



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL DE PREGRADO 2018



**Determinación de la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con
coagulante sulfato de aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento
de agua potable, Moyobamba**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

AUTOR:

Herbert Frank Olortegui Rodriguez

ASESOR:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N°. 6053718

Moyobamba – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL DE PREGRADO 2018



**Determinación de la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con
coagulante sulfato de aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento
de agua potable, Moyobamba**

AUTOR:

Herbert Frank Olortegui Rodriguez

Sustentada y aprobada el día 27 de agosto del 2019, por los siguientes jurados:

.....
Ing. M. Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera

Presidente

.....
Ing. M. Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz

Secretario

.....
Ing. Angel Tuesta Casique

Miembro

.....
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Asesor

Declaratoria de autenticidad

Herbert Frank Olortegui Rodriguez, con DNI N° 47112677, egresado de la Facultad de Ecología, Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Determinación de la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante sulfato de aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 27 de agosto del 2019.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Herbert', is written over a dotted line.

Bach. Herbert Frank Olortegui Rodriguez

DNI N° 47112677

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: OLORTEGUI RODRIGUEZ HERBERT FRANK	
Código de alumno : 125240	Teléfono: 995636991
Correo electrónico : eliasolortegui92@hotmail.com	DNI: 49112677

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: ECOLOGIA
Escuela Profesional de: INGENIERIA SANITARIA

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: DETERMINACION DE LA VELOCIDAD OPTIMA DE SEDIMENTACION DE FLOCULOS FORMADOS CON COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO TIPO "A" DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, MOYOBAMBA
Año de publicación: 2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.




Firma del Autor

-
8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

23 / 12 / 2019




Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres y abuelos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Herbert Frank

Agradecimiento

A Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que amo y me aman.

A la Universidad Nacional de San Martín – Facultad de Ecología, por permitirme convertirme en un ser profesional y en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado a un estudiante graduado, y como recuerdo y prueba viviente, esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

Índice general

	Pág.
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Base teórica	5
1.3. Definición de términos	36
CAPÍTULO II.....	39
MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
2.1. Materiales	39
2.2. Métodos	40
CAPÍTULO III	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1. Resultados.....	45
3.1.1. Velocidad óptima de sedimentación de flóculos.	45
3.1.2. Condiciones reales del proceso de sedimentación.	51
3.1.3. Comportamiento de las nanopartículas responsables de la turbidez.....	51
3.2. Comprobación de la hipótesis	52
3.3. Discusiones.....	53
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	61
Anexo A. Mapa y plano de ubicación de la PTAP - MOYOBAMBA.....	61
Anexo B. Ficha técnica del Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$).....	63
Anexo C. Hoja de datos de seguridad del Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$)	64
Anexo D. Panel fotográfico del proceso de investigación.....	67

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad del Agua.....	9
Tabla 2. Requisitos químicos del Sulfato de Aluminio granulado tipo A.....	22
Tabla 3. Tipos de sedimentación según el sentido del fluido	30
Tabla 4. Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación	30
Tabla 5. Métodos de ensayo	41
Tabla 6. Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 1.....	45
Tabla 7. Cálculo del floc remanente del ensayo 1	45
Tabla 8. Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 2.....	46
Tabla 9. Cálculo del floc remanente del ensayo 2.....	47
Tabla 10. Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 3.....	48
Tabla 11. Cálculo del floc remanente del ensayo 3	48
Tabla 12. Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 4.....	49
Tabla 13. Cálculo del floc remanente del ensayo 4.....	50

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Tamaño de sólidos.....	8
Figura 2. Coloide	12
Figura 3. Fuerzas actuantes en la desestabilización	13
Figura 4. Coagulación.....	14
Figura 5. Modelo esquemático del proceso de coagulación	15
Figura 6. Coagulación por adsorción.....	16
Figura 7. Coagulación por barrido.....	17
Figura 8. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión.....	18
Figura 9. Reestabilización de Partículas.....	18
Figura 10. Sistemas de aplicación del coagulante	25
Figura 11. Velocidad de caída de la partícula en un fluido con velocidad horizontal.....	31
Figura 12. Velocidad de caída de la partícula en un fluido con velocidad vertical.....	31
Figura 13. Índices de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo	32
Figura 14. Curva de variación de eficiencia en función de la velocidad de sedimentación	33
Figura 15. Equipo prueba de jarras PHIPPS & BIRD PB-900.....	43
Figura 16. Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 1	46
Figura 17. Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 2.....	47
Figura 18. Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 3.....	49
Figura 19. Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 4.....	50

Resumen

Uno de los procesos más ampliamente usados en el tratamiento de agua es la sedimentación al cual se le atribuye la importancia que lo requiere, en la presente investigación se realizaron cuatro ensayos para determinar la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante Sulfato de Aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba, obteniendo resultados variables e inversamente proporcional al tiempo de sedimentación, expresados mediante el floc removido en términos porcentuales, las cuales muestran la curva óptima en los cuatro ensayos respectivos donde se obtuvo velocidades variables aplicando el coagulante a diferentes concentraciones como $C_1=10$ mg/L, $C_2=15$ mg/L, $C_3=20$ mg/L, $C_4=30$ mg/L, $C_5=40$ mg/L y $C_6=50$ mg/L en cada jarra con tiempos de sedimentación de $t_1 = 1$ min, $t_2 = 3$ min, $t_3 = 5$ min, $t_4 = 10$ min, $t_5 = 15$ min, $t_6 = 20$ min, $t_7 = 25$ min y $t_8 = 30$ min, con los resultados se presenta la curva: floc removido vs. Tiempo de sedimentación donde se muestran las eficiencias de las pruebas con agua cruda y coagulante Sulfato de Aluminio tipo A ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a una concentración de 50 mg/L se observa una mejor eficiencia en todos los tiempos de sedimentación y una velocidad de sedimentación variable en cada jarra.

Palabras Claves: Velocidad óptima, sedimentación, floc, coagulante.

Abstract

One of the processes most widely used in the treatment of water is sedimentation which is attributed the importance that requires it, in the present investigation four tests were performed to determine the optimal sedimentation rate of flocs formed with coagulant Aluminum Sulfate type "A" of the drinking water treatment plant, Moyobamba, obtaining variable results and inversely proportional to the sedimentation time, expressed through the floc removed in percentage terms, which show the optimal curve in the four respective tests where variable speeds were obtained applying the coagulant at different concentrations such as $C_1 = 10 \text{ mg / L}$, $C_2 = 15 \text{ mg / L}$, $C_3 = 20 \text{ mg / L}$, $C_4 = 30 \text{ mg / L}$, $C_5 = 40 \text{ mg / L}$ and $C_6 = 50 \text{ mg / L}$ in each jar with sedimentation times of $t_1 = 1 \text{ min}$, $t_2 = 3 \text{ min}$, $t_3 = 5 \text{ min}$, $t_4 = 10 \text{ min}$, $t_5 = 15 \text{ min}$, $t_6 = 20 \text{ min}$, $t_7 = 25 \text{ min}$ and $t_8 = 30 \text{ min}$, with the results presents the curve: floc removed vs. Sedimentation time showing the efficiencies of the tests with raw water and coagulant aluminum sulfate type A ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) show positive and negative random efficiencies, however, at a concentration of 50 mg / L a better efficiency in all sedimentation times and a variable sedimentation rate in each jar.

Keywords: Optimum velocity, sedimentation, floc, coagulant.



Introducción

La calidad del agua es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud. (OMS, 2008).

Es por ello que muchos países del mundo han optado por diversos sistemas de tratamiento de agua para así convertirla en apta para su consumo, y de esa manera prevenir enfermedades ligadas a su uso. Uno de los procesos más imperiosos representa la remoción de partículas suspendidas en forma de turbiedad, color, o bacterias, protozoarios y virus. Como tratamientos vanguardistas podemos citar la precipitación química, que incluye el ablandamiento y la desferrización, la alcalinización, la ósmosis inversa, la filtración en membranas, fluoración, etc., que son usadas muy comúnmente en Norteamérica y Europa. Tenemos que reconocer, sin embargo, que en la clarificación, no obstante a pesar de los avances conseguidos en las últimas décadas, todavía estamos ligados a los fenómenos naturales conocidos desde épocas remotas, como la decantación de las partículas con mayor densidad que el agua y la percolación de ellas a través de lechos porosos granulares. (Arboleda, 2000).

En nuestro país aproximadamente el 87.5% de la población peruana tiene acceso al servicio de agua potable, los cuales en su mayoría son tratados utilizando una planta de tratamiento convencional. (INEI, 2016).

En la región San Martín se puede verificar que la mayoría de localidades cuentan solo con tratamientos de clarificación física, usando comúnmente desarenadores o sedimentadores que permiten clarificar el agua removiendo las partículas más densas que el agua. El problema impera en aquellas partículas con densidades muy cercanas al agua que se resisten a ser removidas. Uno de los tratamientos universales para la remoción de este tipo de partículas representa la coagulación- floculación, que consiste en la dispersión de productos químicos que desestabilizan las partículas en suspensión formando grandes aglomerados que serán fáciles de sedimentar. Las partículas formadas tras la coagulación- floculación reciben el nombre de floculos, estos aglomerados deberían decantar en un

tiempo económicamente aceptable en el sedimentador, por lo cual es de suma importancia la rapidez con la que realizan tal hazaña. (SUNASS, 2017)

En la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Moyobamba se realiza el proceso de coagulación haciendo uso del coagulante Sulfato de Aluminio tipo “A”, el agua coagulada pasa por una unidad de floculación para luego ir a dos decantadores horizontales. En la mayoría de los casos se ha podido verificar en los decantadores, el escape de muchos floculos que no logran sedimentarse totalmente y que van a parar en los filtros produciendo así su colmatación, siendo necesario retrolavados muy frecuentes que constantemente deterioran las denominadas estructuras. La labor será calcular la velocidad de sedimentación óptima de las floculos formados que permita el mayor porcentaje de remoción en el decantador, para ello haremos una simulación de coagulación-floculación con el equipo de prueba de jarras, y en base a valores de turbiedad tomados en ciertos periodos se procederá a determinar la velocidad con la cual estos sedimentan. Las pruebas de velocidad de sedimentación podrán ser útiles para comparar el trabajo de varias dosis de coagulantes, para comparar el trabajo de coagulantes distintos o para analizar los periodos de detención en los decantadores (EPS, 2016).

Ante ello se formula el siguiente problema:

¿Se determinará la velocidad óptima de sedimentación de floculos formados con coagulante Sulfato de Aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba?

La investigación se justifica, ya que aporta a que el agua destinada al consumo humano debe mostrar particularmente bajos contenidos de partículas suspendidas y coloidales para presentarse en condiciones aptas y poder ser utilizada e ingerida por la población de los diferentes estratos económicos. Esto se puede lograr si recurrimos a pruebas de dosificación y sedimentación donde podamos conocer la dinámica de las partículas floculentas durante el proceso, con ello podríamos disminuir el uso excesivo de coagulante, también el valor de la velocidad óptima de sedimentación servirá para conocer las dosis exactas de aplicación de coagulantes. Además, los datos de velocidad de sedimentación servirán como referencia para posteriores ampliaciones en el diseño de decantadores, para analizar los periodos de detención de estos y así favorecer a que estas estructuras operen con una correcta carga superficial, de manera que las partículas

floculentas adquieran una velocidad de caída tal que puedan llegar al fondo del decantador en un tiempo económicamente aceptable.

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante Sulfato de Aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba.

La cual se logró mediante los objetivos específicos que son los siguientes: 1) Determinar diversas velocidades de sedimentación usando distintas dosis de coagulante sulfato de Aluminio Tipo A.; 2) Crear las condiciones reales del proceso de sedimentación haciendo uso del equipo prueba de jarras. 3) Evaluar el comportamiento de las nanopartículas responsables de la turbidez.

La hipótesis de la investigación fue: Mediante la aplicación del coagulante sulfato de aluminio tipo A, se puede determinar la velocidad óptima de sedimentación de los floculos.

La estructura de la tesis comprende: capítulo I, revisión bibliográfica, en la cual se revisó información e investigaciones realizadas anteriormente de las cuales se pudo apoyar la investigación; capítulo II, materiales y métodos, en los cuales se detalla los procedimientos realizados para la determinación de la velocidad de sedimentación de floculos con coagulante sulfato de aluminio tipo A y los análisis de las muestras tratadas para conocer la turbidez; capítulo III, resultados y discusión, en los cuales se muestra y explica los resultados, asimismo, se realiza la discusión de los resultados con respecto a anteriores investigaciones.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Jorand et al. (1995) en su publicación “Sedimentación Zonal” afirma que muchos autores han intentado obtener una expresión para la velocidad de sedimentación de una suspensión formada por flóculos a partir de la ecuación de Stokes, lo que se señala es que los flóculos que presentan una estructura heterogénea no pueden considerarse como partículas impermeables, por lo que la ley de Stokes no se puede utilizar para describir su velocidad de sedimentación.

Moreno (2013) en su tesis “Determinación experimental de la velocidad de caída de sedimentos cohesivos en suspensión” tuvo como objetivo general proponer un modelo para determinar la velocidad de caída de sedimentos cohesivos provenientes de comida para peces, que toma en cuenta la variación de la densidad de estos con el tamaño del agregado y el efecto de la turbulencia generado por un flujo circular propio de los tanques de recirculación para acuicultura, en la cual concluye que se pudo determinar que los difusores deben ser convenientemente distribuidos en la columna de agua del tanque de manera que las mayores velocidades ocurran cerca de la superficie y las menores cerca del fondo. De esta manera se facilita el proceso de coagulación por contacto en la parte superior de la columna de agua y el proceso de sedimentación en la parte inferior de la columna de agua. La configuración utilizada es representativa de este tipo de comportamiento, el brazo en la parte superior incrementa las velocidades cerca de la superficie y los difusores en el fondo están dispuestos a contraflujo para disminuir la velocidad en el fondo.

Asensi & Enrique (2015) en su tesis doctoral “Estudio y modelización de la velocidad de sedimentación zonal y de la aceleración de los fangos activados” concluye que al representar gráficamente la velocidad de sedimentación zonal final en función de la concentración de SS, se observa que existe una concentración de SS denominada concentración de SS crítica (SS_c), donde se produce un descenso brusco de la velocidad de sedimentación final. El incremento relativo de velocidad (V_f/V_i) es mucho mayor para $SS < SS_c$ que para $SS > SS_c$.

1.2. Base teòrica

Parámetros químicos y físicos del agua

Parámetros químicos.

Dureza

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio.

La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda (Romero, 2009).

Alcalinidad

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa (Romero, 2009).

Acidez

La acidez de un agua se puede definir como su capacidad para neutralizar bases, capacidad para reaccionar con iones hidróxido o como su capacidad para ceder protones. La determinación de la acidez es importante debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que suponen la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión (Romero, 2009).

pH

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación.

Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados (Arboleda, 2000).

Fosfatos

Es muy común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de la vida acuática y ayudantes del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etc. Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua (Romero, 2009).

Hierro

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua. La remoción del hierro de las aguas crudas superficiales es relativamente fácil con los procesos comunes de remoción de la turbiedad (Romero, 2009).

Nitritos y Nitratos

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos (Romero, 2009).

Sulfatos

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido (Arboleda, 2000).

Cloruros

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar la calidad del agua. A partir de ciertas concentraciones, los cloruros

pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo. El método tradicional, que puede resultar más eficiente y práctico para su remoción, es el de la destilación (Arboleda, 2000).

Parámetros físicos.

Turbidez

La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo (Romero, 2009).

Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el Al^{+3} o el Fe^{+3} (Arboleda, 2000).

Olor – Sabor

El agua es inodora e insípida pero al igual que el color, son los sólidos en suspensión y disueltos los que pueden proporcionar olor y sabor al agua. Puesto que estas características son de apreciación muy personal, son muy difíciles de poder cuantificar (Romero, 2009).

Conductividad

La conductividad representa la capacidad para conducir la electricidad, por lo que el factor que más influye en ello es la presencia de sales disueltas, es decir, los iones presentes. La conductividad se mide en un conductímetro (Romero, 2009).

Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento de agua y análisis de laboratorio. Por otro lado, influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la desinfección y los procesos de mezcla, la floculación, sedimentación y filtración. La temperatura del agua varía según la región geográfica y el clima, en general, mientras no exceda los 30 °C no presenta problemas mayores (Barrenechea, 2004).

Sólidos

Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos. La distribución de partículas en el agua según su tamaño, es:

- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir el color u olor del agua.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1 000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1 000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo y son también causantes de la turbiedad.

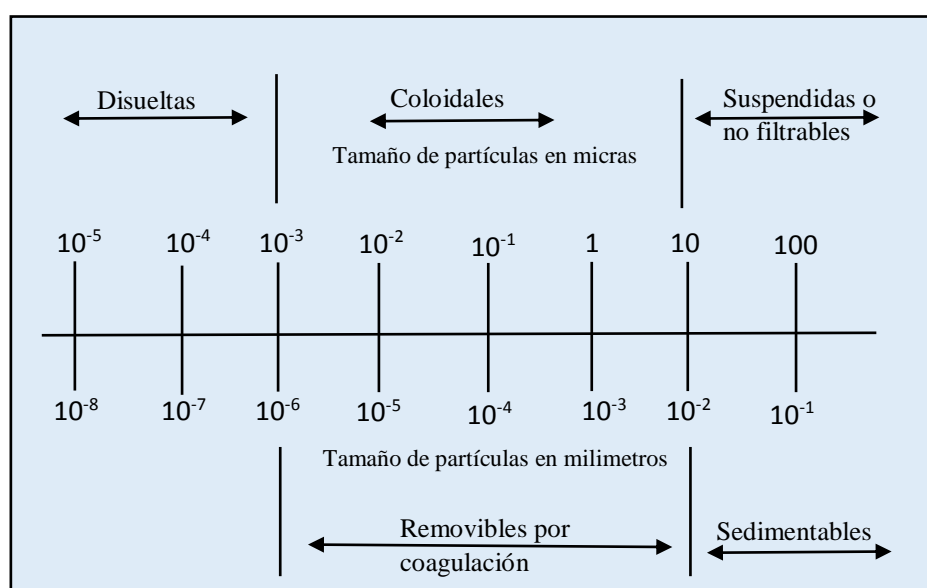


Figura 1. Tamaño de sólidos. (Fuente: Arboleda, 2000).

Calidad de agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (Barrenechea, 2004).

Límites Máximos Permisibles (LMP)

Miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva (minería, hidrocarburos, electricidad, etc.), que al exceder causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (D.S. N° 031-2010-SA).

Tabla 1

Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad del Agua

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	L.M. P
01	Turbiedad	U.N. T	5.0
02	pH	Potencial de Hidrógeno	6.5-8.5
03	Conductividad	µS/cm	1500
04	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000
05	Oxígeno Disuelto	mg/L	≥6
06	Sulfatos	mg/L	250
07	Nitratos	mg/L	10
08	Cloruros	mg/L	250
09	Aluminio	mg/L	0.20
10	Hierro	mg/L	0.30
11	Manganeso	mg/L	0.40
12	Dureza Total	mg/L	500
13	Oro	mg/L	N. D
14	Sodio	mg/L	200
15	Arsénico	mg/L	0.01
16	Cobre	mg/L	2.0
17	Zinc	mg/L	3.0
18	Coliformes Totales	NMP/100 mL	0
19	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0

Fuente: D.S. N° 031-2010-SA.

Impurezas del agua

El agua en su forma molecular pura no existe en la naturaleza , por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera según el tamaño de disgregación del material que acarrea . Por otra parte , de acuerdo con el tipo de impurezas presentes , el agua puede aparecer como turbia , coloreada , o ambas. Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas (Arboleda,2000).

Naturaleza de la turbiedad

La turbiedad esta principalmente formada por arcillas en dispersión. El termino arcilla comprende una gran variedad de compuestos , pero general se refiere a la tierra fina . químicamente son silicatos de aluminio. La turbiedad, que no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso , puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o a crecimientos bacterianos (Arboleda, 2000).

En general la turbiedad del agua es causado por las partículas de materias inorgánicas (arcillas, partículas de lodo), en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal (Andía, 2000).

Coloides

Son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden ser removidos del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. Son sustancias responsables generalmente de la turbiedad y del color del agua, y su diámetro varía entre 1 – 100 nanómetros (nm). (Arboleda, 2000).

Clasificación de coloides

Moleculares: Están constituidos por sustancias polimeras formadas por largas cadenas orgánicas con pesos moleculares muy grandes (15000-100000) y tamaños entre 102 y 5.102 m μ . Como ejemplos podemos citar a la gelatina, las proteínas, el almidón ,etc.

Micelares: Son coloides formados por la asociación de moléculas más pequeñas de minerales, ejemplo oro o compuestos orgánicos (detergentes ,jabones).

Liofílicos: Están constituidos por las dispersiones moleculares de sustancias poliméricas o sustancias aglutinadas en tamaño coloidal, que tienen una fuerte atracción por el solvente, y reaccionan químicamente con el agua, en la cual están dispersadas. (ejemplo jabones, detergentes, etc)

Liofóbicos: Están formadas por sustancias insolubles en el dispersante (ejemplo: arcillas, metales) y por lo mismo son mucho más inestables que los liofílicos.

Diuturnos: son aquellos coloides que no se modifican o se aglutinan durante mucho tiempo comparado con el periodo de observación.

Caducos: son aquellos coloides transitorios que se aglutinan o cambian rápidamente. Los coloides además pueden ser orgánicos como las proteínas o las grasas o inorgánicos como el oro o las arcillas minerales.

Propiedades de los coloides

Movimiento browniano: consiste en el movimiento constante e irregular que realizan las partículas coloidales dentro de la fase líquida. Se llama así en honor al botánico escocés Robert Brown (1773-1858). La teoría cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo desigual y causal de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido. (Arboleda, 2000)

Difusión: Tiene relación estrecha con el movimiento browniano. El movimiento incesante de las moléculas del líquido ocasiona que las partículas coloidales se encuentren en movimiento browniano constante, lo que a su vez acarrea una tendencia de las partículas coloidales a dispersarse por todas partes en el disolvente (Arboleda, 2000).

Presión osmótica: Debido al movimiento browniano, si la concentración de partículas en un líquido no es uniforme, se produce un flujo de material desde las zonas de alta concentración hacia las de baja concentración hasta alcanzar un equilibrio. La presión generada por el flujo recibe el nombre de presión osmótica (Arboleda, 2000).

Efecto Tyndall –Faraday: Describe el fenómeno de dispersión de la luz al pasar a través de una suspensión coloidal. La dispersión es directamente proporcional al tamaño de las partículas.

Adsorción: las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica. Esta propiedad les permite a las partículas desafiar a la ley de la gravedad y, por lo tanto, impiden su remoción por sedimentación simple. Debido a su gran área superficial, los coloides absorben iones en cantidades desiguales, originando a la formación de una carga eléctrica que contribuye a su estabilidad.

Carga eléctrica y doble capa de los coloides

Las partículas coloidales poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas son llamadas cargas primarias que atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos. Los iones que se adhieren fuertemente y se desplazan con ella, forman la capa comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa; por lo tanto hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta (Romero, 2005).

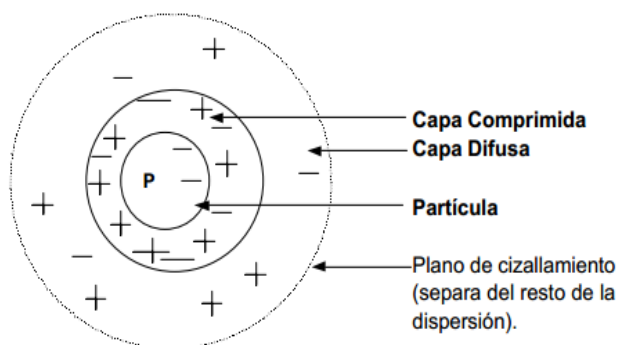


Figura 2. Coloide. (Fuente: Pérez et al., 2010).

Estabilidad e inestabilidad de los coloides

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes fuerzas:

Fuerzas de atracción de Van der Waals

Son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de partículas, factores de inestabilidad. Otra fuerza de atracción puede ser la gravedad.

Fuerzas de repulsión electrostáticas

Son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras, factor de estabilidad, es decir generan repulsión entre ellas (Gómez, 2005).

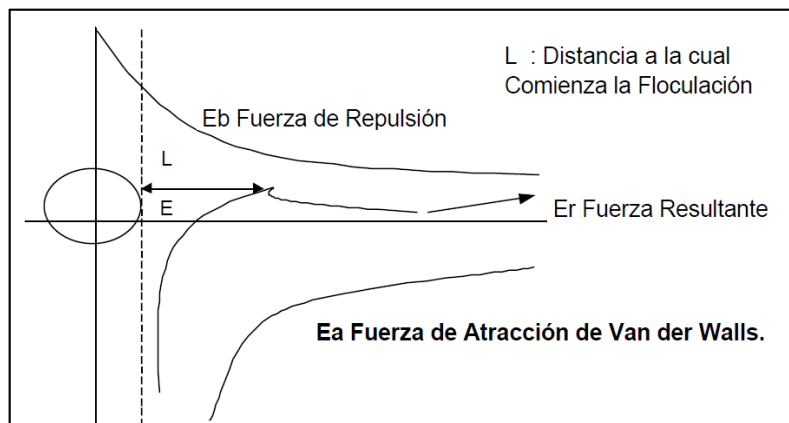


Figura 3. Fuerzas actuantes en la desestabilización. (Fuente: Arboleda, 2000)

Teoría de la coagulación

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las cargas eléctricas de partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; se produce al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. En otras palabras es el proceso por el cual se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores que precipiten (Andía, 2000).

La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y no precipitan. Gracias al proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas.

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

En la siguiente figura 4 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

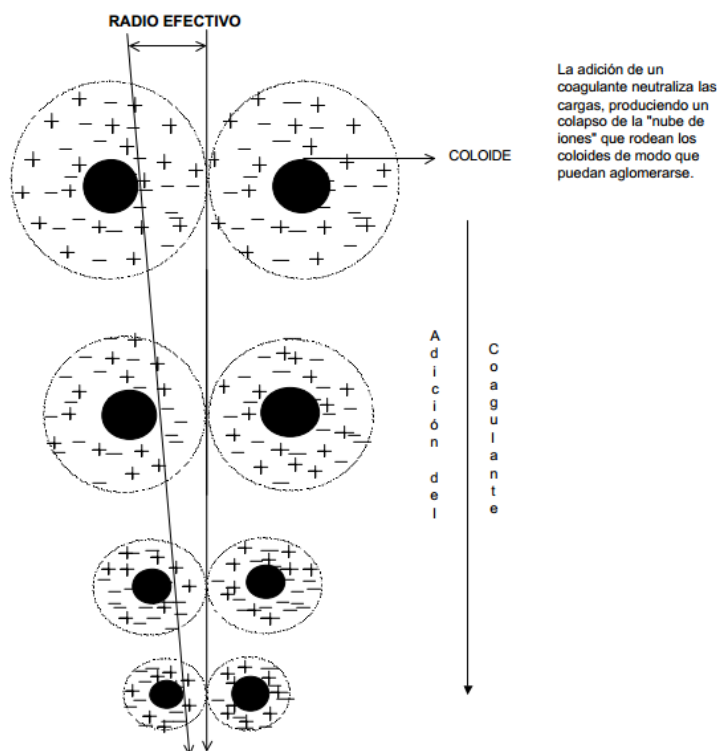


Figura 4. Coagulación. (Fuente: Andía, 2000)

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante esta mal ajustada (Andía, 2000).

Cinética o etapas de la coagulación

Stumm y O'Melia identificaron varias etapas en el proceso de coagulación.

- a. Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- b. Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- c. Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.

- d. Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van der Waals.
- e. Formación de los flóculos.
- f. Precipitación del hidróxido metálico.

Algunas de estas etapas ocurren secuencialmente. Otras coinciden parcialmente y otras incluso pueden ocurrir simultáneamente. Se puede suponer que las diferentes etapas de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diversas condiciones químicas (Barrenechea, 2004).

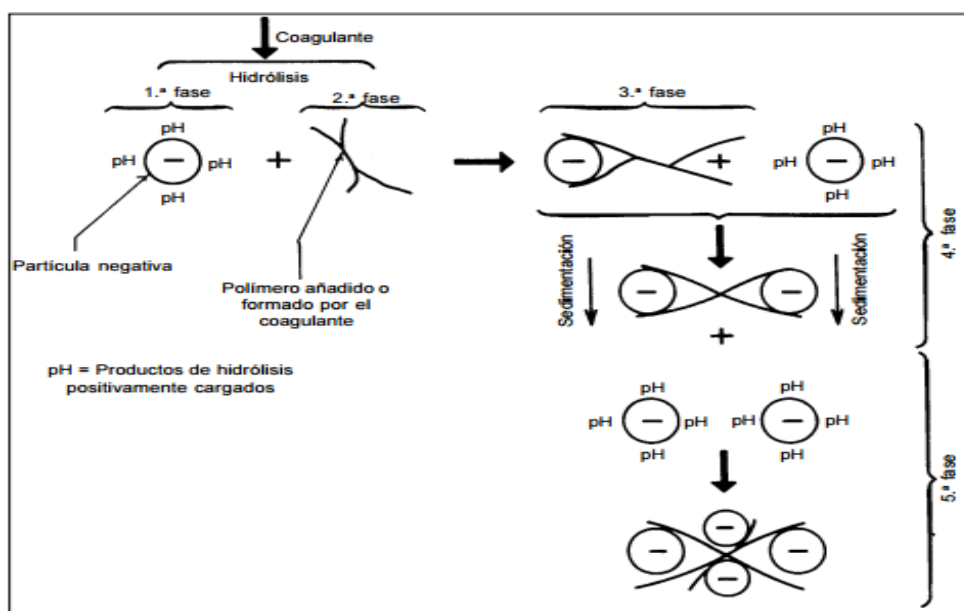


Figura 5. Modelo esquemático del proceso de coagulación. (Fuente: Barrenechea, 2004)

Mecanismos de la coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- ✓ Compresión de la doble capa.
- ✓ Adsorción y neutralización de cargas.
- ✓ Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- ✓ Adsorción y puente.

Compresión de la doble capa

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

Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción "Ea," entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a las fuerzas de repulsión, las fuerzas de Van der Waals no son afectados por las características de la solución (Andía, 2000).

Adsorción y neutralización de cargas

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

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua. Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación –floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original. (Arboleda, 2000).

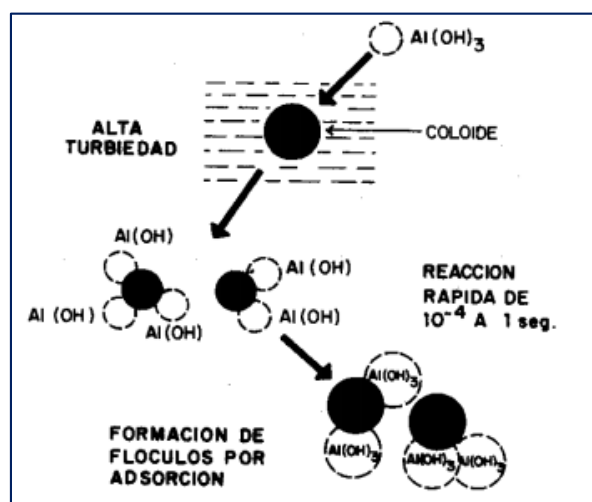


Figura 6. Coagulación por adsorción. (Fuente: Pérez et al., 2010)

Atrapamiento de partículas en un precipitado-Barrido

Cuando la dosis de un coagulante de sales metálicas en solución como el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 excede el producto de solubilidad de sus hidróxidos metálicos como el $\text{Al}(\text{OH})_3$ y el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, se produce una precipitación rápida de los hidróxidos gelatinosos que explica el fenómeno de remoción de turbiedad. En este caso, las partículas coloidales son envueltas por los precipitados y, como este mecanismo no depende de la neutralización de la carga de los coloides, la condición óptima de la coagulación puede no corresponder a aquella donde es mínimo el potencial zeta.

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, o Cloruro Férrico FeCl_3 , el floc está formado de moléculas de $\text{Al}(\text{OH})_3$ o de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales aceleran la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante. (Andía, 2000).

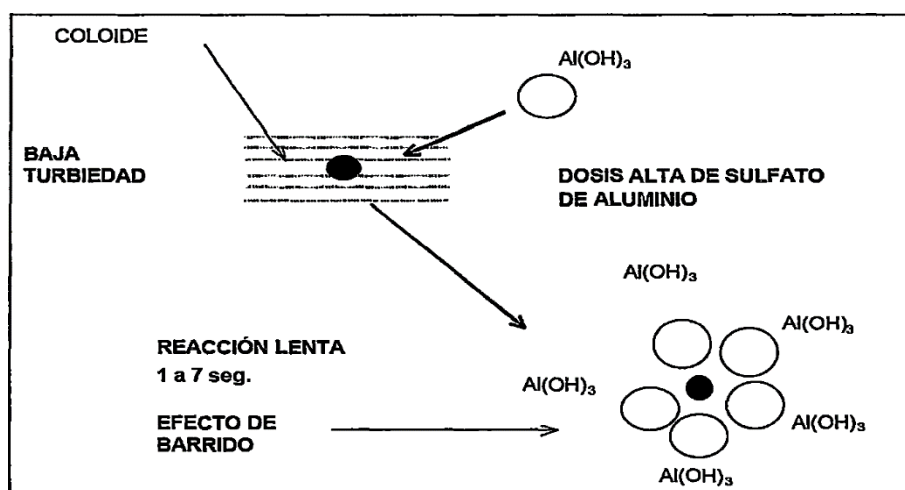


Figura 7. Coagulación por barrido. Fuente: (Pérez et al., 2010)

Adsorción y formación del puente.

La coagulación puede realizarse también usando una variedad significativa de compuestos orgánicos sintéticos y naturales caracterizados por grandes cadenas

moleculares, que gozan de la propiedad de presentar sitios ionizables a lo largo de la cadena y de actuar como coagulantes.

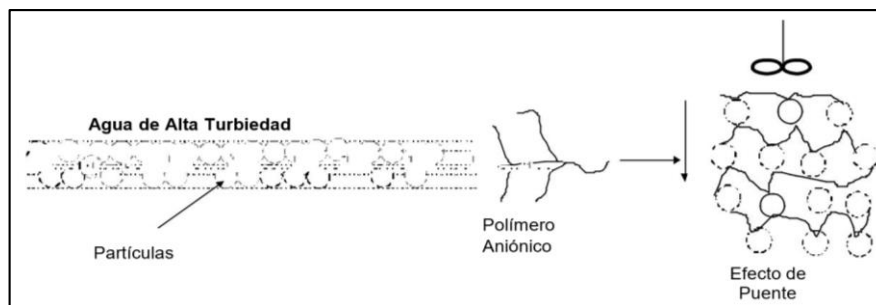


Figura 8. Efecto de Puente de las Partículas en Suspensión. (Fuente: Andía, 2000)

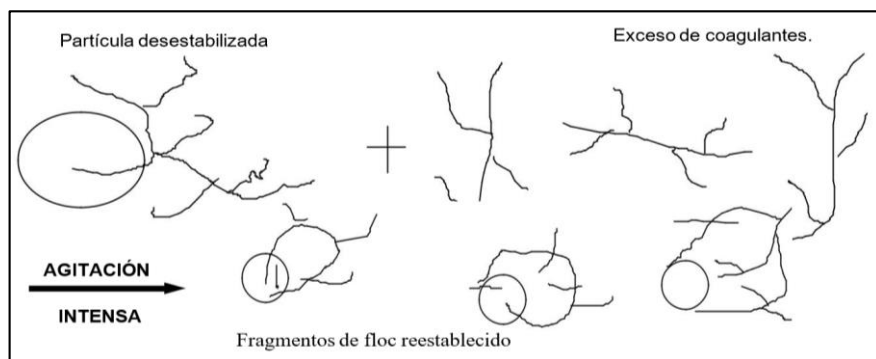


Figura 9. Reestabilización de Partículas. (Fuente: Andía, 2000)

Coagulantes utilizados

Los coagulantes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. (Andía, 2000)

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

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

Sulfato de aluminio

Conocido como Alumbre, el producto comercial presenta la fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, es el coagulante más empleado en el tratamiento de agua, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Está constituido por una sal de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas, debe tenerse en cuenta esto al proceder a su almacenamiento, preparación y distribución. El coagulante se empaca de diversas maneras: en polvo, molido, en terrones, en granos, y en forma líquida. El alumbre en su forma sólida se empaca normalmente en quintales de 25 y 50 kg.

Se puede presentar en 3 formas:

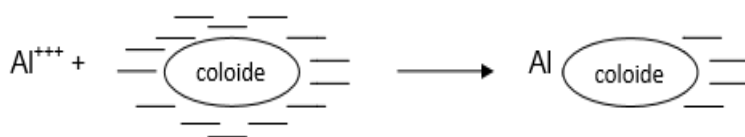
Blanco; es más costoso debido a que posee una característica que no es indispensable (libre de hierro).

Amarillo; es el más común y económico, se produce mediante la reacción del ácido sulfúrico comercial con la bauxita pulverizada.

Negro; mezcla homogénea de sulfato de aluminio (blanco o amarillo) con 2 a 5% de carbón activo. Se utiliza para el control del sabor y del olor.

El producto comercial tiene la fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y SO_4^- . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.



Reduciendo así el potencial zeta a un valor en el que las partículas puedan unirse. El Al^{+++} puede también combinarse con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.



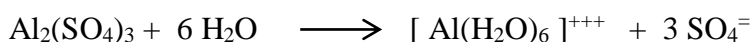
y,



Química de coagulación con aluminio

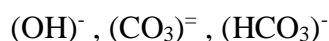
El sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenamiento suele convertirse en terrones relativamente duros.

Cuando está en solución se encuentra hidrolizado, esto es, asociado con el agua, así:



Los iones de Aluminio hidratados $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+++}$ actúan como un ácido en el sentido Bronsted y reaccionan por lo tanto con las bases que encuentran en el agua así:

1. Con la alcalinidad, que se expresa como:

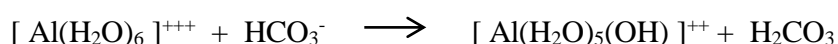
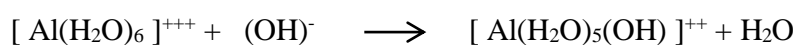


2. Con las moléculas de agua

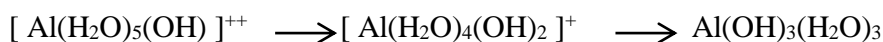
Como las bases que constituyen la alcalinidad son más frecuentes que el H_2O , el $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+++}$ reacciona siempre antes con ellas, que con las moléculas de agua. Por lo tanto habrá un consumo y un descenso del pH.

Reacciones con la alcalinidad

Las reacciones con la alcalinidad, desde el punto de vista de la teoría de ácidos y bases, ocurren con más facilidad que las reacciones con el agua. Pueden expresarse de la siguiente manera:

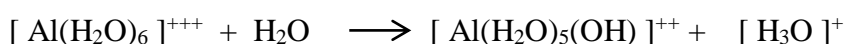


El $[Al(H_2O)_5(OH)]^{++}$ es un compuesto inestable y transitorio que se hidroliza rápidamente, reemplazando un H_2O por un $(OH)^-$ así :



El producto final es un Hidroxido de Aluminio insoluble que precipita a ciertos pH formando así el floculo.

Cuando toda la alcalinidad se consume (si se consume), el ion de Aluminio hidratado reacciona con el agua , que es una base débil :



Como en el caso anterior $[Al(H_2O)_5(OH)]^{++}$ es considerado como un compuesto transitorio, que se hidroliza para producir Hidróxidos de Aluminio.

Entre las ventajas y desventajas del sulfato de aluminio tenemos:

- Conocido, buena disponibilidad.
- Las plantas generalmente están diseñadas para operar con el sulfato de aluminio.
- Los operadores están capacitados y conocen su comportamiento.
- Las autoridades no cuestionan su uso.
- Forma un flóculo blanco casi visible.
- Se requiere un control de pH.
- rango de trabajo de pH muy limitado.
- Problemas con agua de alta turbiedad.
- Muchas veces requiere un ayudante de coagulación.
- Problemas con el alto contenido de aluminio residual.

Sulfato de aluminio granulado tipo A

El Sulfato de Aluminio en solución Tipo A es manufacturado a partir de una materia prima y rica en aluminio (libre de Hierro) y ácido sulfúrico, mediante un proceso que garantice su calidad.

Tabla 2*Requisitos químicos del Sulfato de Aluminio granulado tipo A*

Parámetros	Especificación
Aluminio, Al₂O₃, %	17.0 mín.
Basicidad, Al₂O₃, %	0.60 máx.
Hierro, Fe₂O₃, %	0.05 máx.
Insolubles, %	0.20 máx.
Malla 6, % Pasante	100 min
Malla 10, % Pasante	60 mín.

Fuente: (OPS/CEPIS, 1992).

Factores que influyen en la coagulación.

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

- ✓ pH.
- ✓ Turbiedad.
- ✓ Sales disueltas.
- ✓ Temperatura del agua.
- ✓ Tipo de coagulante utilizado.
- ✓ Condiciones de Mezcla.
- ✓ Sistemas de aplicación de los coagulantes
 - ✓ Tipos de mezcla y el color.

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

Influencia del pH.

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$\text{pH} = -\log\{\text{H}^+\}$$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta. Para sales de aluminio el

rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades (Arboleda, 2000).

Influencia de las sales disueltas

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace mas lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación (Arboleda, 2000).

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

Influencia de la dosis del coagulante

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre :

- La buena o mala calidad del agua clarificada.
- El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

Influencia de mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente (Arboleda, 2000).

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

Influencia de la turbiedad

La turbiedad del agua superficial es en gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permiten hacer las siguientes predicciones:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una presedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.
- Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, por que requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

Sistema de aplicación del coagulante

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

La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.

El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable; en la figura 10 se observan las condiciones de mezcla del coagulante con el agua; se observa que la mejor mezcla es cuando el coagulante adicionado cae en su totalidad a la masa de agua. Esta condición se obtiene por medio de los equipos de dosificación tanto para los coagulantes al estado sólido y estado líquido, que deben encontrarse calibrados y comprobados en la práctica por medio de las pruebas de aforamiento.

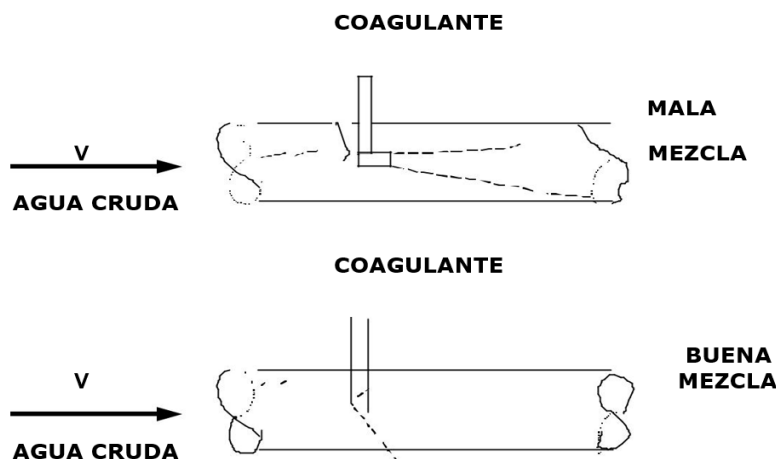


Figura 10. Sistemas de aplicación del coagulante. Fuente: (Pérez et al., 2010)

Teoría de la floculación

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la

suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar floculos o grumos que crecen con el tiempo (Arboleda, 2000).

La floculación consiste en la aglomeración mediante la agitación moderada del agua de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico (flóculos). Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración. La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coagulos mayores (Arboleda, 2000).

Tipos de floculación.

Hay 2 tipos de floculación:

Floculación Pericinética

Esta producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

Floculación ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

Parámetros operacionales en la coagulación-floculación

Investigaciones realizadas en las últimas décadas han demostrado que para cada tipo de agua existen parámetros de diseño específicos que optimizan los procesos y producen la máxima eficiencia remocional. (CEPIS, 2003)

La determinación de los parámetros de los procesos mediante simulación en el laboratorio es necesaria en la fase de proyecto para determinar las dimensiones de las unidades de la

planta o para rehabilitar u optimizar sistemas existentes. Ello servirá para determinar si las unidades están operando de acuerdo con las condiciones que el agua requiere durante la operación de una planta además permitirá ajustar los procesos a las mencionadas condiciones. (Pérez et al., 2010)

Dosis óptima de coagulante

En el proceso de coagulación, O'Melia y Stumm han demostrado la existencia de una dosis óptima que varía en función del pH y de la concentración de coloides presente en el agua cruda. Los autores encontraron que con dosis menores que la óptima no se desestabilizan los coloides y con dosis mayores, se pueden llegar a reestabilizar, lo que deteriora la calidad del efluente.

En floculación, Villegas & Letterman (1976), demostraron que la dosis óptima (D), el tiempo de retención (T) y el gradiente de velocidad (G) interactúan de acuerdo con la relación $GT^n = K$, en la cual (n) y (K) dependen de cada tipo de agua.

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales en la planta y hace que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro. (Arboleda, 2000)

Prueba de jarras

El aparato prueba de jarras fue desarrollado entre 1918 y 1921 por Langelier y Baylis, separadamente. Consta básicamente de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultáneamente en 6 vasos de precipitado. En el mismo se trata de reproducir las condiciones en las cuales se produce la floculación en la planta de tratamiento. (Arboleda, 2000)

Las pruebas de jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y la floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para filtración directa (Arocha, 1997).

Condiciones de la prueba de jarras

Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales del proceso como son:

Mezcla rápida

El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo (Pérez, 1992).

Mezcla lenta

Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar OPS/CEPIS (1992).

Reposo (Sedimentación).

Durante este tiempo los coloides sedimentan por gravedad y se obtiene el agua clarificada.

La sedimentación en el proceso de potabilización de agua

Una vez coagulada y floculada el agua, el problema consiste en separar los sólidos del líquido o sea las partículas floculentas del agua donde están suspendidas.

Esto se puede conseguir por medio de sedimentación, filtración o combinación de ambos procesos, que es lo más utilizado.

La sedimentación y la filtración deben considerarse como procesos complementarios. La sedimentación realiza la separación de las partículas más densas que el agua, y que tengan una velocidad de sedimentación, tal que permita que lleguen al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración en cambio, separa aquellas partículas de una densidad próxima a la del agua y de baja velocidad de sedimentación o que son resuspendidas por cualquier causa, y que por esto, no son removidas en la sedimentación. (Pérez, 1992).

Tipos de sedimentación:

- **Sedimentación simple.** Cuando las partículas que se asientan son discretas, o sea partículas que no cambian de forma, tamaño o densidad durante el descenso en el fluido. La sedimentación simple es, por ejemplo, lo que ocurre en un tanque desarenador que se coloca contiguo a la bocatoma y cuyo objeto es separar la arena del agua (Pérez, 1992).
- **Sedimentación inducida:** cuando las partículas que se sedimentan son aglomerables, o sea, que durante la sedimentación se aglutinan entre si cambiando de forma, tamaño y aumentando de peso específico. La sedimentación inducida es el tipo que se presenta en una planta de tratamiento y se logra en un tanque, llamado sedimentador o decantador, que se coloca a continuación del floculador y que permite la separación de las partículas floculentas que se forman en los procesos de coagulación y floculación. Las partículas floculentas adquieren su dimensión, forma y peso casi definitivos durante la floculación, de forma que su comportamiento en el sedimentador es muy similar al de las partículas discretas. Es por eso que los criterios para el diseño de los sedimentadores para agua coagulada se basan en la sedimentación de partículas discretas, fenómeno que trata de representar la ley de Stokes (Pérez, 1992).

Según el sentido de flujo del agua en los sedimentadores, estos pueden ser de flujo horizontal, de flujo vertical, manto de lodos y sedimentadores de alta rata. En un sentido amplio el termino sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo y concentración de sólidos o partículas en suspensión. Cabe destacar que para el modelo de clarificación tipo 1, los sólidos o partículas son idealizados como discretas y aislados, o sea, no cambian de densidad, tamaño ni forma al descender en el líquido. En cambio, en el modelo de clarificación tipo 2, los sólidos o partículas son pensadas como aglomerables y al descender se adhieren o aglutinan entre si cambiando de tamaño, forma, y peso específico durante la caída. En la clarificación tipo 3 y tipo 4 es el comportamiento conjunto de los sólidos lo que se analiza, debido a las interferencias mutuas entre partículas que hace que estas formen un manto de lodos que flota en el líquido (Arboleda, 2000).

Tabla 3*Tipos de sedimentación según el sentido del fluido*

Sentido de Flujo	Tipo de Sedimentación	Ejemplos	Rata de flujo(m³/m²/d)
horizontal	1 y 2	Desarenadores	200-420
Vertical	2 y 3	Manto de lodos	45-60
Inclinado	1 y 2	Decantadores con placas	120-180

Fuente: Hudson, 1974.

Tabla 4*Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación*

Clarificación por sedimentador Tipo	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del Proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas.	No hay interacción entre las partículas y el resto del fluido.	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores o presedimentadores.
2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas.
3	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo	Compactación de depósitos de lodos

Fuente: Arboleda, 2000.

Decantación de partículas aisladas en un fluido en movimiento

Según Pérez, 1992 cuando la partícula se halla en movimiento el comportamiento es un poco diferente, pueden entonces considerarse tres casos:

- a. Cuando el fluido se mueve con velocidad constante horizontal
- b. Cuando el fluido se mueve con velocidad constante vertical, y
- c. Cuando el fluido se mueve en dirección oblicua.

a) El fluido se mueve con velocidad horizontal constante

Este es el caso de los sedimentadores horizontales convencionales, la partícula cae con velocidad “v” constante en trayectoria parabólica la cual resulta de la descomposición del

vector “ v ” en “ v_f ” y “ v_s ”. El valor v_s es velocidad de caída de la partícula en un fluido en reposo y v_f la velocidad de arrastre horizontal producido por el fluido.

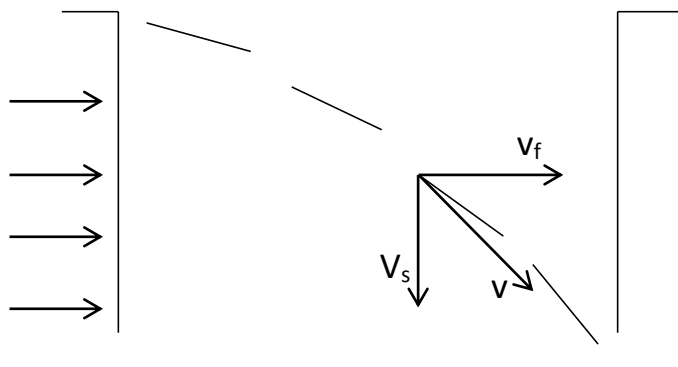


Figura 11. Velocidad de caída de la partícula en un fluido con velocidad horizontal

b) El fluido se mueve con velocidad vertical constante

En este caso, que es el corriente en sedimentadores de manto de lodos, si $v_s > v_f$, la partícula se mueve hacia abajo (sedimenta respecto a la tierra). Pero si $v_s < v_f$, la partícula es arrastrada por el fluido. En cambio sí “ $v_s = v_f$ ” la partícula se mantiene en suspensión por el fluido.

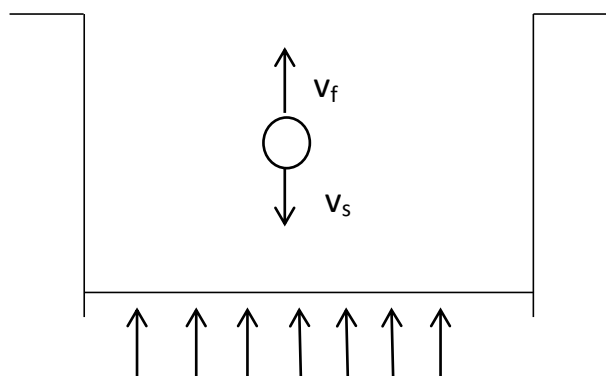


Figura 12. Velocidad de caída de la partícula en un fluido con velocidad vertical

Sedimentación flocculenta

Sedimentación de partículas flocculentas

Partículas flocculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas forma, tamaño, densidad sí cambian durante la caída (Maldonado, 2000).

Se denomina sedimentación flocculenta o decantación al proceso de depósito de partículas flocculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como

proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida (Maldonado, 2000).

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad (CEPIS, 2003)

La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos (fúlvicos, húmicos, etc.) de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación. (Maldonado, 2000)

Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 o Fe_2O_3), agua en 85 a 95% y turbiedad y/o color con densidades variables entre 1,002 cuando predomina el color y 1,03 cuando predomina la turbiedad. En procesos de ablandamiento los flóculos tienen densidades cercanas a 1,20.

El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño, tal como se indica en la figura 14.

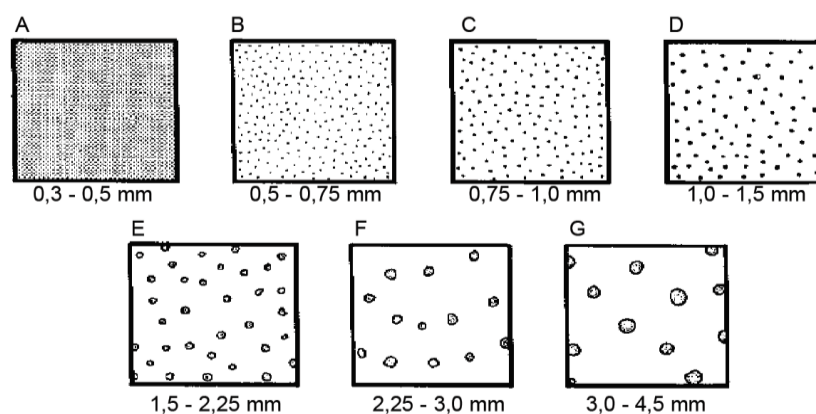


Figura 13. Índices de Willcomb para determinar el tamaño del flóculo

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculentas depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores y de

la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencia de velocidades de sedimentación de los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad, factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas remocionales en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas. En ellos se deben tener en cuenta que la muestra de la suspensión sea representativa y que se mantenga a igual temperatura.

Sedimentación de partículas floculentas con caída libre. Si en una suspensión tenemos una concentración (1-C) de partículas que tienen una velocidad de sedimentación “VS”, la proporción adicional de partículas removidas que tiene una velocidad de sedimentación “VS” será:

$$R = \frac{1}{VS} \int_0^{CO} Vdc \dots\dots (1)$$

La remoción total será: $RT = (1 - C) + \frac{1}{VS} \int_0^{CO} Vdc \dots\dots (2)$

El segundo término de la ecuación (2) se determina experimentalmente mediante columnas de sedimentación o el equipo modificado de prueba de jarras.

Se determinan las concentraciones del material en suspensión (C) cada cierto tiempo (t) y para una profundidad específica (h). Conociendo la concentración inicial (C₀) y la velocidad de sedimentación Vs = h/t, es posible obtener la eficiencia remocional.

Al graficar estos parámetros, se establece la curva teórica de velocidad de sedimentación versus eficiencia.

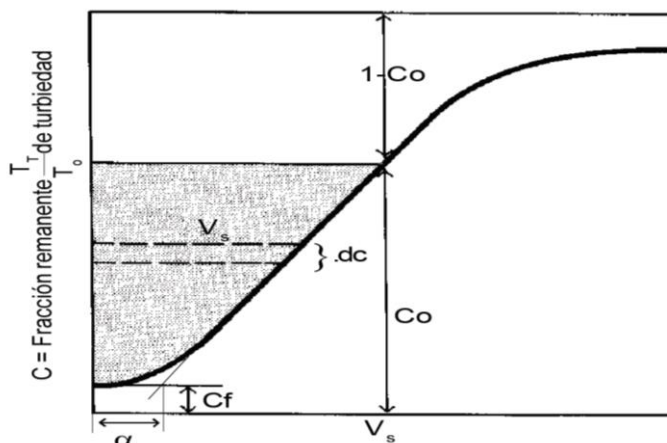


Figura 14. Curva de variación de eficiencia en función de la velocidad de sedimentación (Fuente: Pérez et al., 2010).

En la figura 15, es importante observar que la curva no pasa por el origen. Esto implica que siempre se tendrá una fracción C_f de partículas que no serán removidas por el sedimentador aun cuando se apliquen velocidades muy bajas de sedimentación. Esto implica, en la práctica, la necesidad de contar con una unidad posterior al sedimentador que sea capaz de remover estas partículas. En una planta de tratamiento de agua esta unidad es el filtro.

Otra característica de esta curva es la tendencia asintótica cuando esta se aproxima al eje de las ordenadas. Esta tendencia permite definir una velocidad de sedimentación mínima para aplicaciones prácticas de diseño. No tendrá ningún sentido práctico seleccionar velocidades de sedimentación menores a este valor mínimo, ya que se incrementaría el área de la unidad y no se conseguiría mayor eficiencia de remoción.

Entonces, si se tiene en cuenta que no todos los sólidos serán removidos en esta unidad, la curva no pasa por el origen y el primer término de la ecuación (2) es igual a:

$$(1 - C) = [1 - (C_o - C_f)]$$

El segundo término, a su vez, es igual al área sombreada de la figura

$$\frac{1}{VS} \int_0^{C_o} Vdc = \frac{a + V}{2V_s} (C_o - C_f)$$

Por lo tanto, la remoción total será:

$$RT = [1 - (C_o - C_f)] + \frac{a + V}{2V_s} (C_o - C_f)$$

Conocido el porcentaje de remoción total alcanzado para cierta velocidad de sedimentación, es posible encontrar una velocidad de sedimentación que permita conseguir una remoción total para lograr una determinada calidad de agua efluente del decantador.

Descripción de la planta de tratamiento de agua potable – Moyobamba

El sistema de agua de la ciudad de Moyobamba, departamento de San Martín, cuenta con una planta de tratamiento que se encuentra ubicada en el km 3, lado izquierdo de la carretera a los baños termales de “San Mateo”. Fue diseñada para un caudal de 65 lps, para una población de 21 000 habitantes (EPS, 2016).

La Planta de Tratamiento de aguas, es una Planta de filtración rápida y opcionalmente de filtración directa, cuando la quebrada conduce turbiedades bajas (menor a 30 NTU) Fue diseñada en 1986 como Planta de filtración directa, pero posteriormente debido a las

características físicas de las aguas, decidió modificarse en Planta de filtración rápida, empezando así su operación en Agosto de 1992. Este sistema se inicia captando el flujo de la quebrada de Rumiayacu para luego, a través de una tubería de 10" de diámetro, tomar contacto con la quebrada de Mishquiyacu en una pequeña represa, de la cual salen 2 líneas (Tuberías de 10" PVC y 8" PVC). La primera de 10" va directamente a una caja de reunión y la segunda de 8" se reúne con las vertientes existentes para luego ingresar a la misma caja de reunión que la primera línea de 10". De esta caja salen dos tuberías en paralelo de 10" las cuales van a dar a una nueva caja de reunión; uniéndose este flujo con otra vertiente para entrar al desarenador. Al extremo del desarenador se ubica otra caja de reunión; saliendo de ella dos líneas de 8" y 10" reduciéndose ésta última más adelante a 6" de diámetro. Posteriormente a través de una línea de tubería de 10" el flujo entra a la Planta de Tratamiento; iniciándose el tratamiento (EPS, 2016).

Procesos unitarios

Pre-Cloración: Se realiza inyectando Cloro gaseoso al vacío, en la entrada de la línea a la Planta de tratamiento, con la finalidad de eliminar el crecimiento de algas por el elevado contenido de materia orgánica de tipo vegetal que traen las fuentes.

Mezcla Rápida: La mezcla se realiza a través de un sistema hidráulico llamado "Canal Parshall". El agua de entrada a la planta es conducida a una caja de reunión, pasando seguidamente por la canaleta Parshall que aprovechando el resalto hidráulico se dosifican Sulfato de Aluminio tipo A y Polímero Catiónico.

La solución de sulfato es preparada en una de las dos pozas existentes de 2.5 m³ y por medio de una tubería de ¾" de diámetro, es succionada por una bomba dosificadora de diafragma para líquidos, marca Wallace vs Tiernan. Luego a través de una tubería de ¾" de diámetro la solución es dosificada. En la segunda poza existente se almacena agua filtrada, la cual sirve como agua de transporte para el polímero, el cual se dosifica a través de una bomba dosificadora electromagnética de diafragma marca Wallace vs. Tiernan, donde dicha solución es conducida por medio de una manguera a un iso-dosificador existente que se conecta al agua de transporte por medio de una tubería de ¾" de diámetro y posteriormente la mezcla va a los tubos perforados para caer en el resalto hidráulico.

Floculador: Consta de una unidad. La estructura es hidráulica de flujo horizontal en donde se aprecia 3 zonas con gradientes de velocidad decreciente. Las pantallas son prefabricadas de planchas corrugadas de asbesto cemento.

Decantador: Son dos unidades convencionales de flujo horizontal; en donde el agua floculada pasa a un canal de sección variable y por medio de 4 vertederos rectangulares se reparte equitativamente a los decantadores. En la zona de entrada, éstos tienen pantallas difusoras con orificios circulares para una mejor distribución del flujo. Estas unidades, luego de sedimentar el agua, están provistas de canaletas de recolección de agua clarificada.

Filtros: El agua clarificada de los decantadores se reúne en un canal para repartirse posteriormente a los 4 filtros rápidos existentes de lecho doble. El proceso de lavado se realiza en forma ascensional con agua; donde para lavar un filtro se emplea el caudal que producen los filtros restantes. Cada batería de filtros está dotada de un vertedero general de salida de agua filtrada, cuya función es mantener una altura de agua tal, que proporcione la presión necesaria sobre la canaleta de eliminación de agua de lavado, como para que el flujo se invierta y penetre a través de la unidad en proceso de lavado al abrir la válvula de desagüe.

Desinfección: El agua filtrada es recolectada en un canal que se conecta con una tubería de 10" de diámetro en la cual se inyecta el cloro gas al vacío y posteriormente esta tubería se deriva a dos tuberías de 6" y 8" para dar a los reservorios.

Tanto para el proceso de Pre-Cloración y Desinfección se emplean equipos de cloración modelo V - 100 marca Wallace vs. Tiernan con aplicación al vacío.

1.3. Definición de términos

Adsorción

Fenómeno Físicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido (Norma OS. 020 – RNE).

Cinemática

La cinemática es la rama de la física que describe el movimiento de los objetos sólidos sin considerar las causas que lo originan (las fuerzas) y se limita, principalmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo (Resnick & Halliday, 2004).

Coagulante o Floculante

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados, formados por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas largas (Cárdenas, 2000).

Floculación

Formación de partículas aglutinadas o floculos. Proceso inmediato a la coagulación. (Norma OS. 020 – RNE)

Floculos

Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico y físico.

Nano partículas

Una nano partícula (nanopolvo, nanoracimo, o nanocristal) es una partícula microscópica con por lo menos una dimensión menor que 100 nm.. (Taylor et al., 2013)

Partículas discretas

Partículas en suspensión que al sedimentar no cambian de forma, tamaño ni peso específico (NORMA OS. 020 – RNE).

Partículas floculentas

Partículas en suspensión que, al descender en la masa de agua, se adhieren o aglutinan entre si y cambian de tamaño, forma y peso específico. (Norma OS. 020 – RNE)

Sedimentación

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido (Maldonado, 2011)

Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es una sal de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, es sólido y blanco (en el caso del sulfato de aluminio tipo A, con un contenido de hierro inferior 0.5%) y marrón para el caso del sulfato de aluminio tipo B (contenido de hierro inferior al 1,5%).

Turbiedad

Es una medida de la dispersión de la luz por el agua como consecuencia de la presencia en la misma de materiales suspendidos coloidales y/o particulados. (Gramajo, 2004)

Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación viene a ser la velocidad de depositamiento o descenso a la que una partícula se deposita dentro de una mezcla homogénea o heterogénea (Taylor et al., 2013)

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los materiales y equipos utilizados en el proceso de investigación fueron los siguientes:

Cooler: Usado para conservar las muestras a una temperatura ambiental y trasladar al laboratorio sin causar alteraciones.

pH-metro serie HI9819X: Usado para detectar de forma rápida y precisa el valor pH y la temperatura. Gracias a la indicación doble en la pantalla del pH – metro, ambos valores se muestran simultáneamente.

Turbidímetro HACH 2100 Q: El turbidímetro permitió determinar el valor en FTU (Formazine Turbidity Unit, siglas en inglés). Esta unidad es idéntica con unidad nefelométrica de turbiedad UNT cuyo parámetro es un indicador de eficiencia en el presente trabajo de investigación.

Equipo prueba de jarras PHIPPS & BIRD PB-900: Permitted determinar la dosis óptima del coagulante mediante varias pruebas con sulfato de aluminio tipo A.

Vaso de precipitado: Utilizado en el laboratorio, sobre todo, para colocar la muestra y realizar la prueba o test de jarras.

Espectrofotómetro: Instrumento usado para medir el parámetro turbiedad con mayor precisión durante los ensayos el cual tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática (de un largo de onda particular) a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra.

Tablas: Se usaron para registrar los datos de campo y resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

Otros:

- ✓ Cuaderno de apuntes
- ✓ Laptop Lenovo Z50, Intel(R) Core(TM) i7-4510U CPU @ 2.00GHz 2.60 GHz.
- ✓ Calculadora científica Casio modelo fx-82 ES
- ✓ Envases colectores de Muestra

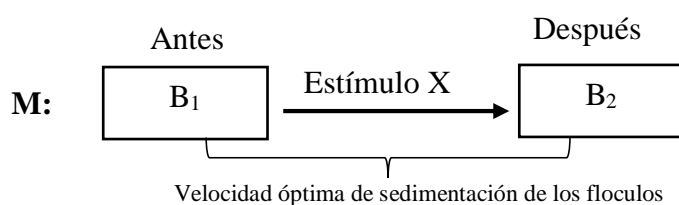
- ✓ Embudo de sedimentación- Imhoff VITLAB graduado de 1000mL
- ✓ Soporte universal
- ✓ Pipeta 2mL
- ✓ Probeta graduada de 1000 mL
- ✓ 2 matraces aforados de 250 mL.
- ✓ Conductímetro
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Flotador
- ✓ Papel filtro
- ✓ Sulfato de Aluminio tipo A
- ✓ Gotero
- ✓ Mangueras de 1 pulgada
- ✓ Tubos de PVC de 2 pulgadas
- ✓ Silicona
- ✓ Abrazadera

2.2. Métodos

El tipo de investigación realizada es la aplicada y el nivel de investigación explicativo.

Se utilizó el diseño pre experimental llamado diseño en sucesión, en línea o de preprueba – postprueba con un solo grupo, adaptado por el autor.

Diagrama del diseño:



Donde:

M: Muestra.

B₁: Medición inicial del parámetro turbiedad.

B₂: Medición final del parámetro turbiedad.

X: Aplicación de coagulante sulfato de aluminio tipo “A”

Población

La población estuvo conformado por el caudal de agua de la quebrada Rumiyacu, provincia de Moyobamba. (0.23 L/s equivalente a 19.87 m³/día).

Muestra

Se utilizó 100 litros de agua de la quebrada Rumiyaçu distribuidos en 4 muestreos, 25 litros por cada uno.

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron, fueron los siguientes:

Técnicas:

Observación sistemática: Permite recabar información bibliográfica para complementar la caracterización del problema concerniente a la determinación de la velocidad óptima de sedimentación de los floculos así como también el reconocimiento de los procesos unitarios comprendidos en la planta de tratamiento de agua potable de Moyobamba y así realizar apreciaciones de la muestra de estudio.

Fichaje: Esta técnica sirvió para la transcripción de teorías y contenidos relacionadas con el tema, objeto de investigación.

Muestreo: El tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional mediante la selección de un único punto de recolección de agua ubicada en la garganta de la canaleta parshall de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Moyobamba.

Ensayos de laboratorio: Técnica que permitió medir los parámetros de turbiedad, antes y después del experimento.

Tabla 5*Métodos de ensayo*

Tipo de ensayo	Unidad	Método de ensayo	Norma de referencia
Turbiedad	NTU	Turbidímetro, Standard Methods for examination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 4500 HB (ED 21 2005).	SMEWW-APHA- AWWAWEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017

La metodología ha constado de 4 ensayos, en los cuales se extrajeron muestras de agua cruda del río Rumiyaçu a la entrada de la planta de agua potable durante 4 meses, realizando un ensayo por cada mes, mediante el procedimiento experimental para la determinación de la velocidad óptima de sedimentación por cada ensayo.

A. Determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas

Para el objetivo se comparó los resultados obtenidos con seis jarras en la prueba de floculación, evaluándolos no solamente desde el punto de vista de turbiedad residual, sino de la diferente velocidad de sedimentación que tuvieron las partículas producidas. Esto facilitó grandemente la selección de la dosis óptima más económica del Sulfato de Aluminio tipo A.

1. Se determinó la turbiedad del agua cruda N_0 .
2. Se aplicó el coagulante a diferentes concentraciones para cada jarra, mientras se hizo girar el agitador a 300rpm. Por ejemplo: $C_1=10\text{ppm}$, $C_2=15\text{ppm}$, $C_3=20\text{ppm}$, $C_4=30\text{ppm}$, $C_5=40\text{ppm}$ y $C_6=50\text{ppm}$,
3. Después de hecha la mezcla rápida se cambió la velocidad de las paletas a 40rpm (o la que se juzgue conveniente) durante 15 a 30 min.
4. Se suspendió la agitación, se levantaron las paletas y se empezaron a tomar muestras del sobrante a intervalos regulares de tiempo, por ejemplo: $t_1 = 1$ min, $t_2 = 3$ min, $t_3 = 5$ min, $t_4 = 10$ min, $t_5 = 15$ min, $t_6 = 20$ min, $t_7 = 25$ min y $t_8 = 30$ min. Se extrajeron las muestras a través del sifón adaptado que poseen las jarras a 10 cm de profundidad.
5. Con los resultados se dibujó la curva: floc removido vs. Tiempo de sedimentación.

Si la turbiedad de cada jarra en el tiempo t la llamamos N_t y la turbiedad inicial del agua cruda N_0 , el porcentaje de turbiedad remanente será igual a $100N_t/N_0$ y la turbiedad removida $(1-N_t/N_0)(100)$. Graficando estos valores contra los tiempos de toma de muestras, se puede apreciar la velocidad con que se ha clarificado el agua en cada caso (Arboleda, 2000)

Las pruebas de velocidad de sedimentación son útiles en los siguiente casos:

- a. Para comparar el trabajo de varias dosis de coagulante.
- b. Para comparar el trabajo de coagulantes distintos.
- c. Para comparar el trabajo de los coagulantes en las jarras y en la planta de tratamiento.

B. Procedimientos para crear condiciones reales del proceso de sedimentación haciendo uso del equipo prueba de jarras

El ensayo se realizó usando un equipo PHIPPS & BIRD PB-900 compuesto de 6 jarras con sus respectivos sifones que permiten extraer las muestras con suma facilidad:

- Las soluciones químicas estuvieron recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se beneficien con el tiempo, otras se deterioran.
- Las muestras para las pruebas fueron las más representativas del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas.
- La adición de químicos se realizó en el mismo orden en que son añadidos en la planta. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH.
- Se tuvo cuidado de no demorar la adición de los químicos cuando se necesitó la adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alterando las condiciones de la prueba.



Figura 15. Equipo prueba de jarras PHIPPS & BIRD PB-900

Nota: Compuesto de 6 jarras con sus respectivos sifones que permiten extraer las muestras con suma facilidad.

C. Procedimiento para evaluar el comportamiento de las nanopartículas responsables de la turbidez.

La observación del comportamiento de las nanopartículas se llevó a cabo en la síntesis de reacciones químicas de mezcla rápida, mezcla lenta y reposo (Sedimentación), con el uso del coagulante sulfato de aluminio tipo A ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) como estabilizante, durante los procesos de determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas y al crear condiciones reales del proceso de sedimentación haciendo uso del equipo prueba de jarras.

El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través de la estadística descriptiva para procesar los datos obtenidos durante la aplicación de los instrumentos de

investigación con los pasos recopilación, organización y presentación de la información mediante:

- ***Figuras estadísticas:*** Se utilizaron para presentar los datos de tal modo que se pueda percibir fácilmente los hechos esenciales y compararlos con otros, tener una representación visual de la totalidad de la información.

- ***Análisis e interpretación de datos:*** Se utilizó la técnica de interpretación nomotética e ideográfica para pasar de la descripción de los datos a la comprensión de las características de los datos, después de la aplicación de la variable independiente o aplicación del estímulo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Velocidad óptima de sedimentación de flóculos.

ENSAYO 01:

Tabla 6

Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 1

T (min)	V (cm/s)	Turbiedad Nt					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	135,00	115,20	47,70	42,70	46,50	40,20
3	0,0556	131,00	108,37	31,44	9,41	12,30	9,43
5	0,0333	128,00	82,60	25,20	25,30	8,24	6,21
10	0,0167	125,00	73,60	8,64	7,50	7,23	4,24
15	0,0111	122,00	72,90	8,10	4,11	3,21	2,34
20	0,0083	117,00	70,10	6,24	3,41	1,38	1,32
25	0,0067	119,00	69,50	5,95	2,55	1,24	1,53
30	0,0056	116,00	69,20	6,45	2,04	1,16	1,12

No: Turbidez inicial =125 NTU, h = Altura = 10 cm; Mezcla: Velocidad: 300 rpm, Tiempo: Variable; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 15 - 30 min; Concentración del coagulante (%) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ tipo A: Variable; $V_s = h/T$; Ji: N° de jarra.

Tabla 7

Cálculo del floc remanente del ensayo 1

T (min)	V (cm/s)	Floc remanente					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	108,00%	92,16%	38,16%	34,16%	37,20%	32,16%
3	0,0556	104,80%	86,70%	25,15%	7,53%	9,84%	7,54%
5	0,0333	102,40%	66,08%	20,16%	20,24%	6,59%	4,97%
10	0,0167	100,00%	58,88%	6,91%	6,00%	5,78%	3,39%
15	0,0111	97,60%	58,32%	6,48%	3,29%	2,57%	1,87%
20	0,0083	93,60%	56,08%	4,99%	2,73%	1,10%	1,06%
25	0,0067	95,20%	55,60%	4,76%	2,04%	0,99%	1,22%
30	0,0056	92,80%	55,36%	5,16%	1,63%	0,93%	0,90%

$N_0 = 125$ NTU; Floc remanente = $N_t/N_0 \times 100$; Ji: N° de jarra.

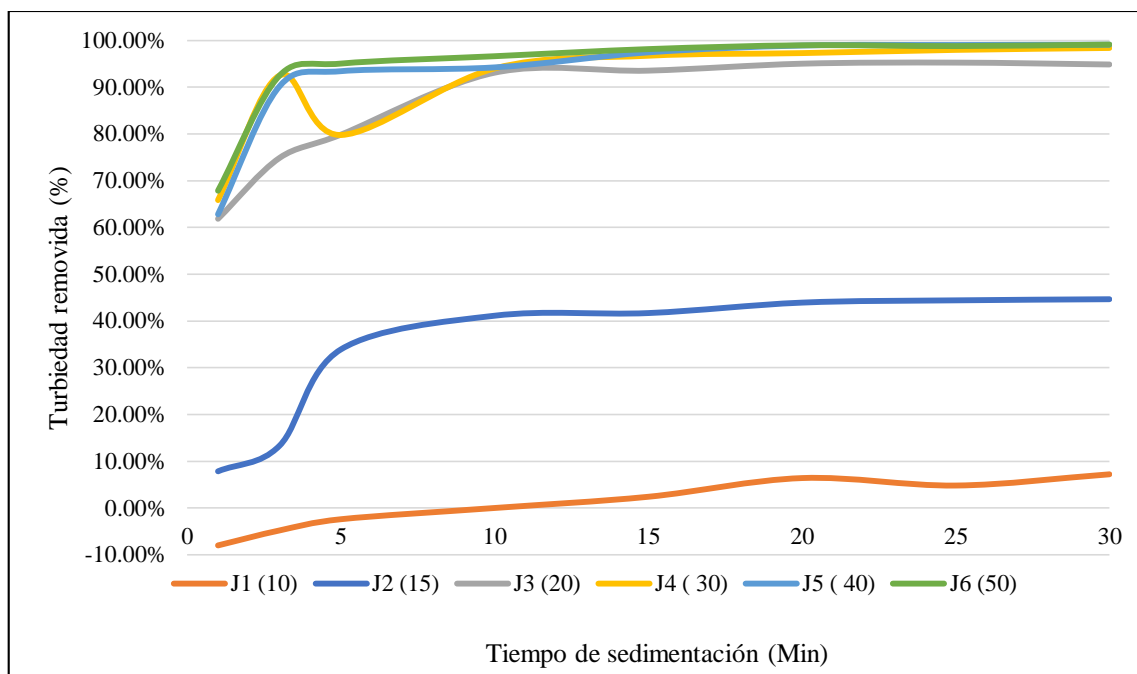


Figura 16. Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 1

Nota: Las eficiencias de las pruebas con agua cruda y coagulante sulfato de aluminio tipo A ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a una concentración de 50 ppm se observa una mejor eficiencia en todos los tiempos de sedimentación. Como se puede observar la velocidad de sedimentación es variable en cada jarra. La jarra (1) con la menor dosis es la peor. La jarra (2) tiene remoción menor a 50% y las jarra (3), (4), (5) y (6) muestran resultados eficientes.

ENSAYO 02:

Tabla 8

Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 2

T (min)	V (cm/s)	Turbiedad Nt					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	93,20	83,50	70,34	64,15	37,40	43,18
3	0,0556	74,42	71,52	46,18	25,10	21,52	9,43
5	0,0333	21,60	16,30	23,10	25,30	16,10	6,21
10	0,0167	19,27	11,34	9,16	7,50	6,17	4,70
15	0,0111	12,70	9,25	8,15	4,11	4,35	2,20
20	0,0083	8,39	5,13	4,21	3,41	3,09	1,32
25	0,0067	5,21	2,81	4,27	2,55	1,60	1,18
30	0,0056	2,63	2,81	2,33	2,14	1,62	1,22

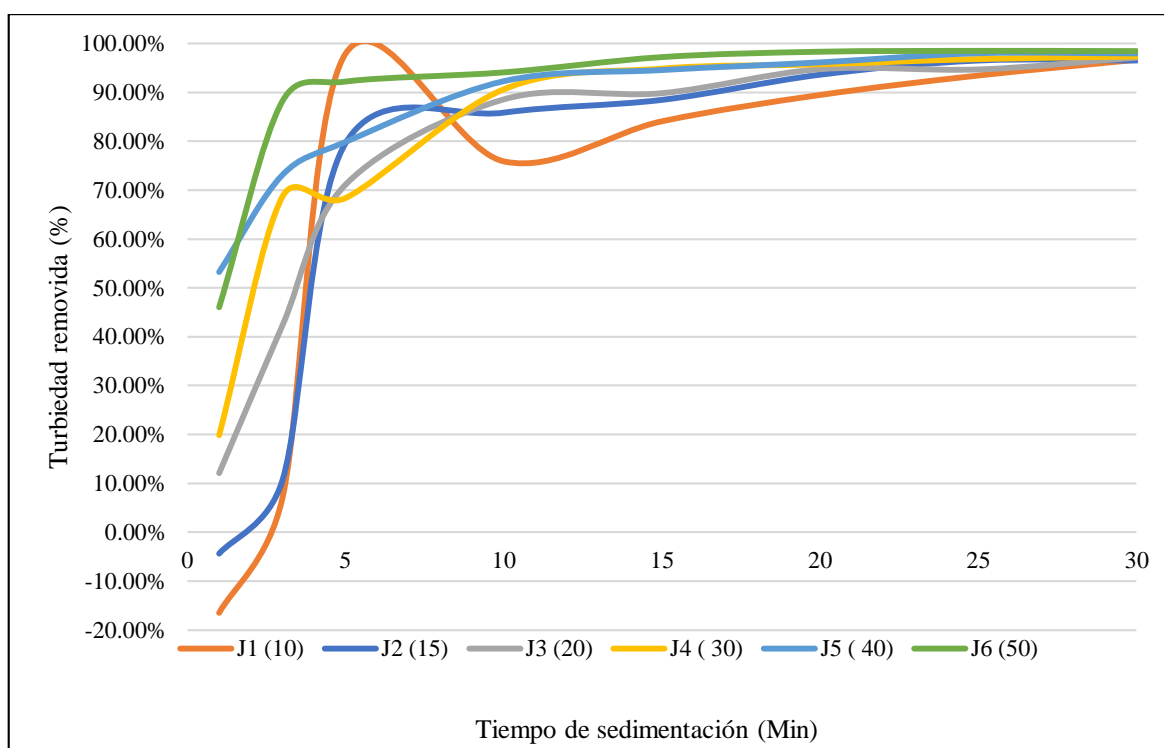
No: Turbidez inicial =80 NTU, h = Altura = 10 cm; Mezcla: Velocidad: 300 rpm, Tiempo: Variable; Flocculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 15 - 30 min; Concentración del coagulante (%) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A: Variable; Vs = h/T; Ji: N° de jarra.

Tabla 9

Cálculo del floc remanente del ensayo 2

T (min)	V (cm/s)	Floc remanente					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	116,50%	104,38%	87,93%	80,19%	46,75%	53,98%
3	0,0556	93,03%	89,40%	57,73%	31,38%	26,90%	11,79%
5	0,0333	2,00%	20,38%	28,88%	31,63%	20,13%	7,76%
10	0,0167	24,09%	14,18%	11,45%	9,38%	7,71%	5,88%
15	0,0111	15,88%	11,56%	10,19%	5,14%	5,44%	2,75%
20	0,0083	10,49%	6,41%	5,26%	4,26%	3,86%	1,65%
25	0,0067	6,51%	3,51%	5,34%	3,19%	2,00%	1,48%
30	0,0056	3,29%	3,51%	2,91%	2,68%	2,03%	1,53%

$N_0 = 80$ NTU; Floc remanente = $Nt/N_0 \times 100$; Ji: N° de jarra.

**Figura 17.** Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 2

Nota: Las eficiencias de las pruebas con agua cruda y coagulante sulfato de aluminio tipo A ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a una concentración de 50 mg/L se observa una mejor eficiencia. Como se puede observar la velocidad de sedimentación es variable en cada jarra. La jarra (1) con la menor dosis es la peor. La jarra (2), (3), (4), (5) y (6) muestran resultados eficientes.

ENSAYO 03:**Tabla 10***Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 3*

T (min)	V (cm/s)	Turbiedad Nt					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	100,23	112,40	56,75	60,28	43,70	62,34
3	0,0556	95,20	108,37	25,20	53,10	12,30	32,30
5	0,0333	93,70	92,50	19,90	41,70	8,24	6,21
10	0,0167	87,50	19,50	8,56	8,96	4,24	5,36
15	0,0111	76,00	14,10	5,73	4,35	3,11	2,47
20	0,0083	76,90	12,00	2,56	2,68	1,38	1,32
25	0,0067	73,80	11,30	2,34	2,02	1,24	1,53
30	0,0056	45,40	11,70	1,92	1,37	1,16	1,13

No: Turbidez inicial =100 NTU, h = Altura = 10 cm; Mezcla: Velocidad: 300 rpm, Tiempo: Variable; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 15 - 30 min; Concentración del coagulante (%) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ tipo A: Variable; $V_s = h/T$; Ji: N° de jarra.

Tabla 11*Cálculo del floc remanente del ensayo 3*

T (min)	V (cm/s)	Floc remanente					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	100,23%	112,40%	56,75%	60,28%	43,70%	62,34%
3	0,0556	95,20%	108,37%	25,20%	53,10%	12,30%	32,30%
5	0,0333	93,70%	92,50%	19,90%	41,70%	8,24%	6,21%
10	0,0167	87,50%	19,50%	8,56%	8,96%	4,24%	5,36%
15	0,0111	76,00%	14,10%	5,73%	4,35%	3,11%	2,47%
20	0,0083	76,90%	12,00%	2,56%	2,68%	1,38%	1,32%
25	0,0067	73,80%	11,30%	2,34%	2,02%	1,24%	1,53%
30	0,0056	45,40%	11,70%	1,92%	1,37%	1,16%	1,13%

$N_0 = 100$ NTU; Floc remanente = $Nt/N_0 \times 100$; Ji: N° de jarra.

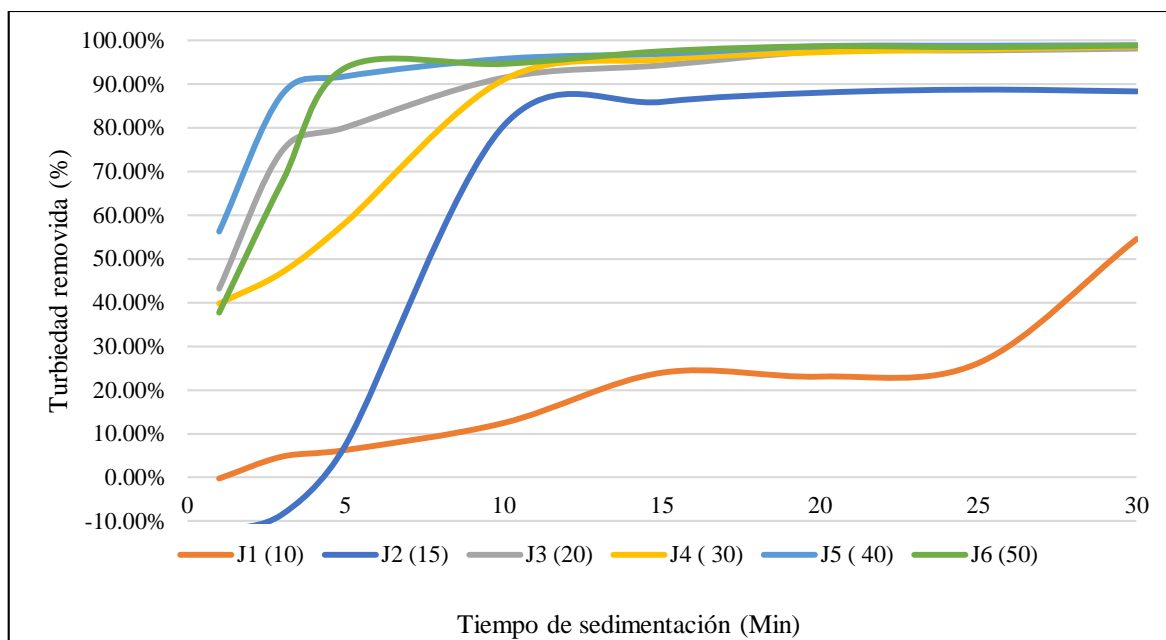


Figura 18. Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 3

Nota: Las eficiencias de las pruebas con agua cruda y coagulante sulfato de aluminio tipo A ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a una concentración de 50 mg/L se observa una mejor eficiencia. Como se puede observar la velocidad de sedimentación es variable en cada jarra. La jarra (1) con la menor dosis es la peor. La jarra (2), (3), (4), (5) y (6) muestran resultados eficientes.

ENSAYO 04:

Tabla 12

Resultados del parámetro turbiedad en el ensayo 4

T (min)	V (cm/s)	Turbiedad Nt					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	64,35	58,13	47,70	43,56	46,50	43,20
3	0,0556	24,60	37,40	32,10	25,31	12,30	9,43
5	0,0333	12,35	11,24	25,20	9,84	8,24	6,21
10	0,0167	8,57	7,44	8,64	6,28	7,23	4,24
15	0,0111	6,32	6,21	8,38	4,45	3,21	2,34
20	0,0083	4,27	4,63	6,24	3,25	1,38	1,32
25	0,0067	3,18	2,84	5,95	1,36	1,24	1,53
30	0,0056	2,16	1,83	6,45	1,40	1,10	1,14

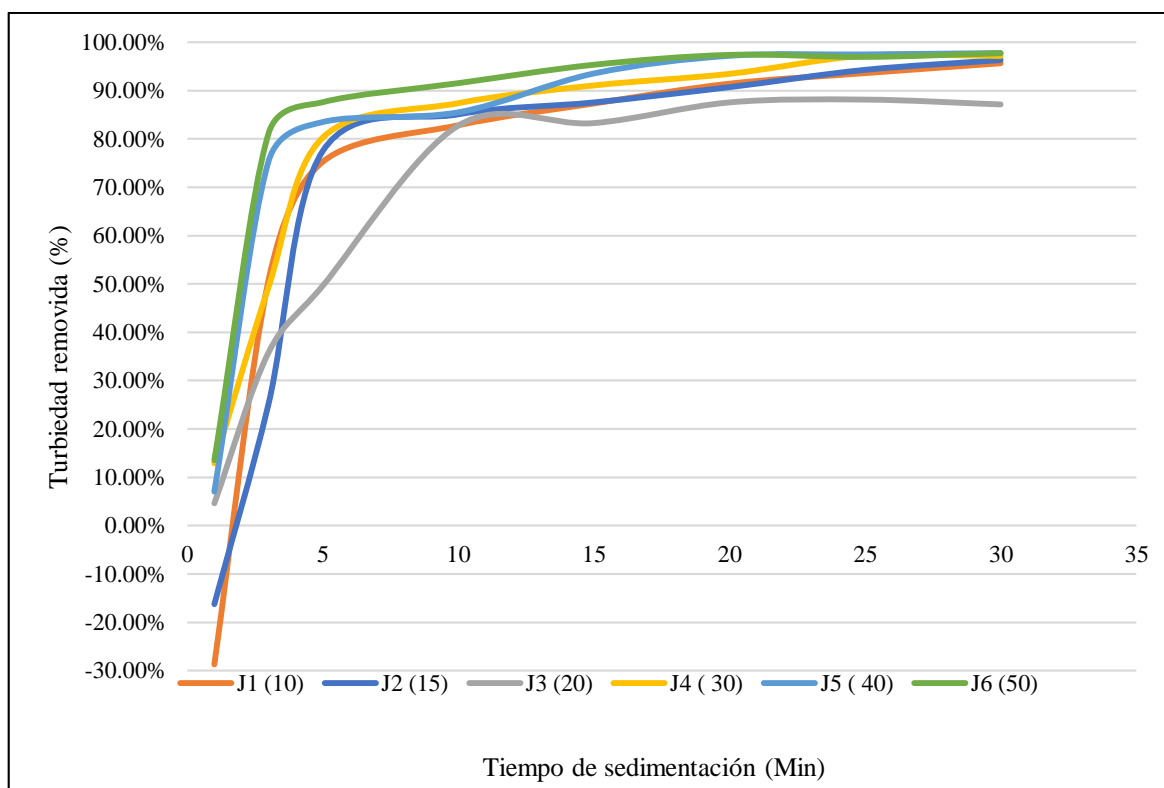
No: Turbidez inicial =50 NTU, h = Altura = 10 cm; Mezcla: Velocidad: 300 rpm, Tiempo: Variable; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 15 - 30 min; Concentración del coagulante (%) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A: Variable; Vs = h/T; Ji: N° de jarra.

Tabla 13

Cálculo del floc remanente del ensayo 4

T (min)	V (cm/s)	Floc remanente					
		J1 (10)	J2 (15)	J3 (20)	J4 (30)	J5 (40)	J6 (50)
1	0,1667	128,70%	116,26%	95,40%	87,12%	93,00%	86,40%
3	0,0556	49,20%	74,80%	64,20%	50,62%	24,60%	18,86%
5	0,0333	24,70%	22,48%	50,40%	19,68%	16,48%	12,42%
10	0,0167	17,14%	14,88%	17,28%	12,56%	14,46%	8,48%
15	0,0111	12,64%	12,42%	16,76%	8,90%	6,42%	4,68%
20	0,0083	8,54%	9,26%	12,48%	6,50%	2,76%	2,64%
25	0,0067	6,36%	5,68%	11,90%	2,72%	2,48%	3,06%
30	0,0056	4,32%	3,66%	12,90%	2,80%	2,20%	2,28%

$N_0 = 50$ NTU; Floc remanente = $Nt/N_0 \times 100$; Ji: N° de jarra.

**Figura 19.** Floc removido a distintos tiempos de sedimentación en el ensayo 4

Nota: Las eficiencias de las pruebas con agua cruda y coagulante sulfato de aluminio tipo A ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a una concentración de 50 mg/L se observa una mejor eficiencia en todos los tiempos de sedimentación y la velocidad de sedimentación es variable en cada jarra.

3.1.2. Condiciones reales del proceso de sedimentación.

En la presente investigación las condiciones reales del proceso de sedimentación están ligadas con el objetivo de ayudar a la eficiencia del proceso de tratamiento del agua para obtener los resultados deseados, teniendo en cuenta los conceptos y requerimientos básicos para realizar un buen proceso de coagulación y floculación. Las condiciones a las que se sometieron las muestras fueron muy similares a las que se dan en el proceso de tratamiento de las aguas en la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba. A través del equipo prueba de jarras se ha simulado la mezcla rápida del coagulante en la canaleta parshall, simulando una agitación de 300 RPM durante un minuto. Además de ello, el coagulante fue adicionado en el punto de mayor turbulencia para una mayor dispersión. Posteriormente se simuló la mezcla lenta disminuyendo la velocidad de las paletas a 40 RPM por un tiempo de 15 minutos, acorde al periodo de detención de los floculadores en la planta. Por último se suspendió la agitación de las paletas recreando así el proceso de sedimentación que tiene lugar en los decantadores.

3.1.3. Comportamiento de las nanopartículas responsables de la turbidez.

El comportamiento de las nanopartículas es variable y no es el único requerimiento en la síntesis de la coagulación. En una prueba inicial usando una columna de sedimentación que fue dosificada previamente con Sulfato de Aluminio, se pudo evidenciar las trayectorias anómalas que tenían los floculos. Estos al descender en el fluido iban aumentando de tamaño y alcanzaban diversas velocidades de sedimentación. Se intentó al inicio calcular sus velocidades de sedimentación usando consigo las formulas cinematicas y la ley de Stokes no siendo posible su determinación. Una de las dificultades mas notorias fue la aglomeración de los floculos que impedían medir la velocidad de un solo floculo. Para cualquier aplicación práctica se necesita tener un control con mayor precisión del proceso de forma tal que las nanopartículas tengan las siguientes propiedades: tamaño idéntico de todas las partículas, igual morfología, la misma composición química, y ausencia de aglomeración; los cuales solamente han sido observadas con microscopio y no manipuladas debido a la ausencia de equipos requeridos para este experimento.

3.2. Comprobación de la hipótesis

La prueba estadística que se desarrolló para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondientes a la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante sulfato de aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba” se realizó en términos de la turbiedad por medio de la prueba estadística de distribución t- Student pareada entre la preprueba y postprueba, con $\alpha= 5\%$.

A. Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H_0): $H_0: \mu\bar{d} = 0$

H_0 : “Mediante la aplicación del coagulante sulfato de aluminio tipo A, no se puede determinar la velocidad óptima de sedimentación de los floculos”

Hipótesis alterna (H_1): $H_1: \mu\bar{d} > 0$

H_1 : “Mediante la aplicación del coagulante sulfato de aluminio tipo A, se puede determinar la velocidad óptima de sedimentación de los floculos”

B. Obtención de la “t” calculada (tc):

Para un nivel de significación de $\alpha= 5\% = 0,05$ y un nivel de confianza: $1- \alpha = 95\% = 0,95$:

✓ *Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de turbiedad.*

Prueba T e IC de dos muestras: To; Tf

T de dos muestras para To vs. Tf

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
To	4	88,8	31,7	16
Tf	4	1,1425	0,0263	0,013

Diferencia = μ (To) - μ (Tf)

Estimación de la diferencia: 87,6

IC de 95% para la diferencia: (48,8; 126,4)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. \neq): Valor T = 5,52 **Valor p = 0,001** GL = 6

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 22,4305

Fuente: Cálculos con Minitab

C. Regla de decisión:

- ✓ Si el Valor p (Sig) $\geq 0,05$ se acepta la hipótesis nula (H_0).
- ✓ Si el valor p (Sig) $< 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

D. Decisión

Como el p valor (Sig) de la turbidez es de 0,001 el cual es menor que 0,05 valor de nivel de significancia previamente establecido, por lo tanto, rechazamos H_0 y aceptamos H_1 .

Además, en términos porcentuales tenemos:

- **Una remoción de la turbiedad**

Las eficiencias de las pruebas con agua cruda y coagulante sulfato de aluminio tipo A ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) en los ensayos finales alcanzaron resultados favorables en la remoción de floc respecto a la turbiedad inicial donde la velocidad de sedimentación es variable en cada jarra e inversamente proporcional respecto al tiempo, obteniendo así la óptima en los cuatro ensayos a una concentración de 50 mg/L de coagulante.

E. Conclusión de la hipótesis

Se rechaza la H_0 y se acepta H_1 , por lo que se afirma que hay suficiente base para afirmar que, si se puede determinar la velocidad óptima de sedimentación de los flóculos expresada como floc removido después del experimento en términos de la turbiedad.

Por lo tanto, este resultado nos permite declarar parcialmente verdadera nuestra hipótesis de investigación: *“Mediante la aplicación del coagulante sulfato de aluminio tipo A, se puede determinar la velocidad óptima de sedimentación de los flóculos”*

3.3. Discusiones

La presente investigación se ejecutó en concordancia con el proceso de determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas recomendada por Arboleda (2000) donde todos los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en los que se empleó coagulante sulfato de aluminio tipo A, apuntan a la necesidad de remover la turbidez y determinar la velocidad óptima de sedimentación de floculos mediante los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con prueba de jarras, para comparar los

resultados obtenidos en cada jarra. En este caso fue conveniente obtener las velocidades de sedimentación en todas las jarras, porque tiene la ventaja de poder hacer mayor número de determinaciones en menor tiempo, aunque incrementa considerablemente el número de muestras a analizar.

En su trabajo de investigación Asensi & Enrique (2015), demostró que al representar gráficamente la velocidad de sedimentación zonal final en función de la concentración de SS, se observa que existe una concentración de SS denominada concentración de SS crítica (SSc), donde se produce un descenso brusco de la velocidad de sedimentación final, en la presente investigación se obtuvieron resultados similares al comparar el tiempo y la turbiedad removida donde las eficiencias de los ensayos con agua cruda y coagulante sulfato de aluminio tipo A ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a una concentración de 50 mg/L se observa una mejor eficiencia en todos los tiempos y ensayos. Como se puede observar la velocidad de sedimentación es variable en cada jarra.

De acuerdo con Jorand et al. (1995) en su publicación “Sedimentación Zonal” afirma que muchos autores han intentado obtener una expresión para la velocidad de sedimentación de una suspensión formada por flóculos a partir de la ecuación de Stokes, lo que se señala es que los flóculos que presentan una estructura heterogénea no pueden considerarse como partículas impermeables, por lo que la ley de Stokes no se puede utilizar para describir su velocidad de sedimentación; este comportamiento de las partículas floculentas pudo evidenciarse claramente al intentar calcular la velocidad de sedimentación usando formulas cinematicas, por lo que no se aplicó esta metodología en la presente investigación, encontrando velocidades óptimas variables de acuerdo al tiempo y floc removido por acción del coagulate sulfato de aluminio tipo A ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) el cual no permite determinar una velocidad óptima de sedimentación única.

Moreno (2013) en su investigación toma en cuenta la variación de la densidad de la partículas con el tamaño del agregado y el efecto de la turbulencia generado por un flujo circular propio de los tanques de recirculación, concluyendo así que se pudo determinar que los difusores deben ser convenientemente distribuidos en la columna de agua del tanque de manera que las mayores velocidades ocurran cerca de la superficie y las menores cerca del fondo; con los resultados de la presente investigación coincidimos al obtener velocidades menores a la medida que el tiempo aumenta.

CONCLUSIONES

La velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante Sulfato de Aluminio tipo “A” de la planta de tratamiento de agua potable, Moyobamba, es variable e inversamente proporcional al tiempo de sedimentación, expresados mediante el floc removido en términos porcentuales, las cuales muestran la curva óptima en los cuatro ensayos respectivos.

Se obtuvo velocidades variables aplicando el coagulante a diferentes concentraciones como $C_1=10$ mg/L, $C_2=15$ mg/L, $C_3=20$ mg/L, $C_4=30$ mg/L, $C_5=40$ mg/L y $C_6=50$ mg/L en cada jarra con tiempos de sedimentación de $t_1 = 1$ min, $t_2 = 3$ min, $t_3 = 5$ min, $t_4 = 10$ min, $t_5 = 15$ min, $t_6 = 20$ min, $t_7 = 25$ min y $t_8 = 30$ min, con los resultados se presentó la curva: floc removido vs. Tiempo de sedimentación el cual permite determinar la curva óptima de sedimentación.

Los ensayos en laboratorio realizados permitieron determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) para alcanzar niveles óptimos de floc removido obteniendo así con una concentración de 50 mg/L, el cual en todos los ensayos se obtuvieron mejores eficiencias por la aglutinación de coloides de pequeño tamaño y su precipitación de sólidos disueltos, resultados que permiten determinar la velocidad óptima de sedimentación que es variable en función al tiempo de sedimentación.

La curva de sedimentación no pasa por el origen, debido a que no todos los sólidos son sedimentables es por ello la importancia de conocer el floc removido, la metodología utilizada en el laboratorio es una forma experimental que nos evita el procedimiento analítico, el cual es muy complejo porque se requiere de datos como diámetro y densidad de la partícula que no son fáciles de obtener.

RECOMENDACIONES

A la Empresa prestadora de los servicios de saneamiento de Moyobamba – EPS, considerar en su determinación de dosis óptima la velocidad óptima de sedimentación, el cual permita una mayor eficiencia y eficacia de la aplicación de coagulante sulfato de aluminio tipo A.

Para futuras investigaciones, debe tenerse especial cuidado al momento de tomar la muestra de los vasos, evitando que los tomadores de muestra estén en movimiento provocando turbulencia, porque se estaría tomando partículas agitadas y no floculadas.

Al público en general, al realizar los ensayos para determinar la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio tipo A es conveniente determinando la velocidad óptima de sedimentación, obteniendo las velocidades de sedimentación en todas las jarras, porque tiene la ventaja de poder hacer mayor número de determinaciones en menor tiempo, aunque incrementa considerablemente el número de muestras a analizar el cual se requiere de mayor personal para la toma de muestras.

A la UNSM – T, gestionar la certificación de los métodos ante INACAL para realizar mejores ensayos y así obtener resultados óptimos y eficientes que garanticen una investigación más precisa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDÍA CARDENAS, Y. *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. [en línea] 2000, [fecha de consulta: 20 abril 2019]. Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

ARBOLEDA VALENIA, J. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3ª ed. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 2000. ISBN 978-958-41-0015-3.

AROCHA, S. (1997). *Abastecimientos de Agua: Teoría & Diseño*. Venezuela: Vega S.R.L.

ASENSI D. y ENRIQUE, J. *Estudio y modelización de la velocidad de sedimentación zonal y de la aceleración de los fangos activados*. [en línea]. Tesis doctoral. Universidad Politécnica De Valencia, 2015.

BARRENECHEA, A. *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. [en línea] 2004, [fecha de consulta: 18 abril 2019]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>

CÁRDENAS. SEDAPAL – *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de agua: coagulación floculación*. Lima-Perú, 2000

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). *Programa regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano Manual III*, 2003.

D.S. N° 031-2010-SA. *Reglamento de la calidad de agua para consumo humano*. Ministerio de salud. Dirección general de salud ambiental, Lima – Perú, 2011.

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO - EPS. *Diagnóstico de la EPS Moyobamba SRL*. Moyobamba, 2016.

GÓMEZ, N. *Remoción de materia Orgánica por Coagulación y Floculación*. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2005.

GRAMAJO, B. M. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenido de pozos mecánicos en la zona 11*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Mixco-Guatemala, 2004.

HUDSON, M. E. *Sedimentation*. AWWA Seminar on Upgrading Existing Water Treatment Plants. Boston, 15-16 de junio de 1974. Denver, AWWA, 1974, pp. 67-78

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA – INEI. *Población con acceso sostenible a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua* [en línea] 2016, [fecha de consulta: 20 de julio 2018]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1000>

JORAND, F., ZARTARIAN, F., THOMAS, F., BLOCK, J., BOTTERO, J., VILLEMIN, G., URBAIN, V., y MANEM, J. *Chemical and structural. 2ª ed. linkage between bacteria within activated sludge flocs. Water Research*. 1995.

MALDONADO. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Manual de capacitación para operadores*. Perú, 2011.

MALDONADO, V. *Sedimentación*. [en línea] 2000, [fecha de consulta: 24 abril 2019]. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoII/ma1_tomo2_cap7.pdf

MORENO GUEVARA, J. *Determinación experimental de la velocidad de caída de sedimentos cohesivos en suspensión*. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma Del Estado De México, 2013.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD OPS/CEPIS. *Tratamiento de agua para consumo humano*, Metepec, México, en marzo 1992.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). *Guías para la calidad del agua potable* [en línea] 2008, [fecha de consulta: 12 de julio 2018]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/

PÉREZ, J. M., L. M. CÁNEPA De VARGAS, y C. Ríchter. *Teoría de la Coagulación*. [en línea] 2010, [fecha de consulta: 20 abril 2019]. Disponible en: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3938/5/BVCI0003303_3.pdf

PÉREZ, J. *Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano*. Colombia, 1992.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE). *Norma Os.020 planta de tratamiento de agua para consumo humano*. 1º Ed. Lima – Perú, 2006.

RESNICK Y HALLIDAY. *Física*. 4° ed. Vol. 1. CECOSA. México, 2004.

ROMERO, J. A. *Análisis Físico del Agua*. En *Calidad del Agua*, editado por Jimena Garzón, 468. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005.

ROMERO, J. A. *Calidad del agua*. 3° Ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. ISBN-13: 978-9588060835

SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO – SUNASS. *Región San Martín: Situación del servicio de agua potable en zonas de emergencia* [en línea] 2017, [fecha de consulta: 08 de enero 2019]. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/usuarios/campanas-de-orientacion/141-sunass/sunass/reporte-agua-y-alcantarillado>

VILLEGAS Y LETTERMAN. *Optimizing flocculator power input*. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 1976, pp. 251-262.

TAYLOR et al., *Small Particles, Big Impacts: A Review of the Diverse Applications of Nanofluids*. Sydney - Australia, 2013.

ANEXOS

Anexo A. Mapa y plano de ubicación de la PTAP - MOYOBAMBA



9335000N

9334000N

9333000N

9333000N

9333000N

9333000N

9333000N

9333000N



Anexo B. Ficha técnica del Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)

PARAMETROS	ESPECIFICACIÓN	CONFORMIDAD
Aluminio, Al_2O_3 , %	7.80 – 8.20	Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 311.095 Revisión 1999, así como las especificaciones de la empresa Aris Industrial S.A.
Basicidad, %	0.20 máx.	
Acidez, H_2SO_4 , %	0.20 máx.	
Hierro, Fe_2O_3 , %	0.10 máx.	
Densidad, g/ml	1.29 -1.34	
Insolubles, %	0.20 máx.	



HOJA TÉCNICA

SULFATO ALUMINIO PANTERA TIPO A LÍQUIDO ®

Versión: 004-2018

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El Sulfato Aluminio Pantera Tipo A Líquido es manufacturado a partir de una materia prima y rica en aluminio (libre de Hierro) y ácido sulfúrico, mediante un proceso que garantice su calidad. Número CAS 16828-12-9.

2. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

NOMBRE COMERCIAL	SULFATO ALUMINIO PANTERA TIPO A LÍQUIDO
PESO MOLECULAR	342,14 g/mol
FÓRMULA QUÍMICA	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
APARIENCIA	LÍQUIDO LIGERAMENTE VISCOSO, INCOLORO, SOLUBLE EN AGUA

3. APLICACIONES

Se emplea como coagulante y floculante en la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas para consumo humano, para la separación de las partículas sólidas tipo coloide. La presentación en solución líquida ayuda a la fácil aplicación de la misma y por no poseer materia insoluble reduce considerablemente los tiempos de mantenimiento y parada por limpieza de los tanques dosificadores, volviéndose una solución económica para el tratamiento de agua.

También se emplea en la fabricación de papel juntamente con unas resinas llamadas encolantes, proporcionándole al papel resistencia a la penetración del agua y proporciona las condiciones para fijar los colores.

Cuadro de Usos:

PARAMETROS	Función de Producto	Uso Máx.
Sulfato de Aluminio en Solución Tipo A Pantera	Coagulante y Floculante	209 mg/L

4. PRESENTACIÓN Y DESPACHO

El Sulfato Aluminio Pantera Tipo A Líquido se envasa en bidones de 250 Kg, container tipo IBC de 1100 Kg y en cisternas de acero inoxidable.

5. CONDICIONES DE ALMACENAJE

Almacenar en tanques de acero inoxidable tipo 316 o polietileno con tapas de cierre hermético; para evitar cristalización por evaporación del agua y garanticen que el producto mantenga sus características físico químicas.

Aris Industrial garantiza que al momento de emitir esta hoja técnica el producto cumple con la especificación declarada. Es responsabilidad del comprador determinar que el producto cumple con los requisitos para su uso, incluyendo mediante la realización de pruebas de aplicación, así como de tomar todas las medidas de seguridad razonables.

ARIS INDUSTRIAL S.A.

Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe

Anexo C. Hoja de datos de seguridad del Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SULFATO DE ALUMINIO PANTERA TIPO A LIQUIDO

Versión: 001-2018

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Nombre comercial: SULFATO DE ALUMINIO PANTERA TIPO A LIQUIDO

Dirección/ Teléfono de la empresa formuladora y titular del registro:

Aris Industrial S.A.

Av. Industrial 491- Lima 1 – PERU

Teléfono: 336-5428 Anexo 256

e-mail: yquimicos@aris.com.pe**2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.**

El sulfato de aluminio no es considerado como un material particularmente peligroso. Su acción ácida amortiguada es irritante cuando el sulfato de aluminio toma contacto con los ojos, la piel o membranas mucosas.

Clasificación de los riesgos de la sustancia química: No aplica.

a. Riesgos para la salud humana:**Ojos:** produce irritación.**Piel:** produce leve irritación.**Inhalación:** produce leve irritación.**Ingestión:** Irritaciones en las membranas mucosas en la boca, garganta, esófago y tracto gastro intestinal.**b. Riesgos para el medio ambiente:** puede ser dañino a la vida acuática.**c. Riesgos especiales de la sustancia:** Su toxicidad tiene que ver con el pH ácido; es además astringente.**d. Carcinógeno:** No está clasificado como carcinógeno.**3. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE SUS COMPONENTES**

COMPOSICIÓN	
Aluminio, Al_2O_3 , %	7.80 – 8.20
Basicidad, %	0.20 máx.
Hierro, F_2O_3 , %	0.10 máx.
Nº CAS	16828-12-9
PROCEDENCIA	Perú

4. PRIMEROS AUXILIOS.

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con:

Contacto con los Ojos: Sostenga el ojo abierto y enjuague suavemente con abundante agua durante 15-20 minutos. Sacarse los lentes de contacto, si están presentes, después de los primeros 5 minutos; y luego continuar enjuagando, si la irritación persiste, solicitar asistencia médica.

Contacto con la piel: Lavar con abundante agua corriente y jabón durante 15-20 minutos. Si la irritación persiste, solicite asistencia médica.

Inhalación: Lleve a la persona al aire fresco.

Ingestión: No inducir el vómito y pedir asistencia médica.

En caso de

EMERGENCIA:

CICOTOX 0800-1-30-40

Aló Essalud 0801-10-200 (Las 24 horas del día) Aris Industrial S. A: 01-336-5428 Anexo 2549

Notas para quien preste los primeros auxilios: el producto no es considerado peligroso. Notas para el médico tratante: inducir al vómito

ARIS INDUSTRIAL S.A.

Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SULFATO DE ALUMINIO PANTERA TIPO A LIQUIDO

Versión: 001-2018

5. EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Medios de extinción adecuados: Espuma química, agua, dióxido de carbono o polvo seco ABC.

Riesgos especiales: No es combustible, no es oxidante ni reductor.

Procedimientos especiales para combatir el fuego: Asperjar con agua para enfriar envases.

Equipo de protección personal para el combate del fuego: El personal debe ingresar utilizando ropa adecuada para combatir incendios de productos químicos corrosivos, y equipo de respiración autónoma, botas de seguridad.

Productos peligrosos que se liberan de la combustión: Óxido de azufre y óxido de aluminio.

6. DERRAMES ACCIDENTALES

Medidas de emergencia a tomar si hay derrames del material: Recoger rápidamente con pala, recogedor, escoba. Colocar el material en recipientes claramente identificados. Para su posterior eliminación.

Equipo de Protección Personal para atacar la emergencia: Usar vestimenta que cubra el cuerpo, así como también guantes, anteojos, mascarilla para polvo.

Precauciones a seguir para evitar daños al ambiente: Evitar que el producto y la solución de lavado ingresen a cursos de agua, alcantarillas y/o desagües.

Métodos de Eliminación de Desechos: Barrer y recoger en recipientes claramente identificados, finalmente trasladar a un botadero autorizado para este tipo de sustancias, de acuerdo a lo dispuesto por la autoridad competente.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAJE

Precauciones a Tomar: Manipulación con implementos de seguridad, guantes de goma puño largo, lentes, ropa para productos químicos, mascarilla para polvos.

Recomendaciones específicas sobre manipulación segura: Manipular en un local de trabajo bien ventilado. Durante la manipulación no beber, comer ni fumar. Evitar el contacto con los ojos. El personal involucrado con su manipulación debe tener todos los elementos de protección recomendados.

Condiciones de Almacenamiento: Almacene en un lugar fresco y seco y bien ventilado; los envases deben estar bien cerrados, porque pueden ganar o perder agua, en condiciones desfavorable de almacenaje debido a que contiene aprox. 14 moles de agua de constitución, pudiendo llegar hasta completar las 18 moles de agua (hidrato químicamente más estable).

8. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Medidas para reducir la posibilidad de exposición: Utilizar los elementos de protección recomendados.

Parámetros de Control: No Aplicables.

Límites Permisibles ponderados (LPP) y Absoluto (LPA): No establecidos.

Protección respiratoria: Se recomienda el uso de mascarilla para polvos.

Guantes de protección: De Neopreno o PVC.

Protección de la vista: Gafas de seguridad o protector facial.

Otros equipos de Protección: overol de algodón.

Ventilación: Use sólo en áreas bien ventiladas.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado Físico:	Líquido
Color:	Transparente a Traslúcido.
Olor:	Característico.
Valor pH:	2.3 Máximo.
Densidad, g/ml (20 °C):	1.290 - 1.340
Solubilidad en agua:	100% soluble.
Aluminio, Al₂O₃, %:	7.80 – 8.20
Basicidad, Al₂O₃, %:	0.20 Máximo.
Hierro, Fe₂O₃, %:	0.10 Máximo.
Insolubles, %:	0.20 Máximo
Temperatura de Inflamación:	No aplicable

ARIS INDUSTRIAL S.A.

Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SULFATO DE ALUMINIO PANTERA TIPO A LIQUIDO

Versión: 001-2018

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD QUÍMICA

Estabilidad: Relativamente estable. Puede ganar o perder agua de cristalización en condiciones desfavorables de almacenaje, en las zonas de la costura del saco, especialmente en almacenes húmedos y con cambios considerables de temperatura. Debe almacenarse siempre bajo techo, a la sombra.

Condiciones que deben evitarse: Se debe evitar almacenar con álcalis o agentes oxidantes fuertes.

Materiales incompatibles: Agentes fuertemente oxidantes. Reacciona con álcalis y ataca a muchos metales en presencia de agua

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad oral Aguda: DL50 (rata): 2,000 a 5,000 mg/Kg

Toxicidad crónica: EPA determina que no son necesarios este tipo de estudios.

Efecto crónico / Agudo: El contacto frecuente y prolongado puede causar dermatitis. Toxicidad para la reproducción: No disponible.

Efectos a corto plazo: Es irritante ocular y dermal.

12. INFORMACIÓN RELACIONADA AL MEDIO AMBIENTE

Toxicidad a los peces: TLm (48 horas, pez mosquito) = 240 mg/L

Efectos Ambientales: Puede ser dañino a la vida acuática. Su toxicidad se asocia con el pH ácido. Cuando el suelo se contamina con este material éste se acidifica.

Biodegradabilidad: No disponible

Consideraciones generales: En exceso puede ser dañino para la vida acuática. Su toxicidad está asociada con el pH ácido. Cuando el suelo se contamina con este material se acidifica.

13. CONSIDERACIONES PARA SU DISPOSICIÓN

Disponer de acuerdo con la legislación local, regional o nacional. Si no se dispone, consultar la legislación internacional

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

Las informaciones relativas al transporte serán de acuerdo a la reglamentación nacional o internacional vigente.

Para el transporte se recomienda cubrir las bolsas adecuadamente para protegerlas de la humedad, luz solar directa y cambios de temperatura extremos.

Clase: No se encuentra registrado.

N° ONU: No se encuentra clasificado como peligroso para su transporte regular.

NFPA:

Salud: 1

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 0



15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Según las normativas internacionales:

Normas internacionales aplicables: IATA,

IMDG Normas nacionales aplicables: DS

298/94 – 198/0 Marcas en etiquetas:

Corrosivo.

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuente confiable, como las Normas Internacionales para productos químicos usados en el tratamiento de aguas ANSI/AWWA B403-98 y la Norma Técnica Peruana; Sin embargo, se entregan sin garantía expresa o implícita respecto a su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son de profesionales capacitados. La información que se entrega en él, es la conocida actualmente sobre la materia. Considerando que el uso de esta información y de sus productos está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Es obligación del usuario trabajar en condiciones de uso seguro del producto, en base a la presente información.

ARIS INDUSTRIAL S.A.

Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473 www.aris.com.pe

Anexo D. Panel fotográfico del proceso de investigación.



Fotografía 01. Canaleta parshall de la PTAP - Moyobamba



Fotografía 02. Flocladores con pantallas



Fotografía 03. Decantadores de flujo horizontal



Fotografía 04. Filtros rápidos



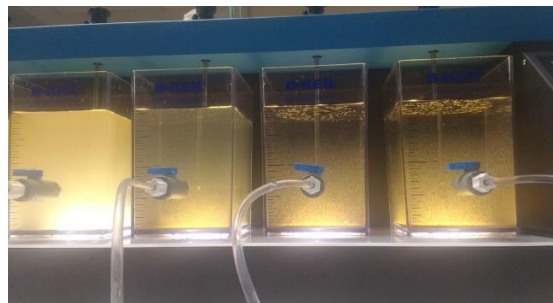
Fotografía 05: Extracción de las muestras de agua cruda, antes del punto de caída del coagulante en la garganta de la canaleta parshall.



Fotografía 06: Llenado de las muestras de agua cruda en las jarras del respectivo equipo perteneciente a la escuela profesional de Ingeniería Sanitaria de la facultad de Ecología.



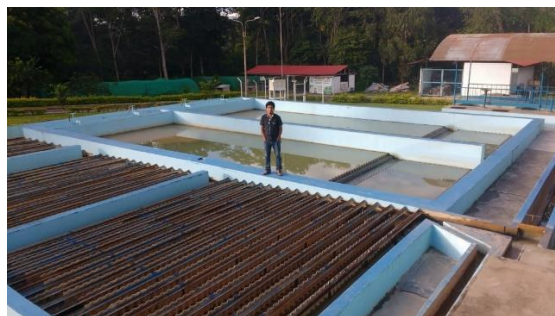
Fotografía 07. Dosificación de las muestras para dar inicio a la prueba de jarras en el equipo test de jarras del laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología.



Fotografía 08. Formación de los primeros floculos tras la mezcla rápida en el equipo prueba de jarras



Fotografía 09. Medición de la turbiedad en cada muestra cada cierto intervalo de tiempo que permitió conocer la velocidad de sedimentación de los floculos en base a la clarificación del agua.



Fotografía 10. Vista panorámica de parte de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Moyobamba

