

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación del cloruro férrico y amonio cuaternario
en la reducción de turbidez de aguas del río Shulcas**

Pablo Jose Huaira Tito
Wilfredo Moran Espinoza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : José Vladimir Comejo Tueros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 4 de abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

“EVALUACIÓN DEL CLORURO FÉRRICO Y AMONIO CUATERNARIO EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ DE AGUAS DEL RÍO SHULCAS”

Autores:

1. WILFREDO MORAN ESPINOZA – EAP. Ingeniería Ambiental.
2. PABLO JOSE HUAIRA TITO – EAP. Ingeniería Ambiental.

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir “SI”): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



José Vladimir Comejo Tueros
Asesor de tesis

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a Dios, por darnos salud y la oportunidad de continuar con nuestras metas trazadas y así superarnos día a día para ser el orgullo de nuestros padres, hermanos, hijos y familiares.

Un agradecimiento especial a toda la plana docente y administrativa de la Universidad Continental – Huancayo, por permitir optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

A nuestros asesores propuestos por la Universidad Continental y a nuestro asesor externo quien con paciencia y dedicación supo llevarnos al objetivo planteado por nosotros para optar el título profesional de ingeniero ambiental.

DEDICATORIA

Dedicado con mucho cariño a mi madre, hermanos y en especial a mi hijo Gael, quienes me impulsaron y motivaron a seguir adelante para culminar la tesis.

A Dios, que durante este tiempo permanece conmigo con su protección, su fortaleza guiándome y llenándome de muchas bendiciones.

Bach. Wilfredo Moran Espinoza.

Esta tesis lo dedico a mi Madre y mi familia quienes supieron guiarme por el buen camino, darme la fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades ni desfallecer en el intento.

Bach. Pablo José Huaira Tito

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1. Problema general	15
1.1.2. Problemas específicos	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e importancia.	16
1.4. Hipótesis y variables	16
1.4.1. Hipótesis general	16
1.4.2. Hipótesis específicas	17
1.5. Variables de investigación	17
1.6. Operacionalización de variables	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación	19
2.1.1. Antecedentes internacionales	19
2.1.2. Antecedentes nacionales	21
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Métodos de tratamiento de las aguas contaminadas en ríos	22
2.2.2. Características de las aguas superficiales contaminadas	23
2.2.3. Descripción general de la coagulación y floculación	24
2.2.4. Partículas coloidales:	24
2.2.5. Mecanismo de coagulación:	24
2.2.6. Coagulantes	25
2.2.7. Desestabilización de las partículas	25
2.2.8. Mecanismo de floculación	26
2.2.9. Procesos fisicoquímicos del tratamiento de aguas de ríos	26
2.2.10. Turbiedad del agua	27
2.2.11. Cloruro férrico	28

2.2.12. Amonio cuaternario	29
2.3. Definición de términos básicos	29
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	31
3.1. Método y alcance de la investigación	31
3.1.1. Método general	31
3.1.2. Tipo de investigación	31
3.1.3. Nivel de investigación	31
3.2. Diseño de la investigación	31
3.3. Población y muestra	32
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.4.1. Técnicas e instrumentos	33
3.4.2. Materiales y equipos	33
3.4.3. Procedimientos	34
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Presentación de resultados	37
4.1.1. Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua	37
4.2. Prueba de significancia y evaluación de efectos de los factores	42
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	55
Anexo 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Shulcas	55
Anexo 2. Certificado de calibración de instrumentos utilizados	56
Anexo 3. Reporte de análisis de laboratorio	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	18
Tabla 2. Niveles de factores para el cloruro férrico como coagulante	31
Tabla 3. Niveles de factores para el amonio cuaternario como coagulante.....	32
Tabla 4. Diseño de experimentos 2^2	32
Tabla 5. Volumen de Cl_3Fe al 0.01 g/L adicionado según concentración deseada	35
Tabla 6. Volumen de amonio cuaternario al 0.01 g/L adicionada según concentración deseada	35
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de muestras de agua del río Shulcas.....	37
Tabla 8. Resultados de turbidez final con cloruro férrico	38
Tabla 9. Resultados de turbidez final con el cloruro de benzalconio	39
Tabla 10. Porcentaje de reducción de turbidez con cloruro férrico.....	40
Tabla 11. Porcentaje de reducción de turbidez con cloruro de benzalconio.....	41
Tabla 12. Análisis de varianza para el cloruro férrico	42
Tabla 13. Análisis de varianza con el amonio cuaternario.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del lugar donde se colectó la muestra.....	33
Figura 2. Etapas en que se desarrolló las pruebas de coagulación.....	34
Figura 3. Turbidez final con cloruro férrico	38
Figura 4. Turbidez final con el cloruro de benzalconio	39
Figura 5. Porcentaje de reducción de turbidez con Cl_3Fe	40
Figura 6. Porcentaje de reducción de turbidez con cloruro de benzalconio.....	41
Figura 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el cloruro férrico. Alfa 0.05....	43
Figura 8. Efectos principales para el cloruro férrico	44
Figura 9. Efectos de interacciones para el cloruro férrico	44
Figura 10. Efectos estandarizados normalizados para el cloruro férrico. Alfa 0.05	45
Figura 11. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el amonio cuaternario. Alfa = 0.05	46
Figura 12. Efectos principales para el amonio cuaternario.....	47
Figura 13. Interacción de los efectos para el amonio cuaternario.....	47
Figura 14. Efectos estandarizados normalizados para el amonio cuaternario. Alfa 0.05	48

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló con el propósito de evaluar el efecto que ejerce la aplicación de los coagulantes cloruro férrico y amonio cuaternario, sobre el porcentaje de remoción de turbidez de muestras de agua tomadas del río Shulcas. Para lograr ello, se sometió a pruebas de coagulación, muestras de agua de este río, que se ubica en la localidad de Huancayo, utilizando ambos coagulantes. La estrategia que se adoptó para el desarrollo de las pruebas de coagulación, fue de acuerdo con un diseño factorial con los factores concentración de coagulante y tiempo de agitación, que se aplicó independientemente para cada coagulante. El cloruro férrico se evaluó a concentraciones de 150 mg/l y 300 mg/l, mientras que el amonio cuaternario a las concentraciones de 200 mg/l y 400 mg/l. El componente activo que se utilizó para este último fue el cloruro de benzalconio. El tiempo de agitación que se estableció para ambos casos fue de 5 y 15 min. Con los datos que se obtuvieron, se encontró que, en promedio, con el cloruro férrico entre los dos niveles de concentración indicadas, el porcentaje alcanzado va desde 61.5% a 66.7 % respectivamente. Mientras que, con el amonio cuaternario, se obtuvo un porcentaje de reducción de turbidez que va de 62.6% a 76.1% respectivamente. De la evaluación de los resultados se concluye que, con ambos coagulantes, el efecto de la concentración y el tiempo de agitación, así como la interacción de ambos factores ejercen un efecto significativo sobre el porcentaje de reducción de turbidez.

Palabras claves: Cloruro férrico, amonio cuaternario, coagulante, turbidez.

ABSTRACT

This research was developed with the purpose of evaluating the effect of the application of ferric chloride and quaternary ammonium coagulants on the turbidity removal percentage of water samples taken from the Shulcas river. To achieve this, water samples from this river, located in the town of Huancayo, were subjected to coagulation tests using both coagulants. The strategy adopted for the development of the coagulation tests was according to a factorial design with the factors coagulant concentration and agitation time, which was applied independently for each coagulant. Ferric chloride was evaluated at concentrations of 150 mg/l and 300 mg/l, while quaternary ammonium was evaluated at concentrations of 200 mg/l and 400 mg/l. The active component used for the latter was benzalkonium chloride. The agitation time established for both cases was 5 and 15 min. With the data obtained, it was found that, on average, with ferric chloride between the two concentration levels indicated, the percentage reached ranges from 61.5 % to 66.7 % respectively. While, with quaternary ammonium, a percentage of turbidity reduction was obtained ranging from 62.6% to 76.1% respectively. From the evaluation of the results it is concluded that, with both coagulants, the effect of concentration and agitation time, as well as the interaction of both factors, have a significant effect on the percentage of turbidity reduction.

Key words: Ferric chloride, quaternary ammonium, coagulant, turbidity.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas de los ríos en nuestro país es una situación problemática que fue acrecentándose desde tiempos antiguos. Fue y es el crecimiento de la población, sobre todo en las ciudades, el factor principal que trae como consecuencia a que los ríos, lagos y mares, sean contaminados. Estos cuerpos receptores de agua, muchas veces hacen de botaderos de residuos sólidos y efluentes líquidos. Esta situación se agrava aún más, dado a que, en muchas ciudades de nuestro país, no se realizan una gestión adecuada de la contaminación, y mucho menos el tratamiento de los efluentes líquidos y residuos sólidos. En particular, en esta contaminación ambiental, el agua es un elemento que hace un rol importante, dado que es un elemento de transporte.

Se debe indicar que el agua contaminada es resultado de la alteración de su calidad natural, que lo hace parcial o totalmente inadecuado para diferentes usos. Esta alteración es ocasionada por la acción del hombre o de forma natural. Pero, como se indicó líneas arriba, la actividad humana es el principal factor. Entre los parámetros que definen la calidad están los aspectos físicos, químicos y microbiológicos.

En nuestro medio, el río Shulcas tiene una longitud de 35.9 km, cuyo recorrido inicia en las lagunas Chuspicocha (a una altitud de 4632 msnm) y Lasuntay (a una altitud de 4646 msnm), y desemboca en el río Mantaro. Su recorrido cubre parte de los distritos de Huancayo y El Tambo. Aproximadamente el 40% del caudal de esta cuenca, es destinada al tratamiento para uso como agua potable de la población de Huancayo. A la fecha, el nivel de contaminación de esta cuenca se incrementó dramáticamente. De manera notable desde la localidad de Vilcacoto, donde se encuentra la planta de tratamiento para agua potable de SEDAM-Huancayo. Los contaminantes que se encuentra son basura (residuos sólidos de todo tipo), contaminantes líquidos; provenientes de desagües y sistemas de alcantarillados domésticos que son vertidos directamente sin previo tratamiento y, residuos de sustancias químicas peligrosas.

A fin de realizar la recuperación de las aguas del río Shulcas, es posible aplicar un conjunto integral de operaciones y procesos que permita separar los contaminantes sólidos y líquidos disueltos en el agua. Todo esto mediante una estrategia que considere las características físicas y químicas de las aguas contaminadas, el caudal, tipo uso que se desea dar al agua tratada y, factores externos ambientales. Dentro de este conjunto de operaciones, destinado a la separación de sustancias sólidas y líquidas disueltas, se encuentra el cribado, la sedimentación de sólidos pesados, la coagulación floculación, el tratamiento biológico aerobio o anaerobio (según nivel y tipo de materia contaminante disuelta), filtración y operaciones que permitan dar un acabado a las características finales del agua.

Dada la problemática de esta cuenca, y la posibilidad de su descontaminación, en esta investigación se desarrolló el estudio que permitió evaluar dos coagulantes para la reducción de turbidez presente en muestras de agua que fueron colectadas del río Shulcas. Los coagulantes sometidos a prueba fueron cloruro férrico y amonio cuaternario. Este estudio permite disponer de alternativas que se puedan considerar dentro de un sistema de tratamiento para la descontaminación del agua, especialmente en operaciones previas a procesos biológicos de depuración.

En informe de esta investigación fue estructurado en cuatro capítulos. En el capítulo primero, se presenta el planteamiento del estudio. En el capítulo dos, se presenta los fundamentos básicos y teóricos sobre el que se respalda el estudio. En el capítulo tres, se expone los aspectos metodológicos que se aplicó en el estudio. Y, en el capítulo cuatro, se tiene los resultados con su respectiva discusión. En la parte final del informe se tienen las conclusiones a las que se llegó y las sugerencias.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

La problemática de la contaminación por aguas residuales son resultado de la actividad humana, se descargan en los cuerpos de agua superficiales como ríos, mares y océanos, contaminando con grandes concentraciones y variedades de sustancias nocivas, siendo el productor de forma voluntario o involuntaria, el hombre.

El tratamiento de las aguas residuales constituye hoy en día una prioridad y existen una gran variedad de técnicas y tecnologías para su remediación, basados en la degradación fisicoquímica o bioquímica de los componentes nocivos de las aguas residuales [1].

La construcción intensiva de redes de alcantarillado en nuestro país da como resultado la centralización de las descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua, por ello se crearon leyes para controlar las descargas de aguas residuales de cualquier índole a través de los límites máximos permisibles, con la finalidad de disminuir la carga contaminante sobre los cuerpos receptores, siendo también controlado el cuerpo receptor a través de los estándares de calidad de agua, según su categoría, los cuerpos receptores en nuestro país mantienen cierta calidad de sus aguas [2].

El crecimiento intensivo de las ciudades y juntamente con ello, la generación de aguas residuales que actualmente no son tratadas, siendo esta una realidad de nuestra región y país, contaminan los ríos, y esto genera la necesidad de desarrollar investigaciones con la implementación de diversas técnicas de tratamiento que en algunos casos serán aplicados para tratar las aguas en las fuentes de su generación y en otros se aplicaran metodologías de tratamiento para recuperar los cuerpos de aguas que ya fueron degradados, y que en muchos de los casos tienen pasivos ambientales que continúan degradando las aguas de los ríos.

El río Shulcas es un ejemplo de la contaminación generada por el crecimiento de la ciudad, conociéndose que en la ciudad de Huancayo no se tienen plantas de tratamiento para sus aguas municipales, esto implica que las descargas de aguas servidas seguirán contaminando las aguas del río. Una de las formas que se pretende realizar en la presente investigación es poner a prueba la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas del río tomando como parámetro de monitoreo la turbidez, siendo este parámetro universal en el control de la calidad de las aguas de los cuerpos de aguas superficiales y también por su fácil medición la cual da la facilidad de medir en cualquier momento y durante todo el proceso de experimentación. El tratamiento químico de las aguas del río Shulcas a través de dos coagulantes, los cuales se dosificarán a

distintas concentraciones con la finalidad de encontrar una forma económica y eficiente de tratar las aguas del río que puedan ser utilizadas en la agricultura, siendo esta una actividad que practican una gran cantidad de pobladores de la ciudad de Huancayo, y más aún, el agua tratada puede ser dirigida a las zonas agrícolas que se encuentran en las orillas del río Shulcas [3].

La utilización del cloruro férrico juntamente con las sales de amonio cuaternario da una buena posibilidad de mejorar las propiedades coagulantes de forma conjunta que utilizados por separado. Ambas sales son coagulantes con diferentes características que, al unirse, agregan al nuevo compuesto características que mejoran el proceso de coagulación y agregan propiedades desinfectantes, resultando aguas tratadas con fines para su reutilización.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el efecto que ejerce la aplicación de los coagulantes cloruro férrico y amonio cuaternario, sobre el porcentaje de remoción de turbidez de muestras de agua tomadas del río Shulcas?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la turbidez, demanda química de oxígeno, pH y conductividad, que poseen las muestras de agua del río Shulcas?
- ¿Cuánto el porcentaje de reducción de turbidez al emplear cloruro férrico como coagulante y amonio cuaternario?
- ¿Cuál es el efecto que ejerce el tiempo de agitación sobre el porcentaje de remoción de turbidez con cada coagulante?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto que ejerce la aplicación de los coagulantes cloruro férrico y amonio cuaternario, sobre el porcentaje de remoción de turbidez de muestras de agua tomadas del río Shulcas

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la turbidez, demanda química de oxígeno, pH y conductividad, de muestras de agua del río Shulcas
- Determinar el porcentaje de reducción de turbidez al emplear cloruro férrico como coagulante y amonio cuaternario

- Evaluar el efecto que ejerce el tiempo de agitación sobre el porcentaje de remoción de turbidez con cada coagulante.

1.3. Justificación e importancia.

- a. Dentro de la contaminación ambiental que actualmente se observa y se vive en la ciudad de Huancayo, está la contaminación del río Shulcas, originado por la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales domésticas y municipales; con elevada carga contaminante, sin tratamiento previo a estos cuerpos naturales de agua. Esto provoca que el proceso de autodepuración natural de este río, sea insuficiente para llevar a cabo la depuración de contaminantes, con lo que la calidad de sus aguas se ve deteriorado. Pese a esta situación, en varios sectores aledaños al río, utilizan estas aguas para el riego de cultivos y plantas, a causa de falta de agua. Esta situación se agravará por la escasez de agua debido a la disminución de las precipitaciones, lo cual según el MINAM [4] después del año 2030 tendremos problemas de disponibilidad de agua potable
- b. Por esta razón, el propósito de esta investigación fue evaluar dos coagulantes que son cloruro férrico y amonio cuaternario, en la remoción de turbidez de aguas contaminadas del río Shulcas. Dado a que el problema que se quiere abordar, es la poca información especializada sobre la relación y el efecto que tienen cada uno de estos coagulantes, como agentes que permitan la remoción de turbidez, específicamente con agua de este río. A pesar de que el problema que se indicó anteriormente es crítico, la información técnica y especializada, aplicada a la remoción de turbidez de aguas del río Shulcas es muy poca. Con esto se desea disponer de opciones que se puedan aplicar en la recuperación y tratamiento de las aguas de este río, para que pueda ser utilizado en la agricultura y otras aplicaciones.
- c. Por lo tanto, esta investigación se justifica y es necesaria por las siguientes razones: En el campo ambiental ofrecerá una posible solución al problema antes comentado. En parte teórica y académica, permitirá contribuir con conocimiento científico que expliquen el desempeño de estos coagulantes en la reducción de turbidez de aguas del río en cuestión. En el aspecto metodológico y práctico, ofrecerá dos opciones que se pueden aplicar para la remoción de turbidez.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

H₁: Existe diferencias significativas en el efecto de remoción de turbidez de la muestra de agua del río Shulcas, al aplicar cloruro férrico o amonio cuaternario como coagulante en las muestras de agua del río Shulcas

1.4.2. Hipótesis específicas:

- La turbidez, demanda química de oxígeno, pH y conductividad de las muestras de agua de río Shulcas son semejantes a las aguas residuales domésticas
- El porcentaje de reducción de turbidez al emplear cloruro férrico como coagulante y amonio cuaternario son mayores a 50%
- El efecto que ejerce el tiempo de agitación sobre el porcentaje de remoción de turbidez con cada coagulante es significativo

1.5. Variables de investigación

Las variables de intentes en la presente investigación son dos:

Variables independientes:

- Concentración de cloruro férrico
- Concentración de amonio cuaternario
- Tiempo de agitación

Variables dependientes:

- Porcentaje de reducción de turbidez

1.6. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Independiente	Coagulantes	Amonio cuaternario	g/L.	Razón
		Cloruro férrico	g/L.	Razón
	Tiempo de sedimentación	Tiempo	minutos	Razón
Dependiente	Remoción de turbidez	turbidez	NTU	Razón

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

- a. Los investigadores, [5] realizaron un estudio con el objetivo de evaluar el desempeño que tiene el cloruro férrico como coagulante que permita la eliminación de color y la demanda química de oxígeno (DQO) de aguas residuales de melaza. El interés que tenían fue de eliminar melanoidinas que contenían estas aguas residuales, antes de realizar el tratamiento biológico aerobio, dado que estas sustancias son difíciles de biodegradar por los microorganismos. Para este fin, ellos realizaron pruebas de jarras de coagulación, con lo que obtuvieron sus datos de interés. En sus pruebas manipularon la dosis de coagulante y el pH, y las observaciones que realizaron se orientó principalmente a medir la eficiencia de reducción de DQO y color. Con esto, observaron que, en las mejores condiciones de dosificación y pH, la eficiencia de reducción de DQO y color fueron de 86% y 96% respectivamente. También, lograron conseguir una turbidez residual de 5 NTU con una concentración de iones Fe^{+3} insignificante, debido a la desestabilización efectiva de los flóculos. Por otro lado, usando la técnica de cromatografía de exclusión por tamaño de alta resolución (HPSEC), les permitió afirmar que, la fracción de melanoidinas de bajo peso molecular es más reactiva que la fracción de alto peso molecular. Además, el aumento en la concentración del grupo orgánico de menor peso molecular, está relacionado con la capacidad de neutralización de carga. Finalmente, concluyen proponiendo para este tipo de aguas que, la neutralización de cargas y la coprecipitación como mecanismo predominante de coagulación a condiciones óptimas.
- b. En el estudio llevado a cabo por [6] investigaron un modelo de coagulación de microplásticos (MP) de cloruro de polivinilo (PVC) con un tamaño menor a $50\ \mu m$ que están presentes en agua potable. Para ello recurrieron a realizar ensayos usando sulfato férrico y sulfato de aluminio de manera independiente como coagulante. En sus pruebas modificaron el tipo y dosis de coagulante, así como el pH de la mezcla de coagulación, con el fin de observar el efecto sobre la eficiencia de remoción de los MP. Además de ello, aplicaron diferentes métodos de separación de los agregados resultantes. Lograron demostrar que, una cierta cantidad de MP se puede eliminar, incluso en ausencia de cualquiera de los coagulantes, mediante sedimentación o por centrifugación (esto operación simuló la filtración de lecho profundo). Pero cuando utilizaron el sulfato férrico en una dosis de 20 mg/l y pH entre 7 y 8, también, en dosis de 40 o 60 mg/l y pH entre 7 y 8, consiguieron que la eficiencia de remoción de MP por coagulación sedimentación aumentara significativamente. Este aumento significativo lo observaron también con el

sulfato de aluminio, pero para este caso, la dosis fue de 20 a 60 mg/l y pH entre 7 y 8. A estas condiciones, consiguieron también, que las concentraciones residuales de MP se aproximaran a las obtenidas por centrifugación, eliminando aproximadamente el 80 %. Con estas condiciones de coagulación optimizadas, lograron eliminar por completo MP con tamaños mayores a 15 μm , y concluyen que aproximadamente el 20 % de la concentración inicial de MP; la gran mayoría con un tamaño menor a 5 μm , es de difícil eliminación, pese a que ensayaron con amplia gama de condiciones de coagulación, lo cual es el límite de eliminación de MP.

- c. De otro lado, los investigadores [7] han sintetizado dos nuevos coagulantes compuestos de cloruro de poli-ferro-titanio-silicato, y llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluarlos para tratar un tipo de agua residual industrial procedente de coquerías. Los compuestos que sintetizaron fueron: el cloruro de poli-ferricititanio-silicato (PFTSC) y el cloruro de poli-titanio-silicato (PTSC). Para tal efecto, examinaron la estructura y morfología del PFTSC y PTSC que sintetizaron. También, caracterizaron la composición de materia orgánica en las muestras de agua residual de coquerías. Durante los ensayos de coagulación observaron los cambios en los flóculos, e investigaron la cinética y su modelo de sedimentación de los flóculos. Con sus observaciones, determinaron que el PFTSC permite mayor eficiencia de eliminación de materia orgánica y de turbidez, en comparación con el PTSC. Determinaron que el PFTSC eliminó más del 93% de la turbidez del agua residual. Además, en función al carbono orgánico disuelto, demanda química de oxígeno y la absorbancia ultravioleta a 254 nm que poseían las muestras antes y después de las pruebas de coagulación, determinaron que las disminuciones fueron de 24.1 %, 10.7 % y 10.1%, respectivamente. En relación con la estructura de los flóculos, los que se formaron con PFTSC eran más compactos que los formados con PTSC. Todo esto los lleva a concluir que, el PFTSC tiene más capacidad de eliminación de sólidos en suspensión y de materia orgánica. También que, el PFTSC puede aplicarse en la eliminación de compuestos orgánicos tóxicos. Finalmente afirman que, el PFTSC es el apropiado coagulante para el pretratamiento de aguas residuales industriales de coquerías.
- d. En otra investigación, [8] usaron el quitosano; un polímero natural, como coagulante. El objetivo que tuvieron, fue evaluar a este polímero para tratar el agua que tenía aluminio residual y polímeros químicos, que causaban problemas en la salud humana. Realizaron ensayos de coagulación de muestras de agua de una presa denominada Keddara, cuya característica principal es que tenía una baja turbidez. Utilizaron como coagulante primario al quitosano y como coagulante secundario al sulfato de aluminio. Con los resultados que consiguieron, demostraron que el quitosano no es tan eficiente como el sulfato de aluminio, al usarlo como coagulante primario. Pero cuando lo utilizaron como agente auxiliar de coagulación, con el sulfato de aluminio, si consiguieron excelentes

resultados. Lograron una eliminación de turbidez del 97%, con una dosis de 0.2 mg/l de quitosano después de 45 minutos de sedimentación. También indican que, la contribución del carbono orgánico que hace el quitosano al agua, es insignificante, dado que su aplicación es pequeñas dosis. Concluyen afirmando que, el quitosano es aplicable como coagulante natural para el tratamiento de agua potable con los menores riesgos de liberación de carbono orgánico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- a. Machada [9] en su trabajo de investigación “Determinación de los parámetros de operación en un reactor batch y propuesta de dimensionamiento para la remoción de arsénico del agua del río Locumba-Ite, región Tacna, utilizando cloruro férrico” determinó la cantidad de dosificación óptima para el cloruro férrico en un floculador de flujo horizontal donde se realizó la mezcla del agua del río para remover arsénico e hierro, se implementó de forma adicional un filtro de arenas para retener los flóculos formados en el proceso anterior. Se utilizaron como variables independientes en el experimento: la dosis del cloruro férrico, el pH, la velocidad de floculación, el tiempo de floculación, el tiempo de sedimentación. Se aplicó el diseño experimental factorial fraccionado con optimización de los resultados a través de la metodología superficie de respuesta. Se demostró que el cloruro férrico tiene una buena eficiencia de remoción de 98% de los metales pesados lográndose un resultado final de concentración de arsénico de 0,0083 mg/L y del hierro de 0,4099. En el trabajo se determinó que el pH óptimo para la experimentación es de 7, la concentración del cloruro férrico al 40% de 20 ppm hasta los 50 ppm, la velocidad de mezcla de 47 rpm y un tiempo de floculación de 25 min.
- b. Quispe [10] en su trabajo de investigación “Influencia del cloruro férrico, tiempo y velocidad de agitación en tratamiento de agua ácida del río Negro, distrito Olleros, Huaraz” tiene como objetivo determinar la influencia de la dosis del coagulante, tiempo y velocidad de agitación en el tratamiento de agua ácida del río Negro. El autor de la investigación caracterizó el cuerpo hídrico determinando que contiene concentraciones altas de arsénico y hierro que sobrepasan los ECAs del agua de acuerdo con el D.L.056 ANA 2018 donde muestra la categoría del río Negro C1-A1. La aplicación del cloruro férrico en concentración de 24 ml/L (0.1% en relación peso/volumen), con velocidad de agitación de 50 RPM y un tiempo de agitación de 15 minutos permite la remoción de la turbidez en un 96%, del hierro en un 99% y del arsénico en un 96%. Se observó en la investigación que la dosificación del coagulante se relaciona de forma directamente proporcional a la remoción de los metales pesados y turbidez dentro de los valores estudiados, también se observó que una sobredosificación del coagulante muestra un

resultado adverso aumentando la turbidez del agua del experimento. El tiempo de agitación y la velocidad tienen un efecto inversamente proporcional puesto que el aumento de ambas variables da como resultado el rompimiento de los flocos ya generados aumentando la turbidez del experimento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Métodos de tratamiento de las aguas contaminadas en ríos

Las aguas contaminadas se tratan en instalaciones con tratamientos mecánicos, biológicos y químicos. La tecnología evoluciona hacia la intensificación de los procesos biológicos y químicos, con el fin de ser reutilizados después de un proceso profundo de descontaminación.

Las aguas residuales que se descargan a los ríos son en su mayoría aguas residuales domésticas, estas aguas contienen sustancias solubles e insolubles (que están en suspensión). Los componentes suspendidos forman con el agua sistemas dispersos con partículas grandes de tamaño mayor a los 0.1 mm como las emulsiones y partículas de tamaño menores a los 0.1 mm como las coloidales. También existen componentes que se encuentran en tamaños acordes con moléculas e iones.

Dentro de los procesos de tratamiento convencionales de las aguas contaminadas de ríos y otras fuentes superficiales está la limpieza mecánica, la cual se utiliza como una limpieza previa de las aguas. La limpieza mecánica asegura la eliminación de los componentes gruesos del agua residual, la tarea de este tratamiento es de preparar el agua para el proceso biológico o químico dependiendo del proceso que se elija para descontaminar el agua.

Las estructuras en las que caen las partículas pesadas se llaman trampas de arena. La filtración se utiliza para detener partículas más pequeñas. Los filtros se utilizan para retener partículas más pequeñas. Para su construcción se utilizan redes. En todos los casos la limpieza mecánica sirve como primer paso para el tratamiento de aguas contaminadas.

Las sustancias cuyo peso específico es mayor que el peso específico del agua caen al fondo. Las sustancias que son más ligeras que el agua (grasas, aceites, petróleo y resinas) flotan en la superficie y se separan del líquido residual. En algunos sistemas de tratamiento se instalan aireadores para mejorar la flotación de las sustancias que tienen tendencia a flotar.

También para la descontaminación del agua los métodos de purificación bioquímica se basan en el uso de la actividad vital de los microorganismos que oxidan las sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas contaminadas en estado disuelto. El método bioquímico logra

liberarse casi por completo de los contaminantes orgánicos que quedan en el agua después de la limpieza mecánica.

El método químico se utiliza para la limpieza de impurezas disueltas. Los métodos fisicoquímicos de tratamiento de aguas residuales incluyen la sorción, aireación, coagulación, extracción, evaporación, flotación, electrólisis y el intercambio iónico. La sorción se produce en la superficie de un sólido sumergido en un líquido que contiene solutos, como resultado de este proceso, el cuerpo sumergido absorbe los sólidos disueltos. La capacidad de los contaminantes para disolverse en cualquier tipo de líquido los hace especialmente difíciles en su remoción, por ello se actualmente se aplican métodos no convencionales para el tratamiento de las aguas residuales con el fin de remover los componentes que quedan remanentes y en casi todos los casos se encuentran disueltos, para ello, la opción de un tratar el agua a través de la precipitación química muestra resultados interesantes para su posible utilización a mayor escala [11].

2.2.2. Características de las aguas superficiales contaminadas

Las aguas superficiales contaminadas se originan por las actividades domésticas, también por la precipitación y escorrentía de las aguas de riego en zonas agrícolas y zonas industriales.

Las aguas residuales domésticas son las que predominan como descargas sobre los ríos, contaminándolos, estas están contaminadas por secreciones fisiológicas de las personas, basura doméstica y otros. Su carácter determina la alta contaminación microflora con composición de especies como bacterias, virus, hongos, protozoos, huevos de helmintos y otros.

Las aguas contaminadas de los ríos contienen una variedad de productos orgánicos (58%) y minerales (42%), cuya cantidad es proporcional a la descarga de aguas residuales domésticas. Las aguas de lluvia en zonas industriales también ejercen una influencia negativa sobre los ríos, puesto que también muestran grandes cantidades de material suspendido, disuelto que son derivados del petróleo por los combustibles del transporte que circula por el lugar.

Las técnicas de limpieza química a través de los procesos de coagulación activa, floculación y sedimentación. La coagulación de los contaminantes se produce mediante la creación en el fluido corrientes de campo eléctrico constante. La base de los métodos químicos de forma general es la conversión de compuestos tóxicos en no tóxicos, conversión de solutos en insolubles seguidos de la deposición. En algunos casos la precipitación química logra eliminar de forma selectiva componentes del agua con valor comercial [11].

2.2.3. Descripción general de la coagulación y floculación

La coagulación y floculación son dos componentes completamente diferentes del proceso de tratamiento físico-químico.

La coagulación es la etapa durante la cual se produce la desestabilización de las partículas coloidales (similares a partículas circulares menores a 1 micrometro de tamaño).

La palabra coagulación proviene del latín coagulante que significa aglomeración, en el tratamiento del agua, la coagulación se logra a través de la adición de reactivos químicos en el agua, donde las partículas dispersas se aglomeran en grandes agregados llamados flóculos.

La coagulación es una etapa intermedia, pero muy importante, del proceso químico de tratamiento. Esta es la primera etapa de la eliminación de partículas coloidales, y la principal cuya función es desestabilizar los coloides. La desestabilización, principalmente consiste en neutralizar la carga eléctrica presente en la parte superior de la partícula, lo que contribuye a la unión de los coloides [12].

2.2.4. Partículas coloidales:

Los coloides son partículas insolubles que se encuentran en el agua de forma suspendida. Las pequeñas dimensiones hacen que estas partículas sean excepcionalmente estables. Las partículas pueden ser de diferentes orígenes:

Minerales: limo, arcilla, sílice, hidróxidos y sales metálicas, etc.

Orgánico: ácidos húmico y fúlvico, colorantes, surfactantes, etc.

Microorganismos: tales como bacterias, plancton, algas, virus, etc.

2.2.5. Mecanismo de coagulación:

La estabilidad y, por lo tanto, la inestabilidad de las partículas suspendidas son un factor determinado por diferentes fuerzas de atracción y repulsión:

Fuerzas de interacción intermolecular.

Fuerzas electrostáticas.

La atracción de la tierra.

Fuerzas que participan en el movimiento browniano.

La coagulación es un proceso físico y químico. Reacciones entre partículas y el coagulante proporcionan la formación de agregados y su posterior deposición. Coagulantes catiónicos neutralizan la carga negativa de los coloides y forman una masa suelta que se llama micro flóculos [13]

El mecanismo de coagulación se puede reducir a dos pasos:

Neutralización de la carga: lo que corresponde a la reducción de las cargas eléctricas que tienen un efecto repulsivo sobre los coloides.

Formación de agregados de partículas[13]

2.2.6. Coagulantes

Actualmente se utilizan dos tipos principales de coagulantes: [14]

Coagulantes naturales: Se basan principalmente en sales de hierro (FeCl_2 , $\text{Fe}(\text{SO}_4)$, etc.) o aluminio (PAC, alumbre, etc.), estos son los más utilizados. La carga del catión es creada por los iones metálicos Fe^{3+} o Al^{3+} , que se forman a partir de hidróxidos de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$, o aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ en contacto con el agua. Las principales ventajas de estos coagulantes son la versatilidad de su uso y sus bajos costos.

Coagulantes orgánicos: La carga del catión es creada por un grupo funcional que es amonio cuaternario unido a una larga cadena polimérica.

Actualmente hay cuatro familias principales de coagulantes orgánicos en el mercado: Poliaminas, polidamac, resinas de dicyandiamida, resinas de melaminoformaldehído.

Las principales ventajas de tales coagulantes son pequeñas dosis y pequeños volúmenes del lodo residual.

Mezclas de coagulantes minerales y orgánicos: Estas mezclas permiten en un solo producto comercial combinar las ventajas de los coagulantes orgánicos y minerales. En tales mezclas el coagulante más utilizado es el mineral PAC.

2.2.7. Desestabilización de las partículas

Las partículas desestabilizadas tienen unos varios orígenes, las cuales depende de las aguas contaminadas. La carga positiva o negativa llevada por el floculante se elige según la naturaleza de las partículas desestabilizadas presentes en el agua. Por lo general, son: [15]

Floculante aniónico para partículas minerales

Floculante catiónico para partículas orgánicas

2.2.8. Mecanismo de floculación

Los floculantes tienen un peso molecular muy alto, fijan las partículas desestabilizadas y las unen a lo largo del polímero. Como resultado de la floculación se produce un aumento en el tamaño de los flóculos y mejoran su decantación.

Los flóculos se forman de dos formas, asistidos por reactivos químicos (floculantes) y sin la dosificación de reactivos químicos. La formación de flóculos se da después del proceso de coagulación, por medio de un movimiento de mezcla suave para originar el choque de las partículas desestabilizadas por la coagulación y tengan la posibilidad de aglomerarse para decantar. [16]

2.2.9. Procesos fisicoquímicos del tratamiento de aguas de ríos

Estos procesos se caracterizan por: [17]

Uso de reactivos químicos para desestabilizar y aumentar de tamaño las partículas contaminantes.

Después se realiza la separación física de las partículas sólidas del líquido. Dicha separación generalmente se logra mediante decantación, flotación o filtración.

Por lo general, se utilizan los siguientes reactivos: coagulantes minerales y/o orgánicos, aditivos formadores de flóculos como floculantes aniónicos o catiónicos, también aditivos para controlar el pH, como ácidos o bases.

Durante la etapa de coagulación, también se puede agregar sustancias para remover los metales pesados que se encuentran disueltos en el agua.

Las fases de tratamiento de las aguas contaminadas siguen las siguientes reglas:

El volumen de los reactores depende del caudal de agua contaminada a la entrada.

Los tiempos de dosificación de los coagulantes se determinan en función de las características de los mismos reactivos químicos siendo el orden específico para su dosificación, primero el coagulante y luego el floculante.

Los agitadores deben seleccionarse de acuerdo con el reactivo. En la etapa de coagulación, la agitación debe ser muy intensa con una velocidad mínima de 120 rpm hasta los 300 rpm y durante el proceso de floculación se debe de bajar y mantener una velocidad de mezcla de 60 - 80 rpm.

Luego el agua tratada debe de reposar en tanque de sedimentación. Estos tanques están diseñados para decantar las partículas sólidas de la fase acuosa por sedimentación. Los tanques que más se utilizan para la remoción de los flóculos son los siguientes:

Tanque de sumidero raspador: la entrada está en el centro y la salida del agua tratada se produce por rebose. Este sistema evita la acumulación de lodos en los lados inclinados del tanque y lo empuja hacia la extracción de lodos.

Tanque sedimentador cónico: En este tanque no hay sistema de raspado y el lodo se dirige hacia el lugar de extracción a lo largo de pendientes del tanque de forma cónica. El agua tratada sale por rebose por la parte superior del tanque.

Tanque de flotación: A diferencia de lo que ocurre en los sedimentadores, la separación líquido-sólido se realiza mediante la flotación de partículas sólidas hacia la superficie. La flotación puede ser natural (cuando la densidad de partículas es inferior a 1). La extracción del lodo se lleva a cabo desde la superficie de la instalación. En la flotación artificial, las burbujas de aire se crean mediante la inyección de aire en el agua tratada.

Filtración: Este es un proceso mediante el cual una mezcla de sólidos y líquidos fluyen a través de un medio poroso que atrapa las partículas sólidas y deja pasar el líquido por presión. Esta tecnología de filtración es adecuada para efluentes de baja concentración o en la etapa final del tratamiento.

2.2.10. Turbiedad del agua

La turbidez del agua es una característica de la disminución de la transparencia debido a la exposición a factores internos y externos que influyen en la calidad del agua. En el agua turbia hay pequeñas partículas sólidas que no se disuelven, sino que depositan en el fondo del recipiente. De acuerdo con las normas sanitarias, el agua potable debe ser segura en términos epidemiológicos y radiológicos, inofensiva en composición química y tener propiedades organolépticas agradables. La turbiedad caracteriza de forma indirecta la presencia en el agua de sustancias suspendidas de origen inorgánico (por ejemplo: carbonatos de diversos metales, hidróxidos de hierro), de origen orgánico (arena, arcilla, limo), así como de origen microbiológico (bacterias, fito o zooplancton). La turbidez también puede deberse a la

presencia de varios microorganismos en la superficie y dentro de las de las partículas suspendidas, lo que las protege de la desinfección química y ultravioleta. Por lo tanto, la reducción de la turbidez en el proceso de purificación de agua también contribuye a una reducción significativa en el nivel de contaminación microbiológica.

La magnitud del indicador organoléptico “turbidez” es importante por tres razones:

Primera, la turbidez afecta la seguridad microbiológica. Cuando más grande es, más difícil es determinar la presencia de bacterias y virus. La superficie de las partículas es un lugar ideal para la actividad vital de los microorganismos. Los nutrientes se acumulan allí, asegurando así, el crecimiento activo y la reproducción de las colonias bacterianas.

En segundo lugar, la turbidez puede causar mal olor y sabor. La presencia de estos indicadores, junto con las partículas suspendidas, hace que al agua sea inutilizable.

En tercer lugar, el alto valor de este indicador organoléptico en el agua potable después de su tratamiento indica fallas en el sistema de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo: las tuberías pueden estar cubiertas de corrosión o las partículas del suelo pueden ingresar al sistema a través de grietas. [18]

2.2.11. Cloruro férrico

El cloruro férrico es un coagulante primario eficaz para el tratamiento químico del agua potable y el tratamiento de aguas residuales (con una concentración de hierro del 40% por FeCl_3). Promueve la deshidratación del lodo activo, elimina el olor a sulfuro de hidrógeno. El uso de cloruro férrico es especialmente efectivo en el tratamiento de aguas residuales que contienen una gran cantidad de materia orgánica. El coagulante es fácil de usar, se disuelve fácil y rápidamente en agua, lo que permite su dosificación precisa.

Sus principales aplicaciones:

Tratamiento y acondicionamiento del agua potable.

Tratamiento de aguas residuales industriales, agrícolas y domésticas.

Tratamiento de agua para calderas industriales.

El coagulante cloruro férrico se dosifica con bombas dosificadoras de diafragma con dilución o sin dilución en el tanque de almacenamiento. La dosis efectiva se selecciona de forma calculada (instrucciones del fabricante) o experimentalmente de acuerdo con los resultados de la coagulación.

El cloruro férrico es un producto corrosivo. Es necesario utilizar gafas o una máscara protectoras, guantes de goma y ropa de protección personal. Si se producen fugas, se puede lavar el producto con agua y neutralizar con cal. El coagulante y sus soluciones tienen una reacción fuertemente ácida y un efecto irritante en la piel y las membranas mucosas de los ojos, un efecto cauterizador en las vías respiratorias y el tracto gastrointestinal [18].

2.2.12. Amonio cuaternario

Son diversas las aplicaciones del amonio cuaternario, pero este coagulante recibió una atención especial en el campo de la desinfección y luego, con la generación de conocimiento a través de trabajo de investigación también se logró demostrar su aplicación en la purificación del agua. Se encuentra gran información de la eficacia de este reactivo químico como agente antimicrobiano especialmente los compuestos cadenas alquílicas largas, como el cloruro de benzalconio, cloruro de bencetonio, cloruro de metilbencetonio, cloruro cetalconio, cetrimonio, cetrimida y otros. Cabe destacar que las sales de amonio cuaternario corresponden a los productos químicos más populares del sector servicios de alimentos como agentes desinfectantes.

Las sales de amonio cuaternario también se utilizan como agentes coagulantes de carácter catiónico, siendo sus características muy parecidas a los coagulantes convencionales como el cloruro férrico y sulfato de aluminio, el interés de utilizar el amonio cuaternario nace de las propiedades antimicrobianas que posee este reactivo químico, teniendo como antecedente la utilización de estas sales para desinfección durante la pandemia del COVID 19. Estas propiedades desinfectantes más la característica de coagulante catiónico generan nuevas características que no poseen los otros coagulantes convencionales, pudiendo ser utilizado en aguas residuales con contaminación orgánica, para por un lado desestabilizar el material coloidal y por otra parte eliminar los microorganismos presentes en este tipo de aguas [19].

2.3. Definición de términos básicos

- **Tratamiento químico:** Es el proceso por el cual se utilizan reactivos químicos para desestabilizar las cargas de los contaminantes que se encuentran como coloides para poder aglomerarlos y decantarlos.
- **Sedimentación:** Es el proceso final del tratamiento químico, donde las partículas ya desestabilizadas y aglomeradas decantan por acción de la gravedad.
- **Dosificación:** Es la cantidad medida en miligramos por litro de los reactivos químicos que se agregan a la muestra de agua residual.

- Tiempo de retención: Es el tiempo que se requiere para que ocurra el proceso de tratamiento en cada una de sus fases, con el fin de obtener un resultado al finalizar el tiempo de espera.
- Velocidad de mezcla: Es la velocidad de mezcla que se da en el proceso de coagulación y coagulación con el fin de obtener una mezcla completa del reactivo químico con el agua contaminada.
- Desestabilización de partículas: Es el resultado de la neutralización de las cargas que poseen las partículas coloidales presentes en el agua contaminada con el coagulante que posee una carga opuesta, generando la neutralización de las partículas.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método general

El método general de la investigación es el científico [20], puesto que se realiza una investigación de forma sistematizada para obtener nuevos conocimientos y resultados verídicos del tratamiento de aguas contaminadas de cuerpos de agua lóticos a través del método de tratamiento químico.

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación es aplicada [20], puesto que el trabajo de investigación tiene como fin obtener nuevos conocimientos en el campo de tratamiento de aguas contaminadas del río Shulcas, para solucionar el problema actual y mejorar su calidad.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, puesto que se pretende realizar un análisis de la eficiencia de remoción de la turbidez utilizando el cloruro férrico y amonio cuaternario de forma conjunta para obtener una mezcla de coagulantes con nuevas características que mejoren la remoción de turbidez.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, con la implementación de un modelo factorial de dos factores (2^2), para cada tipo de coagulante. Tal es así que, las variables y sus niveles respectivos para el cloruro férrico se encuentra en la tabla siguiente:

Tabla 2. Niveles de factores para el cloruro férrico como coagulante

Factores	Niveles	
	Nivel bajo (-)	Nivel alto (+)
A1: Cloruro férrico	150 ppm	300 ppm
B1: Tiempo de agitación	5 min.	15 min.

Para el cloruro de benzalconio (amonio cuaternario)

Tabla 3. Niveles de factores para el amonio cuaternario como coagulante

Factores	Niveles	
	Nivel bajo (-)	Nivel alto (+)
A2: Cloruro de benzalconio	200 ppm	400 ppm
B2: Tiempo de agitación	5 min.	15 min.

El diseño 2² o el plan de experimentos para cualquiera de estos dos coagulantes es el siguiente:

Tabla 4. Diseño de experimentos 2²

FACTOR		RESPUESTA Porcentaje de reducción de turbidez		
A	B	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3
Nivel bajo	Nivel bajo	R1	R2	R3
Nivel bajo	Nivel alto	R4	R5	R6
Nivel alto	Nivel bajo	R7	R8	R9
Nivel alto	Nivel alto	R10	R11	R12

3.3. Población y muestra

La unidad de análisis que conformó la población, tiene las siguientes características: agua del río Shulcas colectada en la ubicación cuyas coordenadas geográficas son: en latitud -12.070507° y longitud -75.220127 y, coordenadas UTM en la zona 18 L, coordenada este 476008.00, coordenada norte 8665602.00 (ver figura 1).

La cantidad en volumen que se colectó fue de 5 litros, a las 12 horas del día. La muestra total que se empleó para realizar los ensayos de laboratorio fue de 3.6, de acuerdo con el diseño de la tabla 3

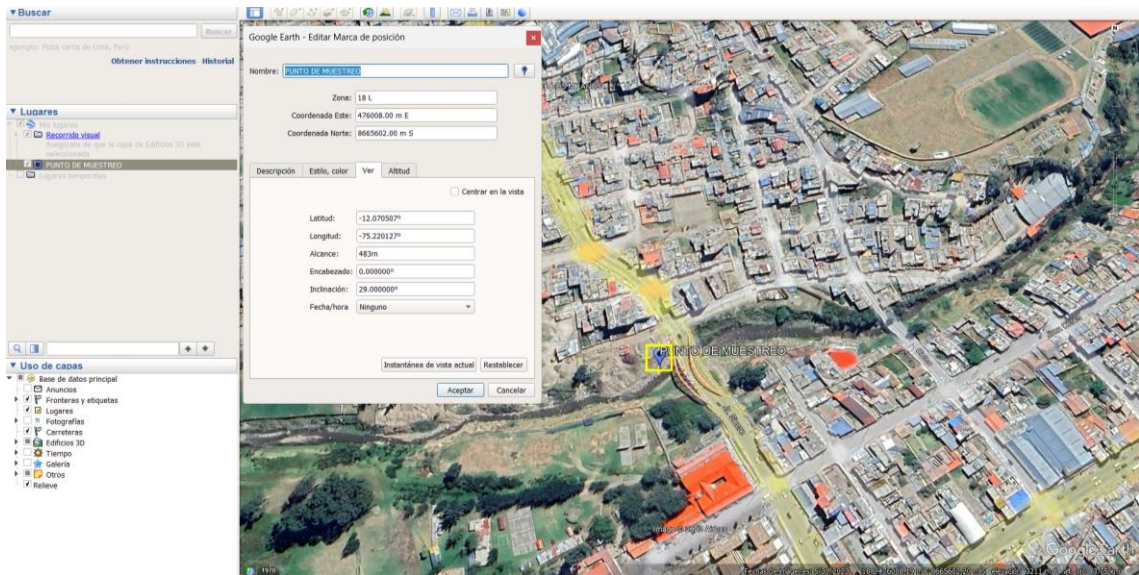


Figura 1. Ubicación geográfica del lugar donde se colectó la muestra

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas e instrumentos

Para la obtención de los datos como información necesaria, se recurrió a la técnica de la observación del fenómeno experimental de coagulación con los dos coagulantes. En esta actividad, además de la observación visual, se realizó las mediciones de turbidez de las muestras que se sometieron a pruebas, antes y después de los experimentos, para con ello validar las hipótesis. Para tal efecto, se empleó una ficha de colección y registro de datos de turbidez y observaciones particulares.

3.4.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos de laboratorio que se emplearon fueron:

- 01 recipiente de polietileno con una capacidad de 10 L
- 2g Cloruro férrico
- 2 ml de Cloruro de benzalconio
- Vasos de precipitación de 200 ml
- Fiolas de 200 ml
- Micropipetas
- Agitador magnético
- Turbidímetro
- Cronometro
- Termómetro

3.4.3. Procedimientos

- a. El procedimiento que se siguió para realizar cada uno de los experimentos fue del modo siguiente:
- Se preparó independiente 200 ml de soluciones coagulantes. Para el caso de cloruro férrico, en una fiola de 200 ml, se disolvió 2g de esta sal en 200 ml de agua destilada, obteniéndose una solución con concentración de 0.01 g/ml. Para el caso del amonio cuaternario, en una fiola de 100 ml, se disolvió 3.03 ml de solución de cloruro de benzalconio al 33 %, en 100 ml de agua destilada, resultando una solución con una concentración de 0.01 g/ml de esta sustancia.
 - Del volumen de agua colectado del río Shulcas, previamente agitado, se realizó la medición de turbidez. Para ello, se tomó 10 ml de agua para verterlo en el recipiente de muestra del turbidímetro, y luego se realizó la lectura de turbidez. Esta medición se realizó por triplicado.
 - Para una prueba de coagulación, se vertió en un vaso de precipitado de 200 ml un volumen de muestra de agua de 150 ml, luego, se dispuso en un agitador magnético (el agitador, previamente fue regulada a una velocidad de agitación de 150 RPM). En seguida, con ayuda de la micropipeta, se adicionó el volumen apropiado de solución del coagulante que se preparó, para alcanzar la concentración deseada, de acuerdo con el plan de experimentos. Los volúmenes de cada coagulante que fueron adicionados se muestran en las tablas 4 y 5.
 - Rápidamente después de cada adición de coagulante, se procedió a agitar activando el agitador magnético. El tiempo de agitación para cada prueba fue de acuerdo con el plan de experimentos. Pasado este tiempo, se desactivó el agitador; y en seguida, se procedió a retirar la muestra en el vaso, del agitador magnético para dejarlo en reposo por un tiempo de 15 minutos.
 - Pasado el tiempo de reposo, se tomó 10 ml de muestra, de la parte superficial del líquido en el vaso, para verterlo en el recipiente de muestras del turbidímetro.
 - Hecho esto se realizó la lectura de turbidez final para esta prueba.



Figura 2. Etapas en que se desarrolló las pruebas de coagulación

Tabla 5. Volumen de Cl₃Fe al 0.01 g/L adicionado según concentración deseada

Volumen de muestra de agua (mL)	Volumen Adicionado de Cl₃Fe al 0.01 g/l (mL)	Concentración resultante de Cl₃Fe (mg/l)	Tiempo agitación (min)
150	2.25	150	5
150	2.25	150	15
150	4.5	300	5
150	4.5	300	15

Tabla 6. Volumen de amonio cuaternario al 0.01 g/L adicionada según concentración deseada

Volumen de muestra de agua (mL)	Volumen Adicionado de Amonio cuaternario al 0.01g/ml (mL)	Concentración resultante de amonio cuaternario (mg/l)	Tiempo agitación (min)
150	3	200	5
150	3	200	15
150	6	400	5
150	6	400	15

- b. Con los datos de mediciones de turbidez de cada caso experimental, en seguida, se procedió a calcular la cantidad en que disminuyó la turbidez por efecto de la coagulación y, con este dato, se calculó el porcentaje que representa respecto de la turbidez inicial.

$$\%Remoción\ de\ turbidez = \frac{T_0 - T_f}{T_0} \times 100$$

Donde: T₀ es la turbidez, en NTU, que tiene el agua antes del experimento de coagulación.
T_f es la turbidez, en NTU, que tiene el agua después del experimento

- c. Los resultados de estos cálculos fueron los que se utilizaron para realizar el análisis de los efectos que ejercen los factores; al variarlos en los niveles que se indicó, sobre la remoción de turbidez.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran los datos de turbidez, demanda química de oxígeno (DQO), pH y conductividad, de muestras de agua del río Shulcas. También, resultados de mediciones de turbidez después de cada prueba, valores de porcentaje de reducción de turbidez obtenidos con cada coagulante y, en la parte final se presenta el análisis de los efectos de los factores sobre la variable dependiente y la respectiva prueba de hipótesis mediante el análisis de varianza.

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua

Después de realizar el análisis fisicoquímico en el laboratorio sobre los parámetros de interés de las muestras de agua, se tiene el siguiente reporte:

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de muestras de agua del río Shulcas

N°	Parámetro	Resultado
1	Turbidez	54.3 NTU
2	DQO	462 mg/l
4	pH	6.34
5	Conductividad eléctrica	531 uS/cm

- a. La muestra de agua y el lugar de donde se tomó fue de acuerdo con lo indicado en la parte metodológica.
- b. En relación con la primera hipótesis específica, según estos resultados y la clasificación de aguas residuales encontrada en la literatura, los parámetros de la tabla 6, están dentro de rango de valores correspondientes a aguas residuales domésticas.

4.1.1 Resultados de ensayos de coagulación.

- c. Los datos de las mediciones de turbidez en las pruebas con el cloruro férrico son:

Tabla 8. Resultados de turbidez final con cloruro férrico

Concentración de ClFe_3 (mg/l)	Tiempo agitación (min)	TURBIDEZ FINAL (NTU)		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
150	5	17.91	18.04	17.83
300	5	17.4	17.91	17.74
150	15	15.9	15.92	16.14
300	15	15.74	15.91	15.79

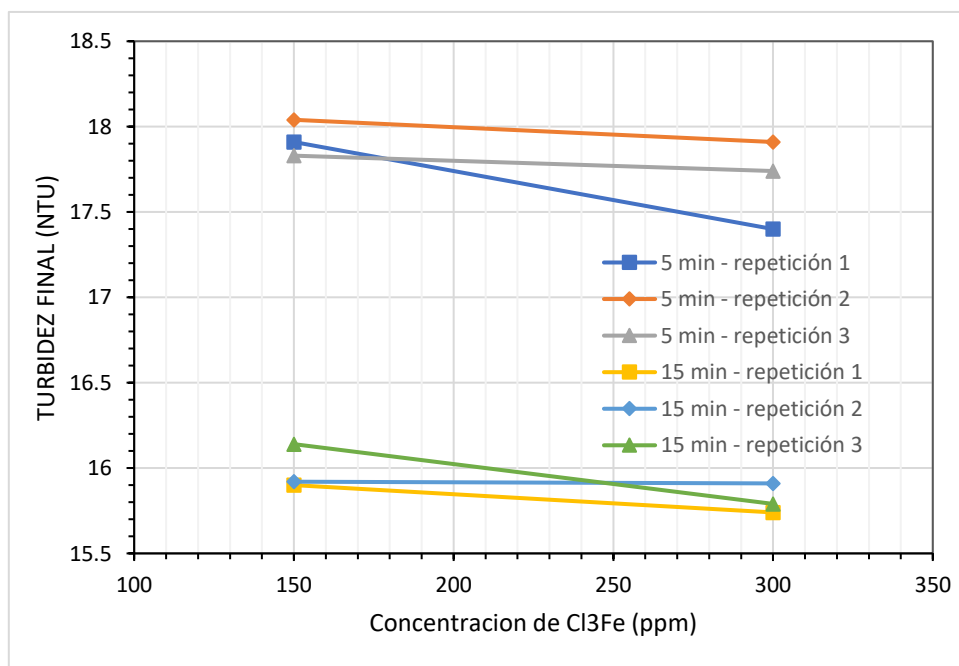


Figura 3. Turbidez final con cloruro férrico

- d. De acuerdo con estos resultados, se encuentra que cuando la concentración de cloruro férrico en las muestras de agua aumenta, la turbidez final que se obtiene después del proceso de coagulación, disminuye. Se debe notar también que, cuando el tiempo de agitación aumenta, la turbidez final que se alcanza disminuye y, de manera notable, cuando la concentración es de 150 mg/l (nivel bajo).
- e. Este comportamiento comprueba que, a bajas concentraciones de este coagulante la agitación para provocar turbulencia y más choques entre moléculas es importante. Pero al nivel de concentración de 300 mg/l no se aprecia esta situación.
- f. En las pruebas con el cloruro de benzalconio se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 9. Resultados de turbidez final con el cloruro de benzalconio

Concentración De cloruro de benzalconio (mg/l)	Tiempo agitación (min)	TURBIDEZ FINAL (NTU)		
		Repeticición 1	Repeticición 2	Repeticición 3
200	5	21.11	20.73	21.16
400	5	19.54	20.28	20.48
200	15	15.51	15.92	15.84
400	15	14.86	14.62	14.79

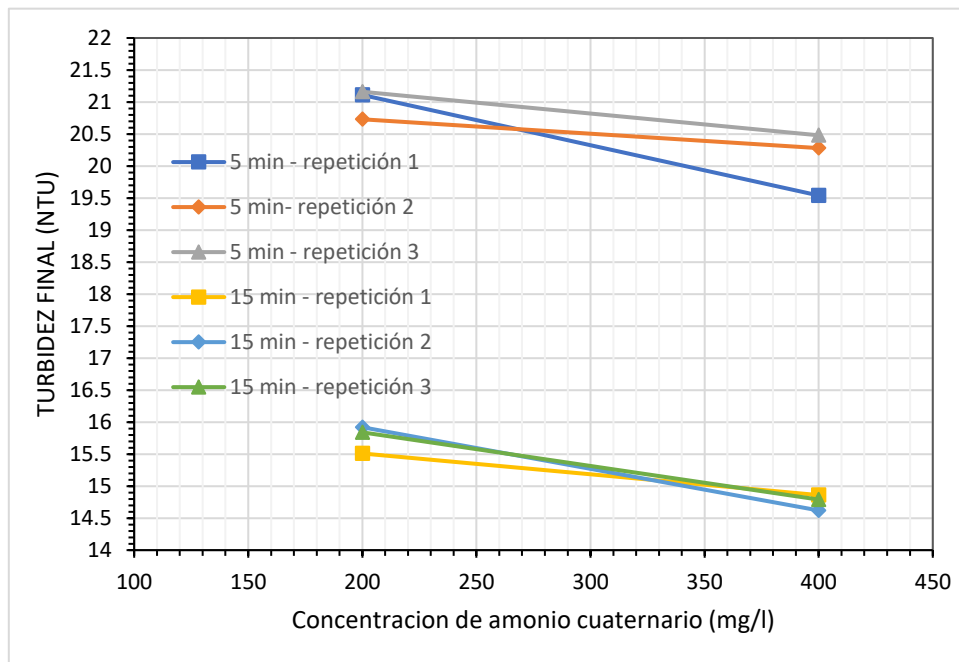


Figura 4. Turbidez final con el cloruro de benzalconio

g. Con este coagulante, también se aprecia que, al incrementar su concentración de dosificación, entonces la turbidez final del agua disminuye. Por otro lado, cuando el tiempo de agitación aumenta de 5 a 15 min, ocasiona que la turbidez final que se obtiene disminuye notablemente para ambas concentraciones de cloruro de benzalconio.

4.1.2 Resultados de porcentaje de reducción de turbidez

h. Los resultados que se obtuvieron aplicando la ecuación de porcentaje de reducción de turbidez, indicado en la parte metodológica, se indican en la tabla 9 y 10. Y, de manera grafica en las figuras 4 y 5.

Tabla 10. Porcentaje de reducción de turbidez con cloruro férrico

Concentración de ClFe_3 (mg/l)	Tiempo agitación (min)	% REDUCCIÓN DE TURBIDEZ		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
150	5	67.0	66.8	67.2
300	5	68.0	67.0	67.3
150	15	70.7	70.7	70.3
300	15	71.0	70.7	70.9

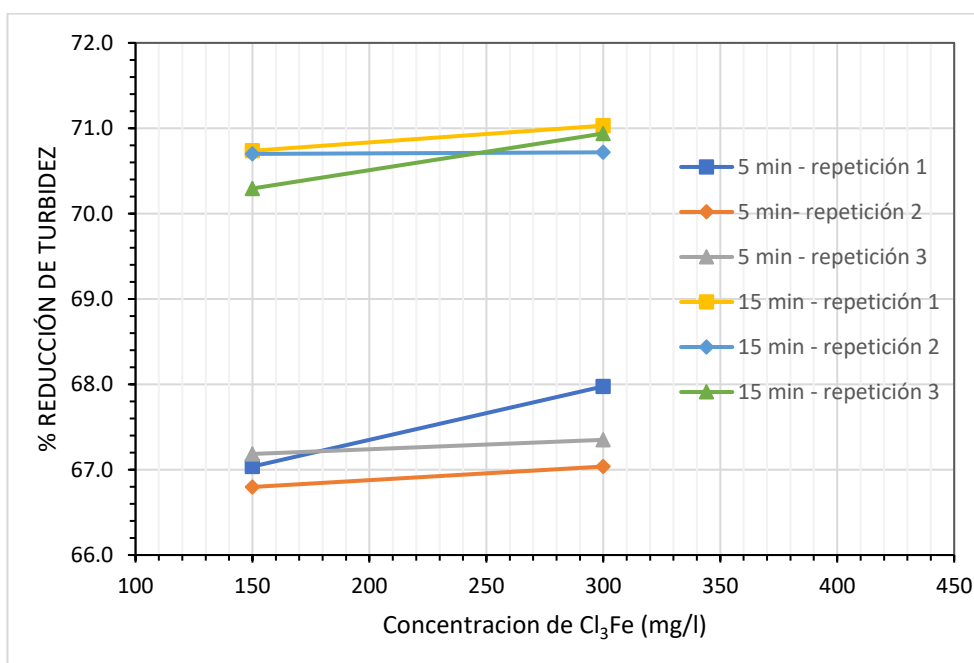


Figura 5. Porcentaje de reducción de turbidez con Cl_3Fe

- i. Con el cloruro férrico se obtiene porcentajes de reducción de turbidez que van desde 60.8% como mínimo, hasta 66.8% como máximo. Se aprecia con mayor claridad que, a mayor concentración del coagulante, mayor porcentaje de remoción de turbidez.

Tabla 11. Porcentaje de reducción de turbidez con cloruro de benzalconio

Concentración De cloruro de benzalconio (mg/l)	Tiempo agitación (min)	% REDUCCIÓN DE TURBIDEZ		
		Repeticción 1	Repeticción 2	Repeticción 3
200	5	61.1	61.8	61.1
400	5	64.0	62.7	62.3
200	15	71.5	70.7	70.8
400	15	72.7	73.1	72.8

- j. En el caso del cloruro de benzalconio, el comportamiento es similar. Se obtuvo un mínimo de 60.4% al nivel 200 mg/l de concentración de cloruro de benzalconio y un tiempo de agitación de 5 minutos, y un máximo de 75.5 % a 400 mg/l y un tiempo de 15 minutos. Comparando estos resultados con los porcentajes de reducción obtenidos con el cloruro férrico, son mayores. Pero se debe tener en cuenta que las concentraciones que se utilizaron de ambos coagulantes son diferentes, además de poseer diferentes características físicas y químicas.

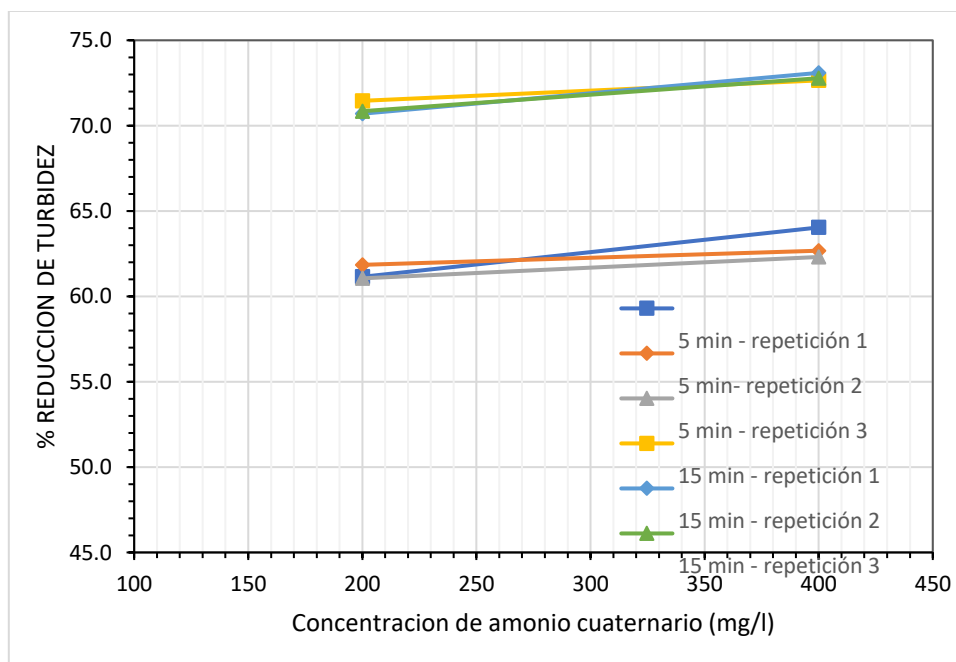


Figura 6. Porcentaje de reducción de turbidez con cloruro de benzalconio

- k. Con relación a la segunda hipótesis específica, se tiene en general, con el cloruro férrico y amonio cuaternario, en todos los casos, el porcentaje de reducción de turbidez obtenido son mayores al 50%.

4.2. Prueba de significancia y evaluación de efectos de los factores

- a. Para verificar la hipótesis, se aplicó el análisis de varianza para un diseño factorial de dos factores y dos niveles 2^2 . El resumen de resultados de porcentaje de reducción de turbidez para cada uno de los coagulantes que fue sometido a prueba, se encuentra en las tablas 9 y 10. Para el caso del cloruro férrico, se tiene el resumen de análisis de varianza que se muestra en la tabla 11.

Tabla 12. Análisis de varianza para el cloruro férrico

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L	Promedio de los cuadrados	$F_{\text{observado}}$	Probabilidad	Valor crítico para F
Conc. Cl_3Fe	0.441069	1	0.4410685	5.006408	0.05564203	5.3176551
Tiempo agitación	36.878947	1	36.8789473	418.599487	3.4074E-08	5.3176551
Interacción	0.012449	1	0.0124487	0.141301	0.71676345	5.3176551
Error	0.704806	8	0.0881008			
Total	38.037271	11				

- b. Con los resultados de $F_{\text{observado}}$ y los valores críticos en esta tabla, se tiene que, en el caso del tiempo de agitación, el $F_{\text{observado}} = 418.59$ es mayor que el valor crítico $=5.31$, por lo que, estadísticamente, a un nivel de confianza del 95 %, se verifica que, el efecto que ejerce el tiempo de agitación sobre el porcentaje de reducción de turbidez es notable. Con respecto a los efectos que ejercen la concentración de cloruro férrico y la interacción de los ambos factores, estadísticamente son poco significativos. Todo esto también se verifica con los valores de probabilidad, pues en general, los efectos que provocan cambios significativos en la variable respuesta cuando son menores a 0.05.

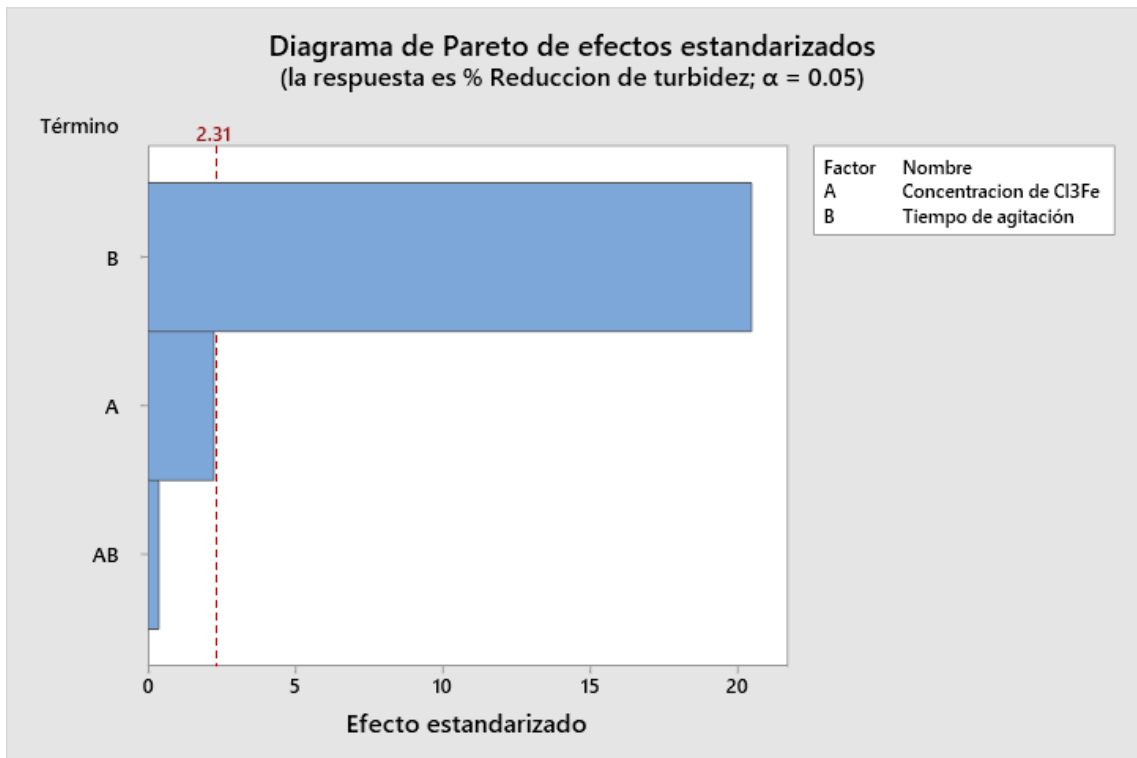


Figura 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el cloruro férrico. Alfa 0.05

- c. El nivel o magnitud de los efectos se puede apreciar en la figura 7. De acuerdo con el tamaño de las barras horizontales. Según este diagrama, el que ejerce un mayor efecto sobre el porcentaje de reducción de turbidez, es el tiempo de agitación. La significancia de esta fuente de variación, se verifica, pues superan el valor Z que en este caso es 2.31.

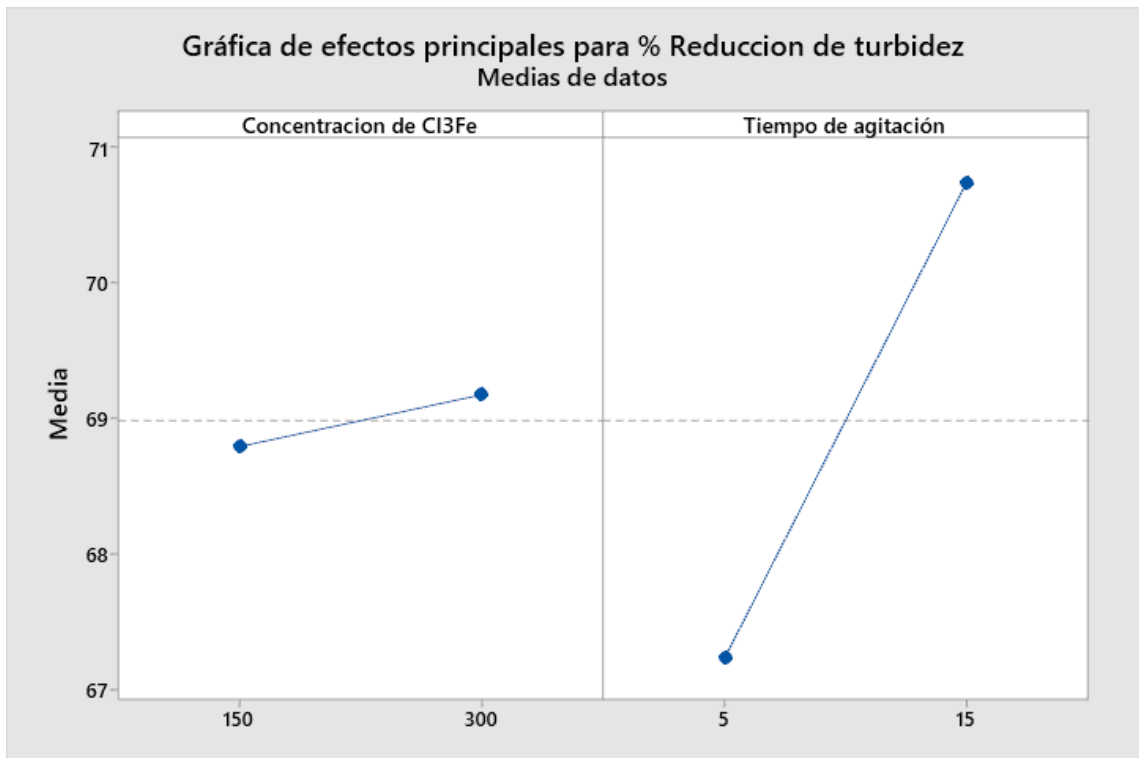


Figura 8. Efectos principales para el cloruro férrico

- d. En la figura 8, que es el gráfico de efectos principales, se observa que, al incrementar cada uno de los dos factores, ocasiona también, el incremento de la media del porcentaje de reducción de turbidez. Lo cual es favorable para los fines de descontaminación del agua.

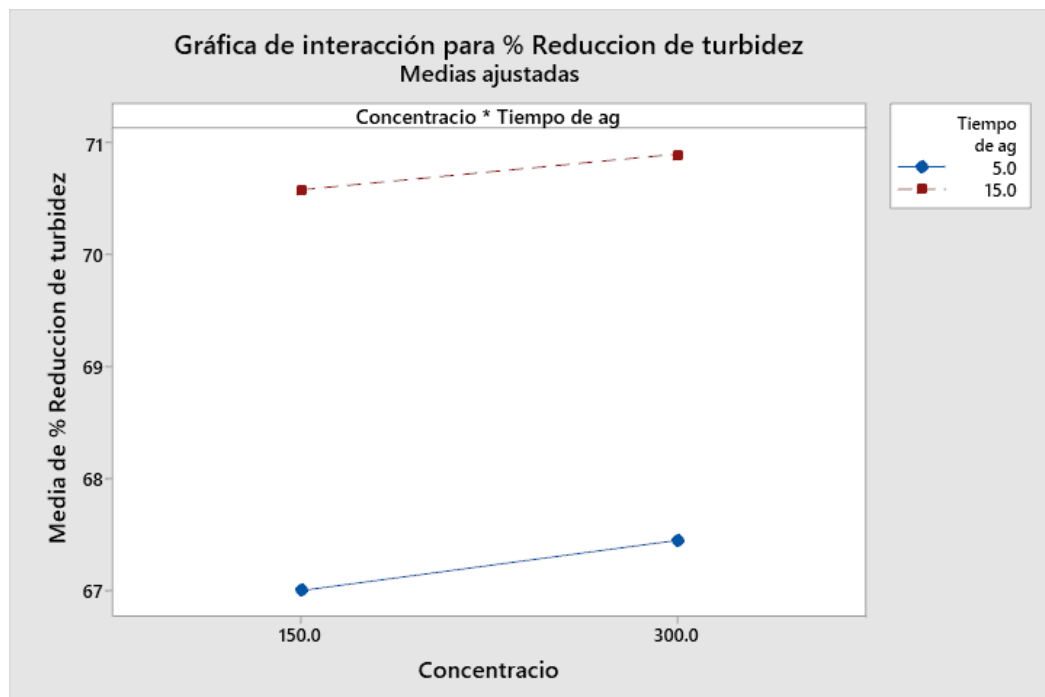


Figura 9. Efectos de interacciones para el cloruro férrico

- e. Del mismo modo que los efectos principales, en el caso de las interacciones, también se observa ese mismo comportamiento.

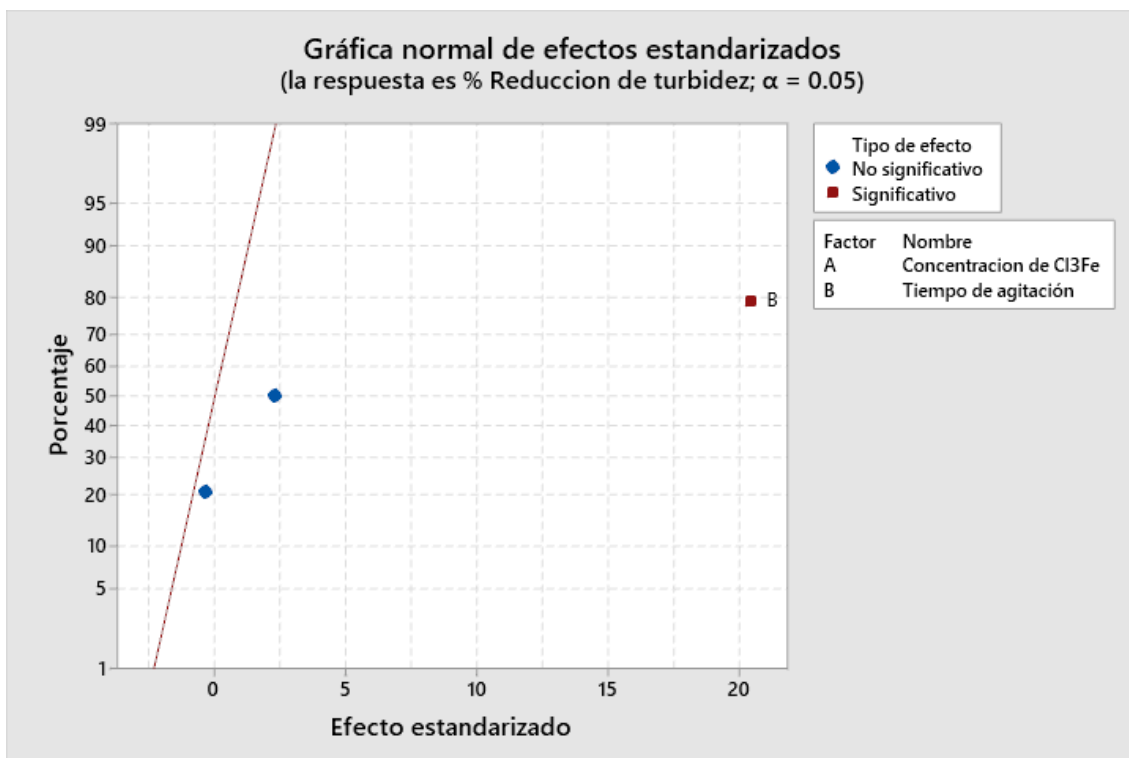


Figura 10. Efectos estandarizados normalizados para el cloruro férrico. Alfa 0.05

- f. Con la figura 10 se puede confirmar que los dos factores; concentración de cloruro férrico y tiempo de agitación, así como la interacción de ambos ejercen un efecto positivo, pero que solo el factor tiempo de agitación es significativo.

Tabla 13. Análisis de varianza con el amonio cuaternario

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L.	Promedio de los cuadrados	F _{observados}	Probabilidad	Valor crítico para F
Concentración	9.171403	1	9.171403	29.837451	0.00059985	5.3176551
Tiempo de agitación	284.739057	1	284.739057	926.345486	1.4746E-09	5.3176551
Interacción	0.025406	1	0.025406	0.082652	0.78104144	5.3176551
Error	2.459031	8	0.307379			
Total	296.394896	11				

- g. En la tabla 12, se encuentra el resumen de resultados del análisis de las variaciones que provoca la concentración, tiempo de agitación y la interacción de ambos, cuando se utiliza el amonio cuaternario como coagulante. Y, en este caso, se tiene que, solo para los factores independientes, concentración de cloruro de benzalconio y tiempo de agitación, los $F_{\text{observados}}$ calculados con los datos de porcentaje de reducción de turbidez, son mayores que los valores críticos, así como las probabilidades o P valor, son menores a 0.05. Por lo tanto, de acuerdo con este criterio, se establece que, la concentración del coagulante, el tiempo de agitación, ejercen efectos estadísticamente significativos sobre el porcentaje de reducción de turbidez, a un nivel de confianza del 95 %. Con relación a la interacción, sucede lo contrario, por lo que el efecto de la interacción será estadísticamente no significativo.

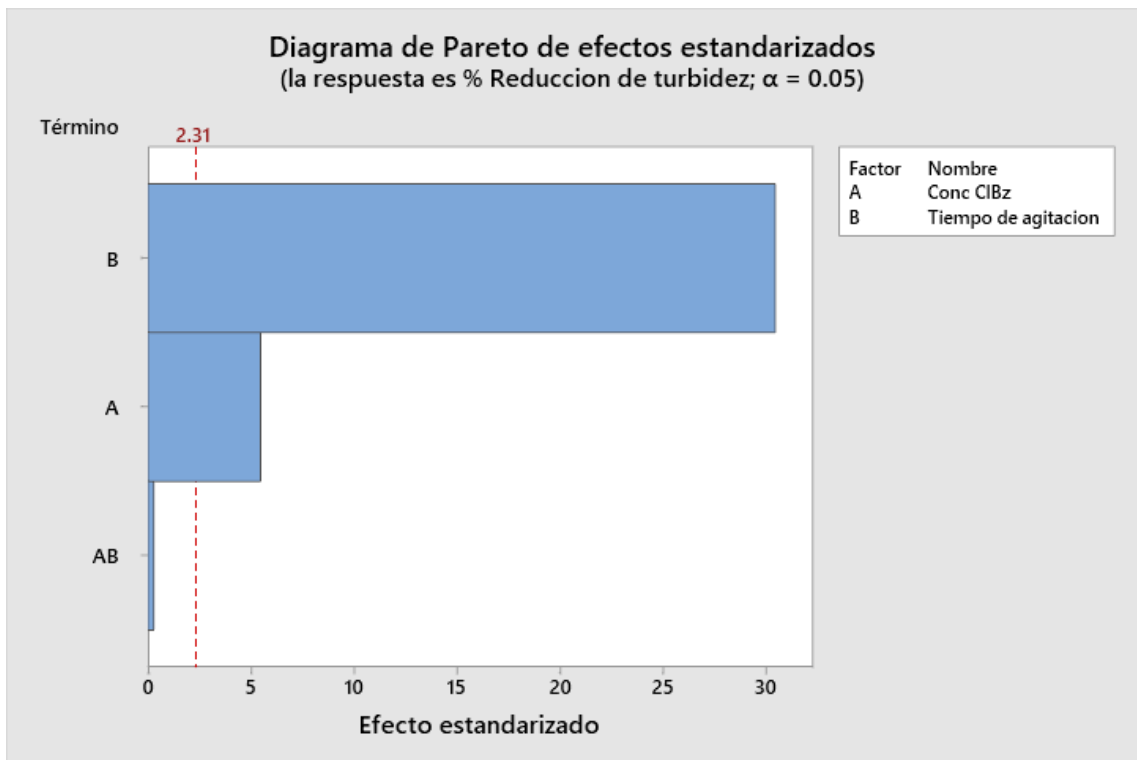


Figura 11. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el amonio cuaternario.
Alfa = 0.05

- h. En el diagrama de Pareto mostrado en la figura 11, se aprecia que la fuerza o magnitud de los efectos sobre la variable dependiente, en orden de mayor a menor, inicia con la concentración de amonio cuaternario, seguido por el tiempo de agitación, y, por último, la interacción de ambos factores. Se verifica también, que la concentración de amonio cuaternario y tiempo de agitación, ejerce efectos significativos, pues superan el valor de $Z = 2.31$.

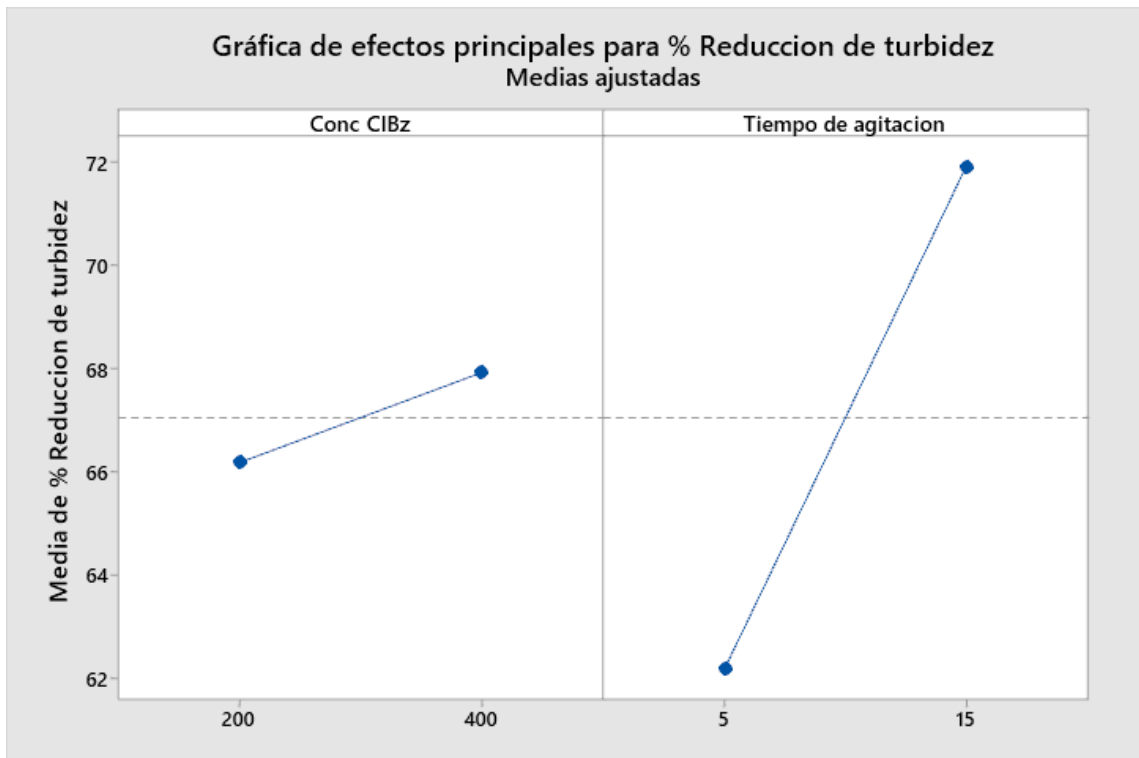


Figura 12. Efectos principales para el amonio cuaternario

- i. Según esta figura 11, el efecto que ejerce la concentración de amonio cuaternario y el tiempo de agitación, ocasiona un aumento sobre el promedio del porcentaje de reducción de turbidez, cuando estos factores incrementan en valor

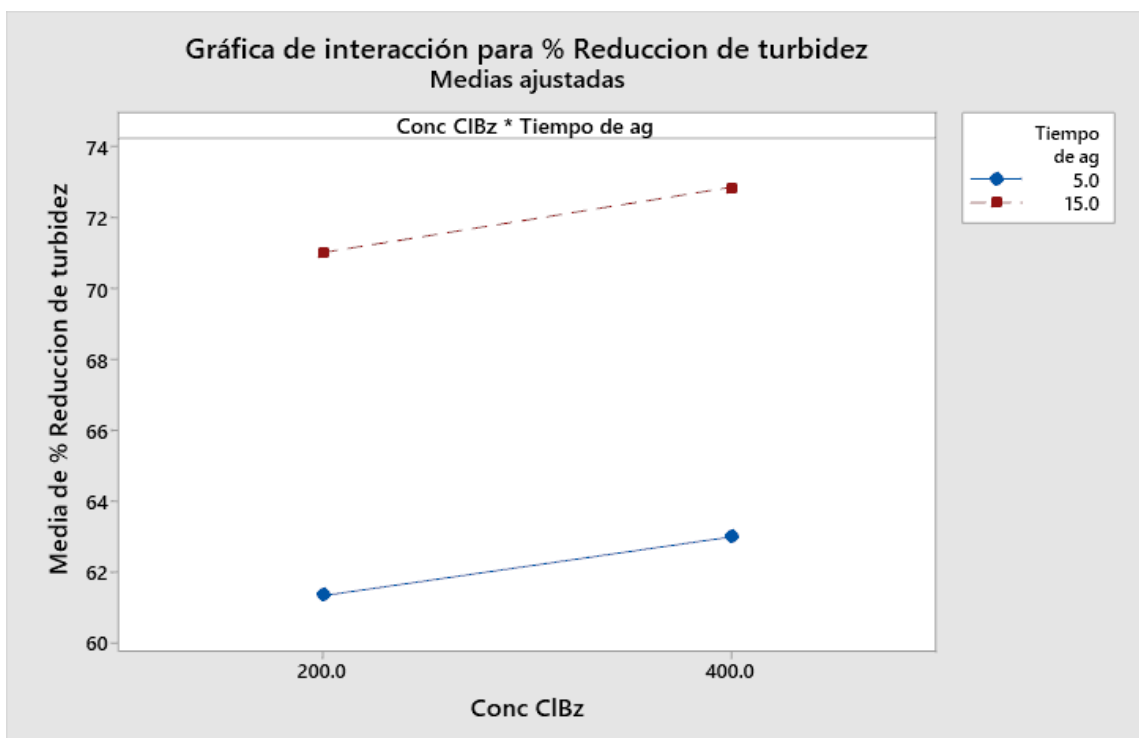


Figura 13. Interacción de los efectos para el amonio cuaternario

- j. En la figura 13 se aprecia que ambas líneas son paralelas, por lo que se confirma que la interacción de ambos factores sobre el porcentaje de reducción de turbidez, no es significativa.

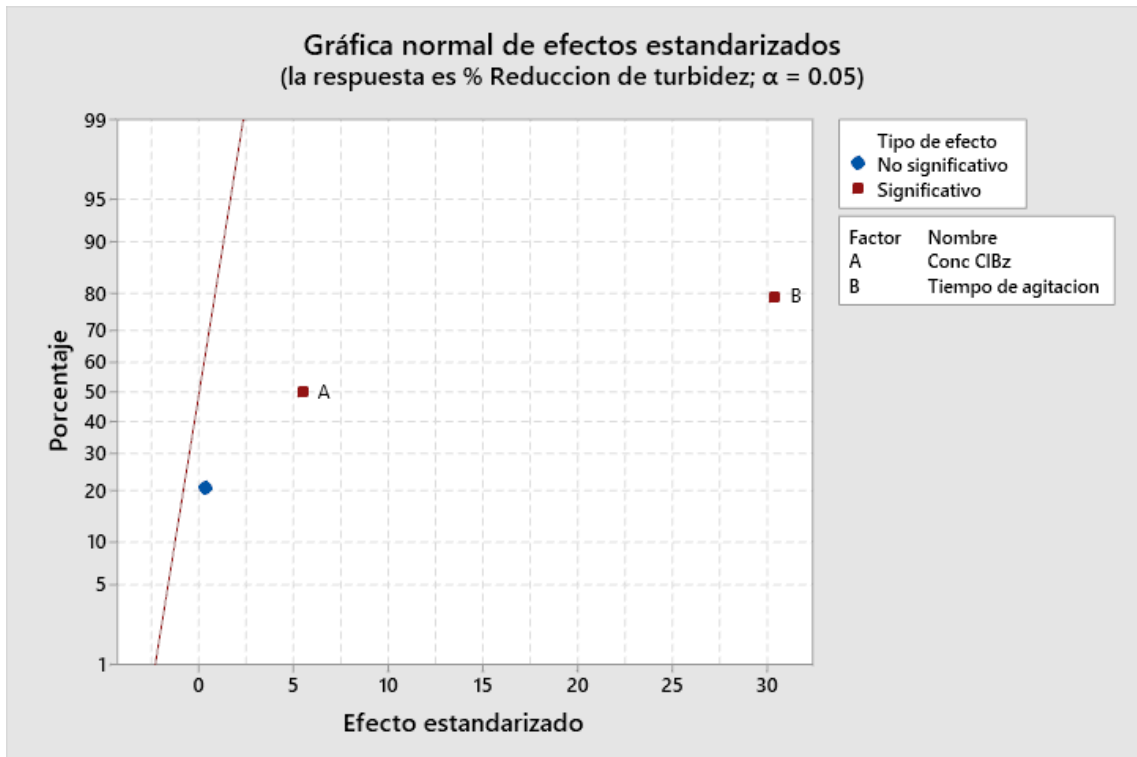


Figura 14. Efectos estandarizados normalizados para el amonio cuaternario. Alfa 0.05

- k. Finalmente, con la figura 14, se entiende que, los factores independientes, así como la interacción de ambos ejercen un efecto positivo, pero de todos, solo los factores independientes ejercen un efecto estadísticamente significativo.
- l. Discusión
- m. De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 7, cuando el tiempo de agitación fue 5 minutos, al aumentar la concentración de Cl_3Fe de 150 a 300 mg/L, la turbidez final obtenida después del proceso de coagulación disminuyó en promedio, 0.001622 unidades de NTU por cada unidad en mg/L de concentración de Cl_3Fe que se aumentó. Mientras que, para un tiempo de 15 minutos de agitación, la turbidez final disminuyó, en promedio, 0.001155 NTU por cada mg/L de concentración de Cl_3Fe incrementado. Estas pendientes tienen una ligera diferencia, pero nos indica que, para un mismo tiempo de agitación, ya sea de 5 o de 15 min, la disminución de turbidez por unidad de concentración de coagulante incrementado, serán bastante próximos.
- n. Por otro lado, si mantenemos en la concentración a 150 mg/L de Cl_3Fe , y se modifica el tiempo de agitación de 5 a 15 min, entonces, sucede que la turbidez disminuye un 3.6% respecto de la turbidez inicial. Mientras que, para la concentración de 300 mg/L

disminuye 3.4 %. Con estas cantidades, se demuestra que al incrementar la concentración inicial de Cl_3Fe , así como el tiempo de agitación, entonces, la turbidez final obtenida disminuye.

- o. Con respecto al amonio cuaternario, de acuerdo con los datos de la tabla 8, se tiene que, para un tiempo de agitación de 5 min, cuando se aumentó la concentración de 200 a 400 mg/L la turbidez final obtenida disminuye en promedio 0.0045 NTU por cada mg/l de amonio cuaternario aumentado. Y, para un tiempo de agitación de 15 min, al aumentar la concentración en el rango mencionado, se obtuvo una reducción de la turbidez final de 0.005 NTU por cada mg/l de amonio cuaternario aumentado. Por otro lado, a la concentración de 200 mg/L cuando fue incrementado el tiempo de agitación de 5 a 15 min, se encontró en promedio un incremento del porcentaje de reducción de turbidez de 9.7 %. Y, para el caso de 400 mg/L, al incrementar el tiempo en estos niveles, el porcentaje de reducción de turbidez aumentó en 9.8%. Con todo esto, el comportamiento que se observa con el amonio cuaternario, es semejante a lo observado con el Cl_3Fe . Pero comparando los resultados de ambos coagulantes, al usar amonio cuaternario se tienen más ventajas en la reducción de turbidez.

CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto que provoca la aplicación de los coagulantes cloruro férrico y amonio cuaternario, sobre el porcentaje de remoción de turbidez de muestras de agua tomadas del río Shulcas, y se concluye que, ambos promueven el incremento de la reducción de turbidez de manera notable.
- Se determinó los parámetros de turbidez, DQO, pH y conductividad de las muestras de agua del río Shulcas, y se encontró que son semejantes a los típicos de aguas residuales de origen doméstico.
- Se determinó el porcentaje de reducción de turbidez que se logra alcanzar con cada coagulante y, se concluye que, en promedio, con el cloruro férrico entre las concentraciones de 150 a 300 mg/l, el porcentaje alcanzado va desde 67.01% a 70.9% respectivamente. Mientras que, con el amonio cuaternario, a concentraciones de 200 mg/l a 400 mg/l, se obtuvo un porcentaje de reducción de 61.35% a 72.84% respectivamente.
- Se evaluó el efecto que ejerce el tiempo de agitación en la aplicación de ambos coagulantes, y se concluye que, a los niveles de 5 y 15 min, en ambos coagulantes, el efecto es positivo y significativo sobre el porcentaje de reducción de turbidez.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto del tiempo de agitación sobre el porcentaje de reducción de turbidez, con más niveles que van desde el mínimo, a valores por encima del máximo definido en esta investigación. Esto, con el fin de establecer qué tipo de relación existe entre ambos y con ello determinar un óptimo tiempo.
- Investigar la aplicabilidad de estos coagulantes mediante mezclas, para verificar si existe un efecto sinérgico de ambos, sobre la reducción de turbidez y también sobre la reducción de la demanda química de oxígeno soluble.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

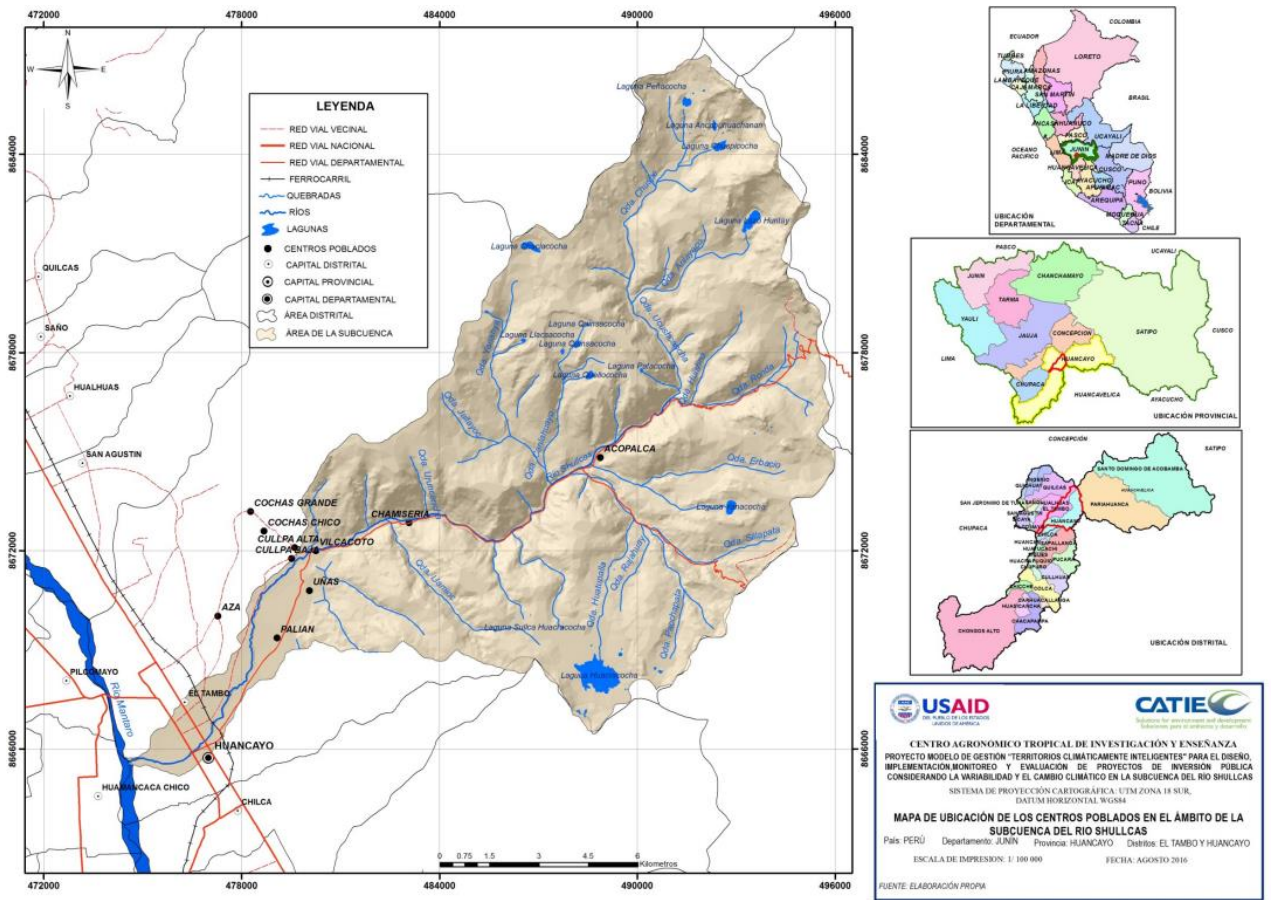
- [1] AGUA, P. F. Martínez-Austria - Tecnología y ciencias del ambiente 2013. Los retos de la seguridad hídrica. *scielo.org.mx* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. Dostupné : http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500011
- [2] CUSICHE PÉREZ L. F. - Revista mexicana 2019. Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional „Lago Junín", Perú. *scielo.org.mx* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342019000601433&script=sci_arttext
- [3] RÍO SHULCAS -HUANCAYO -JUNÍN, Del. Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del Río Shulcas–Huancayo–Junín [online]. 2015 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3507>
- [4] UNCP, Repositorio. Huella hídrica y sostenibilidad en la subcuenca del río Shulcas, provincia de Huancayo, Región Junín [online]. 2018 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4856>
- [5] LIANG, Zhen, Yanxin WANG, Yu ZHOU a Hui LIU. Coagulation removal of melanoidins from biologically treated molasses wastewater using ferric chloride. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2009, **152**(1), 88–94. ISSN 13858947. Dostupné z: [doi:10.1016/j.cej.2009.03.036](https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.03.036)
- [6] PROKOPOVA, Michaela, Katerina NOVOTNA, Lenka PIVOKONSKA, Lenka CERMAKOVA, Tomas CAJTHAML a Martin PIVOKONSKY. Coagulation of polyvinyl chloride microplastics by ferric and aluminium sulphate: Optimisation of reaction conditions and removal mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [online]. 2021, **9**(6), 106465. ISSN 22133437. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jece.2021.106465](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106465)
- [7] DU, Zhiping, Zupeng GONG, Wenhao QI, Enze LI, Jing SHEN, Jianfeng LI a Huazhang ZHAO. Coagulation performance and floc characteristics of poly-ferric-titanium-silicate-chloride in coking wastewater treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2022, **642**(92), 128413. ISSN 18734359. Dostupné z: [doi:10.1016/j.colsurfa.2022.128413](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128413)

- [8] ZEMMOURI, Hassiba, Madani DROUICHE, Amna SAYEH, Hakim LOUNICI a Nabil MAMERI. Coagulation flocculation test of Keddara's water dam using chitosan and sulfate aluminium. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **33**, 254–260. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2012.01.1202
- [9] RODRÍGUEZ, AS Machaca. Determinación de los parámetros de operación en un reactor Batch y propuesta de dimensionamiento para la remoción de arsénico del agua del río Locumba–Ite [online]. 2021 [vid. 2022-10-23]. Dostupné z: <http://tesis.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4393>
- [10] VILCAPOMA, ME Quispe a RO Zavaleta AVALOS. Influencia del cloruro férrico, tiempo y velocidad de agitación en tratamiento de agua ácida del río Negro, distrito Olleros, Huaraz [online]. 2022 [vid. 2022-10-23]. Dostupné z: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/19660>
- [11] CRUZ, A Muñoz. Caracterización y tratamiento de aguas residuales [online]. 2008 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1>
- [12] AZÚCAR, Y Lorenzo-Acosta - ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de a undefined 2006. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *redalyc.org* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. ISSN 0138-6204. Dostupné z: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- [13] FERNÁNDEZ, Luz Marina, Huaripata ASESOR, Mg Ing Karla ROSSEMARY a Sisniegas NORIEGA. Optimización de los procesos de coagulación y floculación en los sistemas de las plantas de tratamiento de agua potable, 2010-2020. Una revisión sistemática [online]. 2021 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25929>
- [14] TRUJILLO, Daniela; LUISA, Fernanda; DUQUE, Juan; SEBASTIÁN ARCILA, Alejandro; RINCÓN; SEBASTIÁN, Pacheco; OSCAR A. Fernando HERRERA. Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *scielo.org.co* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2014000100003&script=sci_abstract&tlng=en

- [15] AGUILAR, MI. Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación [online]. 2002 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8vIQBXPvhAUC&oi=fnd&pg=PA17&dq=coagulacion+y+floculacion+pdf&ots=ckSL9Vtjy9&sig=G8mnUhlNZxVDH5-gEUDj8kZkF8k>
- [16] CASTILLO, MR BRAVO, LA FLORES RAMOS - Perú: UNIVERSIDAD a undefined 2020. COAGULACION FLOCULACION. *vsip.info* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://vsip.info/coagulacion-floculacion-1-pdf-free.html>
- [17] RAMALHO, RS. Tratamiento de aguas residuales [online]. 2021 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T9MfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=procesos+de+tratamiento+de+aguas+libro&ots=3jKRfo_muh&sig=PGn9BwrsjuAZtaBtm1Gta_DTjNE
- [18] DÍAZ, Stuart a Aliaga ASESOR. Remoción de turbidez de aguas superficiales mediante floculación [online]. 2019 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22046>
- [19] BERMÚDEZ, G, ... LH Blanco - Revista Colombiana a undefined 1982. Síntesis y caracterización analítica de algunas sales de amonio cuaternario. *revistas.unal.edu.co* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/download/10485/10970>
- [20] HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R a C Fernández COLLADO. Metodología de la investigación [online]. 2018 [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/21401/1/11699.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Shulcas



Anexo 2. Certificado de calibración de instrumentos utilizados

CONDUCTIMETRO



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LC - 001



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 1AEQ-386-2022



Expediente N° 3A00236
Pág. 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-12-26

1. **Solicitante** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
2. **Dirección** : Av. Mariscal Castilla N° 3909 Huancayo 12006 Huancayo - Huancayo - Junín
3. **Instrumento** : CONDUCTÍMETRO
 - Marca / Fabricante** : WTW
 - Modelo** : Multi 3630 IDS
 - Serie** : 19410633
 - Procedencia** : Alemania
 - Código de identificación** : LIA-E045
 - Intervalo de Indicación** : 0 µS/cm a 200 mS/cm
 - Resolución** : 0,1 µS/cm; 1 µS/cm; 0,01 mS/cm
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de METROIL S.A.C.- Sede Lima
5. **Fecha de calibración** : 2022-12-22

6. **Método de calibración**
La calibración se realizó según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la calibración de Conductímetros" Primera Edición de SNM-INDECOPI.

7. **Trazabilidad**
Los resultados de la calibración tienen trazabilidad metrológica a los patrones nacionales e internacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) y del INACAL-DM. , en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

Valor Certificado a 25 °C	N° de lote	Certificado de Análisis	Incertidumbre (k=2)
98,40 µS/cm	CC22500	4176-13226621	2,1 µS/cm
1414 µS/cm	CC22449	4174-13196877	4,6 µS/cm

Código	Instrumento Patrón	Certificado de calibración
IT-539	Termómetro digital con incertidumbre del orden de 0,020 °C	LT-018-2022 INACAL - DM

8. **Condiciones de calibración**
 - Temperatura ambiental : 21,1 °C
 - Humedad relativa : 60,9 % H.R.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

METROIL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de METROIL S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de METROIL S.A.C.

MÓNICA A. SALAZAR RODRÍGUEZ
Laboratorio de Calibración



9. Resultados

Valor Certificado	Lectura promedio del conductímetro	Error	Incertidumbre
98,40 $\mu\text{S/cm}$	101,6 $\mu\text{S/cm}$	3,20 $\mu\text{S/cm}$	2,1 $\mu\text{S/cm}$
1414 $\mu\text{S/cm}$	1418 $\mu\text{S/cm}$	4 $\mu\text{S/cm}$	5,2 $\mu\text{S/cm}$

$$\text{Valor Certificado} = \text{Lectura del Conductímetro} - \text{Error}$$

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y con identificación 1AMA-14283-22 .
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .
- Valor de la constante de celda programado con el instrumento: 0,470 cm^{-1} . Este valor de la constante de celda fue utilizado para la calibración.
- El N° de serie del electrodo es 19411569; Modelo TetraCon 925 IDS
- Antes del ajuste, las lecturas del equipo para los patrones 98,40 $\mu\text{S/cm}$ y 1414 $\mu\text{S/cm}$ fueron 97,8 $\mu\text{S/cm}$ y 1357 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente.
- Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

MEDIDOR DE PH

RE



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LC - 001



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 1AEQ-0385-2022



Fecha de emisión: 2022-12-26

Exp : 3A00236

Pág. 1 de 2

- Solicitante** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
- Dirección** : Av. Mariscal Castilla N° 3909 Huancayo
12006 Huancayo - Huancayo - Junín
- Instrumento calibrado** : **Medidor de pH**
 - Marca / Fabricante** : WTW
 - Modelo** : Multi 3630 IDS
 - Número de serie** : 19410633
 - Identificación** : LIA-E045
 - Procedencia** : Alemania
 - Intervalo de medida** : 0,000 pH a 14,000 pH
 - Resolución** : 0,001 pH
- Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de METROIL S.A.C.- Sede Lima
- Fecha de calibración** : 2022-12-22
- Método de calibración**
La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH" del INACAL-DM Segunda Edición - Junio 2017.

7. Trazabilidad

Se utilizó las soluciones tampones patrones de pH:

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,007	CC738724	Traceable / Control Company	0,011
6,996	CC744101	Traceable / Control Company	0,011
10,009	CC721918	Traceable / Control Company	0,011

Y un termómetro patrón de código IT-539, con Certificado de Calibración N° LT-018-2022 de INACAL-DM .

8. Condiciones de calibración

Temperatura Ambiental : 21,4 °C
Humedad Relativa : 60,7 %H.R.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

METROIL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de METROIL S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de METROIL S.A.C.

MÓNICA A. SALAZAR RODRÍGUEZ
Laboratorio de Calibración

Anexo 3. Reporte de análisis de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
 Vicerrectorado de Investigación
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS
 Av. Mariscal Castilla N° 3909-4089 Pabellón "C" - Tercer piso CIUDAD UNIVERSITARIA
 correo electrónico: labinvestaguas@unco.edu.pe

NOMBRE DEL PROYECTO		N° DE REPORTE:	036/2023	DATOS DEL SOLICITANTE	
"EVALUACION DEL CLORURO FERRICO Y AMONIO CUATERNARIO EN LA REDUCCION DE TURBIDEZ DE AGUAS DEL RIO SHULLCAS"		WILFREDO MORAN ESPINOZA			
		FECHA DE MUESTREO	19/06/2023		
		FECHA DE ANÁLISIS	24/06/2023		
FUENTE:	RIO SHULLCAS		PUNTO DE MUESTREO		
LOCALIDAD:	HUANCAYO		Sur:	12° 4'15.14"	
DIST/PROV/DEP.	HUANCAYO/ HUANCAYO/ JUNIN		Oeste:	75°13'14.57"	
PARÁMETROS:	ANALISIS FISICOQUÍMICO		Altitud(msnm)	3256	
MUESTREADO POR:	Wilfredo Moran Espinoza				

CODIGO	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
INICIAL	CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B. Conductividad	µS/cm	531
	POTENCIAL DE HIDRÓGENO	SM 4500-B+ pH valor	pH	6.34
	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	54.3
	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	SM 5220 B. Bofajo Gerrado, Metodo colorimétrico	(mg/L)	462

CODIGO	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
M1	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	17.93
M2	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	17.68
M3	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	15.99
M4	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	15.81
M5	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	21.00
M6	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	20.10
M7	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	15.76
M8	TURBIDEZ	SM 2130 B. Método Nefelométrico	NTU	14.76

OBSERVACIONES:

*Las muestras fueron proporcionados por el interesado(a)

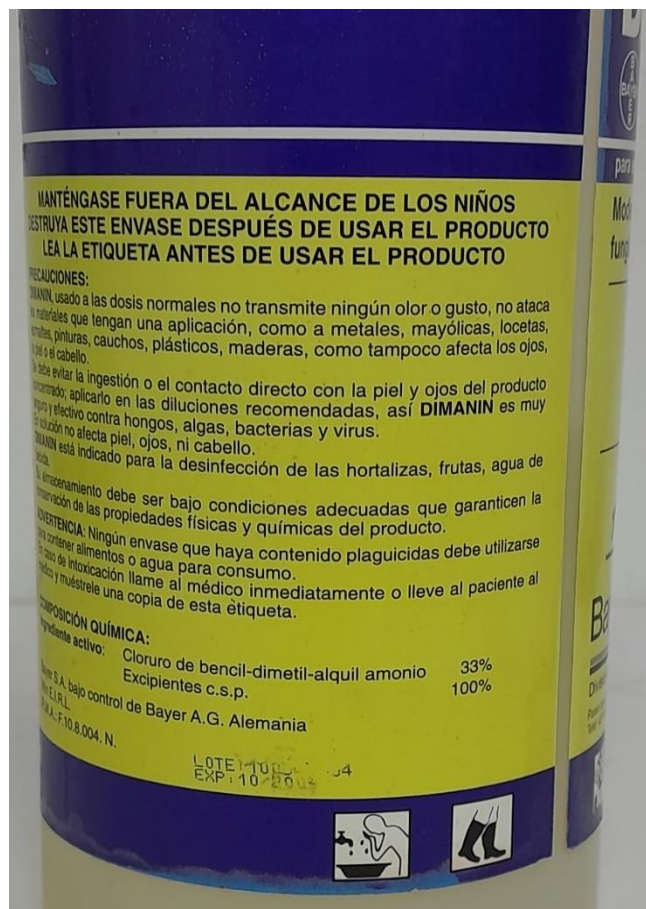
*Documentos de referencia: Standard Methods for examination of water and wastewater 23rd Edition -2017


 Dr. Mario Cevallos Villanueva
 COORDINADOR GENERAL

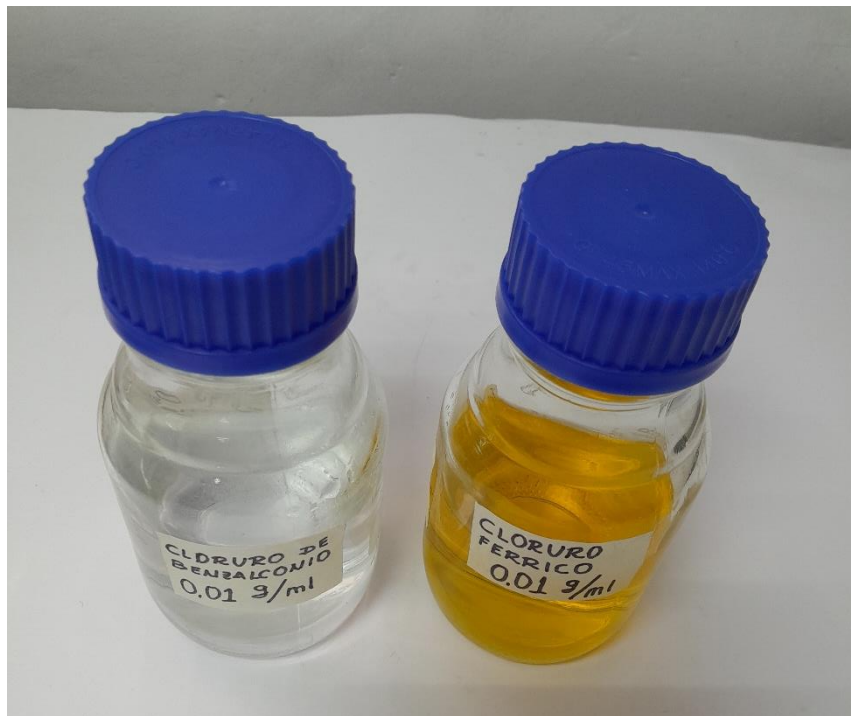
1. Muestra de agua colectada del río Shulcas



2. Frasco con Cloruro de benzalconio al 33%



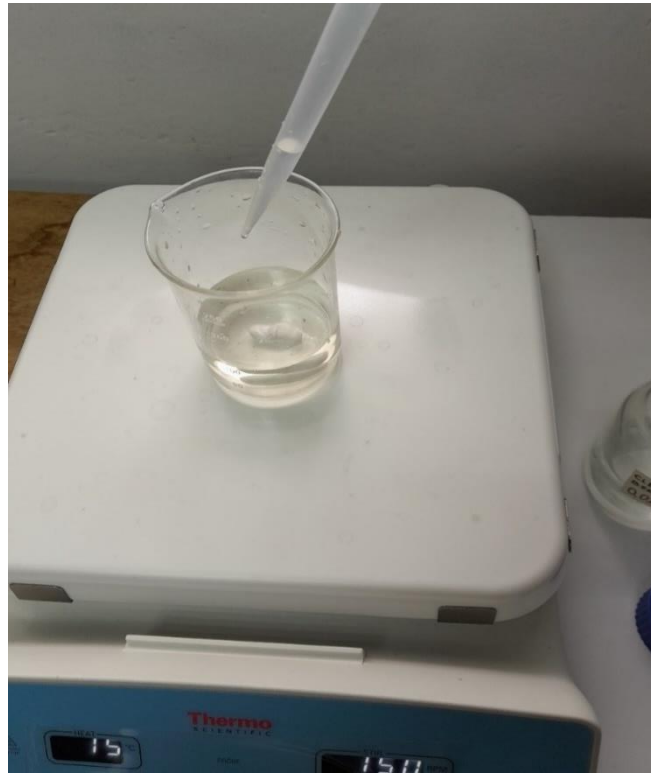
3. Soluciones preparadas al 1% en peso de cloruro de benzalconio y cloruro férrico



4. Muestra de agua con cloruro férrico y en agitación a 150 rpm



5. Muestra de agua con cloruro de benzalconio en agitación a 150 rpm



6. Mediciones de conductividad, pH, turbidez





