



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CON FLOCULANTES
PARA MINERIA, CAJAMARCA-2019”.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Willan Elmer Rojas Cortez

Asesor:

Mg. Blanca Nathalie Dávila Estrada
Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los objetivos más anhelados.

A mis padres, por su amor, apoyo incondicional trabajo y sacrificio en todos estos años, que gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi hermano por estar siempre presente con su apoyo moral a lo largo de mi carrera profesional.

A mi novia Diane por su comprensión, dedicación y su apoyo incondicional que me brindo a lo largo de este proceso académico.

Rojas Cortez, Willan E.

AGRADECIMIENTO

A Dios por su amor y su bondad que me permite sonreír ante todos mis logros que son resultado de su bendición.

A mi familia, padres, hermano, familiares y amigos por comprender los múltiples momentos que renuncié compartir con ellos a cambio de culminar este objetivo.

A las personas que contribuyeron y confiaron en mis propósitos y brindaron lo mejor de sí oportunamente para hacer realidad el logro de mis metas académicas, profesionales y personales. A los docentes, compañeros y a la Universidad Privada del Norte, por brindarme su apoyo incondicional durante la carrera profesional.

A la empresa Aguas y Efluentes, a los supervisores, compañeros de trabajo por contribuir con su apoyo para de esa forma poder terminar mi objetivo profesional.

Rojas Cortez, Willan E.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	5
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	12
CAPÍTULO III. RESULTADOS	16
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	18
REFERENCIAS.....	19

RESUMEN

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte, el pH es un factor prominente en la acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

La solución floculante más adecuada a la naturaleza de los materiales en suspensión con el fin de conseguir aguas decantadas limpias y la formación de lodos espesos se determina por pruebas, ya sea en laboratorio o en el campo.

En la minería, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de alto peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas se fijan por adsorción a las partículas y provocan así la floculación por formación de puentes interpartículas.

PALABRAS CLAVES: floculante, agua potable, coagulación, floculación, turbidez.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista evolutivo, ecológico o fisiológico, el agua es fundamental para todas las formas de vida. De esto se desprende que la disponibilidad de ella para el consumo, la preparación de alimentos, la higiene personal y doméstica, la agricultura o la producción de energía, es esencial para garantizar la salud y bienestar de los seres humanos.

Sin embargo, el agua es asimismo un importante vehículo de transmisión de muchas enfermedades que han afectado al hombre durante siglos es por ello por lo que se tiene la necesidad de utilizar floculantes para poder dar tratamiento de agua potable. Los sectores sociales más castigados por ellas son los más afectados por la pobreza y la marginalidad de la sociedad por lo cual dicha investigación tiene como objetivo realizar el tratamiento de agua potable con floculantes en la minera la zanja Cajamarca -2019.

(Betancur C., Jiménez G., & Linares, 2012), en Colombia, estudiaron la calidad del agua cruda del Río Otún que abastece la planta de tratamiento de agua potable de Aguas y Aguas de Pereira pueden presentar fluctuaciones en cortos periodos de tiempo. Por esta razón se requiere un instrumento que permita tomar decisiones rápidas para modificar la dosis de coagulante a utilizar en el tratamiento con base en un criterio cuantificable y preciso como la potencial zeta (ζ). En este estudio se determinó que para un intervalo de ζ desde -2.28 mV a +1.2 mV del agua coagulada se obtiene valores bajos de turbiedad y color del agua sedimentada. Es posible alcanzar un óptimo desempeño del proceso de floculación y sedimentación efectuando mediciones de ζ en el agua coagulada como indicador de

desestabilización de las partículas. Z presenta una correlación positiva con la dosis de coagulante aplicada, modificando la dosis de coagulante es posible alcanzar valores de ζ cercanos a cero.

(Suárez. & Trujillo, 2011), Ecuador; realizan el estudio de diseño y construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales, concluyendo que para estudios de turbiedad este método es muy adecuado y llegando a porcentajes de error de 2 %, así como la evaluación adecuada de coagulantes, tanto en concentración como en dosificación; recomendando su uso en estas pruebas.

(Cogollo, 2011), en Colombia, realizó un estudio del proceso de clarificación en sistemas de tratamiento de aguas industriales usando un coagulante inorgánico polimerizado (hidroxicloruro de aluminio). Inicialmente se establecen los elementos conceptuales más importantes de las etapas del proceso de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación). Luego, se señalan los principales coagulantes convencionales utilizados en el tratamiento de aguas y se abordan los policloruros de aluminio (PAC"s) como integrantes de una nueva generación de coagulantes alternativos cuyo uso se han incrementado en las últimas décadas dado su mejor desempeño respecto a los coagulantes convencionales; se especifican los aspectos técnicos y operativos que se deben que se deben considerar al momento de implementar un proceso de clarificación de aguas usando un PAC como coagulante. Finalmente, se presentan datos comparativos de condiciones operacionales reales de un proceso de aguas, producto de un trabajo previo, donde se reemplazó un

coagulante convencional (sulfato de aluminio) por hidroxiclорuro de aluminio, donde se corrobora el mejor desempeño del proceso luego del remplazo.

(Khanh & Kang, 2011), en su estudio, presentan el siguiente resumen: La realización de prueba de jarras frecuentemente requiere llevar a cabo procedimientos iterativos que conllevan a una pérdida de tiempo para averiguar las cantidades correctas de floculante químicos para procesos de coagulación- floculación en plantas de tratamiento de agua. La aplicación del método de superficie de respuesta (RSM) en pruebas de jarra como una alternativa de los métodos convencionales se investigó en este estudio. El propósito es descubrir la combinación óptima de dosificación de coagulante y pH con respecto a la más alta eficiencia en la remoción de la turbiedad y carbono orgánico disuelto (DOC). Los resultados logrados usando polihidroxiclорuro de aluminio (PACl) fueron comparados con aquellos logrados con el uso del coagulante convencional como es el alumbre. Los modelos cuadráticos desarrollados para las dos respuestas (remoción de turbiedad y remoción de DOC) indican que las condiciones óptimas de la concentración para el PACl son de 0.11 mM a pH 7.4 y una concentración de alumbre de 0.15 mM a pH 6.6. Comprometiendo la optimización simultánea de las dos respuestas resultó un 91.4 de remoción de la turbidez y una remoción de 31.2 % de DOC usando PACl mientras que usando alumbre se logró una remoción de 86.3 % de turbiedad y 34.3 de DOC. Confirmando los resultados experimentales se encontró estar cerca de las predicciones derivados de los modelos. Esto demuestra el beneficio del enfoque basado en el RSM en el logro de buenas

predicciones y también permite minimizar el número de experimentos requeridos. Palabras clave: diseño central compuesto (CCD), remoción de DOC, planta de tratamiento de agua potable, optimización, coagulación-floculación, metodología de superficie de respuesta (RSM).

(Véliz Lorenzo, Llanes Ocaña, & Asela, 2009), en Cuba, estudiaron la ozonización de aguas de consumo humano y aguas residuales se ha convertido en un método atractivo, debido al poder oxidante y bactericida del ozono, por lo que su combinación con otros procesos tales como la coagulación-floculación, significaría un aumento en la eliminación de la carga orgánica y microbiológica de las aguas residuales, además de aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en las aguas tratadas, lo que posibilitaría su reusó. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación a escala laboratorio de la eficiencia de dos procesos de tratamiento de aguas residuales municipales. Coagulación-floculación y ozonización (cada uno por separado y con la combinación de ambos) con el fin de obtener aguas con características físico, químicas y microbiológicas, que permitan su vertimiento seguro o su reuso. Se empleó sulfato de aluminio como coagulante en dosis entre 6 y 100 mg/L y un polímero catiónico comercial como floculante en dosis de 0,5 mg/L; la ozonización se estudió para tres puntos de aplicación (antes, durante y después de la coagulación-floculación). Se evaluó la eficiencia de cada proceso para la turbiedad, los sólidos suspendidos totales, el color, los compuestos orgánicos medidos a 254 nm, la demanda química de oxígeno, el pH y el oxígeno disuelto, así como la concentración de coliformes fecales. El esquema más eficiente resultó el de la coagulación. Floculación con

una posterior ozonización, con remociones de contaminantes, físico químicos y de coliformes fecales superiores al 90 y 99,999 % respectivamente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Selección de estudios

2.1.1. Diseño de investigación

Respecto a la revisión sistemática como methodologies de nuestra investigación, los siguientes autores indican que la revisión sistemática:

“Es un método de estudio que usa una estructura bien lineal para reconocer, sintetizar e interpretar todas las experiencias relacionadas hacia una pregunta de investigación” (Kitchenham & Charters, 2007). El autor indica que la revisión sistemática de la literatura es un medio para detectar y analizar eventos que tienen relación con la incógnita planteada.

“La revisión sistemática es un diseño de investigación para identificar y analizar las investigaciones de otros autores, tanto académicos como profesionales, sobre un tema en específico” (Fink, 1998). El autor hace referencia, a la revisión sistemática como una

la presente investigación teórica está enfocada a una “revisión sistemática de la literatura científica”, para ello se utilizaron técnicas y herramientas para recopilar y analizar la información sobre la investigación “principios de la ingeniería para implementar mejoras en el sistema de transporte de mineral en una mina subterránea”. Lo cual es de mucha importancia en la actualidad debido

a su credibilidad en la búsqueda, recolección y análisis como se hace mención al respecto: un método sistemático permite explicar, identificar, evaluar y resumir los más importantes avances o estados de arte de un trabajo realizado por investigadores, académicos y profesionales. (Fink, 2005).

La pregunta de investigación elegida para el proceso metodológico es: **¿Cómo el tratamiento con floculantes ayudara en el tratamiento de agua potable en la minería?**

2.1.2. Criterios de inclusión:

El proceso de selección de fuentes de información: se utilizó términos y palabras claves relacionados con la investigación “principios de la ingeniería para implementar mejoras en el sistema de transporte de mineral en mina subterránea”. Se consideró los siguientes criterios de selección:

- se realizó una combinación de términos para encontrar mejores resultados.
- las investigaciones de artículos, revistas, blogs, tesis, paper, manuales, todos ellos están en versión original y en idioma español.
- La fase de publicación de esta información está entre los años 2009 y 2019, con el objetivo de identificar las características sobre los principios de la ingeniería para implementar mejoras en el sistema de transporte en mina subterránea en los últimos 10 años.

- Se recopiló información de fuentes confiables como google académico, Reladyc, Repositorio institucional UPN, biblioteca virtual UPN, repositorios institucionales tanto nacionales como extranjeras.

2.1.3. Pasos de búsqueda de la Revisión sistemática

Se realizó en la búsqueda de investigación teórica:

- Se realizó la búsqueda en las siguientes fuentes confiables: biblioteca virtual y presencial de la Universidad Privada del Norte, Google académico, repositorios de universidades nacional como extranjeras, entre otras.
- Se filtró la búsqueda abarcando en todos los aspectos de contenido (título, contenido, bibliografía) con las palabras claves de la investigación estudio y seleccion
- El idioma de los artículos debía ser español.
- Los tipos de estudios, como filtro, fueron: descriptivo, exploratorio, explicativo.

2.2. Codificación de datos

Se elaboró una base de datos donde se pudo extraer información importante. En la Tabla 1 los datos se seleccionaron por título, año de la publicación, título de la fuente, autor, objetivó.

Títulos	Autor	Objetivo de la investigación	Año	Título de la fuente
Capacidad flocculante de coagulantes	David Choque-Quispe. Yudith Choque-		2018	Google académico

naturales en el tratamiento de agua.	Quispe, Betsy S. Ramos- Pacheco			
Tratamiento de agua para consumo humano.	Nadia Cristina Chulluncuy- Camacho		2011	Google académico
Optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina Unidad Minera Orcopampa – Buenaventura - Arequipa, 2019.	Tucto Ambrosio, Roy Alexander	¿ Como el tratamiento con floculantes ayudara en el tratamiento de aguas en la Minera la Zanja?.	2019	Google académico
Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina.	Osvaldo Aduvire		2018	SciELO
Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclорuro de aluminio.	Juan Miguel Cogollo Flórez		2010	Reladyc
Avances en el tratamiento de agua acidas de mina.	Luciana Cadorin Elvis Carissimi Jorge Rubio		2007	Dialnet

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Por lo general este ensayo se realiza para la determinación de la dosis óptima de los coagulantes y floculantes; donde los resultados de turbiedad obtenidos en las diferentes jarras para dosis variables de coagulantes son graficados; colocando los valores de turbiedad en el eje “Y” y la dosis en el eje “X”.

La dosis óptima se obtiene en el punto de inflexión, que es el punto mas bajo de la curva.

Los ensayos fueron realizados en el período comprendido entre marzo del 2019 a diciembre de 2019.

De los análisis fisicoquímicos de calidad del agua cruda se obtuvieron los resultados descriptos a continuación (Tabla 4.1). El pH natural se encontró cercano a la neutralidad.

Para la alcalinidad se hallaron valores necesarios para una correcta coagulación (Kawamura, 1996a; Barrenechea Martel, 2004b).

Tabla 4.1: Resultados de los análisis fisicoquímicos del agua cruda utilizada.

Parámetros [#]	Estadísticos descriptivos		
	Minino	Máximo	\bar{x} (s)
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	22	46	31,37
(6,83) Turbiedad (UNT)	30	96	44,4
(16,6) UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0,145	0,432	0,259 (0,076)
pH	7,18 (0,15)	7,72	7,45

[#]Calculado sobre un total de 21 muestras. \bar{x} : Media, s: Desviación estándar.

El aluminio del agua cruda en todos los casos se encontró por debajo de 0,1 mg Al/L. Los valores de hierro oscilaron entre un mínimo de 0,69 a un máximo de 0,83 mg Fe/L, con una media y dispersión de $0,76 \pm 0,07$.

La materia orgánica, medida como absorbancia UV254, alcanzó valores máximos de 0,432 cm-1 indicando su potencial como formador de los DBPs. La misma proviene principalmente del arrastre del suelo, y de reacciones biológicas, químicas y fotoquímicas que sufren los subproductos orgánicos derivados de la descomposición de plantas y animales en el medio acuoso (Rodríguez Vidal, 2003).

La turbiedad osciló en un amplio rango (30 – 96), debido a la presencia de partículas en suspensión provenientes del arrastre del suelo y a los distintos niveles hidrométricos que se presentaron a lo largo del período de ensayos.

En la mayoría de los casos, ambos parámetros (Turbiedad y NOM) aumentaron y disminuyeron en forma conjunta (Figura 4.1). Esto puede ser debido a que la turbiedad era causada mayoritariamente por materia orgánica tales como sustancias húmicas y compuestos aromáticos que absorben fuertemente la radiación UV (APHA; AWWA; WEF, 2005). Lo anteriormente expresado no se cumple en los ensayos realizados en el lapso de tiempo que transcurre entre febrero y junio de 2019.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Conclusiones

El uso de floculantes – coagulantes son nuevas alternativas que deben ser aplicados en los procesos de clarificación, debido a que son más económicos, y causan menos impacto sobre los ecosistemas por ser biodegradables.

La utilización de los coagulantes-floculantes en los procesos de clarificación de potable para el consumo humano, es de gran importancia en todos los ámbitos ya sea en zonas rurales o en minería.

El floculante-coagulante químico es más efectivo que los demás floculantes que existen como, por ejemplo, el sulfato de aluminio, etc. Logrando que el agua contaminada pueda ser clarificada en un 100% y preservando parámetros normales de turbidez y PH.

La clarificación es uno de los pasos a seguir para remover partículas suspendidas del agua ya que las mencionadas causan la turbidez en la misma. Pero gracias a los métodos de adición de compuestos químicos como coagulantes-floculantes permiten la aglomeración de partículas formando floc los cuales van decantando al fondo del agua debido a su mayor peso.

La potabilización del agua está compuesta por una serie de procesos que permiten el líquido en condiciones aptas para el consumo humano, para eso debe cumplir los LMP establecido por el ANA, y de esa manera garantizar su calidad.

REFERENCIAS

- Moscozo, A. (2015). *Almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. Guatemala, recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0462_MT.pdf.
- Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>
- Solier, L. (2014). *Evaluación de la eficiencia del floculante de sulfato de Aluminio y Polifloc (policloruro de aluminio) empleado en la depuración de aguas con baja turbiedad en la planta de tratamiento de agua potable Quicapata*. (tesis pregrado). Universidad nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú.
- Vargas, R. (2009). *La Investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.