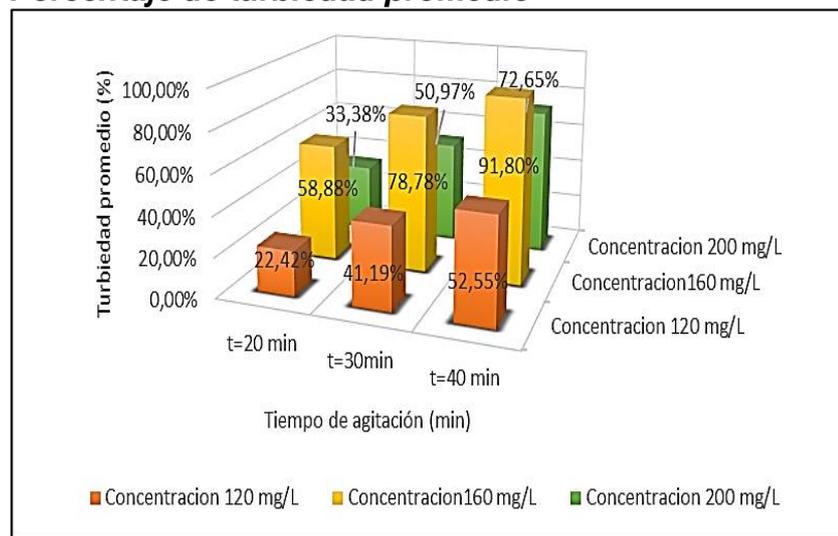
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9 muestra los porcentajes de remoción de turbidez que se obtuvieron en cada uno de los tres ensayos, de la misma manera se observa el promedio calculado de dichos ensayos.

Se trabajaron con dosificaciones de 120,160 y 200 mg/L del polvo de la semilla de **Cassia fistula**, las cuales se obtuvieron realizando disoluciones, según la tabla 9, se llegó a alcanzar una remoción de turbidez de 91,80% con una concentración de coagulante de 160 mg/L en un tiempo de agitación de 40 minutos, este resultado se contrasta con los resultados obtenidos de (Guzmán, Taron, & Núñez, 2015), quienes lograron obtener un 95% de la remoción de turbidez con este coagulante natural, muy cerca a los resultados obtenidos en la investigación. A mayor concentración de coagulante, mayor porcentaje de remoción de turbidez, la lógica de este comportamiento obedece a la desestabilización máxima que se obtiene cuando la concentración del coagulante compensa muy bien con las cargas de las partículas, más conocida como punto

isoeléctrico, esta es la razón por la que existe una relación estequiometria entre la concentración del coagulante y la concentración de las partículas. Con concentraciones mayores de coagulante, se vuelve a obtener una re-estabilización de la dispersión traduciéndose en un aumento de la turbidez según (Carrillo & Portnoy, 2016).

Figura 14:
Porcentaje de turbiedad promedio

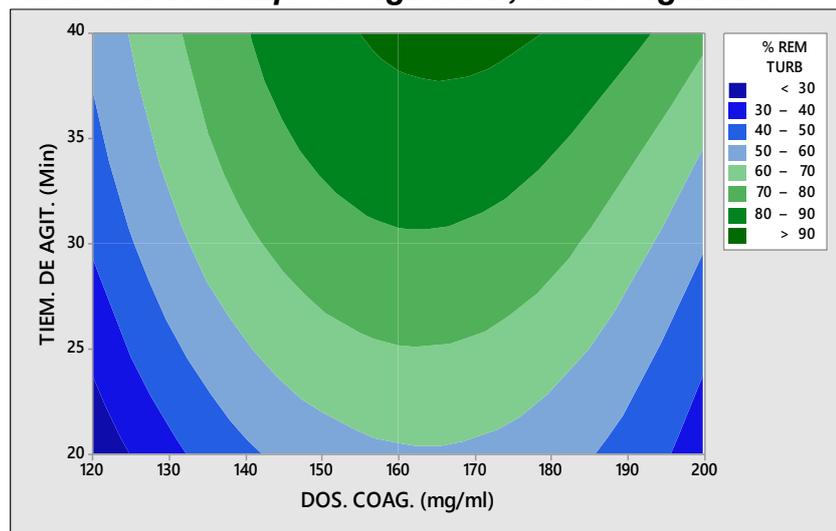


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14, se observa que a una concentración de coagulante de 120 mg/L con un tiempo de agitación de 20 min, se llegó a obtener 22,42% de remoción de turbiedad, a medida que se va prolongando el tiempo de agitación a 40 min se llegó a presentar 52,55% de remoción de turbiedad, este patrón se vuelve a observar cuando se tiene una concentración de coagulante de 160 mg/L con un tiempo de agitación de 30 min, se logró remover 78,78 % de turbiedad, al ir incrementando el tiempo de agitación a 40 min, la remoción de turbiedad se incrementa a 91,80%, esto indica que, al incrementar el tiempo de agitación, el valor de la turbiedad decrece en concordancia con la investigación del autor (Guzmán, Taron, & Núñez, 2015).

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, el valor de remoción de turbiedad aumenta de 52,55% a 91,80%, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, el valor de remoción de turbiedad disminuye de 91,80% a 72,65%.

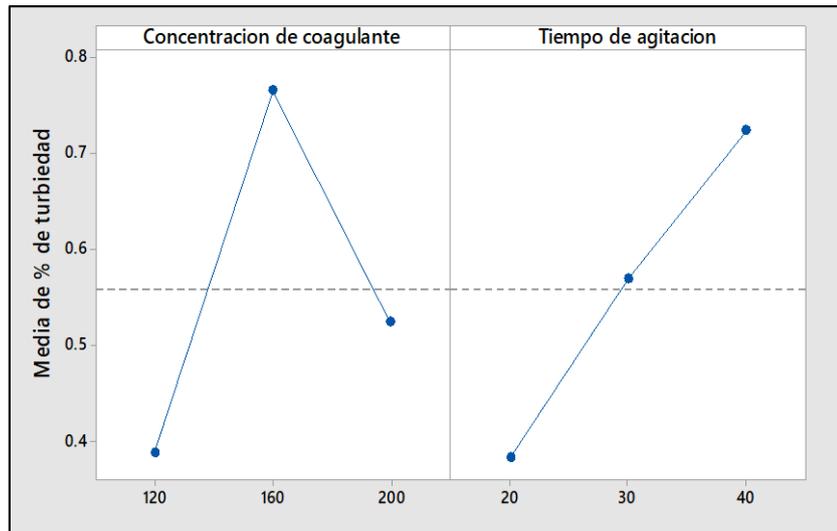
Figura 15:
Gráfica de contorno de porcentaje de remoción turbiedad vs tiempo de agitación, dos. coagulante



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15, se puede observar que los menores porcentajes de remoción de turbiedad, se llegó a obtener en un intervalo de tiempo de 20min - 25 min con una dosificación del coagulante que varía de 120 mg/L a 140 mg/L, también se observa porcentajes de remoción de turbiedad mayores al 80% en un intervalo de tiempo de 30 min a 40 min, con dosis variadas de 140 mg/L a 190 mg/L.

Figura 16:
Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción de turbiedad



Fuente: Elaboración propia

La Figura 16, muestra que, el mayor porcentaje de remoción de turbiedad, se presentaron a la concentración de coagulante de 160mg/L y el menor a una concentración de coagulante de 120 mg/L.

También se puede observar que, con un tiempo de agitación de 40 minutos se llegó a obtener un mayor porcentaje de remoción de turbiedad, mientras que a un tiempo de agitación de 20 minutos se presentó el menor porcentaje de remoción de turbiedad.

Al aumentar la concentración del coagulante de 160 a 200mg/L, se produce una inversión de carga de la partícula, esto ocasiona formaciones grandes y considerables de microflocs con tamaños diminutos, siendo su velocidad de sedimentación muy baja, entonces la turbiedad residual que se genera es elevada y esto desfavorece a la remoción de turbidez (Caceres F., 2016), con concentraciones elevadas de coagulante se produce una re-estabilización de la dispersión de las partículas, es decir un aumento de la turbidez según (Carrillo & Portnoy, 2016).

Los resultados de la tabla 10 se obtuvieron a partir de los de la siguiente ecuación.

$$\%Remoción = \frac{DBO_5 \text{ inicial} - DBO_5 \text{ final}}{DBO_5 \text{ inicial}} \times 100$$

Los datos que se reemplazaron en la ecuación fueron tomados de las Tablas 7, 8 y 9 determinando el % de DBO₅

Tabla 10:
Porcentaje de remoción de DBO₅ promedio de los ensayos I, II y III.

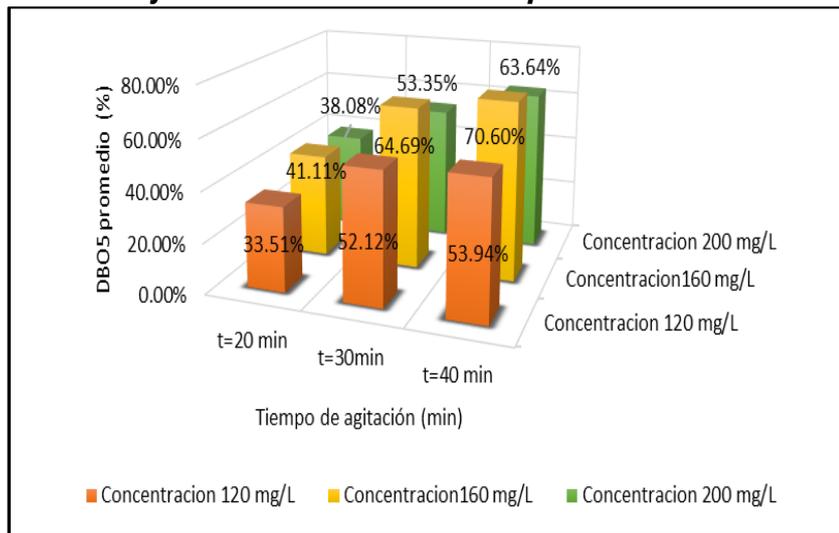
Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III	Promedio del
% de remoción de DBO ₅			
33,07%	33,69%	33,76%	33,51%
51,23%	52,96%	52,17%	52,12%
54,43%	54,18%	53,19%	53,94%
39,54%	39,56%	39,68%	41,11%
67,75%	67,04%	59,28%	64,69%
70,64%	70,11%	71,05%	70,60%
36,23%	36,53%	36,56%	38,08%
53,96%	53,72%	52,37%	53,35%
63,69%	63,51%	63,71%	63,64%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 10 muestra los porcentajes de remoción de DBO₅ de los tres ensayos realizados, muestra también el promedio de dichos ensayos.

Se trabajó con 3 diferentes concentraciones 120 mg/L, 160 mg/L y 200 mg/L del polvo de la semilla *Cassia fistula*, las cuales se obtuvieron haciendo diluciones, y según la Tabla 10, se llegó a alcanzar una remoción de DBO₅ de 70,60% con una concentración de coagulante de 160 mg/L y 40min de tiempo de agitación, este resultado se contrasta con la referencia de (Carrillo & Portnoy, 2016), quien alcanzó un 70% de remoción de DBO₅, que es un valor cercano al resultado obtenido en la investigación.

Figura 17:
Porcentaje de remoción de DBO₅ promedio



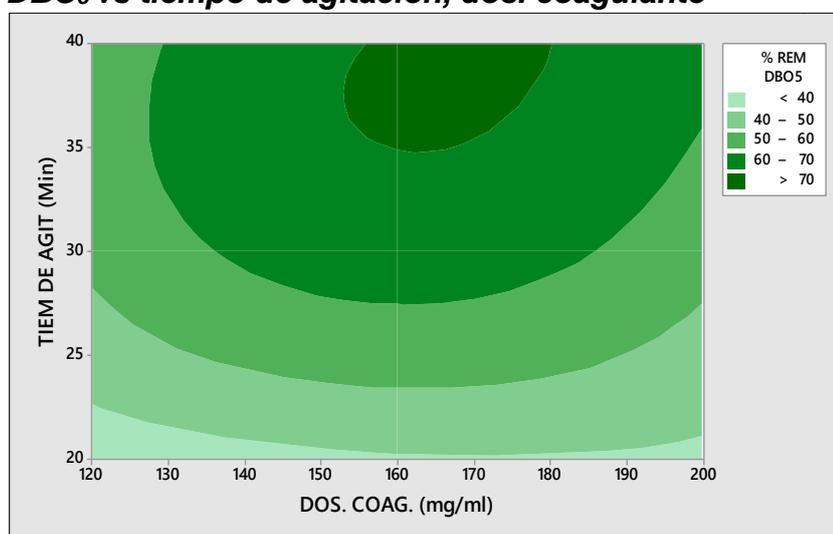
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17, se observa que a una concentración de coagulante de 160 mg/L con tiempo de agitación de 30 min, se llegó a obtener 64,69% de remoción de DBO₅, a medida que se va prolongando el tiempo de agitación a 40 min, se llegó a presentar 70,60% de remoción de DBO₅. Este patrón se vuelve a observar cuando se tiene una concentración de coagulante de 200 mg/L con tiempo de agitación de 20 min, se logró remover 38,08% de DBO₅; al ir incrementando el tiempo de agitación a 40 min la remoción de DBO₅ se incrementa 63,64%, esto indica que, al incrementar el tiempo de agitación, el valor del porcentaje de remoción de DBO₅ aumenta en concordancia con la investigación del autor (Guzmán, Taron, & Núñez, 2015).

También se observa que al incrementar la concentración de coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L a un tiempo de 40 min, el porcentaje de remoción de DBO₅ aumenta de 53,94% a 70,60%, pero cuando se aumenta la concentración de coagulante de 160 mg/L a 200 mg/L, el porcentaje de remoción de DBO₅ disminuye de 70,60 % a 63,64%. En general a mayor tiempo de agitación del coagulante, el valor de la remoción de la DBO₅ se incrementará

como se plasma en el trabajo de investigación del autor (Carrillo & Portnoy, 2016).

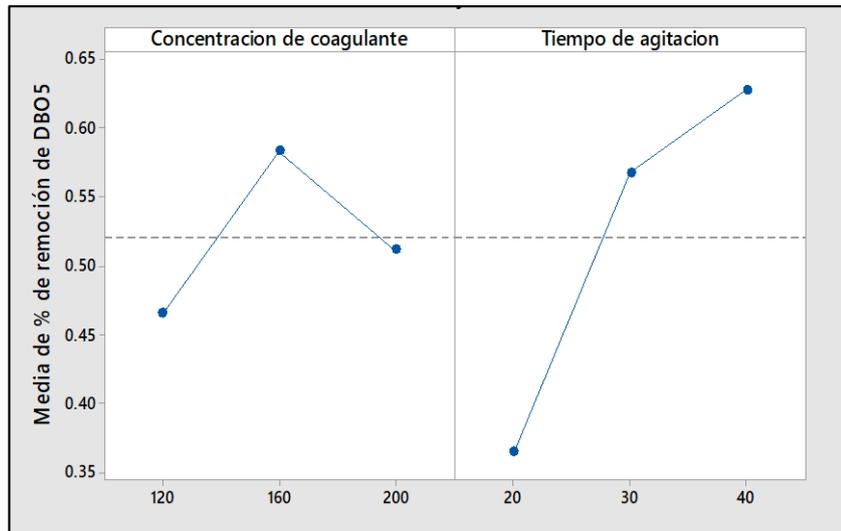
Figura 18:
Gráfica de contorno del porcentaje de remoción del DBO₅ vs tiempo de agitación, dos. coagulante



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18, puede observarse que los menores porcentajes de remoción de DBO₅, se llegó a obtener en un intervalo de tiempo de 20min - 25 min con una concentración de coagulante que varía de 120 mg/L a 140 mg/L, también se observa porcentajes de remoción de DBO₅ mayores al 70% en un intervalo de tiempo de 35 min a 40 min, con dosis variadas de 160 mg/L a 180 mg/L.

Figura 19:
Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción de DBO₅



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19, muestra que, el mayor porcentaje de remoción de DBO₅, se presenta a la concentración de coagulante de 160mg/L y el menor porcentaje a una concentración de coagulante de 120 mg/L.

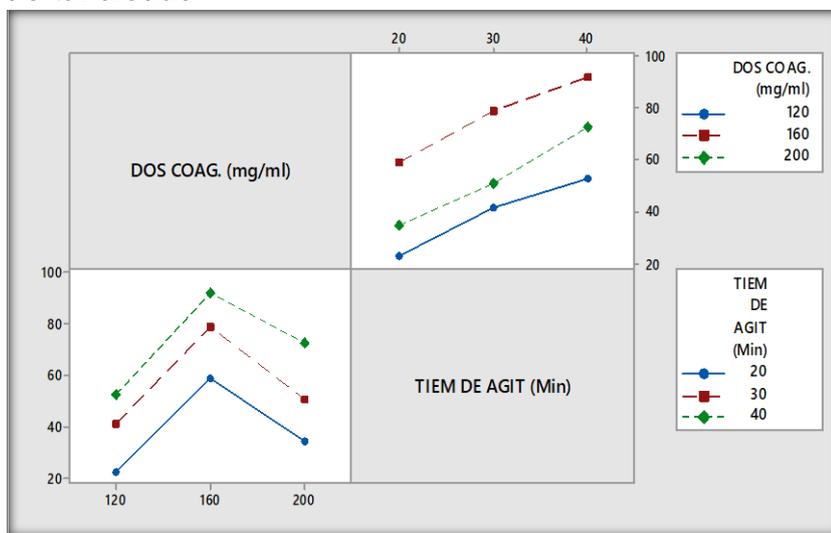
También se puede observar que, a un tiempo de agitación de 40 minutos se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de DBO₅, mientras que a un tiempo de agitación de 20 minutos se presentó el menor porcentaje de remoción de DBO₅.

4.2.3 Influencia del tiempo de agitación

Se trabajó con los tiempos de agitación de 20,30 y 40 minutos, los cuales se tomaron como referencia del autor (Carrillo & Portnoy, 2016), se alcanzó el 91,79 % de remoción de turbidez en el tiempo de agitación de 40 minutos de tiempo de agitación, este resultado se contrasta con la referencia de (Guzmán, Taron, & Núñez, 2015), quien alcanzó una concentración de coagulante óptima a un tiempo de 60 min, que es el mayor valor de los tiempos que trabajó, al igual que en este trabajo se obtuvo una concentración de coagulante óptima con el mayor de los tres tiempos que se trabajó. El tiempo

influye directamente en la variación de los porcentajes de remoción de DBO_5 y turbiedad tal como lo señala (Harpreet T., 2015).

Figura 20:
Gráfica de interacción para el porcentaje de remoción de turbiedad

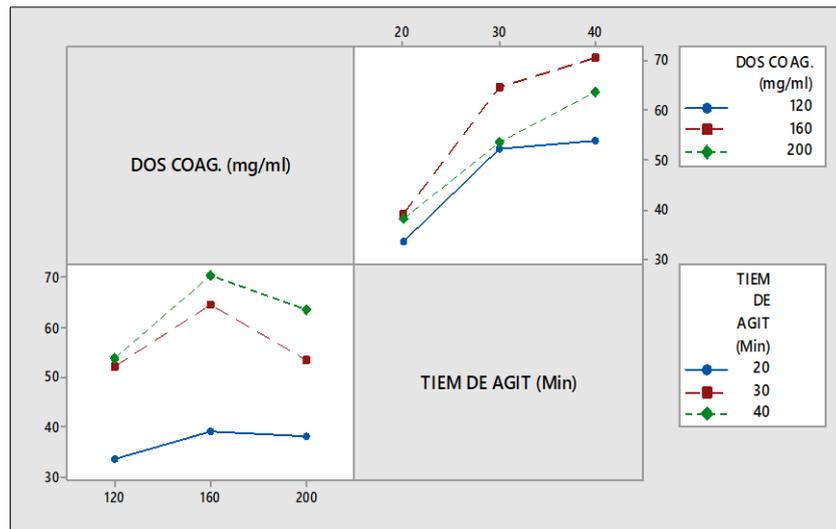


Fuente: Elaboración propia

La Figura 20, muestra que, los mayores porcentajes de remoción de turbiedad, se presentan al tiempo de agitación de 40 minutos, superando el 90%; y los menores porcentajes, al tiempo de agitación de 20 minutos, alcanzando valores menores al 50%.

También se puede observar que, a un tiempo de agitación de 20 minutos a la concentración de coagulante de 120mg/L, se obtuvo un valor menor al 30% de remoción de turbiedad, mientras que a la concentración de coagulante de 160 mg/L, y un intervalo de tiempo de 30 y 40 minutos, se obtuvieron valores mayores al 80 % de remoción de turbiedad. Observando esto, el tiempo de agitación óptimo varía de 30 a 40 minutos, con una concentración de coagulante de 160 mg/L.

Figura 21:
Gráfica de interacción para el porcentaje de remoción de DBO₅



Fuente: Elaboración propia

La figura 21, muestra que, los mayores porcentajes de remoción de DBO₅, se presentan al tiempo de agitación de 40 minutos y los menores porcentajes, al tiempo de agitación de 20 minutos. También se puede observar que, a un tiempo de agitación de 20 minutos a la concentración de coagulante de 120mg/L, se obtuvo un valor menor al 40% de remoción de DBO₅, mientras que a la concentración de coagulante de 160 mg/L, y un intervalo de tiempo de 30 y 40 minutos, se obtuvieron valores mayores al 60 % de remoción de DBO₅. Observando esto, el tiempo de agitación óptimo varía de 30 a 40 minutos.

4.3 Contrastación de Hipótesis

La primera contrastación de hipótesis se realizó respecto a la comparación de DBO_5 que presento las aguas residuales domésticas de la unidad minera Huachocolpa Uno respecto a la normativa.

a) T de Student una muestra: DBO_5

Tabla 11:
Prueba de T de Student en DBO_5

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
3	229,29	14,78	8,53	(192,58; 266,00)

Fuente: Elaboración propia

μ : media de DBO_5

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 100$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu \neq 100$

Valor T	Valor p
15,15	0,004

Se realizó la prueba de T student para comparar la media de los resultados de DBO_5 de las muestras iniciales con la normativa establecida, se obtuvo un valor de probabilidad de 0,004 menor al valor de significancia de 0,05 debido a que se trabajó a un nivel de confianza del 95%, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) que los resultados comprados son iguales, es decir que el promedio de DBO_5 de las muestras iniciales es mayor al valor de la normativa establecida.

b) Análisis de ANOVA según diseño experimental

Para la realización de la contratación de las hipótesis se utilizaron los resultados del porcentaje de turbiedad y porcentaje de remoción de DBO_5 de las tablas 10 y 11; y según el diseño experimental planteado

se realizaron las diferentes pruebas estadísticas utilizando el software MINITAB versión 18.0.

Las hipótesis específicas se evaluaron con un análisis de ANOVA del diseño factorial.

- **Diseño factorial de múltiples niveles**

Tabla 12:
Resumen del diseño factorial de múltiples niveles

FACTORES	2	REPLICAS	3
Corrida Base	9	Total de Corridas	27
Bloques Base	1	Total de Bloques	1

Fuente: Elaboración propia

Regresión factorial general: % de turbiedad vs Tiempo de Agitación; Dosificación del Coagulante.

Tabla 13:
Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
DOS COAG. (mg/ml)	Fijo	3	120,160,200
TIEM DE AGIT (min)	Fijo	3	20,30,40

Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de Varianza**

Tabla 14:
Regresión factorial general: porcentaje de turbiedad vs Tiempo de Agitación; Dosificación del Coagulante.

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
DOS COAG. (mg/ml)	2	6560.4	3280.18	7629.51	0.000
TIEM DE AGIT (min)	2	5131.6	2565.29	5966.72	0.000
DOS COAG. (mg/ml) * TIEM DE AGIT (min)	4	100.4	25.10	58.38	0.000
Error	18	7.7	0.43		
Total	26	11799.1			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15:

Resumen del modelo de análisis de varianza

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad (pred)
0.655693	99.93%	99.91%	99.85%

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza sobre los tratamientos el valor de p fue de 0,000 siendo menor al valor de significancia, por lo tanto, rechazo la hipótesis nula, lo cual verifica que todos los tratamientos no son iguales existiendo diferencia entre tratamientos.

Interpretación: Los modelos factoriales de análisis de varianza (factorial = más de un factor) sirve para evaluar el efecto individual y conjunto de dos o más factores (variables independientes categóricas) sobre una variable dependiente cuantitativa.

Un ANOVA factorial permite estudiar, si el porcentaje de turbidez (variable dependiente) es diferente debido a las dosificaciones del coagulante (efecto del primer factor) y, es diferente debido al tiempo de agitación, (efecto del segundo factor). Pero, además, también permite estudiar las interacciones entre los factores dosificación de coagulante y tiempo de agitación, es decir, permite determinar si la interacción entre los factores afecta a la variable dependiente.

Ho: todos los tratamientos son iguales

Ha: por los menos uno de los tratamientos es diferente

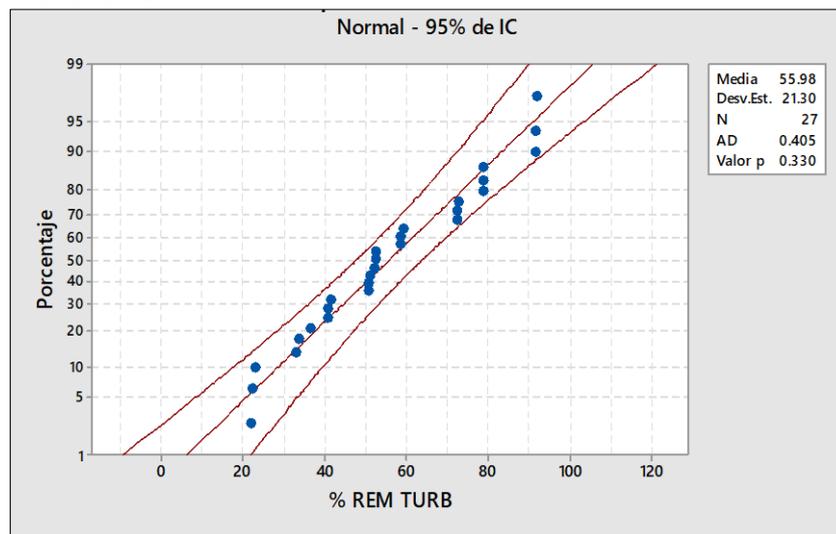
Se desarrolló el análisis de varianza del diseño experimental obteniendo para la concentración de coagulante un valor de $p=0,000$; por teoría se conoce que si el valor de p es menor que el valor de significancia ($\alpha =0,05$) se rechaza la hipótesis Nula, por lo tanto, se afirma que existe variación en los resultados del porcentaje de turbidez influyendo la dosificación de coagulante.

Respecto al tiempo de agitación el valor de p es igual a 0,000; al igual que el análisis anterior se rechaza la hipótesis Nula, por lo tanto, se afirma que existe variación en los resultados del

porcentaje de turbidez debido al efecto que presenta el tiempo de agitación.

En la interacción de las variables se obtuvo un valor de $p = 0,000$ teniendo en cuenta los resultados anteriores se rechaza la hipótesis Nula, afirmando que existe variación en los resultados del porcentaje de turbidez debido al efecto de la interacción de la concentración del coagulante y el tiempo de agitación.

Figura 22:
Gráfica de probabilidad de porcentaje remoción turbiedad



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 22, la prueba de normalidad que se aplicó a los resultados obtenidos del porcentaje de turbiedad, el cual nos indica que los datos provienen de una muestra normal, debido a que todos los puntos se encuentran dentro de los límites y no se visualiza valores atípicos que pudieron influir en los cálculos, de igual manera se obtuvo un valor de p de 0,330 esto indica que es mayor a 0,01 lo que evidencia que los resultados provienen de una muestra normal.

Tabla 16:
Información del factor

<i>Factor</i>	<i>Tipo</i>	<i>Niveles</i>	<i>Valores</i>
<i>DOS COAG. (mg/ml)</i>	Fijo	3	120,160,200
<i>TIEM DE AGIT (min)</i>	Fijo	3	20,30,40

Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de Varianza**

Tabla 17:
Regresión factorial general: porcentaje de remoción DBO₅ vs. Tiempo de agitación; Dosificación del Coagulante.

<i>FUENTE</i>	<i>GL</i>	<i>SC Ajust.</i>	<i>MC Ajust.</i>	<i>Valor F</i>	<i>Valor p</i>
<i>DOS COAG. (mg/ml)</i>	2	3289.3	1644.64	240.57	0.000
<i>TIEM DE AGIT (min)</i>	2	609.0	304.51	44.54	0.000
<i>DOS COAG. (mg/ml) * TIEM DE AGIT (min)</i>	4	152.7	38.17	5.84	0.004
<i>Error</i>	18	123.1	6.84		
<i>Total</i>	26	4174.0			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18:
Resumen del modelo de análisis de varianza

<i>S</i>	<i>R-cuad.</i>	<i>R-cuad. (ajustado)</i>	<i>R-cuad (pred)</i>
2.61468	97.05%	95.74%	93.37%

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza sobre los tratamientos el valor de p fue de 0,004 siendo menor al valor de significancia, por lo tanto, rechazo la hipótesis nula, lo cual verifica que todos los tratamientos no son iguales existiendo diferencia entre tratamientos tomándose en consideración el porcentaje de remoción de DBO₅.

Interpretación: Se realizó un ANOVA factorial del porcentaje de remoción de DBO₅ vs. Dos. Coagulante, tiempo de agitación, planteándose las siguientes hipótesis

Ho: todos los tratamientos son iguales

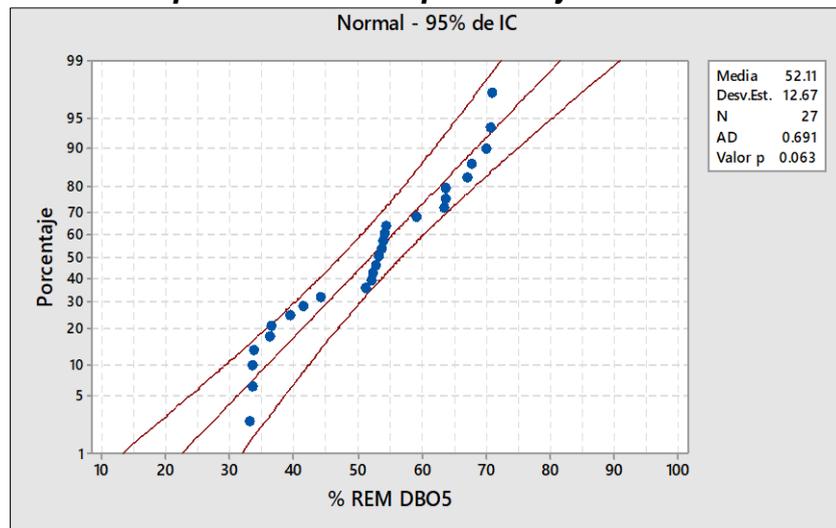
Ha: por los menos uno de los tratamientos es diferente

Se desarrolló el análisis de varianza del diseño experimental obteniendo para la dosificación de coagulante un valor de $p=0,000$; por teoría se conoce que si el valor de p es menor que el valor de significancia ($\alpha =0,05$) se rechaza la hipótesis Nula, por lo tanto, se afirma que existe variación en los resultados del porcentaje de remoción de DBO_5 influyendo la dosificación de coagulante.

Respecto al tiempo de agitación el valor de p es igual a $0,000$; al igual que el análisis anterior se rechaza la hipótesis Nula, por lo tanto, se afirma que existe variación en los resultados del porcentaje de remoción de DBO_5 debido al efecto que presenta el tiempo de agitación.

En la interacción de las variables se obtuvo un valor de $p = 0,004$ teniendo en cuenta los resultados anteriores se rechaza la hipótesis Nula, afirmando que existe variación en los resultados del porcentaje de remoción de DBO_5 debido al efecto de la interacción de la dosificación del coagulante y el tiempo de agitación.

Figura 23:
Gráfica de probabilidad de porcentaje remoción DBO_5



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 23, la prueba de normalidad que se aplicó a los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de

DBO₅, el cual nos indica que los datos provienen de una muestra normal, debido a que todos los puntos se encuentran dentro de los límites y no se visualiza valores atípicos que pudieron influir en los cálculos, de igual manera se obtuvo un valor de p de 0,063 esto indica que es mayor a 0,01 lo que evidencia que los resultados provienen de una muestra normal.

c) Prueba de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95% para la remoción de turbidez

Tabla 19:
Comparaciones en parejas de Fisher para Turbiedad.

Factor	N	Media	Agrupación
T_6	3	0,91807	A
T_5	3	0,787767	B
T_9	3	0,72647	C
T_4	3	0,58877	D
T_3	3	0,52550	E
T_8	3	0,509667	F
T_2	3	0,41190	G
T_7	3	0,33380	H
T_1	3	0,22423	I

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se calcularon los intervalos de confianza para las comparaciones en parejas de Fisher a un nivel de confianza del 95%, resultando que cada tratamiento respecto al porcentaje de turbiedad como resultado final son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95% para la remoción de BDO₅

Tabla 20:
Comparaciones en parejas de Fisher para DBO₅.

Factor	N	Media	Agrupación
T_6	3	0,70600	A
T_5	3	0,6469	B
T_9	3	0,636367	B
T_3	3	0,53933	C
T_8	3	0,53350	C
T_2	3	0,52120	C
T_4	3	0,395933	D
T_7	3	0,36440	E
T_1	3	0,33507	F

Fuente: Elaboración propia

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Se calcularon los intervalos de confianza para las comparaciones en parejas de Fisher a un nivel de confianza del 95%, resultando que los tratamientos T_5 y T_9 tienen como resultado significativamente igual el % de remoción de DBO₅, así como los tratamientos T_3, T_8 y T_2 también tienen significativamente igual el % de remoción de DBO₅.

CONCLUSIONES

1. Se determinó la eficiencia del polvo de la semilla "***Cassia fistula***" como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.- Huancavelica. a las condiciones siguientes: dosificación de coagulante a 120, 160 y 200 mg/L con tiempos de agitación de 20, 30 y 40 minutos, controlando el valor del pH, manteniéndose constante en un intervalo de 5,6 a 6. Obteniéndose valores altos de remoción de turbiedad y DBO₅ de 91,80% y 70,60% respectivamente, concluyendo que el polvo de la semilla "***Cassia fistula***" es un coagulante natural eficaz que puede sustituir a los coagulantes inorgánicos en el proceso de tratamiento primario de las aguas residuales domésticas.
2. Se realizó la caracterización de las aguas residuales domésticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A.– Huancavelica, obteniendo un pH de 5,6 unidades, turbidez de 254,70 NTU, la conductividad eléctrica 325,0 $\mu\text{s}/\text{cm}$, sólidos en suspensión de 491,0 mg/L, sólidos disueltos 240,0 mg/L, sólidos totales 731,0 mg/L, la DBO₅ de 217,35 mg/L y DQO de 423,23 mg/L., por lo tanto los resultados de los parámetros analizados no cumple con LMP para efluentes de agua de PTAR según la norma peruana.
3. Se determinó la influencia de la concentración del polvo de la semilla "***Cassia fistula***", en el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A. – Huancavelica, donde se tomaron los parámetros DBO₅ y turbidez para el análisis mediante el método de prueba de jarras, siendo la dosis de 160 mg/L la de mejor remoción de DBO₅ y turbidez obteniendo 63,82 mg/L y 19,50 NTU, por lo tanto que al aumentar la dosificación del coagulante de 120 mg/L a 160 mg/L la remoción de turbiedad y DBO₅ aumentan; sin embargo cuando se aumenta la dosificación de coagulante de 160 mg/L

a 200 mg/L, la remoción de turbiedad y DBO₅ disminuyen a 78,91 mg/L y 64,55 NTU respectivamente, esto es porque a una mayor dosificación de coagulante, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños, por ende los porcentajes de remoción de turbiedad y DBO₅ decrecen.

4. Se determinó influencia del tiempo de agitación utilizando el polvo de la semilla "***Cassia fistula***", en el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la Unidad Minera Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Kolpa S.A. – Huancavelica, donde se tomaron los parámetros DBO₅ y turbidez para el análisis mediante el método de prueba de jarras, siendo el tiempo de 40 minutos la de mejor remoción de DBO₅ y turbidez obteniendo 70,60% y 91,80% fue notoria, ya que a una dosis de 160mg/L a un tiempo de 20 minutos, tuvo porcentajes de remoción de turbiedad y DBO₅ de 58,88% y 39,60% respectivamente, luego al incrementar el tiempo a 40 minutos se obtuvieron porcentajes de remoción de turbiedad y DBO₅ de 91,80% y 70,60% respectivamente, concluyendo que, a mayor tiempo de agitación de coagulante, mayor será el porcentaje de remoción de turbiedad y DBO₅.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el estudio de otros parámetros fisicoquímicos como: DQO, conductividad, color, y dureza total; con la finalidad de tener un mejor análisis de estudio para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.
2. Para el tratamiento de las aguas residuales domesticas generados en los comedores y campamentos mineros, se recomienda utilizar el polvo de la semilla "***Cassia fistula***", para la remoción de metales presentes; esta semilla podría ser de gran utilidad según los estudios realizados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. (2013). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. *Universidad de Murcia*, 167-169.
- Aguilar, M. (2014). Analisis de Agua, Determinacion de Cloruros Totales en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. *Secretaria de Economia*, 45-57.
- Almendárez, N. (2016). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". . *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5-10.
- American Society for Testing and Materials. (2001). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, ASTM International. West Conshohocken, Pensilvania: American Society for Testing and Materials. Obtenido de www.astm.org
- Antov, M., Sciban, M., & Prodanovic, J. (2012). Evaluation of the efficiency of natural coagulan obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecological Engineering*, 48-52.
- Arcila, H. R., & Peralta, J. J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Universidad Militar Nueva Granada*, 4-6.
- Arvoleda, J. (2013). Teoria de la coagulacion del agua. *Acodal.*, 24.
- Bailòn, P. (2015). Estudio y dimensionamiento de la instalacion recogida y tratamiento de aguas negras en un buque. *Universidad Politecnica de Catalunya.*, 25-29.
- Barba, E. (2014). Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua y Parametros de Medicion. *Universidad del Valle*, 124.
- Caceres F., Y. (2016). Proceso de coagulacion y floculacion. *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico.*, 52.
- Cardenas, A. (2015). Tratamineto de agua Coagulación y Floculación. *SEDAPAL*, 34.
- Carpio, T. (2013). Turbiedad por Nefelometría en el Equipo Turbiquant 3000 T. *Bogotá: IDEAM*.

- Carrillo, G., & Portnoy, I. B. (2016). Assessment of natural coagulant Cassia fistula in the primary treatment of wastewater. 8.
- Cervantes, A. (2016). Potencial Z. *Facultad de Quimica UNAM*, 14-18.
- Díaz, J. J., & Ramos, L. J. (2018). Efficiency of Cassia fistula Seed as a Natural Coagulant in Raw Water Treatment from Sinú River, Colombia. *Indian Journal of Science and Technology*, 3-8.
- Flores Diaz, J., & Ramos Parra, J. (2018). Efficiency of cassia fistula seed as a natural coagulant in raw water treatment. *Science and Technology*, 5.
- Garcia, E., & Lopez, P. (2013). Aguas Residuales Composicion. *Universidad de Salamanca.*, 35-38.
- Gilman, E., & Watson, D. (1993). **Cassia fistula**: Golden–shower. *Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, ENH286*, 3.
- Gomez, N. (2015). Remoción de Materia Organica por Coagulación-Floculación. Manizales. *Universidad Nacional de Colombia.*, 26-45.
- Gonzales B., A. (2015). Coagulantes Y Floculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez En Aguas Residuales. *Universidad Distrital Francisco José De Caldas*, 14-15.
- Gonzales, C. (2014). La Turbidez. *Mayaguez : Servicio de Extension Agricola*.
- González, L. V. (2017). Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana). *Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez*, 3.
- Guzman C., L. E., & Barrios P., I. P. (2017). Evaluación de la Cassia fistula en el tratamiento primario de aguas residuales. *Universidad de Cartagena*, 6-9.
- Guzman V., L., & Torres P., A. (2016). Aplicacion de las semillas de cassia fistula como auxiliar Bio-coagulante para el tratamiento de aguas residuales. *Biotecnología*, 3-6.
- Guzmán, L., Taron, A. A., & Núñez, A. (2015). Powder seed of cassia fistula like natural coagulant in treatment of raw water. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7.
- Harpreet T., A. (2015). Adsorption of Congo red dye from aqueous solution onto Ash of Cassia Fistula seeds. *Chemical Science Review* , 12.

- Lee, S., Lee, S., Jang, K., & Lee, T. (1995). Microbial flocculant from *Arcuadendron*. *Biotechnol Lett*, 95-100.
- MINAM. (2017). Glosario Ambiental. 10.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Lima.
- Montes V., B. (2015). Los polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas. *Tratamiento de aguas residuales*, 2211-2218.
- Ojeda, L. (2013). Determinación de la Eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *Tropaeolum Tuberosum*, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasi de la EPMAPS. *Universidad Politecnica Salesiana.*, 56-59.
- Pringles, J. (2014). Laboratorio Ph. *Universidad Nacional de San Luis*.
- Pueblo, D. d. (2015). *Diagnóstico de la calidad de agua para consumo humano*. Colombia.
- Quintanilla P., R. (2013). Utilización de Floculantes de Origen Natural en el Tratamiento del Agua. *Universidad Nacional José Faustino Sánchez*., 78.
- Salvador C., O. (2015). Cassia seed gum as an effective natural coagulant. *Green Chemistry*, 238.
- Sánchez, J., & Cascante, A. (2008). *Árboles ornamentales del Valle Central de Costa Rica: especies con floración llamativa*. (Primera ed.). San José (Costa Rica): Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Museo Nacional.
- Shak, K., & Wu, T. (2014). Coagulation-flocculation treatment of high-strength agroindustrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: treatment efficiencies and flocs characterization. *Chem. Eng.*, 293–305.
- Valdes, F. (2013). Alternativa de remoción de los nonilfenol etoxilados de aguas residuales industriales mediante un proceso acoplado: físico-químico, oxidación avanzada y adsorción. *Universidad Autónoma de Querétaro* .
- Valdes, F. (2013). Alternativa de remoción de los nonilfenol etoxilados de aguas residuales industriales mediante un proceso acoplado: físico-químico,

- oxidacion avanzada y adsorcion . Santiago de Querètaro. *Universidad Autonoma de Qurètaro* ., 157-176.
- Veliz, E., Guadalupe Llanes, J., Asela Fernández, L., & Bataller, M. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(1), 17-34.
- Verma, A., & Rajesh, R. (2013). review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 154-168.
- Yang Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45, 1437-1444.
- Zane Satterfield, P. (2005). Tech Brief. *National Environmental Services Center*, 5(1), 1-4.
- Zhang, S. J. (2015). Flocculation behavior of a new recyclable flocculant based on pH responsive tertiary amine starch ether, *Carbohydr. Polym.* , 88 132–138.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO DE LA TOMA DE MUESTRA

ANEXO A:

Toma de datos de campo antes de la toma de muestra.



ANEXO B:

Referenciación del punto antes de la toma de muestra



ANEXO C:

Acondicionamiento del multiparametro



ANEXO D:

Toma de muestra de las aguas residuales domésticas



ANEXO E:

Medición de los parámetros de campo como pH, temperatura y conductividad de la muestra de agua



PANEL FOTOGRÁFICO DE LA RECOLECCIÓN DE LA SEMILLA “*Cassia fistula*”

ANEXO F:

Vista fotográfica de la *Cassia fistula*



ANEXO G:

Elección de las semillas de la Cassia fistula en buen estado



ANEXO H:

Recolección de las semillas de Cassia fistula en buen estado



ANEXO I:

Separando las semillas de Cassia fistula después de su secado



PANEL FOTOGRÁFICO DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

ANEXO J:

Pesado del polvo de las semillas de Cassia fistula



ANEXO K:

Preparación de las concentraciones con la semilla Cassia fistula.



ANEXO L:

Medición del agua residual domésticas para su tratamiento



ANEXO M:

Medición del pH de las aguas residuales domésticas



ANEXO N:

Desarrollo de la prueba de jarras



ANEXO O:

Medición de turbidez después del tratamiento





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE: VLADIMIR MUCHA MENDOZA

MUESTRA : Agua residual	Nº DE REFERENCIA : 86 - 2018
DISTRITO : Huachocolpa	FECHA DE MUESTREO : 14/06/2018
PROVINCIA : Huancavelica	HORAS DE MUESTREO : 11:10 am
REGIÓN : Huancavelica	FECHA DE ANÁLISIS : 15/06/2018
FUENTE : Aguas residuales domesticas de la Unidad Minera Huachocolpa	MUESTREADOR: Vladimir Mucha Mendoza

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

ENSAYOS	MÉTODOS	RESULTADOS
Potencial de Hidrógeno	MS-4500- H ⁺ - B-Electrométrico	5,6
Sólidos en suspensión	MS-2540- D- Secado a 103°C- 105°C	491,0
Sólidos disueltos	MS-2540- C- Secados a 180°C	240,0
Sólidos Totales (mg/L)	MS-2540-B-Secados a 103 °C-105°C	731,0
Turbidez (NTU)	Ms-2130 -B- Nefelómetro	254,7

ANÁLISIS INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUÍMICA Y QUÍMICA:

ENSAYOS	MÉTODOS	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	MS-5220-D- Reflujo Cerrado Colorímetro	423,23
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	MS-5210-B ROB 5 días	217,35

Huancayo, 18 de junio del 2018



Glady Maritza Avila
Dra. Gladys Maritza Avila Carhuallanqui
Responsable del LAQ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE: VLADIMIR MUCHA MENDOZA

MUESTRA : Agua residual	N° DE REFERENCIA : 04 - 2019
DISTRITO : Huachocolpa	FECHA DE ANÁLISIS : 08/01/2019
PROVINCIA : Huancavelica	MUESTREADOR: Vladimir Mucha Mendoza
REGIÓN : Huancavelica	
FUENTE : Aguas residuales domesticas de la Unidad Minera Huachocolpa	

Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L): MS-5210-B ROB 5 días

Muestras	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	Muestras	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	Muestras	Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L
1	217,35	11	224,70	21	245,82
2	145,48	12	149,00	22	162,82
3	106,00	13	105,70	23	117,58
4	99,04	14	102,95	24	115,06
5	131,40	15	135,80	25	148,27
6	70,10	16	74,07	26	100,11
7	63,82	17	67,16	27	71,16
8	138,60	18	142,61	28	155,94
9	100,07	19	103,99	29	117,09
10	78,91	20	82,00	30	89,20

Huancayo, 11 de enero del 2019



Gladys Maritza Avila Carhuallanqui

Dra. Gladys Maritza Avila Carhuallanqui
Responsable del LAQ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUIMICO



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE: VLADIMIR MUCHA MENDOZA

MUESTRA : Agua residual	Nº DE REFERENCIA : 03 - 2019
DISTRITO : Huachocolpa	FECHA DE ANÁLISIS : 08/01/2019
PROVINCIA : Huancavelica	MUESTREADOR: Vladimir Mucha Mendoza
REGIÓN : Huancavelica	
FUENTE : Aguas residuales domesticas de la Unidad Minera Huachocolpa	

Turbidez (NTU): Ms-2130 -B- Nefelómetro

Muestras	Turbidez NTU	Muestras	Turbidez NTU	Muestras	Turbidez NTU
1	254,70	11	238,92	21	250,51
2	196,25	12	185,75	22	195,22
3	148,60	13	140,90	23	148,10
4	120,47	14	113,11	24	119,53
5	105,03	15	97,06	25	103,98
6	54,10	16	50,60	26	53,24
7	21,50	17	19,50	27	20,00
8	168,31	18	160,00	28	167,36
9	124,95	19	116,89	29	123,05
10	70,06	20	64,55	30	68,97

Huancayo, 11 de enero del 2019



Glady Maritza Ávila Carhuallanqui
Dra. Gladys Maritza Ávila Carhuallanqui
Responsable del LAQ

INFORME DE ENSAYO N° 1-00423/19

Pág. 1/1

Solicitante : MUCHA MENDOZA, VLADIMIR LISBER

Domicilio legal : Av. La Cantuta Nro. 907 - Tambo - Huancayo - Junín

Producto declarado : AGUA RESIDUAL

Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 2.5 L
Muestra proporcionada por el solicitante

Identificación de la muestra : AGUA RESIDUAL DE LA UNIDAD MINERA HUACHOCOLPA UNO
FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2019-01-03 / 16:35

Forma de Presentación : En frascos de plástico, cerrados y refrigerados

Fecha de recepción : 2019 - 01 - 04

Fecha de inicio del ensayo : 2019 - 01 - 04

Fecha de término del ensayo : 2019 - 01 - 10

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental

Identificado con : H/S 18013577 (EXMA-19178-2018)

Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas

Ensayos	LD	Unidad	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2,00	mg/L	64,2
Demanda Química de Oxígeno	10	mg O ₂ /L	197

LD: Límite de detección

MÉTODOS

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

Sólidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed.2017. Solids. Total Solids Dried at 103-105 °C

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 11 de enero de 2019
 AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.



ING. HAYZE GÓMEZ VÁZQUEZ
 C.I.P. N° 195736
 EVALUADOR DE COORDINACIÓN