

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN MARTIN - TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACION FLUCULACIÓN, EN LA
REMOCION DEL HIERRO (II), PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA
QUEBRADA JUNINGUILLO, MOYOBAMBA"

Tesis para optar el grado académico de doctor en
CIENCIAS AMBIENTALES

AUTOR:

Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

ASESOR:

Dr. José Alfredo Cruz Monzón

CO - ASESOR:

Dr. Manuel Padilla Guzmán

Tarapoto – Perú

2017



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 MARTIN - TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN, EN LA
REMOCIÓN DEL HIERRO (II), PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA
QUEBRADA JUNINGUILLO, MOYOBAMBA”**

**Tesis para optar el grado académico de doctor en
CIENCIAS AMBIENTALES**

AUTOR:

Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

ASESOR:

Dr. José Alfredo Cruz Monzón

CO - ASESOR:

Dr. Manuel Padilla Guzmán

Tarapoto – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN - TARAPOTO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN, EN LA
REMOCIÓN DEL HIERRO (II), PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA
QUEBRADA JUNINGUILLO, MOYOBAMBA”**

**Tesis para optar el grado académico de doctor en
CIENCIAS AMBIENTALES**

Autor:

Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

**Sustentada y aprobada el día 14 de Diciembre del año 2017, por los siguientes
jurados**

A blue ink signature of Dra. Rosa Ríos López, written in a cursive style.

.....
Dra. Rosa Ríos López
Presidente

A blue ink signature of Dr. Jaime Alvarado Ramírez, written in a cursive style.

.....
Dr. Jaime Alvarado Ramírez
Secretario

A blue ink signature of Dra. Yoni Meni Rodríguez Espejo, written in a cursive style.

.....
Dra. Yoni Meni Rodríguez Espejo
Vocal


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN - TARAPOTO
ESCUELA DE POSGRADO


PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN, EN LA
REMOCIÓN DEL HIERRO (II), PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA
QUEBRADA JUNINGUILLO, MOYOBAMBA”**

El suscrito declara que el presente trabajo de tesis es original, en su contenido y forma.


.....
Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza
Ejecutor


.....
Dr. José Alfredo Cruz Monzón
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

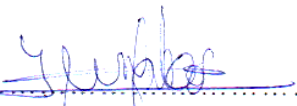
Yrwin Francisco Azabache Liza, egresado de la Sección de posgrado de la Facultad de Ecología, del Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales, con mención el Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° 18070745, con domicilio en: Calle Los Mangos N° 130, ciudad de Moyobamba, con la Tesis titulada: **“EFECTO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN, EN LA REMOCIÓN DEL HIERRO (II), PRESENTE EN LAS AGUAS DE LA QUEBRADA JUNINGUILLO, MOYOBAMBA”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la monografía no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la Tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 14 de diciembre del 2017.


.....
Yrwin Francisco Azabache Liza
DNI N° 18070745



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: <i>Azabache Liza, yruw Francisco</i>	
Código de alumno :	Teléfono: <i>958425398</i>
Correo electrónico : <i>lfazabache@unsm.edu.pe</i>	DNI: <i>18070745</i>

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

2. Datos Académicos

Facultad de:
Escuela Profesional de: <i>Posgrado</i>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: <i>Efecto del Proceso de Coagulación Floculación en la remoción del Hierro (II), presente en las aguas de la quebrada Junungillo</i>
Año de publicación: <i>2017</i>

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

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:

02 / 09 / 2018




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 mis padres Francisco Joaquín y Flor María,
por su apoyo en todas las etapas de mi vida.

A mi esposa Karina; a mis hijas Raquelita,
Anita; a mi hijo Danielito: por su amor y comprensión
durante los años de estudio.

A mis hermanos, Richard y Ronald; por
su invaluable apoyo.

AGRADECIMIENTO

- ❖ A Dios, por guiar mis pasos, durante el largo trajinar de la vida.
- ❖ A la Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, en la persona del Sr. Rector Ing. Dr. Anibal Quinteros García.
- ❖ A la Empresa Potable de Agua y Saneamiento EPS-Moyobamba, Región San Martín; por hacerme acreedor a un apoyo técnico.
- ❖ A la Dr. José Alfredo Cruz Monzón y Dr. Manuel Padilla Guzmán, por sus sabios consejos y acertada orientación durante el desarrollo de la tesis.
- ❖ A los alumnos de la UNSM- Tarapoto, en especial a los estudiantes de la Facultad de Ecología, motivo de mi superación.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1. Antecedentes de la investigación.....	5
1.2. Bases teóricas	9
1.2.1. Definición de términos	9
1.2.2. Coagulación del agua.....	13
1.2.3. Floculación.	19
1.2.4. Tratamientos.	22
1.2.5. Hierro.....	24
1.2.6. Microcuenca Juninguillo.	28
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
2.1. Materiales	30
2.2. Métodos	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
3.1. Resultados.....	33
3.1.1. Medición de los parámetros de calidad físicos y químicos de las aguas de la quebrada Juninguillo.....	33
3.1.1.1. Aplicación de dosis de Sulfato de Aluminio, mes de julio del 2015.....	35
3.1.1.2. Concentración final del Hierro (II) a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$. Etapa 1.....	38
3.1.1.3. Resultados de los parámetros de la calidad del agua en la Etapa I, usando Sulfato de Aluminio, mes de setiembre, Moyobamba de 2015.....	41

3.1.1.4. Variación de los parámetros en los diferentes ensayos en la primera etapa del mes de setiembre – Moyobamba 2015.	44
3.1.1.5. Resultados de los parámetros de la calidad del agua en la Etapa II, usando Cloruro Férrico- Floculante, mes de Julio - Moyobamba de 2015.....	48
3.1.1.6. Concentración final de los parámetros en los diferentes ensayos en la segunda etapa usando Cloruro Férrico- Floculante, mes de julio – Moyobamba 201.....	51
3.1.1.7. Resultados de los parámetros de la calidad del agua en la etapa II, usando Cloruro Férrico-floculante, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	55
3.1.1.8. Concentración de los parámetros en los diferentes ensayos en la segunda etapa usando cloruro férrico- floculante, mes de Septiembre – Moyobamba 2015.	58
3.1.1.9. Promedio de los parámetros de calidad del agua en la Etapa I y II, usando Sulfato de Aluminio y Cloruro férrico- floculante, meses de julio y setiembre – Moyobamba, 2015.	62
3.1.1.10. Variación de los parámetros de calidad del agua en la Etapa I y II, usando Sulfato de Aluminio y Cloruro Férrico- Floculante, meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.	65
3.1.2. Medición de la remoción del hierro (II) y color, según los cinco tipos de ensayos a diferentes velocidades, Moyobamba 2015.	71
3.1.3. Comparación de la diferencia significativa estadística (T STUDENT) de la remoción del hierro (II), y la correlación del hierro (II) y el color, según el tipo de coagulante (sulfato de aluminio y/o cloruro férrico- floculante), Moyobamba 2015.	75
3.1.4. Propuesta de diseño de dosificador para el tratamiento convencional del agua de la quebrada Juninguillo.	86
3.2. Discusiones.....	89
Diseño del Modelo Teórico y su Implantación	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
❖ Conclusiones.....	94
❖ Recomendaciones.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

ANEXOS	101
ANEXO A: Marco legal e institucional.	101
ANEXO B: Proceso de cálculo de un sistema de dosificación en solución	103
ANEXO C: Mapa de Ubicación de la quebrada Juningullo.....	103
ANEXO D: Panel fotográfico.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad del Agua	12
Tabla 2: Parámetros evaluados en muestra de agua sin tratamiento. Julio - 2015.	33
Tabla 3: Parámetros iniciales de la calidad del agua, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.	34
Tabla 4: Resultados primer ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. julio - 2015.	35
Tabla 5: Resultados segundo ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.	36
Tabla 6: Resultados tercer ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.	36
Tabla 7: Resultados cuarto ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.	37
Tabla 8: Resultados quinto ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015. ...	37
Tabla 9: Resumen Fierro (II) a en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.	38
Tabla 10: Concentración final del color en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.	38
Tabla 11: Concentración final de turbidez en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.	39
Tabla 12: Concentraciones finales de potencial de hidrógeno (pH) en la etapa I, mes de Julio - Moyobamba de 2015.	39
Tabla 13: Concentración de sólidos totales disueltos en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.	40
Tabla 14: Concentración de la conductividad en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.	41
Tabla 15: Resultados primer ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Setiembre - 2015.	42
Tabla 16: Resultados segundo ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% Setiembre - 2015.	42
Tabla 17: Resultados tercer ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% Setiembre - 2015.	43
Tabla 18: Resultados cuarto ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% Setiembre - 2015.	43
Tabla 19: Resultados quinto ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% setiembre - 2015.	44
Tabla 20: Resumen Fierro (II) a en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.	44
Tabla 21: Concentración final del color en la etapa I, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.	45
Tabla 22: Variación de turbidez en la etapa I, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.	45

Tabla 23: Concentración final de potencial de hidrógeno (pH) en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	46
Tabla 24: Concentraciones finales de sólidos totales disueltos en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	47
Tabla 25: Variación de la conductividad en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	47
Tabla 26: Primer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.....	48
Tabla 27: Segundo ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.....	49
Tabla 28: Tercer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.....	49
Tabla 29: Cuarto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.....	50
Tabla 30: Quinto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.....	51
Tabla 31: Concentraciones finales del hierro en la etapa II, mes de julio - Moyobamba de 2015.....	51
Tabla 32: Concentración final del color en la etapa II, mes de julio - Moyobamba de 2015.	52
Tabla 33: Concentración final de la turbidez en la etapa II, mes de Julio - Moyobamba de 2015.....	52
Tabla 34: Concentración final de potencial de hidrógeno (pH) en la etapa II, mes de Julio - Moyobamba de 2015.....	53
Tabla 35: Concentraciones finales de sólidos totales disueltos en la etapa II, mes de Julio - Moyobamba de 2015.....	53
Tabla 36: Variación de la conductividad en la etapa II, mes de julio - Moyobamba de 2015.	54
Tabla 37: Resultados primer ensayo a diferentes dosis FeCl_3 al 1% - floculante Setiembre - 2015.- Moyobamba de 2015.	55
Tabla 38: Segundo ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.....	56
Tabla 39: Tercer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	56

Tabla 40: Cuarto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.....	57
Tabla 41: Quinto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	58
Tabla 42: Concentración del hierro en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.....	58
Tabla 43: Concentración del color en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.	59
Tabla 44: Concentración final de turbidez en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.....	59
Tabla 45: Concentración final del potencial de hidrógeno (pH) en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.	60
Tabla 46: Concentración final de sólidos totales disueltos en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.....	60
Tabla 47: Valor de la conductividad en la etapa II, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.....	61
Tabla 48: Promedio del primer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	62
Tabla 49: Promedio del segundo ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	63
Tabla 50: Promedio del tercer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	63
Tabla 51: Promedio del cuarto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	64
Tabla 52: Promedio del quinto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de Julio y setiembre - Moyobamba de 2015.....	64
Tabla 53: Concentración final de hierro en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	65
Tabla 54: Concentración final de color en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	65
Tabla 55: Concentración final de la turbidez en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	67
Tabla 56: Concentración final de pH en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	68

Tabla 57: Concentraciones finales de sólidos disueltos totales (mg /L) en los diferentes ensayos en los meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.....	69
Tabla 58: Variación de conductividad en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.	70
Tabla 59: Remoción del hierro con sulfato de aluminio, Moyobamba 2015.	71
Tabla 60: Remoción del hierro con cloruro férrico- floculante, Moyobamba 2015.....	72
Tabla 61: Remoción del color con sulfato de aluminio, Moyobamba 2015.....	73
Tabla 62: Remoción del hierro (II) con cloruro férrico- floculante, Moyobamba 2015.	74
Tabla 63: Resultados de la remoción de hierro (II) presente después de los tratamientos con cloruro férrico- floculante y sulfato de aluminio	75
Tabla 64: Análisis estadístico mediante T STUDENT para los dos tipos de coagulantes ..	76
Tabla 65: Concentraciones finales de Fe (II) y color (UPC), obtenidos a dosis al 1% de cloruro férrico- floculante.	76
Tabla 66: Correlación de datos entre el hierro (II) y el color removidos con sulfato de aluminio.	77
Tabla 67: Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con cloruro férrico	78
Tabla 68: Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con cloruro férrico- floculante.....	79
Tabla 69: Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con sulfato de aluminio	80
Tabla 70: Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con sulfato de aluminio..	81
Tabla 71: Correlación entre la cantidad y el hierro presente con cloruro férrico	82
Tabla 72: Correlación entre la cantidad y el color presente con cloruro férrico	83
Tabla 73: Correlación entre la cantidad y el hierro presente con sulfato de aluminio	84
Tabla 74: Correlación entre la cantidad y el color presente con sulfato de aluminio.....	85
Tabla 75: Diseño de dosificador para el tratamiento convencional del agua de la quebrada Juninguillo.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del fenómeno de la coagulación.	14
Figura 2: Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante.	19
Figura 3: Remoción del hierro con sulfato de aluminio para los meses de julio y setiembre, Moyobamba 2015.	71
Figura 4: Remoción del hierro con cloruro férrico- floculante para los meses de julio y setiembre, Moyobamba 2015.	72
Figura 5: Remoción del color (UPC) con sulfato de aluminio, Moyobamba 2015	73
Figura 6 : Remoción del hierro (II) con cloruro férrico- floculante, Moyobamba 2015.	74
Figura 7: Grado de dispersión y correlación de la remoción del hierro (II) y color removidos con cloruro férrico- floculante.	77
Figura 8: Grado de dispersión y correlación de la remoción del hierro y color removidos con sulfato de aluminio.	78
Figura 9: Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con cloruro férrico	79
Figura 10: Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con cloruro férrico	80
Figura 11: Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con sulfato de aluminio	81
Figura 12: Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con sulfato de aluminio	82
Figura 13: Correlación entre la cantidad y el hierro presente con cloruro férrico	83
Figura 14: Correlación entre la cantidad y el color presente con cloruro férrico	84
Figura 15: Correlación entre la cantidad y el hierro presente con sulfato de aluminio	85
Figura 16: Correlación entre la cantidad y el color presente con sulfato de aluminio	86
Figura 17: Propuesta de dosificador para el tratamiento de agua potable	88

RESUMEN

La coagulación y floculación constituyen la base en los tratamientos de agua, para la separación de mezclas sólido-líquido, así como un medio de disminución de la turbidez.

En la presente investigación, se evaluó el efecto que ejerce la velocidad y dosis aplicada de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, así como la ejercida por el cloruro férrico $FeCl_3$ -floculante. Para la obtención de los datos experimentales, se utilizó un equipo de “Test de Jarras”, realizando pruebas a 06 niveles de dosis aplicada (1, 2, 3, 4, 5 y 6 mL), y a 05 niveles de velocidad de agitación (100, 150, 200, 250 y 300 r.p.m.). Los resultados reportan que las mejores condiciones, con Sulfato de Aluminio, se lograron con una dosis de 120 mg/L y a una velocidad de 100 r.p.m. de mezcla rápida y 25 r.p.m. de mezcla lenta, disminuyendo el color inicial de 213 UPC hasta 10 UPC, una turbidez inicial de 66.6 hasta 1.1 UNT, una concentración inicial de Fe (II) de 1.37 hasta 0.05 mg/L y una disminución del pH de 6.6 hasta 4.20. Además, usando una dosis de 80 mg/L cloruro férrico- floculante, demuestran que la velocidad de agitación adecuada es de 200 r.p.m. de mezcla rápida y 50 r.p.m. de mezcla lenta, pues ha permitido reducir el color hasta 12 UPC, la turbidez hasta 11.30, la concentración de hierro hasta 0.20 ppm, observándose una disminución del pH hasta 6.50. La evaluación estadística demuestra que, si hay diferencia significativa cuando se utiliza al sulfato de aluminio, así como cuando se utiliza cloruro férrico-floculante, por lo cual su utilización, si tiene efecto en la reducción de la concentración de Fe (II).

Palabras Clave: Proceso de coagulación, floculación, remoción, hierro (II), aguas, quebrada [Juninguillo], Moyobamba.

ABSTRACT

Coagulation and flocculation are the basis for water treatment, for the separation of solid-liquid mixtures, as well as a means of reducing turbidity.

In the following investigation, the effect exerted by the speed and applied dose of aluminum sulphate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, as well as that exerted by the ferric chloride FeCl_3 -flocculant, was evaluated. To obtain the experimental data, a "Jarra Test" kit was used, performing tests at 06 applied dose levels (1, 2, 3, 4, 5 and 6 mL), and at 05 levels of agitation speed (100, 150, 200, 250 and 300 rpm).

The results report that the best conditions, with Aluminum Sulphate, were achieved with a dose of 120 mg / L and at a speed of 100 r.p.m. of fast mixing and 25 r.p.m. slow mixing, decreasing the initial color of 213 UPC to 10 UPC, an initial turbidity of 66.6 to 1.1 NTU, an initial Fe (II) concentration of 1.37 to 0.05 mg / L and a pH decrease of 6.6 to 4.20. In addition, using a dose of 80 mg / L ferric-flocculant chloride, they demonstrate that the appropriate stirring speed is 200 r.p.m. fast mixing and 50 r.p.m. of slow mixing, because it has allowed to reduce the color up to 12 UPC, the turbidity up to 11.30, the iron concentration up to 0.20 ppm, but a decrease in pH up to 6.50 was observed.

The statistical evaluation shows that, if there is a significant difference when using aluminum sulphate, as well as when ferric-flocculent chloride is used, so its use, if it has an effect in reducing the concentration of Fe (II).

Keywords: Coagulation process, flocculation, removal, iron (II), waters, stream [Juningullo], Moyobamba.



INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento poblacional trae consigo la excesiva demanda de los recursos naturales para poder satisfacer las necesidades humanas. Este proceso está llevando a la sobrecontaminación y al agotamiento del recurso hídrico a escala global. Por lo que, es imperativo que se desarrollen sistemas de gestión que conlleven a garantizar la oferta del recurso hídrico. Ante esta situación, tenemos la obligación de coadyuvar esfuerzos que permitan contribuir a la oferta ambiental. (Kunene M., 1968)

En la amazonia peruana, la fuente de agua superficial representa el elemento vital para promover el desarrollo sostenible del mismo, siendo una sustancia utilizada con distintos usos: consumo humano, agrícola, recreacional, pecuario. (Jerónimo A., 2012).

Las aguas naturales o residuales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas. Las materias en suspensión pueden tener un tamaño y densidad tal que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son de un tamaño y tienen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y la formación de una partícula más pesada para poder así sedimentarse (Yaniris L., 2006).

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles. Entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas es preciso alterar algunas características del agua a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración (Vargas L., 2004).

En clarificación del agua superficial, el agua cruda turbia contiene material suspendido, tanto sólidos que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asientan en reposo, o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se asientan pueden ser coloides. La coagulación desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados. Esto se logra por lo general añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, sales de hierro y los polielectrolitos (Kemmer, F., 1998).

La ciudad de Moyobamba es abastecida de agua potable por la Empresa Potable Agua y Saneamiento (EPS). Esta Empresa capta agua de las quebradas Rumiyacu y Allmendra; sin embargo, estas fuentes de captación no se abastecen para suministrar con agua a la ciudad.

La microcuenca Juninguillo es una alternativa para el abastecimiento de agua para la población de Moyobamba, ya que esta ciudad ha tenido un notable crecimiento demográfico. (Proyecto Especial Alto Mayo, 2006). La cuenca del Amazonas es la más extensa de la tierra. Representa el 1.4% de la superficie del planeta Tierra y el 40.18% de la superficie del continente americano. La Amazonía contiene alrededor de la mitad de los bosques tropicales que aún quedan en el planeta. Se le considera una reserva de agua en el planeta. Pues bien, el 13.37% de la cuenca amazónica se encuentra en el Perú. (Jerónimo A., 2012).

Las aguas de la microcuenca Juninguillo presentan color y turbidez muy por encima del estándar de 15 UPC (Unidades Platino- Cobalto) y 5 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) para ser potabilizada por desinfección, pero no superan los 100 UPC (Unidades Platino- Cobalto) y los 100 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) para ser tratada por tratamiento convencional. (Ana B, 2013); esto debido a que en el suelo de la microcuenca Juninguillo presenta alto contenido de hierro y magnesio; en la calicata N°3- Arena Franca –en los niveles de 0.20 y 0.40 presentó 5.32 mg/L para hierro y 2.36 mg/L de magnesio. En la calicata N°1 y 2 se encontró valores de 1.89 y 4.95 mg/L para hierro, 0.523 y 1.986 mg/L de magnesio. La relación del hierro contenido en el agua y en el suelo de la microcuenca Juninguillo tiene un coeficiente de relación de 0.90 y 0.82 con una asociación de 81.9% y 66.68%.

El fierro (Fe) en el agua natural proviene de la disolución de las rocas y minerales donde se encuentra contenido (Laborde, 2003).

Al respecto el autor cree necesario proponer una herramienta técnica y de gestión para contribuir a la solución de los problemas ambientales. Por lo mismo, resulta obligatorio desarrollar un esfuerzo no sólo integral, sino específico que pueda abordar los desafíos propios del agua y el saneamiento.

Formulación del problema

Toda actividad humana de una u otra forma involucra la utilización de agua en su desarrollo, desde el sector más dependiente como es el primario hasta el de servicios. (Vargas, M. y Romerol, L., 2006).

El agua es utilizada para muchos fines, entre ellos consumo humano, irrigación, recreación, procesos industriales, etc. Para cada uso es importante conocer cuáles sustancias están presentes en la fuente de agua, porque estas influyen en la disponibilidad del agua para dicho propósito (Van Bremen, 2001).

En Perú, muchas zonas rurales consumen agua entubada desde los ríos, quebradas o cualquier fuente de agua sea superficial o subterránea que pueda satisfacer sus necesidades. Además, no realizan ningún tratamiento, dentro de los cuales los parámetros a analizar (turbidez, pH, alcalinidad, oxígeno disuelto, coliformes fecales, sólidos totales disueltos y entre otros) por lo general sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (DS N° 031- 2010 SA- MINSAs), privándose de consumir agua de buena calidad, cuya presencia de cualquier componente natural físico o químico en concentraciones mayores a las permitidas en la normativa puede ser nocivo. Para Moyobamba, cuyo principal recurso es el agua proveniente de las quebradas Rumiyacu, Misquiyacu, Allmedra y Juninguillo, es de gran importancia evaluar el sistema de tratamiento de agua potable con el fin de proponer alternativas técnicas de solución a los diversos tipos de contaminación de estas aguas. Así mismo las aguas de la microcuenca Juninguillo presentan un alto contenido de hierro en proporción de 10 veces mayor a las permitidas (0.3 mg/L de hierro) por los Estándares de Calidad Ambiental de agua, dando lugar a la alteración física de la sustancia, demostrada de manera visible en la coloración y puede ser corrosivo en las tuberías de abastecimiento. (PEAM, 2006).

La microcuenca Juninguillo es una alternativa para el abastecimiento de agua para la población de Moyobamba, ya que esta ciudad ha tenido un notable crecimiento demográfico. (PEAM, 2006).

El autor considera de necesaria importancia el tratamiento de estas aguas para el abastecimiento, siendo prioritario el análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, de los cuales son necesarios también el determinar las concentraciones de hierro y manganeso debido a que las características físicas del agua son un indicio de la

presencia de estos elementos. Además, pueden causar problemas en algunas instalaciones de una planta potabilizadora, ya que la que existe se encuentra en mal estado, como en instalaciones sanitarias domésticas e incluso en los recipientes que almacenan el agua. Además, es conveniente identificar y tratar las causas directas que generan las altas concentraciones de estos elementos presentes en la microcuenca Juninguillo.

Se formula el siguiente problema

¿Influye la velocidad de agitación y dosis de aplicada de sulfato de aluminio y cloruro férrico en el proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (II), presente en las aguas de la quebrada Juninguillo, Moyobamba, 2014?”

Objetivo de la Tesis:

Evaluar el efecto del proceso de coagulación floculación en la remoción del hierro (II) presente en las aguas de la quebrada Juninguillo, Moyobamba.

Para el desarrollo de la investigación se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar los parámetros físico químico del agua de la quebrada Juninguillo.
2. Optimizar la remoción del hierro utilizando diferentes concentraciones de coagulantes, floculante, velocidad y tiempo de contacto.
3. Proponer el diseño de un dosificador de coagulante y floculante en base a la velocidad y tiempo de contacto para el tratamiento convencional del agua de la quebrada Juninguillo.

Campo de Acción de la Tesis.

Proceso de coagulación y floculación en la remoción del hierro (II) presente en el las aguas de la quebrada Juninguillo, distrito de Moyobamba, región San Martín, ubicada en las coordenadas UTM Zona 18M, 290281.19 m E, 9334218.00 m S.

Hipótesis

Mediante el proceso de coagulación floculación se puede remover significativamente el hierro (II), presente en el agua de la quebrada Juninguillo, Moyobamba.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

En los últimos 10 años, la demanda de agua potable se ha incrementado en la ciudad de Moyobamba debido al aumento acelerado de la población. Esto ha provocado que en algunos casos el agua proveniente de las quebradas presente características físicas y químicas que no satisfacen los niveles de calidad requeridos para agua de consumo humano. En los estudios realizados encontraron concentraciones de 0.9 mg/L de hierro y en las aguas de la quebrada Juninguillo, distrito Moyobamba, región San Martín, los cuales se atribuyen fundamentalmente a la generación de residuos orgánicos por la actividad agrícola de la zona sobrepasando el límite máximo permisible de 0.3 mg/L de hierro establecido por la Organización Mundial de la Salud. (Consortio Amazónico, 2011)

Según el Informe realizado indica reporte de resultados Físico Químico y Biológicos realizados por el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Servicios de Agua Potable, se indican concentraciones para el agua de la quebrada Juninguillo de 0.81 mg/ L de hierro. Indicando también que durante el año 2012 de calidad físico química de las aguas de las captaciones se registraron turbiedades de hasta 9.78 UNT y color 125 UPC y 0.9528 mg/ L de hierro. (Sedalib S.A, 2012).

Los métodos de remoción de hierro y manganeso por aireación, oxidación, sedimentación y filtración son económicamente factibles, fáciles de implementar y de operar (Valencia, 2011). La realización de diversos ensayos nos permite lograr la selección adecuada de los procesos de tratamiento y la construcción de obras de ingeniería sanitaria que cumplan con los objetivos de remover los parámetros que pueden afectar la calidad del agua de abastecimiento.

El tratamiento por coagulación - floculación – decantación son diferentes para cada etapa del proceso. Para la coagulación el tiempo empleado es de 3 minutos y la velocidad de 200 r.p.m. Para la floculación es un proceso más largo y lento, se realiza durante 15 minutos a una velocidad de 40 r.p.m. Por último, se decanta durante 30

minutos antes de analizar el agua clarificada; la remoción de hierro de las aguas destinadas al consumo humano ha sido realizada en forma satisfactoria por medio de plantas de tratamiento durante muchos años. Si el hierro está presente en aguas ácidas como ión férrico, la simple neutralización resulta suficiente para remover el hierro y comúnmente se emplea la cal para elevar el pH y ajustarlo al valor adecuado de precipitación de las sales de hierro. La remoción por aeración del bióxido de carbono con el consecuente incremento del valor del pH y la oxidación del hierro ferroso a férrico permite cumplir con las normas de calidad de agua. (Morales, 2010)

Para eliminar el hierro y manganeso se realizaron estudios de coagulación con agentes químicos simulando una coagulación en línea. (Ana, 2005).

En la investigación titulada: Remoción de metales pesados por métodos fisicoquímicos en el laboratorio de Ingeniería de Procesos Ambientales y en el laboratorio de aguas de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, los resultados se muestran a continuación: Se encontraron 145.6 mg/L de hierro, luego se realizó la precipitación química (coagulación-floculación). Las sustancias se utilizaron a una concentración de 1000 ppm. El resultado es que el hierro aparece como una sustancia que no supera el límite máximo permisible. (Carrera 2012).

En el trabajo de investigación de Osorno se realizó un diagnóstico del proceso de Coagulación-Floculación de la planta de potabilización de la empresa Cervecería Unión S.A. Los resultados obtenidos muestran que el tipo de coagulante utilizado puede ser remplazado por otro que no demanda tanto contenido de alcalinidad, por lo cual no requiere de control en el pH, así aportó información sobre el rendimiento del coagulante para el tratamiento del agua y la importancia que tiene hacer un seguimiento para que el proceso de coagulación – floculación sea el adecuado. (Osorno, 2011).

El agua superficial empleada como muestra que se tomó del río Carrizal ubicado en una zona conurbada del Municipio de Centro, Tabasco está compuesta de tres tipos de suelos (Feozem, Fluvisol y Gleysol), siendo el Gleysol el tipo predominante, (INEGI, 2001). Los parámetros iniciales del agua cruda superficial fueron los siguientes: turbiedad igual a 70 UNT, color igual a 85 UPC, pH igual a 6.9 y temperatura de 27 C°. Luego se llevó a cabo el proceso de coagulación-floculación mediante el equipo

de Prueba de Jarras marca Phipps & BirdMR, modelo PB-700. Se observa que el tratamiento que presenta el color más bajo es el 2 (28 mg/L de sulfato de aluminio comercial más 2 mg/L de almidón de yuca), con un valor de 7.11 UPC seguido por el tratamiento 1 con 10.33 UPC (30 mg/L de sulfato de aluminio comercial). Se incluyó un control adicional (Tratamiento 0) para descartar el efecto del sulfato de aluminio comercial (28 mg/L sin almidón de yuca) sobre el color del agua. Los tratamientos 0, 1, 3 y 4 son estadísticamente iguales de acuerdo con el contraste de medias de Dunnett. La mayor remoción de color se logró con el tratamiento 2, seguido del 1 con valores de 91.6 % y de 87.9 %, respectivamente. (Rudy, 2012).

En la investigación sobre la acción de los coagulantes en lixiviados, se realizó la coagulación a base de almidón de plátano mezclado con sulfato de aluminio de grado comercial; solo que, en lugar de aguas superficiales, utiliza lixiviados de rellenos sanitarios. Para agua de lixiviado de un relleno sanitario con una turbidez de 126 UNT, logra remociones del 98.6 % de turbiedad con una mezcla de sulfato/almidón en proporción 1:1 con una dosis óptima de 70 mg/L, mientras que, con el sulfato de aluminio de grado comercial con la misma dosis óptima mencionada anteriormente, logra remociones del 97.4 %. En el presente trabajo se logran remociones de turbiedad del 98.7 % para el sulfato de aluminio comercial, mientras que para la mezcla del tratamiento 2 se obtiene 97.9 % para agua cruda superficial de 70 UNT, la dosis óptima fue de 30 mg/L. (Laínez, 2008).

La materia prima (mineral caolinítico) utilizada en el presente trabajo proviene de la mina La Guadalupe, El Carbonero en Huayacocotla, Veracruz (México), se analizó el contenido de hierro mediante espectrofotometría de absorción atómica (AA), marca Perkin Elmer, modelo 2380. La duración de todas las pruebas fue de 3 horas. En este trabajo fue posible efectuar la remoción de hierro de arcillas caoliníticas por medio de lixiviación reductiva, utilizando como agente reductor al tiosulfato de sodio y como agentes complejantes al citrato de sodio y al ácido cítrico. Se observó que cuando se utilizó tiosulfato de sodio y citrato de sodio a 25°C no fue cuantitativa la remoción de hierro, obteniéndose porcentajes de disolución despreciables. En cambio, con el uso de tiosulfato de sodio y ácido cítrico a temperaturas más elevadas se tuvo efectos significativos, obteniéndose la máxima disolución de hierro (100%) a pH igual a 3 y temperatura de 90 °C. De acuerdo al diagrama de distribución de especies del sistema

Fe_2^+ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ y cit-3 elaborado con el software libre Medusa, se corroboró que los complejos solubles que están presentes en el rango de pH (de 2 a 3). En donde se obtuvo mayor disolución de hierro corresponden a las especies $\text{Fe}(\text{cit})$, $\text{Fe}_2(\text{cit})_2(\text{OH})_{22-}$ y $\text{Fe}(\text{cit})\text{OH}^-$. La temperatura también juega un papel importante en la cinética del proceso, el cual probablemente es controlado por la velocidad de dismutación del ion tiosulfato. (Venegas, 2012)

La norma americana ASTM sugiere la mezcla rápida durante un minuto a 120 r.p.m.; mezcla lenta durante unos 20 minutos sin especificar velocidad y 15 minutos de decantación antes de proceder a las determinaciones del clarificado. En el caso de estudio se eligió en un primer momento tiempos de mezcla lenta y sedimentación de 20 minutos como sugiere la norma americana. Sin embargo, como se puede observar, cuando se reducían los tiempos a 15 minutos el resultado del porcentaje de turbidez eliminada no experimentaba ninguna variación o incluso mejoraba para el caso del polielectrolito. Por tanto, se optó por una mezcla rápida de 2 minutos a 100 r.p.m., una mezcla lenta de 15 minutos a 25 r.p.m. y la decantación de 15 minutos. Con las velocidades y tiempos expuestos se obtienen resultados muy buenos en cuanto a eliminación de turbidez. (Mariano, 2003).

Se realizó esta investigación con el propósito de encontrar la mejor alternativa de tratamiento en la remoción de hierro y manganeso mediante una planta piloto con flujo a presión, adecuándose a las condiciones de la comunidad en cuanto a bajos costos de operación y mantenimiento, sin utilización de medios secuestrantes o acondicionados, (Álvaro, 2009). La planta consistió de un aireador seguido de un tanque de contacto, un clarificador de contacto (gravas) y un filtro rápido. Al realizar los ensayos respectivos los parámetros de Fe, Mn, alcalinidad, fosfatos, nitratos, cloruros, oxígeno disuelto y pH cumplieron con los valores establecidos por el Decreto 1575/2007 para calidad de agua potable. Sin embargo, la turbiedad y el color estuvieron por encima de los valores establecidos en este decreto, por esta razón fue necesario aplicar cloruro férrico como ayudante de coagulación para disminuir estos parámetros a valores admisibles, logrando de esta manera disminuir la turbiedad a valores menores de 1 UNT, el color a menos de 15 UPC y obtener valores para Fe menores de 0.04 mg/L y el Mn menor de 0.03 mg/L. La mejor velocidad de tratamiento encontrada en la

investigación fue de 12 m/h, obteniendo remociones de hierro total del 98.3%, hierro disuelto del 100% y de 88.2% para el manganeso.

Se realizó la investigación con el propósito de remover el hierro, (Castañeda, 2015). Los resultados del agua cruda se muestran en los ensayos físico- químicos del agua. Se observa que el agua cruda tiene una concentración de hierro de 6.2 a 8 mg/L, lo cual excede la norma colombiana para agua potable (Resolución 2115 de 2007) que establece como valor máximo aceptable 0.3 mg/L Fe; lo cual indica que para cumplir con la norma colombiana se debe remover mínimo el 95.2%, los valores del hierro del agua tratada. Se observa que cuatro de los métodos usados para remoción de hierro permiten cumplir con el valor máximo aceptable establecido por la norma colombiana de agua potable. En relación con el hierro los métodos con mejor tratamiento son alumbre – cal, almidón – cal – alumbre, y cloruro férrico – cal, los cuales permitieron obtener una remoción de hierro del 100%.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Definición de términos

- **Coagulación:**

Desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos, (Jimeno, 1998).

- **Coagulantes:**

Sulfato de Alúmina: Conocido como Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Sin embargo, su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo. (Mangini, Prendes, Amsler, & Huespe, 2003).

Sulfato Férrico: Funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, uno de los más amplios conocidos. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que está indicado tanto en la precipitación previa como en la precipitación de aguas residuales urbanas o industriales. Se emplea también en tratamiento de agua potable, aunque en algún caso puede producir problemas de coloración. (Tuomas Rinne, 2008).

Cloruro Férrico: Es similar al anterior, aunque de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico, aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas. (Mangini, Prendes, Amsler & Huespe, 2003)

- **Floculación**

Aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos. (Jimeno E., 1998). También es la agrupación de partículas coloidales en agregaos de mayor tamaño, flóculos, los cuales sedimentan por gravedad. Para favorecer la formación de flóculos más voluminosos y su sedimentación, se suelen utilizar determinados productos químicos (floculantes), generalmente de naturaleza polimérica.

- **Sólidos Totales:**

Es la materia que queda como residuo de evaporación de un litro de agua a una temperatura comprendida entre los 103 y 105 grados centígrados. (Coral, 2013). Los sólidos totales están compuestos por materia flotante en suspensión, material coloidal y minerales disueltos. Puesto que la naturaleza de cualquiera de estos sólidos puede ser orgánica o inorgánica y la fracción orgánica se oxida y expulsa como gas a los 600 grados, restando la materia inorgánica como ceniza, se habla de sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos.

- **Turbidez**

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión y en dispersión coloidal. (Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).

- **Agua tratada:**

Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano, Dirección General de Salud Ambiental MINSA Lima – Perú (2011).

- **Agua de consumo humano:**

Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal, Dirección General de Salud Ambiental MINSA Lima – Perú (2011).

- **Sistema de tratamiento de agua:**

Conjunto de componentes hidráulicos de unidades de procesos físicos, químicos y biológicos y de equipos electromecánicos y métodos de control que tiene la finalidad de producir agua apta para el consumo humano, Dirección General de Salud Ambiental MINSA Lima – Perú (2011).

- **Calidad de agua**

Se denomina calidad de agua a la característica que se le atribuye al líquido en el momento de su uso, (Romero J., 2000). La misma se ve afectada por distintos factores debido al tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua.

- **Los LMP (Límites Máximos Permisibles).**

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.

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 031-2010 S.A

- L.M.P: Límites Máximos Permisibles
- UFC: Unidad Formadora de Colonias en 100 mL
- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

- **Los ECAs (Estándares de Calidad Ambiental).**

Son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua

o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

1.2.2. Coagulación del agua.

Coagulación.

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados por medio de la adición de coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. (Castrillón, 2012).

La coagulación, es el tratamiento más eficaz, pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. (Rodríguez, 1995). Es 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 término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

La adición de un coagulante neutraliza las cargas produciendo un colapso de la “nube de iones” que rodean los coloides de modo que se puedan aglomerar (Figura 1). Durante el tratamiento del agua, al agua se le agregan coagulantes para desestabilizar las partículas, (Gómez, 2005). También remover materia orgánica particulada y mejorar su remoción, inducir la floculación y obtener una buena sedimentación.

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. (Rodríguez, 1995). Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan.

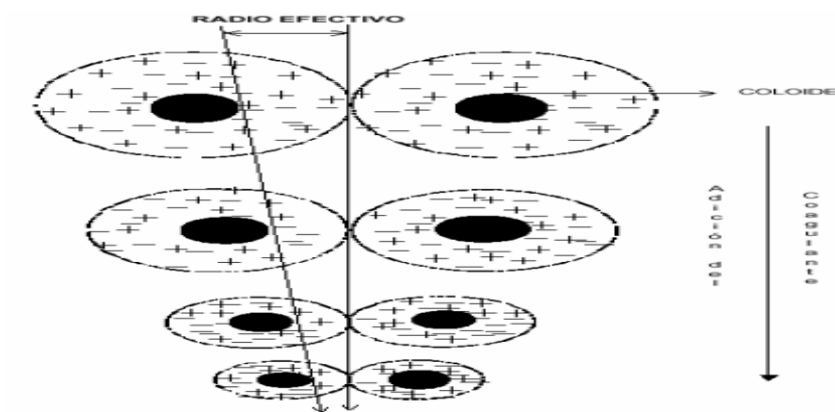


Figura 1: Esquema del fenómeno de la coagulación. (Fuente: Gómez, 2005).

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. (Rodríguez, 2000). Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible.

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la intensidad y el tiempo de mezcla y el tipo de dispositivo de mezcla. El uso de cualquier otro proceso para la remoción de partículas muy finas, como la

sedimentación simple, (Valencia, 2000). Resulta muy poco económico y en ocasiones imposible debido al alto tiempo requerido.

Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas. Esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes), (Restrepo, 2009), de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.

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

A. Teoría de la Coagulación

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras, (Romero, 2002). Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan.

El conjunto formado por estas partículas constituye un sistema coloidal, formado por una doble capa de iones, el cual es sometido a un potencial en la superficie inferior del doble lecho, denominado potencial Z. (Restrepo, 2009). Este potencial tiene un valor crítico por encima del cual los coloides son estables, y por debajo de él la repulsión en las partículas se reduce a un grado tal que chocando con cierta velocidad pueden unirse

y flocular. El problema en la coagulación consiste en disminuir el potencial Z por uno de los siguientes métodos:

- **Coagulación por neutralización de la carga:** Esta se realiza cuando coloides de diferente signo se mezclan en el agua. Esto es lo que sucede cuando se agrega alumbre o sales de hierro al agua. (Osorno, 2009).
- **Coagulación por disminución del espesor de la doble capa (distancia d).** Al incrementarse la concentración de iones en el agua la “distancia d” disminuye hasta hacer el valor del potencial Z inferior al punto crítico. (Osorno, 2009).

El fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones químicas bastante complejas, de las cuales algunas no se han podido entender lo suficiente. (Rodríguez, 1995). Dentro de esas reacciones se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de alcalinidad, por lo cual su contenido disminuye. Además, algunas de estas reacciones producen CO_2 , cuyo efecto consiste fundamentalmente en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH.

B. Factores que influyen en la coagulación

- **Valencia:** Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante. (Murillo, 2011).
- **Capacidad de cambio:** Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida. (Castrillón, 2012).
- **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. (Rodríguez, 1995). Las partículas con diámetro entre una y cinco micras sirven como núcleos de floc; en cambio de diámetro superior a cinco micras son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.

- **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor. (Rodier, 1990).
- **Concentración de iones H^+ o pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante. APHA-AWWA-WEF, (2005).
- **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc. (Rodríguez, 1995).
- **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación. (Rodríguez, 1995).

C. Clases de Coagulantes

En general, se puede decir que los coagulantes son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Por otra parte, ayudas de coagulación en realidad no actúan como tales en la coagulación sino en la floculación generando un floc más pesado. Los productos químicos que se utilizan normalmente en la coagulación son alúmina (sulfato de aluminio), cloruro férrico, aluminato de sodio, sulfato ferroso y cal. La alúmina es el coagulante de uso más extendido. Entre las ayudas de coagulación se incluye el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activa, el almidón y gran número de polielectrolitos de masa molecular alta. La popularidad de los coagulantes de aluminio y hierro surge no solo de su efectividad como coagulantes, sino también de su disponibilidad y relativo bajo costo. La efectividad de estos coagulantes surge por su habilidad de formar complejos polinucleares multicargados en solución con mayores características de absorción. (Castrillón, 2012).

Los coagulantes que se utilizan en la práctica para agua potable son los siguientes:

- **Sales de Aluminio:** Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_3) \times 14\text{H}_2\text{O}$, que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo. (Tuomas Rinne, 2008).
- **Sales de Hierro:** Se utiliza el Cloruro Férrico, FeCl_3 , y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ y FeSO_4 . Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio. (Tuomas Rinne, 2008).
- **Polímeros o polielectrolitos:** Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. (Andía, 2000). La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable.

Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, al juntarse crean aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. (Andía, 2000).

Mientras la coagulación se debe principalmente a una acción química, la floculación se origina y se realiza como consecuencia del transporte de partículas desestabilizadas dentro del agua. (Andía, 2000).

La floculación tiende a dos objetivos:

- Reunir los coloides desestabilizados para formar agrupaciones de partículas o flóculos con peso específico superior al del agua.

- Compactar los flóculos para disminuir su grado de hidratación y conseguir características adecuadas tales como mayor peso y buena consistencia para su fácil remoción.

En la figura 2 se observa que, en la floculación, el floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos más grandes fácilmente sedimentables.

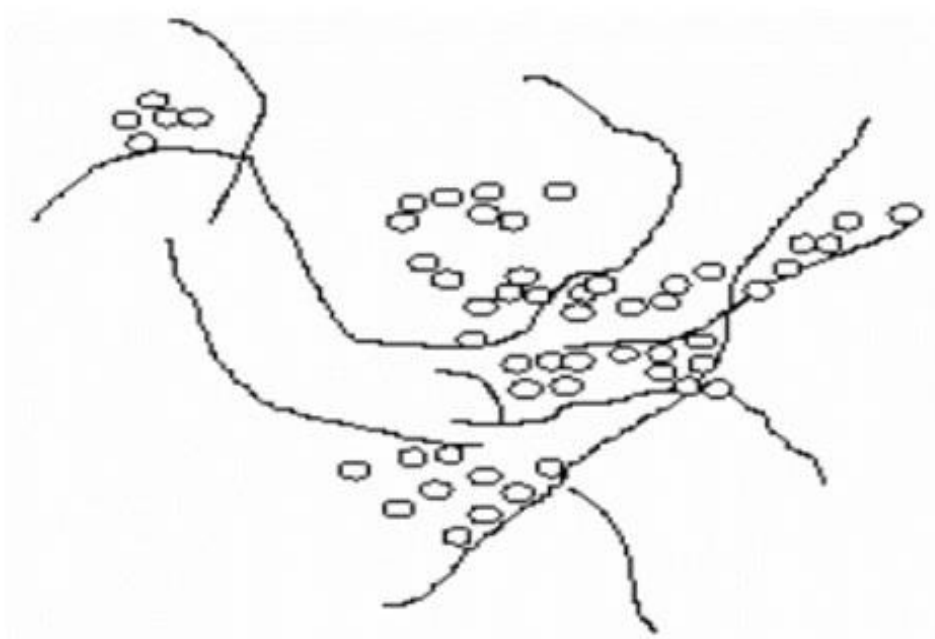


Figura 2: Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante. (Fuente: Andía, 2000).

1.2.3. Floculación.

La floculación consiste en la aglomeración mediante la agitación moderada del agua de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico (flóculos). (Castrillón, 2012). Los objetivos básicos de la floculación son reunir microfloculos 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.

A. Cinética de la Floculación

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo. (Kemmer y Mc Callion, 1995).

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

Los contactos pueden realizarse por dos modos distintos:

- **Floculación pericinética:** Contactos por bombardeo de las partículas producidos por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que solo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Solo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10s y es independiente del tamaño de la partícula. (Kemmer y Mc Callion, 1995).
- **Floculación ortocinética:** Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo solo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso de 20 a 30 min. (Kemmer y Mc Callion, 1995).

B. Factores que influyen en la floculación.

- **Concentración y naturaleza de las partículas:** La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas. (Rodríguez, 1995).
- **Tiempo de detención:** La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras. Esto se puede

lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades. (Rodríguez, 1995).

- **Gradiente de velocidad:** Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se debe tener cámaras intermedias con gradientes elevados. (Rodríguez, 1995).

C. **Proceso de coagulación- floculación en las plantas de tratamiento**

El proceso de coagulación- floculación se realiza en las plantas de tratamiento en tres pasos separados:

- I. Adición de los coagulantes
- II. Dispersión de los coagulantes (mezcla rápida)
- III. Aglutinación de partículas (mezcla lenta)

I. Adición de los coagulantes

Los coagulantes metálicos Al (III) y Fe (III) siempre deben aplicarse en solución verdadera. El aplicarlos en suspensión o peor aún en polvo, sin que las partículas del compuesto hayan tenido tiempo de disolverse, disminuye notablemente la efectividad del proceso, lo que se traduce en un desperdicio de dichas sustancias químicas.

La solución de coagulantes puede prepararse de dos formas:

- Dosificando el polvo en forma continua en un tanque de hidratación.
- Preparando la solución previamente y dosificándolo por gravedad o por bombeo.

1.2.4. Tratamientos.

- Prueba de Jarras

Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. (Cueva, 2014).

La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. (Restrepo, 2009).

Objetivo

Cueva (2014), el ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayuda de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa. Este ensayo se ha usado ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda.

Descripción:

El aparato de prueba de jarra contiene seis remos que remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de revoluciones por minuto (RPM) en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores. (Murrieta, 2016).

- **Dosificadores:**

Dosificadores por vía seca

Se emplean para la aplicación de sustancias químicas en polvo. Pueden ser de tipo volumétrico o gravimétrico. Para seleccionar el tipo de dosificador, se requiere tener en cuenta la precisión requerida, el tipo de producto que se va a dosificar y el rango de trabajo que debe tener el equipo, lo cual depende de las dosis máxima y mínima necesarias y de los caudales por tratar.

La selección de los equipos de dosificación en seco se efectúa determinando el rango de trabajo que deberá tener el equipo. Este rango está constituido por los límites máximo y mínimo de dosificación que se deberán atender, los cuales se determinan a partir de la información obtenida en el estudio de laboratorio (curva de dosis óptima versus turbiedad de agua cruda). (CEPIS, 2004).

- Este tipo de dosificadores solo deben ser seleccionados para ciudades grandes en las que se pueda disponer de energía eléctrica en forma continua, ciudades con buen nivel de desarrollo, donde se disponga de los recursos materiales, económicos y de personal necesarios, a fin de que dichos equipos puedan recibir buena operación y mantenimiento. Son dosificadores de alto costo, requieren ser calibrados con frecuencia para mantener su exactitud y son muy susceptibles a los cambios granulométricos provocados por la humedad. (CEPIS, 2004).
- No se recomienda utilizarlos para caudales menores de 20 L/s. (CEPIS, 2004).

- Para la dosificación de cal, el uso de vibradores es esencial. (CEPIS, 2004).

Dosificación en solución

Esta instalación se compone de un tanque de preparación de la solución y del sistema de dosificación, que puede ser por bombeo o por gravedad. El tanque de solución se diseña con el volumen necesario para que brinde servicio durante un turno de operación (T). La duración de cada turno es normalmente de 8 horas. (CEPIS, 2004).

Deben considerarse siempre dos unidades, una en operación y la otra en preparación, de manera que el cambio pueda ser rápido y la dosificación continua. (CEPIS, 2004).

En instalaciones grandes, para que los tanques no resulten demasiado voluminosos, se diseñan para concentraciones altas (10 ó 20%) y la concentración óptima se regula con una aplicación de agua adicional a la salida del dosificador. (CEPIS, 2004).

El caudal de agua adicional debe calibrarse con un rotámetro, para que la concentración de la solución sea exacta y corresponda a la óptima.

Las tuberías de solución se diseñan para un caudal máximo calculado mediante la ecuación (tabla 75), considerando la dosis máxima (DM). El material de estas tuberías debe ser resistente a las sustancias químicas que van a transportar. Normalmente se utilizan tuberías de plástico o de acero inoxidable. (CEPIS, 2004).

1.2.5. Hierro.

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la tierra y es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales, (Burbano, 2011). 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 de Hierro (Fe) depende del estado en que se encuentre el mineral y de la calidad del agua presente, AWWA, (2002). En aguas subterráneas en ausencia de oxígeno, las formas de hierro (hierro ferroso, Fe+2) pueden aparecer en forma reducida (estado de oxidación +2) como iones metálicos libres Fe^{2+} o en forma compleja con material orgánico natural como es el caso de aguas superficiales, los cuales pueden ser afectados por la tensión iónica a la concentración de las especies disueltas, como ligantes que pueden formar compuestos de coordinación o complejos con el metal.

La forma del hierro en el agua depende, ante todo, del pH y del potencial de oxidación reducción, AWWA, (2002). El hierro puede pasar de una forma disuelta (por ejemplo, Fe^{2+} o $FeOH^+$) a una forma precipitada ($FeCO_3$, $Fe(OH)_2$ o $Fe(OH)_3$), al aumentarse el potencial (oxidación), el pH o ambos.

El hierro al oxidarse, ya sea al momento de la cloración o con el oxígeno del aire, se precipita generando un color rojo-oscuro que provoca el rechazo de los consumidores, manchan la ropa, obstruyen tuberías, accesorios y bombas, reducen la capacidad hidráulica de las redes, generando altos costos en la operación y mantenimiento de sistema de abasto por reposición y reparación de las mismas, (Loaiza, 2009). Las concentraciones elevadas de hierro pueden acelerar el crecimiento biológico en los sistemas de distribución y contribuir a los problemas de sabor y olor en el agua, así mismo aumentan la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección, igualmente los bajos niveles de oxígeno contribuyen con problemas de olor y sabor en el agua.

Eliminación de hierro y manganeso

El hierro y manganeso deben eliminarse de las aguas de consumo por diversas razones:

- Causas de corrosión o de obstrucción de las tuberías (directamente por precipitación y formación de depósitos o indirectamente favoreciendo el desarrollo de bacterias específicas)
- Aspecto del agua
- Sabor metálico

- Inconvenientes en el lavado de la ropa

En aguas de superficie el hierro y el manganeso se encuentran generalmente en estado oxidado y precipitado, por lo que se eliminan por tratamientos clásicos de clarificación. (Orella, 2005)

A. Métodos de remoción de hierro.

Existen diferentes tecnologías de tratamiento para la remoción de hierro como precipitación química, oxidación química (cloro, Ozono, permanganato de potasio), oxidación biológica, sistemas de aireación, intercambio iónico, absorción en medios acondicionados y procesos secuestrantes. (Romero, 2000).

- **Precipitación química:** La remoción de hierro y manganeso del agua por precipitación química depende principalmente del estado disuelto en que se encuentra los compuestos formados en el agua. Los procesos más utilizados en la precipitación química son la coagulación y la aplicación de cal. (Loaiza, 2009).
- **Precipitación con cal:** La cal es utilizada básicamente para el proceso de ablandamiento del agua y es efectiva para remover Fe^{++} y Mn^{++} especialmente si el pH es mayor de 9,8 y existe alcalinidad suficiente (20 mg/L). (Loaiza, 2009).

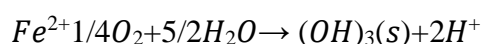
El ablandamiento con cal es el utilizado habitualmente, debido a que las aguas destinadas al consumo humano suelen contener un nivel de bicarbonatos suficiente.

La reacción de la cal con la dureza es muy lenta en ausencia de gérmenes de cristalización. Por el contrario, en contacto con una masa suficiente de cristales de carbonato cálcico ya formados, la reacción transcurre en varios minutos (Espigares G & Pérez L., 2001). Como la precipitación se efectúa

sobre los cristales, estos tienden a aumentar su volumen con lo que aumenta la velocidad de sedimentación. Esto ocurre si la superficie de los cristales de CO_3Ca se encuentra suficientemente limpia. Por ello, la presencia de sustancias orgánicas coloidales puede impedir la cristalización, siendo una de las razones por las que se realiza simultáneamente una coagulación-floculación.

- **Coagulación:** La coagulación es un proceso que tiene por objeto desestabilizar material coloidal y agrupar partículas dispersas en el agua en otras más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas por filtración y sedimentación. En este caso la coagulación permite formar hidróxidos de hierro o aluminio de baja solubilidad y lograr su precipitación. A pH alto de hidróxido metálico se precipita mejor. Sin embargo, el pH no puede ser demasiado alto porque el hidróxido metálico podría redisolverse. (Loaiza, 2009).
- **Oxidación química:** Los procesos de oxidación química son variados y su naturaleza de reacción depende de las sustancias oxidantes empleadas. La oxidación química se divide en sustancias oxidantes como el cloro, ozono, permanganato de potasio, (Loaiza, 2009). Al utilizar sustancias químicas como oxidantes del hierro es importante garantizar un tiempo de contacto entre 5 y 30 minutos que permita una eficiente y completa reacción química.
- **Sistemas de aireación:** La aireación se lleva a cabo para cumplir dos propósitos, transferir oxígeno (oxígeno disuelto) al agua mejorando sus características físico-químicas y organolépticas como olor, sabor y coloración; igualmente remover gases como CO_2 , H_2S , SO_2 . AWWA, (2002) y también es usado para remover químicos carcinogénicos como trihalometanos, radón, tricloroetileno, tetracloroetileno, tricloroetano, cloroformo y tolueno. (Loaiza, 2009).

La rapidez de la oxidación del hierro ferroso por el oxígeno depende de varios factores, en especial: temperatura, pH, contenidos de Hierro y de oxígeno disuelto. La reacción será tanto más rápida cuando se sube el pH y cuanto más próxima esté el agua a la saturación de oxígeno, AWWA, (2002); (Jerry, 2008). El Fe (II) disueltos en el agua se oxidan con el oxígeno bajo condiciones adecuadas a sus formas precipitadas de hidróxido férrico representada en la siguiente ecuación.



1.2.6. Microcuenca Juninguillo.

- Ubicación geográfica y demarcación

La microcuenca quebrada Juninguillo – Moyobamba, se encuentra ubicada en la zona de protección y conservación Ecológica (ZPCE) Juninguillo – Yanayacu, distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín. Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran ubicados en las coordenadas UTM X: 283000, Y: 939000 y X: 298000, Y: 9341000. (Cobos, 2016). (Ver Anexo C).

La quebrada Juninguillo, está comprendida dentro de la cuenca Media del río Mayo, margen izquierdo del río Mayo, que es un importante tributario del río Huallaga. (Cobos, 2016).

Las descargas de agua de la microcuenca Quebrada Juninguillo, como consecuencia de las precipitaciones, se producen por efecto de la gravedad hacia la quebrada Juninguillo (curso principal de la microcuenca), dicho cauce presenta pendientes moderadas, cuya cota se encuentra desde los 800 y 1500 msnm. Sin embargo, la parte media de la microcuenca tiene características de relieve con pendientes bastante pronunciadas, teniendo como consecuencia procesos erosivos relevantes y transporte de material granular; toda vez que las características edáficas de la parte media y alta de la microcuenca son de suelos poco profundos y altamente inestables. Además, la quebrada Juninguillo, presenta un flujo de aguas superficiales

de manera permanente durante los doce meses del año, registrándose un caudal medio de $0.5\text{m}^3/\text{s}$. Y el mismo que discurre de Norte Este a Sur Oeste como afluente de río Mayo a la altura del puerto Juningue de la ciudad de Moyobamba. (Cobos, 2016).

- Características físicas y topográficas de la quebrada Juninguillo
La Microcuenca quebrada Juninguillo ubicada en la margen izquierda del río Mayo, al Norte del distrito de Moyobamba, tiene las siguientes características físicas y topográficas:
 - a) Área (A): Tiene una extensión de 3251.30 has. Según Pronamachs – Perú y se clasifica como microcuenca.
 - b) Perímetro de microcuenca (Pme): Tiene una longitud total de 38.66Km.
 - c) Factor forma (Kf): El factor forma es de 0.18, como es menor de 1.0, la cuenca es alargada como un curso principal largo, por lo tanto, con poca diferencia a concentrar el escurrimiento superficial; salvo situaciones características de eventos muy extremos.
 - d) Coeficiente de compacidad: El coeficiente de compacidad es de 1.90, como es menor que 1.0 tiene una forma oval oblonga a rectangular, lo que quiere decir que tiene poca tendencia a grandes crecidas salvo eventos entremos.
 - e) Altitud de la microcuenca (H): Varía de 800msnm hasta 1680msnm, por tanto, tiene una elevación media de 1240msnm.
 - f) Pendiente media de la cuenca (Mc): La pendiente media de la cuenca es de 7.15%, esta pendiente tiene relación con los diferentes procesos hidrológicos: infiltración, humedad del suelo, aguas subterráneas, escurrimiento superficial, tiempo de concentración de partículas. Por tanto, afecta al comportamiento de la esorrentía superficial de las aguas de la lluvia e incide en las avenidas del cauce principal.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

A continuación, se enumera el material utilizado en los ensayos realizados en el laboratorio:

- Equipo Jarras Test, marca Phipps & Bird MR, modelo PB-900
- Espectrofotómetro DR 2800 con paso óptico de 1 cm.
- Turbidímetro HACH 2100 Q.
- 6 vasos de precipitados de 1 L
- 2 vasos de precipitados de 50 mL.
- 1 vaso de 500 mL.
- Probeta graduada de 1000 mL.
- 2 matraces aforados de 250 mL.
- 2 pipetas de 1 mL
- 1 pipeta de 2 mL
- 1 pipeta de 10 mL.
- Pipeteador.
- 01 micropipeta de 100 – 1000 μ L.
- pH-metro serie HI9819X
- Conductímetro.

2.2. Métodos

Los métodos empleados fueron:

Primera etapa: Facto perceptible

- Método histórico: Donde se realiza el conocimiento del proceso de coagulación floculación; así como características del elemento hierro en la naturaleza, específicamente en las aguas.
- Método bibliográfico-documental: Para establecer el contexto en el que se encuentra la zona de la quebrada Juningullo, donde se encuentra el elemento hierro en sus aguas en exceso.

- Método estadístico: Para efectuar el análisis de la información estadística disponible, así como para procesar la información de los análisis químicos y para presentarlo en tablas y gráficos para luego efectuar el análisis de resultados.

Segunda Etapa. Elaboración del modelo teórico.

Método de modelación: Es usado para el establecimiento del sistema para proceso de coagulación floculación en la remoción del Hierro presente en la quebrada Juninguillo.

Método sistémico-estructural: Para compilar los procesos de tratamiento para la remoción del hierro en la naturaleza; así como para establecer correspondencia entre ellos.

Para la remoción del hierro, que se encontraba a elevadas concentraciones, así como el color, relacionado a la presencia del metal indicado, se realizó el proceso de Coagulación floculación. Para lo cual, se utilizaron sustancias que ejercen dicha acción: sulfato de aluminio y cloruro férrico.

El equipo utilizado se llama Prueba de Jarras, se realizaron pruebas experimentales, donde se hizo variar la velocidad de mezclado para el proceso de coagulación y para el proceso de floculación; se analizó la influencia de los volúmenes añadidos de las sustancias que ejercen la acción de coagulante/ floculante. A partir de los datos obtenidos se realiza la propuesta para diseño de un dosificador de coagulante y floculante en base a la concentración, velocidad y tiempo de contacto para el tratamiento convencional del agua de la quebrada Juninguillo.

Método hipotético-deductivo: Con este método se determina los elementos y etapas para enlazar el proceso de coagulación floculación en la remoción del Hierro presente en la quebrada Juninguillo.

Tercera etapa: Elaboración de la propuesta a partir del modelo teórico

Método sistémico-estructural: Para establecer la concordancia entre las etapas y

actividades para el proceso de coagulación floculación en la remoción del Hierro presente que se plantea para la quebrada Juninguillo.

Se exponen las diferentes alternativas de tratamiento propuestas con sus respectivos ensayos, luego se definen los parámetros determinados en el laboratorio con las condiciones iniciales establecidas para cada uno de ellos y, por último, se enumeran las etapas que conlleva un ensayo “Jar-Test” además de especificar las etapas de valoración de una alternativa propuesta.

A continuación, se exponen la alternativa (coagulante-floculante) que se ha estudiado especificándose los ensayos realizados para cada situación.

- Cloruro férrico (FeCl_3) al 40%: Coagulante de naturaleza inorgánica utilizado para el tratamiento de aguas y efluentes. Cuando se disuelve en agua sufre hidrólisis y libera calor en una reacción exotérmica, de ello resulta una solución ácida y corrosiva de color marrón.
- Sulfato de aluminio $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$ al 60 %, coagulante inorgánico disuelto en agua para la reacción.

Las muestras de agua de la quebrada Juninguillo se tomaron para determinar ciertos parámetros que son: (Turbidez, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, hierro y color), siguiendo los pasos:

- Se calculó el porcentaje del insumo (Coagulante, Floculante), en este caso sulfato de aluminio y cloruro férrico- floculante.
- Se pesó el Insumo para hacer la solución al porcentaje estipulado.
- Se evaluaron los parámetros iniciales (Hierro, color, Turbidez, pH, Conductividad, Sólidos totales disueltos)
- Se llenó los 6 vasos precipitados con la muestra problema, cada uno con una capacidad de 500 mL.
- Se programó el equipo a diferentes tiempos de prueba de jarras para la corrida.
- Se inyectó el coagulante a la dosis seleccionada para esta corrida.
- Finalmente se tomaron los resultados obtenidos para luego plasmarlos en cuadros y hacer su análisis.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Resultados

3.1.1. Medición de los parámetros de calidad físicos y químicos de las aguas de la quebrada Juninguillo.

La muestra utilizada se obtuvo de las aguas de la quebrada Juninguillo ubicada en el distrito de Moyobamba, en las coordenadas Zona 18M, 290281.19 m E, 9334218.00 mS, la cual luego de evaluarla se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2:

Parámetros evaluados en muestra de agua sin tratamiento. Julio - 2015.

Punto de muestro Juninguillo 2015			
Lugar	Juninguillo		
Muestreo	8/07/2015		
Fecha de Análisis	9/07/2015		
Parámetro	Unidad	Valor inicial	ECA
Color	UPC	213	15
Turbidez	UNT	66.6	5
Conductividad	μS/cm	14.25	1500
STD	mg/L	7.20	1000
pH	pH	6.00	6.5
Hierro	mg/L	1.37	0.3

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

Para el mes de Julio, las muestras iniciales tomadas directamente de la quebrada Juninguillo– Moyobamba, Julio 2015 demuestran estar en una condición poco favorable y muy alejada de la calidad para la potabilización y consumo humano. En cuanto a color se pudo observar la exagerada elevación en comparación con los ECAs que es de 213 a 15 UPC que indica el estándar; la turbidez inicial en la quebrada también se encuentra elevada con 66.6 UNT que pasa el estándar de 5 UNT; la conductividad a diferencia de los otros parámetros se encuentra muy por debajo de lo que indica la norma siendo 14.25

debajo de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que indica la norma, los STD también están por debajo con un valor 7.2 indicando un adecuado estado pues en el estándar se admite hasta 1000 mg/L; el pH en sí está cerca del rango de 6.5-8.5 que indican los ECAs. Respecto al hierro, en la quebrada en este mes vemos un valor elevado cuadruplicando el estándar que indica dice que debe ser 0.3, pero que esta muestra tiene un valor de 1.37 mg/L.

Tabla 3:

Parámetros iniciales de la calidad del agua, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.

Punto de muestro Juninguillo 2015			
Lugar	Juninguillo		
Muestreo	8/07/2015		
Fecha de Análisis	9/07/2015		
Parámetro	Unidad	Valor inicial	ECA
Color	UPC	223	15
Turbidez	UNT	68.74	5
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	13.54	1500
STD	mg/L	8.40	1000
pH	pH	5.30	6.5
Hierro (II)	mg/L	1.42	0.3

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

Para el mes de Setiembre 2015, las muestras iniciales tomadas directamente de la quebrada Juninguillo- Moyobamba, conforme a la anterior, demuestran estar en una condición poco favorable y muy alejada de la calidad para el consumo humano. En cuanto a color se pudo observar la exagerada elevación en comparación con los ECAs que es de 223, a 15 UPC que indica el estándar; la turbidez inicial en la quebrada también se encuentra elevada con 68.74 UNT que pasa el estándar de 5 UNT; la conductividad a diferencia de los otros parámetros se encuentra muy por debajo de lo que indica la norma, siendo 13.54 debajo de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los STD también están por debajo con un valor 8.4 indicando un adecuado estado, pues en el estándar se admite hasta 1000 mg/L; el pH en este mes está más alejado del rango de 6.5-8.5 que dan los ECAs con 5.3 pH. Finalmente, respecto al hierro, en la quebrada en este mes vemos un valor elevado cuadruplicando el estándar que indica que debe ser 0.3, pero que en esta muestra encontramos 1.42 mg/L.

3.1.1.1. Aplicación de dosis de Sulfato de Aluminio, mes de Julio del 2015.

Para la realización del primer ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida:	300 r.p.m. durante 1.5 min
Mezcla lenta:	75 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4:

Resultados primer ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06
Color (UPC)	12	15	14	13	13	12
Turbidez (UNT)	0.93	0.79	0.86	1.03	0.95	0.86
pH	4.58	5.00	4.57	4.60	4.30	3.94
STD (mg /L)	30.7	30.1	39.7	47	51.3	60.7
Conductividad (μ S/cm)	61.4	59.6	79.9	93.4	85.4	122.1

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del segundo ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1% se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida:	250 r.p.m. durante 1,5 min
Mezcla lenta:	63 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Con lo cual los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5:

Resultados segundo ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.07	0.06	0.09	0.05	0.03	0.04
Color (UPC)	12.00	13.00	15.00	11.00	10.00	11.00
Turbidez (UNT)	0.72	0.88	1.15	1.56	1.7	0.71
pH	4.18	4.21	4.14	4.19	4.21	4.02
STD (mg /L)	27.50	21.30	34.90	44.10	50.20	54.40
Conductividad (μ S/cm)	54.80	42.80	69.40	88.50	89.60	108.60

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del tercer ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1% se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 200 r.p.m. durante 1,5 min

Mezcla lenta: 50 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6:

Resultados tercer ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
Color (UPC)	16	15	21	19	22	17
Turbidez (UNT)	0.88	1.15	1.54	0.64	1.38	1.10
pH	4.32	4.27	4.3	4.25	4.32	4.30
STD (mg /L)	20.40	33.40	36	42	51	60.3
Conductividad (μ S/cm)	40.90	66.70	72.1	83.80	102.2	120.6

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del cuarto ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones

Mezcla rápida: 150 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 37.5 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7:

Resultados cuarto ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.09	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
Color (UPC)	7.00	9.00	12.00	11.00	10.00	9.00
Turbidez (UNT)	0.70	0.65	0.80	0.68	1.13	1.02
pH	4.12	4.17	4.16	4.80	4.42	4.30
STD (mg /L)	20.00	18.20	72.20	42.90	48.50	57.00
Conductividad (μ S/cm)	41.00	38.70	72.00	80.60	97.10	114.00

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del quinto ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1% se consideraron las siguientes condiciones

Mezcla rápida: 100 r.p.m. durante 1,5 min

Mezcla lenta: 25 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8:

Resultados quinto ensayo a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Julio - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe +2)	0.05	0.07	0.06	0.02	0.02	0.05
Color (UPC)	12.00	13.00	10.00	14.00	11.00	10.00
Turbidez (UNT)	0.81	0.74	0.53	1.00	0.82	1.2
pH	4.11	3.99	3.97	4.10	4.17	4.15
STD (mg /L)	58.7	53.70	44.00	36.00	31.30	23.30
Conductividad (μ S/cm)	116.3	107.6	88.00	72.2	62.7	46.6

FUENTE: Elaboración del autor.

3.1.1.2. Concentración final del Hierro (II) a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$.

Etapa 1.

Tabla 9:

Resumen Hierro (II) a en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° Ensayo	Hierro (ppm Fe+2) a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
1	0.05	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06
2	0.07	0.06	0.09	0.05	0.03	0.04
3	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
4	0.09	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
5	0.05	0.07	0.06	0.02	0.02	0.05

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El promedio de hierro después del proceso de floculación coagulación con sulfato de aluminio en la quebrada Juningullo se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental de agua para consumo humano. En los resultados de prueba de jarras se encontró que el valor más elevado de hierro es de 0.09 mg/L en el ensayo 2, 3 y 4; en las jarras 3 y 1 respectivamente. En el D.S 031 – 2010 –S.A, da como límite máximo permisible de hierro en el agua para consumo humano de 0.30 mg/L, lo que demuestra que a estas dosis el tratamiento del hierro es óptimo mediante coagulación floculación.

Tabla 10:

Concentración final del color en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final Color (UPC)					
1	12.00	15.00	14.00	13.00	13.00	12.00
2	12.00	13.00	15.00	11.00	10.00	11.00
3	16.00	15.00	21.00	19.00	22.00	17.00
4	7.00	9.00	12.00	11.00	10.00	9.00
5	12.00	13.00	10.00	14.00	11.00	10.00

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El color en los ensayos se encuentra en un promedio aceptable de las normas de calidad de agua para consumo humano, encontrándose el valor más elevado en el tercer ensayo de la prueba de jarras en la jarra 5 con 22 UPC.

Tabla 11:

Concentración final de turbidez en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final de Turbidez (UNT)					
1	0.93	0.79	0.86	1.03	0.95	0.86
2	0.72	0.88	1.15	1.56	1.70	0.71
3	0.88	1.15	1.54	0.64	1.38	1.10
4	0.70	0.65	0.8	0.68	1.13	1.02
5	0.81	0.74	0.53	1.00	0.82	1.20

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

La turbidez en esta primera etapa con sulfato de aluminio se encuentra dentro de los rangos permisibles de las normas de calidad de agua para consumo humano, que establece como límite máximo 5 UNT según el D.S 031-2010 S.A. En estos ensayos se tiene como el valor más elevado 1.56 UNT, un valor muy inferior al límite máximo que se establece, demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio es óptima.

Tabla 12:

Concentraciones finales de potencial de hidrógeno (pH) en la etapa I, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales de Potencial de Hidrógeno(pH)					
1	4.58	5.00	4.57	4.60	4.30	3.94
2	4.18	4.21	4.14	4.19	4.21	4.02
3	4.32	4.27	4.3	4.25	4.32	4.3
4	4.12	4.17	4.16	4.8	4.42	4.3
5	4.11	3.99	3.97	4.1	4.17	4.15

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El potencial de hidrógeno (pH) en esta primera etapa con sulfato de aluminio se

encuentra por debajo del rango que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, que establece (6.5-8.5). En este ensayo se encuentra el valor más elevado de 5, que es un valor inferior al rango que establece la norma, demostrando que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio en términos de potencial de hidrógeno no es óptimo.

Esto se debe a que los cuerpos de agua de la quebrada Juninguillo no son alcalinas y el sulfato de aluminio al reaccionar forma ácidos, que no pueden ser neutralizados. Esto hace que el pH no cumpla con la norma, haciendo que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio a estas dosis no es recomendable para tratar el agua de la quebrada, recomendándose buscar una alternativa diferente al sulfato de aluminio.

Tabla 13:

Concentración de sólidos totales disueltos en la etapa I, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales de Sólidos Totales Disueltos					
	(mg /L)					
1	30.7	30.1	39.7	47	51.3	60.7
2	27.5	21.3	34.9	44.1	50.2	54.4
3	20.4	33.4	36	42	51	60.3
4	20.00	18.20	72.20	42.90	48.50	57.00
5	58.7	53.7	44.00	36.00	31.3	23.3

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El proceso de coagulación floculación en la primera etapa con sulfato de aluminio, en términos de sólidos totales disueltos se encuentra dentro de los límites que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, que indica 1000 mg /L; en esta primera etapa se encontró como valor máximo 60.7 que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma, demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio en función de sólidos totales disueltos es óptimo para esta etapa.

Tabla 14:

Concentración de la conductividad en la etapa I, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Conductividad Finales ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
1	61.40	59.60	79.90	93.40	85.40	122.10
2	54.80	42.80	69.40	88.50	89.60	108.60
3	40.90	66.70	72.10	83.80	102.20	120.60
4	41.00	38.70	72.00	80.60	97.10	114.00
5	116.30	107.60	88.00	72.20	62.70	46.60

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

Le proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio en términos de conductividad es óptima, encontrándose el valor más elevado de 122.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano, que establece 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De esta manera se ve reflejado que la coagulación floculación con sulfato de aluminio en esta primera etapa es recomendable para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juninguillo.

3.1.1.3. Resultados de los parámetros de la calidad del agua en la Etapa I, usando Sulfato de Aluminio, mes de setiembre, Moyobamba de 2015.

Para la realización del primer ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 300 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 75 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 15:

Resultados primer ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1%. Setiembre - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.05	0.04	0.06	0.05	0.07	0.06
Color (UPC)	13.00	12.00	16.00	14.00	12.00	15.00
Turbidez (UNT)	1.89	1.97	1.39	1.65	2.17	2.63
pH	4.63	4.42	4.35	4.37	4.33	4.70
STD (mg /L)	22.89	37.98	45.05	55.83	62.87	74.89
Conductividad (μ S/cm)	41.88	69.28	82.38	102.1	115	137.2

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del segundo ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 250 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 63 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Con lo cual los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16:

Resultados segundo ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% Setiembre - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe +2)	0.07	0.06	0.09	0.05	0.03	0.04
Color (UPC)	30.00	28.00	42.00	36.00	39.00	35.00
Turbidez (UNT)	0.72	0.88	1.15	1.56	1.7	0.71
pH	4.18	4.21	4.14	4.19	4.21	4.02
STD (mg /L)	27.5	21.3	34.9	44.1	50.2	54.4
Conductividad (μ S/cm)	54.8	42.8	69.4	88.5	89.6	108.6

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del tercer ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 200 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 50 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 17:

Resultados tercer ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% Setiembre - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.14	0.11	0.1	0.13	0.09	0.15
Color (UPC)	13	14	12	14	10	17
Turbidez (UNT)	1.9	2.56	0.85	1.76	1.46	1.34
pH	4.54	4.37	4.63	4.7	4.67	4.53
STD (mg /L)	24.4	35.4	27.5	51.12	57.89	54.4
Conductividad (μ S/cm)	30.9	45.7	52.1	65.8	92.2	103.6

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del cuarto ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones

Mezcla rápida: 150 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 37.5 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 18:

Resultados cuarto ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% Setiembre - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.02	0.06	0.05	0.06	0.09	0.02
Color (UPC)	10.00	12.00	13.00	12.00	16.00	14.00
Turbidez (UNT)	1.34	1.50	1.96	1.70	0.95	1.85
pH	4.23	4.43	4.29	4.65	4.57	4.46
STD (mg /L)	25.00	29.20	47.20	52.90	58.50	67.00
Conductividad (μ S/cm)	44.56	45.7	63	79.6	88.1	106

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del quinto ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones

Mezcla rápida: 100 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 25 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Con lo cual los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19:

Resultados quinto ensayo a diferentes dosis $Al_2(SO_4)_3$ al 1% setiembre - 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de $Al_2(SO_4)_3$ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Fierro (ppm Fe+2)	0.09	0.08	0.1	0.11	0.04	0.05
Color (UPC)	14.00	15.00	12.00	22.00	13.00	10.00
Turbidez (UNT)	1.47	1.84	1.72	2.12	2.1	1.07
pH	4.43	3.89	3.87	4.16	4.37	4.22
STD (mg /L)	48.7	57.7	43.00	46.00	23.3	33.3
Conductividad (μ S/cm)	76.3	85.6	99.00	76.2	82.7	66.6

FUENTE: Elaboración del autor.

3.1.1.4. Variación de los parámetros en los diferentes ensayos en la primera etapa del mes de setiembre – Moyobamba 2015.

Tabla 20:

Resumen Fierro (II) a en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° ensayo	Fierro (ppm Fe +2) a diferentes dosis de $Al_2(SO_4)_3$					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
1	0.05	0.04	0.06	0.05	0.07	0.06
2	0.09	0.08	0.1	0.15	0.011	0.14
3	0.14	0.11	0.1	0.13	0.09	0.15
4	0.02	0.06	0.05	0.06	0.09	0.02
5	0.09	0.08	0.1	0.11	0.04	0.05

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El promedio de hierro después del proceso de floculación coagulación con sulfato de aluminio en la quebrada Juninguillo se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental de Agua para consumo humano, en los resultados de prueba de jarras se encontró que el valor más elevado de hierro es de 0.14 mg/L en el ensayo 2 y 3; en las jarras 6 y 1, respectivamente.

En el D.S 031 – 2010 –S.A, indica como límite máximo permisible de hierro en el agua para consumo humano de 0.30 mg/L, lo que demuestra que a estas dosis el tratamiento del hierro es óptimo mediante coagulación floculación.

Tabla 21:

Concentración final del color en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final Color (UPC)					
1	13.00	12.00	16.00	14.00	12.00	15.00
2	14.00	15.00	9.00	10.00	12.00	13.00
3	13.00	14.00	12.00	14.00	10.00	17.00
4	10.00	12.00	13.00	12.00	16.00	14.00
5	14.00	15.00	12.00	22.00	13.00	10.00

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El color en los ensayos se encuentra en un promedio aceptable de las normas de calidad de agua para consumo humano, encontrándose el valor más elevado en el tercer ensayo de la prueba de jarras, en la jarra 6 con 17 UPC.

Tabla 22:

Variación de turbidez en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final de Turbidez (UNT)					
1	1.89	1.97	1.39	1.65	2.17	2.63
2	1.97	2.17	2.08	1.8	1.96	1.72
3	1.9	2.56	0.85	1.76	1.46	1.34
4	1.34	1.5	1.96	1.7	0.95	1.85
5	1.47	1.84	1.72	2.12	2.1	1.07

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

La turbidez en esta primera etapa con Sulfato de Aluminio se encuentra dentro de los rangos permisibles de las normas de calidad de agua para consumo humano que establece 5 UNT como límite máximo. En estos ensayos se tiene como el valor más elevado 2.63 UNT, un valor muy inferior al límite máximo que se establece demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio es óptima.

Tabla 23:

Concentración final de potencial de hidrógeno (pH) en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Potencial de Hidrógeno(pH)					
1	4.63	4.42	4.35	4.37	4.33	4.7
2	5.62	5.34	5.12	4.9	4.95	4.02
3	4.54	4.37	4.63	4.7	4.67	4.53
4	4.23	4.43	4.29	4.65	4.57	4.46
5	4.43	3.89	3.87	4.16	4.37	4.22

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El potencial de hidrógeno (pH) en esta primera etapa con Sulfato de Aluminio se encuentra por debajo del rango que establece la norma de calidad de agua para consumo humano que establece (6.5-8.5). En este ensayo se encuentra el valor más elevado de 5.62, que es un valor inferior al rango que establece la norma, demostrando que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio en términos de potencial de hidrógeno no es óptimo.

Esto se debe a que los cuerpos de agua de la quebrada Juninguillo no son alcalinas y el sulfato de aluminio, al reaccionar, forma ácidos que no pueden ser neutralizados. Esto hace que el pH no cumpla con la norma, logrando que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio a estas dosis no es recomendable para tratar el agua de la quebrada, recomendándose buscar una alternativa diferente al sulfato de aluminio.

Tabla 24:

Concentraciones finales de sólidos totales disueltos en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales de Sólidos Totales Disueltos (mg /L)					
	1	22.89	37.98	45.05	55.83	62.87
2	25.5	22.3	24.9	34.1	33.2	44.4
3	24.4	35.4	27.5	51.12	57.89	65.3
4	25.00	29.20	47.20	52.90	58.50	67.00
5	48.7	57.7	43.00	46.00	23.3	33.3

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El proceso de coagulación floculación en la primera etapa con Sulfato de Aluminio en términos de sólidos totales disueltos, se encuentra dentro de los límites que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, donde fija 1000 mg/L; en esta primera etapa se encontró como valor máximo 74.89 mg/L que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma; demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio, en función de sólidos totales disueltos, es óptimo para esta etapa.

Tabla 25:

Variación de la conductividad en la etapa I, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Conductividad Finales ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
1	41.88	69.28	82.38	102.1	115	137.2
2	45.8	53.8	59.4	78.5	86.6	96.6
3	24.4	35.4	27.5	51.12	57.89	65.3
4	25.00	29.20	47.20	52.90	58.50	67.00
5	76.3	85.6	99.00	76.2	82.7	66.6

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

Le proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio, en términos de conductividad, es óptima encontrándose el valor más elevado de 137.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano que establece 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de esta manera se ve reflejado que la

coagulación floculación, con sulfato de aluminio, en esta primera etapa es recomendable para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juninguillo.

3.1.1.5. Resultados de los parámetros de la calidad del agua en la Etapa II, usando Cloruro Férrico- Floculante, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

Para la realización del primer ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 300 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 75 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Con lo cual los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 26:

Primer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe+2)	0.25	0.23	0.2	0.18	0.14	0.16
Color (UPC)	8	11	12	10	11	13
Turbidez (UNT)	8.81	7.45	8.11	7.34	4.31	10.5
pH	7.04	7.09	6.76	6.79	6.77	6.76
STD (mg /L)	78.7	83	87.5	85	91.6	87
Conductividad (μS/cm)	157.3	165.8	178.5	169.9	182.7	173.8

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del segundo ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 250 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 63 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Con lo cual los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 27:

Segundo ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe+2)	0.23	0.18	0.15	0.11	0.19	0.25
Color (UPC)	6	9	11	12	8	9
Turbidez (UNT)	7.63	7.23	6.29	2.78	2.87	8.36
pH	6.63	6.43	6.53	6.52	6.56	6.45
STD (mg /L)	84.9	78.5	99.5	98.5	99.7	109
Conductividad (μS/cm)	173.2	176	199.6	197	204	219

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del tercer ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 200 r.p.m. durante 1,5 min

Mezcla lenta: 50 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Con lo cual, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 28:

Tercer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe+2)	0.22	0.18	0.09	0.08	0.05	0.24
Color (UPC)	6	9	8	13	11	14
Turbidez (UNT)	3.00	2.74	2.49	2.61	2.19	6.41
pH	7.20	7.40	6.63	6.64	6.61	6.61
STD (mg /L)	88.7	98.7	104	106	119	107
Conductividad (μS/cm)	177.3	197.2	209	213	239	218

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del cuarto ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico a una concentración al 1% se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida:	150 r.p.m. durante 1.5 min
Mezcla lenta:	37.5 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Con lo cual los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 29:

Cuarto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe+2)	0.24	0.26	0.09	0.09	0.1	0.05
Color (UPC)	13	11	9	11	12	13
Turbidez (UNT)	8.01	8.25	3.07	5.77	2.74	2.43
pH	6.75	6.5	6.58	5.63	6.1	6.17
STD (mg /L)	99	87.1	105	111	116	118
Conductividad (μS/cm)	197.8	174.6	210	224	233	238

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del quinto ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones

Mezcla rápida:	100 r.p.m. durante 1,5 min
Mezcla lenta:	25 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 30:

Quinto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de julio - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe+2)	0.27	0.24	0.25	0.23	0.13	0.19
Color (UPC)	12	9	8	10	12	13
Turbidez (UNT)	8	8,71	11.7	7.86	7.49	11.6
pH	6.32	6.53	6.01	6.16	6.16	6.11
STD (mg /L)	89.6	85.5	104	109	112	120
Conductividad (μS/cm)	179.1	171.6	205	219	223	242

FUENTE: Elaboración del autor.

3.1.1.6. Concentración final de los parámetros en los diferentes ensayos en la segunda etapa usando Cloruro Férrico- Floculante, mes de julio – Moyobamba 2015.

Tabla 31:

Concentraciones finales del hierro en la etapa II, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales Hierro (ppm Fe +2)					
1	0.25	0.23	0.2	0.18	0.14	0.16
2	0.23	0.23	0.15	0.11	0.19	0.25
3	0.22	0.18	0.09	0.08	0.05	0.24
4	0.24	0.26	0.09	0.09	0.1	0.05
5	0.27	0.24	0.25	0.23	0.13	0.19

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El promedio de hierro después del proceso de floculación coagulación con cloruro férrico- floculante en la quebrada Juninguillo, se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental de agua para consumo humano. En los resultados de Prueba de

Jarras se encontró que el valor más elevado de hierro es de 0.27 mg/L en el ensayo 5, en las jarra 1.

En el D.S 031 – 2010 –S.A. da como límite máximo permisible de hierro en el agua para consumo humano 0.30 mg/L, lo que demuestra que a estas dosis el tratamiento del hierro es óptimo mediante coagulación floculación con cloruro férrico-floculante.

Tabla 32:

Concentración final del color en la etapa II, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final Color (UPC)					
1	8.00	11.00	12.00	10.00	11.00	13.00
2	6.00	9.00	11.00	12.00	8.00	9.00
3	6.00	9.00	8.00	13.00	11.00	14.00
4	13.00	11.00	9.00	11.00	12.00	13.00
5	12.00	9.00	8.00	10.00	12.00	13.00

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El color en los ensayos se encuentra en un promedio aceptable de las normas de calidad de agua para consumo humano, encontrándose el valor más elevado en el tercer ensayo de la prueba de jarras, en la jarra 6 con 14 UPC, demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico- floculante en las aguas de la quebrada Juninguillo es eficiente a estas dosis y es recomendable para este tipo de agua.

Tabla 33:

Concentración final de la turbidez en la etapa II, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final de Turbidez (UNT)					
1	8.81	7.45	8.11	7.34	4.31	10.50
2	7.63	7.23	6.29	2.78	2.87	8.36
3	3.00	2.74	2.49	2.61	2.19	6.41
4	8.01	8.25	3.07	5.77	2.74	2.43
5	8.00	8,71	11.70	7.86	7.49	11.60

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

La turbidez en esta segunda etapa con cloruro férrico- floculante no se encuentra dentro de los rangos permisibles de las normas de calidad de agua para consumo

humano que establece 5 UNT como límite máximo. En estos ensayos se tiene como el valor más elevado 11.7 UNT, un valor muy superior al límite máximo que se establece demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico floculante no es óptima en términos de turbidez.

Tabla 34:

Concentración final de potencial de hidrógeno (pH) en la etapa II, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Potencial de Hidrógeno(pH)					
1	7.04	7.09	6.76	6.79	6.77	6.76
2	6.63	6.43	6.53	6.52	6.56	6.45
3	7.2	7.4	6.63	6.64	6.61	6.61
4	6.75	6.5	6.58	5.63	6.1	6.17
5	6.32	6.53	6.01	6.16	6.16	6.11

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El potencial de hidrógeno (pH) en esta segunda etapa, con cloruro férrico- floculante, se encuentra dentro del rango que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, que establece (6.5-8.5). En este ensayo se encuentra el valor más elevado de 7.4 y el más bajo es de 6.01, que es un valor que se encuentra dentro del rango que establece la norma, demostrando que el proceso de coagulación floculación con cloruro férrico- floculante, en términos de potencial de hidrógeno no es óptimo.

Tabla 35:

Concentraciones finales de sólidos totales disueltos en la etapa II, mes de julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales de Sólidos Totales Disueltos (mg /L)					
1	7.04	7.09	6.76	6.79	6.77	6.76
2	6.63	6.43	6.53	6.52	6.56	6.45
3	7.2	7.4	6.63	6.64	6.61	6.61
4	6.75	6.5	6.58	5.63	6.1	6.17
5	6.32	6.53	6.01	6.16	6.16	6.11

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El proceso de coagulación floculación en la segunda etapa con cloruro férrico-floculante en términos de sólidos totales disueltos se encuentra dentro de los límites que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, donde fija 1000 mg /L. En esta primera etapa se encontró como valor máximo 119 mg/L, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma, lo que demuestra que la coagulación floculación con cloruro férrico- floculante en función de sólidos totales disueltos es óptima para esta segunda etapa.

Tabla 36:

Variación de la conductividad en la etapa II, mes de Julio - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Conductividad Finales ($\mu\text{S/cm}$)					
1	157.30	165.80	178.50	169.90	182.70	173.80
2	173.20	176.00	199.60	197.00	204.00	219.00
3	177.30	197.20	209.00	213.00	239.00	218.00
4	197.80	174.60	210.00	224.00	233.00	238.00
5	179.10	171.60	205.00	219.00	223.00	242.00

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

Le proceso de coagulación floculación con cloruro férrico en términos de conductividad es óptima encontrándose el valor más elevado de 239 $\mu\text{S/cm}$, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano que establece 1500 $\mu\text{S/cm}$. De esta manera se ve reflejado que la coagulación floculación con cloruro férrico- floculante en esta segunda etapa es recomendable para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juningullo.

3.1.1.7. Resultados de los parámetros de la calidad del agua en la etapa II, usando Cloruro Férrico-floculante, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

Para la realización del primer ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico-floculante a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida:	300 r.p.m. durante 1.5 min
Mezcla lenta:	75 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 37:

Resultados primer ensayo a diferentes dosis FeCl₃ al 1% - floculante setiembre - 2015.- Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1% - floculante					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe +2)	0.128	0.272	0.257	0.17	0.26	0.17
Color (UPC)	13	12	16	14	12	15
Turbidez (UNT)	9.06	8.69	5.88	7.34	9.68	10.5
pH	7.11	7.05	6.91	6.83	6.59	6.54
STD (mg /L)	66.00	83.00	69.00	65.00	73.2	83.5
Conductividad (μS/cm)	137.3	145.8	157.5	147.9	165.7	184.8

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del segundo ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico-floculante a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida:	250 r.p.m. durante 1,5 min
Mezcla lenta:	63 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 38:

Segundo ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe +2)	0.19	0.11	0.15	0.13	0.19	0.23
Color (UPC)	14	15	14	10	12	13
Turbidez (UNT)	7.68	6.3	8.69	5.31	5.09	6.84
pH	6.43	6.35	6.53	6.65	6.56	6.46
STD (mg /L)	73.9	68.5	78.5	76.5	67.7	104.0
Conductividad (μS/cm)	113.2	126.0	154.6	135.0	176.0	186.0

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del tercer ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico-floculante a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida: 200 r.p.m. durante 1.5 min

Mezcla lenta: 50 r.p.m. durante 15 min

Mezcla sedimentable: 10 min

Con lo cual, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 39:

Tercer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe +2)	0.1	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07
Color (UPC)	8.81	13.1	5.52	9.28	7.32	10.32
Turbidez (UNT)	3.00	2.74	2.49	2.61	2.19	6.41
pH	7.2	7.36	7.31	7.21	7.12	6.96
STD (mg /L)	84.7	68.7	88.67	94.56	86.56	91.23
Conductividad (μS/cm)	157.3	156.2	167.0	135.0	173.0	187.0

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del cuarto ensayo aplicando diferentes dosis de cloruro férrico-floculante a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones

Mezcla rápida:	150 r.p.m. durante 1.5 min
Mezcla lenta:	37.5 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Con lo cual, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 40:

Cuarto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de setiembre - Moyobamba de 2015

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe +2)	0.23	0.16	0.19	0.17	0.14	0.15
Color (UPC)	12	13	10	15	14	12
Turbidez (UNT)	12.09	8.74	6.95	10.8	6.74	13.7
pH	6.46	6.58	6.22	6.47	6.87	6.75
STD (mg /L)	78.87	81.34	97.83	67.98	95.59	98.43
Conductividad (μS/cm)	157.8	145.6	153	164	159.4	171.56

FUENTE: Elaboración del autor.

Para la realización del quinto ensayo aplicando diferentes dosis de sulfato de aluminio a una concentración al 1%, se consideraron las siguientes condiciones:

Mezcla rápida:	100 r.p.m. durante 1.5 min
Mezcla lenta:	25 r.p.m. durante 15 min
Mezcla sedimentable:	10 min

Con lo cual, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 41:

Quinto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, mes de setiembre - Moyobamba de 2015

Parámetro	mililitros (mL) aplicados de solución de FeCl ₃ al 1%					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Floculante	0.5mL	0.75mL	1mL	1.25mL	1.5mL	1.75mL
Fierro (ppm Fe +2)	0.21	0.24	0.15	0.19	0.18	0.21
Color (UPC)	13	22	14	13	10	11
Turbidez (UNT)	12.9	4.67	9.72	6.58	6.92	10.9
pH	7.23	7.1	7.11	6.16	7.06	6.96
STD (mg /L)	79.6	56.5	101.23	97.56	104.76	97.45
Conductividad (μS/cm)	139.1	121.6	132.5	178.9	134.3	157.2

FUENTE: Elaboración del autor.

3.1.1.8. Concentración de los parámetros en los diferentes ensayos en la segunda etapa usando cloruro férrico- floculante, mes de Septiembre – Moyobamba 2015.

Tabla 42:

Concentración del hierro en la etapa II, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales Hierro (ppm Fe +2)					
1	0.128	0.272	0.257	0.17	0.26	0.17
2	0.19	0.11	0.15	0.13	0.19	0.23
3	0.1	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07
4	0.23	0.16	0.19	0.17	0.14	0.15
5	0.21	0.24	0.15	0.19	0.18	0.21

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El promedio de hierro, después del proceso de floculación coagulación, con cloruro férrico- floculante en la quebrada Juninguillo, se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental de agua para consumo humano. En los resultados de prueba de

jarras se encontró que el valor más elevado de hierro es de 0.27 mg/L en el ensayo 1; en las jarras 2.

En el D.S 031 – 2010 –S. A da como límite máximo permisible de hierro en el agua para consumo humano de 0.30 mg/L, lo que demuestra que a estas dosis el tratamiento del hierro es óptimo mediante coagulación floculación con cloruro férrico- floculante.

Tabla 43:

Concentración del color en la etapa II, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final Color (UPC)					
1	13	12	16	14	12	15
2	14	15	14	10	12	13
3	8.81	13.1	5.52	9.28	7.32	10.32
4	12	13	10	15	14	12
5	13	22	14	13	10	11

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El color en los ensayos se encuentra en un promedio aceptable de las normas de calidad de agua para consumo humano, encontrándose el valor más elevado en el primer de la prueba de jarras; en la jarra 3 con 16 UPC, demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico- floculante en las aguas de la quebrada Juninguillo es eficiente a estas dosis y es recomendable para este tipo de agua.

Tabla 44:

Concentración final de turbidez en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Final de Turbidez (UNT)					
1	9.06	8.69	5.88	7.34	9.68	10.5
2	7.68	6.3	8.69	5.31	5.09	6.84
3	3	2.74	2.49	2.61	2.19	6.41
4	12.09	8.74	6.95	10.8	6.74	13.7
5	12.9	4.67	9.72	6.58	6.92	10.9

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

La turbidez en esta segunda etapa con cloruro férrico- floculante no se encuentran dentro de los rangos permisibles de las normas de calidad de agua para consumo humano, que establece 5 UNT como límite máximo. En estos ensayos se tiene como el valor más elevado 13.7 UNT, un valor muy superior al límite máximo que se establece, demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico- floculante no es óptima en términos de turbidez.

Tabla 45:

Concentración final del potencial de hidrógeno (pH) en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Potencial de Hidrógeno(pH)					
1	7.11	7.05	6.91	6.83	6.59	6.54
2	6.43	6.35	6.53	6.65	6.56	6.46
3	7.2	7.36	7.31	7.21	7.12	6.96
4	6.46	6.58	6.22	6.47	6.87	6.75
5	7.23	7.1	7.11	6.16	7.06	6.96

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El potencial de hidrógeno (pH) en esta segunda etapa con cloruro férrico, se encuentra dentro del rango que establece la norma de calidad de agua para consumo humano que establece (6.5-8.5); en este ensayo se encuentra el valor más elevado de 7.36, y el más bajo es 6.16, que es un valor que se encuentra dentro del rango que establece la norma, demostrando que el proceso de coagulación floculación con cloruro férrico- floculante en términos de potencial de hidrógeno no es óptimo.

Tabla 46:

Concentración final de sólidos totales disueltos en la etapa II, mes de setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Concentraciones Finales de Sólidos Totales disueltos (mg /L)					
1	66	83	69	65	73.2	83.5
2	73.9	68.5	78.5	76.5	67.7	104
3	84.7	68.7	88.67	94.56	86.56	91.23
4	78.87	81.34	97.83	67.98	95.59	98.43
5	79.6	56.5	101.23	97.56	104.76	97.45

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

El proceso de coagulación floculación en la segunda etapa con cloruro férrico-floculante, en términos de sólidos totales disueltos, se encuentra dentro de los límites que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, donde fija 1000 mg /L; en esta primera etapa se encontró como valor máximo 119 mg/L que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico, en función de sólidos totales disueltos es óptimo para esta segunda etapa.

Tabla 47:

Valor de la conductividad en la etapa II, mes de Setiembre - Moyobamba de 2015.

N° de ensayo	Conductividad Finales ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
1	137.3	145.8	157.5	147.9	165.7	184.8
2	113.2	126	154.6	135	176	186
3	157.3	156.2	167	135	173	187
4	157.8	145.6	153	164	159.4	171.56
5	139.1	121.6	132.5	178.9	134.3	157.2

FUENTE: Elaboración del autor.

Interpretación:

Le proceso de coagulación floculación con cloruro férrico en términos de conductividad es óptima, encontrándose el valor más elevado de 2187 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano que establece 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De esta manera se ve reflejado que la coagulación floculación con cloruro férrico en esta segunda etapa es recomendable para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juninguillo.

3.1.1.9. Promedio de los parámetros de calidad del agua en la Etapa I y II, usando Sulfato de Aluminio y Cloruro férrico- floculante, meses de Julio y Setiembre – Moyobamba, 2015.

Tabla 48:

Promedio del primer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.

Promedio de los parámetros en el primer ensayo												
			Tiempo									
Mezcla rápida	300 r.p.m.	1.5 min										
Mezcla lenta	75 r.p.m.	15min										
Mezcla Sedimentable		10 min										
Análisis												
	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Fierro (Fe +2 mg/L)	0.05	0.19	0.04	0.25	0.06	0.23	0.05	0.18	0.06	0.20	0.06	0.17
Color(UPC)	12.5	10.5	13.5	11.5	15.0	14.0	13.5	12.0	12.5	11.5	13.5	14.0
Turbidez(UNT)	1.4	8.9	1.4	8.1	1.1	7.0	1.3	7.3	1.6	7.0	1.7	10.5
pH	4.6	7.1	4.7	7.1	4.5	6.8	4.5	6.8	4.3	6.7	4.3	6.7
STD(mg /L)	26.8	72.4	34.0	83.0	42.4	78.3	51.4	75.0	57.1	82.4	67.8	85.3
Conductividad(μS/cm)	51.6	147.3	64.4	155.8	81.1	168.0	97.8	158.9	100.2	174.2	129.7	179.3

Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 49:

Promedio del segundo ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

Promedio de los parámetros en el segundo ensayo												
		Tiempo										
Mezcla rápida	250 r.p.m.	1.5 min										
Mezcla lenta	62.5 r.p.m	15min										
Mezcla Sedimentable		10 min										
Análisis												
	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Fierro (Fe +2 mg/L)	0.08	0.21	0.07	0.15	0.10	0.15	0.10	0.12	0.02	0.19	0.09	0.24
Color(UPC)	13.0	10.0	14.0	12.0	12.0	12.5	10.5	11.0	11.0	10.0	12.0	11.0
Turbidez(UNT)	1.3	7.7	1.5	6.8	1.6	7.5	1.7	4.0	1.8	4.0	1.2	7.6
pH	4.9	6.5	4.8	6.4	4.6	6.5	4.5	6.6	4.6	6.6	4.0	6.5
STD (mg /L)	26.5	79.4	21.8	73.5	29.9	89.0	39.1	87.5	41.7	83.7	49.4	106.5
Conductividad(μS/cm)	50.3	143.2	48.3	151.0	64.4	177.1	83.5	166.0	88.1	190.0	102.6	202.5

Fuente: cuadros de resultados de segundo ensayo etapa I y II.

Tabla 50:

Promedio del tercer ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

Promedio de los parámetros en el tercer ensayo												
		Tiempo										
Mezcla rápida	200 r.p.m.	1.5 min										
Mezcla lenta	50 r.p.m.	15min										
Mezcla Sedimentable		10 min										
Análisis												
	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Fierro (Fe +2 mg/L)	0.12	0.16	0.09	0.14	0.09	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.10	0.16
Color(UPC)	14.5	7.4	14.5	11.1	16.5	6.8	16.5	11.1	16.0	9.2	17.0	12.2
Turbidez(UNT)	1.4	3.0	1.9	2.7	1.2	2.5	1.2	2.6	1.4	2.2	1.2	6.4
pH	4.4	7.2	4.3	7.4	4.5	7.0	4.5	6.9	4.5	6.9	4.4	6.8
STD (mg /L)	22.4	86.7	34.4	83.7	31.8	96.3	46.6	100.3	54.4	102.8	62.8	99.1
Conductividad(μS/cm)	35.9	167.3	56.2	176.7	62.1	188.0	74.8	174.0	97.2	206.0	112.1	202.5

Fuente: cuadros de resultados de tercer ensayo etapa I y II.

Tabla 51:

Promedio del cuarto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

Promedio de los parámetros en el cuarto ensayo												
			Tiempo									
Mezcla rápida	150 r.p.m.		1.5 min									
Mezcla lenta	37.55 r.p.m.		15min									
Mezcla Sedimentable			10 min									
Análisis												
	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Fierro (Fe +2 mg/L)	0.06	0.24	0.05	0.21	0.04	0.14	0.05	0.13	0.06	0.12	0.03	0.10
Color(UPC)	8.5	12.5	10.5	12.0	12.5	9.5	11.5	13.0	13.0	13.0	11.5	12.5
Turbidez(UNT)	1.0	10.1	1.1	8.5	1.4	5.0	1.2	8.3	1.0	4.7	1.4	8.1
pH	4.2	6.6	4.3	6.5	4.2	6.4	4.7	6.1	4.5	6.5	4.4	6.5
STD (mg /L)	22.5	88.9	23.7	84.2	59.7	101.4	47.9	89.5	53.5	105.8	62.0	108.2
Conductividad(μS/cm)	42.8	177.8	42.2	160.1	67.5	181.5	80.1	194.0	92.6	196.2	110.0	204.8

Fuente: cuadros de resultados de cuarto ensayo etapa I y II.

Tabla 52:

Promedio del quinto ensayo de los parámetros de la calidad del agua, meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

Promedio de los parámetros en el quinto ensayo												
			Tiempo									
Mezcla rápida	100 r.p.m.		1.5 min									
Mezcla lenta	25 r.p.m.		15min									
Mezcla Sedimentable			10 min									
Análisis												
	Jarra 1		Jarra 2		Jarra 3		Jarra 4		Jarra 5		Jarra 6	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Fierro (Fe +2 mg/L)	0.07	0.24	0.08	0.24	0.08	0.20	0.07	0.21	0.03	0.16	0.05	0.20
Color(UPC)	13.0	12.5	14.0	15.5	11.0	11.0	18.0	11.5	12.0	11.0	10.0	12.0
Turbidez(UNT)	1.1	10.5	1.3	6.7	1.1	10.7	1.6	7.2	1.5	7.2	1.1	11.3
pH	4.3	6.8	3.9	6.8	3.9	6.6	4.1	6.2	4.3	6.6	4.2	6.5
STD (mg /L)	53.7	84.6	55.7	71.0	43.5	102.6	41.0	103.3	27.3	108.4	28.3	108.7
Conductividad(μS/cm)	96.3	159.1	96.6	146.6	93.5	168.8	74.2	199.0	72.7	178.7	56.6	199.6

Fuente: cuadros de resultados de quinto ensayo etapa I y II.

3.1.1.10. Variación de los parámetros de calidad del agua en la Etapa I y II, usando Sulfato de Aluminio y Cloruro Férrico- Floculante, meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

Tabla 53:

Concentración final de hierro en los diferentes ensayos en los meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

	Concentración final de Hierro (II) en los diferentes ensayos									
	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃
Jarra 1	0.05	0.19	0.08	0.21	0.12	0.16	0.06	0.24	0.07	0.24
Jarra 2	0.04	0.25	0.07	0.15	0.09	0.14	0.05	0.21	0.08	0.24
Jarra 3	0.06	0.23	0.10	0.15	0.09	0.09	0.04	0.14	0.08	0.20
Jarra 4	0.05	0.18	0.10	0.12	0.10	0.08	0.05	0.13	0.07	0.21
Jarra 5	0.06	0.20	0.02	0.19	0.07	0.07	0.06	0.12	0.03	0.16
Jarra 6	0.06	0.17	0.09	0.24	0.10	0.16	0.03	0.10	0.05	0.20

Fuente: cuadro de promedios de parámetros etapa I y II.

Interpretación:

Los resultados de los promedios de hierro tanto con sulfato de aluminio y cloruro férrico-floculante están dentro de los límites máximos permisibles, encontrándose resultados más satisfactorios con sulfato de aluminio que en su mayoría de resultados cercanos al 0.0

El promedio de hierro después del proceso de floculación coagulación con cloruro férrico en la quebrada Juninguillo, se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental de agua para consumo humano. En los resultados de Prueba de Jarras se encontró que el valor más elevado de hierro es de 0.25 mg/L en el ensayo 1, en la jarra 2.

El promedio de hierro después del proceso de floculación coagulación con sulfato de aluminio en la quebrada Juninguillo, se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental de agua para consumo humano. En los resultados de prueba de jarras se encontró que el valor más elevado de hierro es de 0.12 mg/L en el ensayo 3, en las jarras 1.

En el D.S 031 – 2010 –S.A da como límite máximo permisible de hierro en el agua para consumo humano de 0.30 mg/L, lo que demuestra que a estas dosis el tratamiento del hierro es óptimo mediante coagulación floculación con cloruro férrico- floculante y sulfato de aluminio, por lo que ambos métodos son recomendados para el tratamiento del hierro del agua.

Tabla 54:

Concentración final de color en los diferentes ensayos en los meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

	Concentración final de Color en los diferentes ensayos									
	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Jarra 1	12.5	10.5	13.0	10.0	14.5	7.4	8.5	12.5	13.0	12.5
Jarra 2	13.5	11.5	14.0	12.0	14.5	11.1	10.5	12.0	14.0	15.5
Jarra 3	15.0	14.0	12.0	12.5	16.5	6.8	12.5	9.5	11.0	11.0
Jarra 4	13.5	12.0	10.5	11.0	16.5	11.1	11.5	13.0	18.0	11.5
Jarra 5	12.5	11.5	11.0	10.0	16.0	9.2	13.0	13.0	12.0	11.0
Jarra 6	13.5	14.0	12.0	11.0	17.0	12.2	11.5	12.5	10.0	12.0

Fuente: cuadro de promedios de parámetros etapa I y II.

Interpretación:

El color, tanto en la etapa I con sulfato de aluminio y en la etapa II, con cloruro férrico-floculante se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de calidad de agua para consumo humano, encontrándose:

El color en los ensayos se encuentra en un promedio aceptable de las normas de calidad de agua para consumo humano, encontrándose el valor más elevado en el primer de la prueba de jarras, en la jarra 3 con 14 UNT, demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico en las aguas de la quebrada Juninguillo es eficiente a estas dosis y es recomendable para este tipo de agua.

El color en los ensayos se encuentra en un promedio aceptable de las normas de calidad de agua para consumo humano, encontrándose el valor más elevado en el tercer ensayo de la prueba de jarras, en la jarra 6 con 17 NTU.

Tabla 55:

Concentración final de la turbidez en los diferentes ensayos en los meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

	Concentración final de la Turbidez (UNT) en los diferentes ensayos									
	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Jarra 1	1.4	8.9	1.3	7.7	1.4	3.0	1.0	10.1	1.1	10.5
Jarra 2	1.4	8.1	1.5	6.8	1.9	2.7	1.1	8.5	1.3	6.7
Jarra 3	1.1	7.0	1.6	7.5	1.2	2.5	1.4	5.0	1.1	10.7
Jarra 4	1.3	7.3	1.7	4.0	1.2	2.6	1.2	8.3	1.6	7.2
Jarra 5	1.6	7.0	1.8	4.0	1.4	2.2	1.0	4.7	1.5	7.2
Jarra 6	1.7	10.5	1.2	7.6	1.2	6.4	1.4	8.1	1.1	11.3

Fuente: cuadro de promedios de parámetros etapa I y II

Interpretación:

La turbidez en la etapa I con sulfato de aluminio está dentro de los límites máximos que exige la norma para consumo humano, en cambio en la etapa II no cumple:

La turbidez en esta segunda etapa con cloruro férrico no se encuentra dentro de los rangos permisibles de las normas de calidad de agua para consumo humano que establece 5 UNT como límite máximo. En estos ensayos se tiene como el valor más elevado 11.3 UNT, un valor muy superior al límite máximo que se establece demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio, no es óptima en términos de turbidez.

La turbidez en esta primera etapa con sulfato de aluminio se encuentra dentro de los rangos permisibles de las normas de calidad de agua para consumo humano que establece como límite máximo 5 UNT según el D.S 031-2010 S.A. En estos ensayos se tiene como el valor más elevado 1.56 UNT, un valor muy inferior al límite máximo que se establece demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio es óptima.

Tabla 56:

Concentración final de pH en los diferentes ensayos en los meses de julio y setiembre - Moyobamba de 2015.

	Concentración final del pH en los diferentes ensayos									
	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Jarra 1	4.6	7.1	4.9	6.5	4.4	7.2	4.2	6.6	4.3	6.8
Jarra 2	4.7	7.1	4.8	6.4	4.3	7.4	4.3	6.5	3.9	6.8
Jarra 3	4.5	6.8	4.6	6.5	4.5	7.0	4.2	6.4	3.9	6.6
Jarra 4	4.5	6.8	4.5	6.6	4.5	6.9	4.7	6.1	4.1	6.2
Jarra 5	4.3	6.7	4.6	6.6	4.5	6.9	4.5	6.5	4.3	6.6
Jarra 6	4.3	6.7	4.0	6.5	4.4	6.8	4.4	6.5	4.2	6.5

Fuente: cuadro de promedios de parámetros etapa I y II

Interpretación:

El potencial de hidrógeno (pH) en promedio en esta primera etapa con sulfato de aluminio, se encuentra por debajo del rango que establece la norma de calidad de agua para consumo humano que establece (6.5-8.5). En este ensayo se encuentra el valor más bajo de 5, que es un valor inferior al rango que establece la norma, demostrando que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio en términos de potencial de hidrogeno no es óptimo.

Esto se debe a que los cuerpos de agua de la quebrada Juninguillo no son alcalinas y el sulfato de aluminio al reaccionar forma ácidos que no pueden ser neutralizados, esto hace que el pH no cumpla con la norma logrando que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio a estas dosis no se recomendable para tratar el agua de la quebrada, recomendándose buscar una alternativa diferente al sulfato de aluminio.

El potencial de hidrógeno (pH) en esta segunda etapa con cloruro férrico, se encuentra dentro del rango que establece la norma de calidad de agua para consumo humano que establece (6.5-8.5). En este ensayo se encuentra el valor más elevado de 7.36 y el más bajo es de 6.16, que es un valor que se encuentra dentro del rango que establece la norma, demostrando que el proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio en términos de potencial de hidrogeno no es óptimo.

Tabla 57:

Concentraciones finales de sólidos disueltos totales (mg /L) en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.

	Concentración de Sólidos Totales Disueltos Finales									
	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	$Al_2(SO_4)_3$	FeCl ₃	$Al_2(SO_4)_3$	FeCl ₃	$Al_2(SO_4)_3$	FeCl ₃	$Al_2(SO_4)_3$	FeCl ₃	$Al_2(SO_4)_3$	FeCl ₃
Jarra 1	26.8	72.4	26.5	79.4	22.4	86.7	22.5	88.9	53.7	84.6
Jarra 2	34.0	83.0	21.8	73.5	34.4	83.7	23.7	84.2	55.7	71.0
Jarra 3	42.4	78.3	29.9	89.0	31.8	96.3	59.7	101.4	43.5	102.6
Jarra 4	51.4	75.0	39.1	87.5	46.6	100.3	47.9	89.5	41.0	103.3
Jarra 5	57.1	82.4	41.7	83.7	54.4	102.8	53.5	105.8	27.3	108.4
Jarra 6	67.8	85.3	49.4	106.5	62.8	99.1	62.0	108.2	28.3	108.7

Fuente: cuadro de promedios de parámetros etapa I y II

Interpretación:

El proceso de coagulación floculación en la primera etapa con sulfato de aluminio en términos de sólidos totales disueltos en promedio se encuentra dentro de los límites que establece la norma de calidad de agua para consumo humano, donde fija 1000 mg /L. En esta primera etapa se encontró como valor máximo 67.8mg /L, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma demostrando que la coagulación floculación con sulfato de aluminio en función de sólidos totales disueltos es óptimo para esta primera etapa.

El proceso de coagulación floculación en la segunda etapa con cloruro férrico en términos de sólidos totales disueltos en promedio se encuentra dentro de los límites que establece la norma de calidad de agua para consumo humano donde fija 1000 mg/L. En esta primera etapa se encontró como valor máximo 108.2 mg/L, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma demostrando que la coagulación floculación con cloruro férrico-floculante en función de sólidos totales disueltos es óptima para esta segunda etapa.

Tabla 58:

Variación de conductividad en los diferentes ensayos en los meses de Julio y Setiembre - Moyobamba de 2015.

Concentración final de la Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) en los diferentes ensayos										
	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃	Al₂(SO₄)₃	FeCl₃
Jarra 1	51.6	147.3	50.3	143.2	35.9	167.3	42.8	177.8	96.3	159.1
Jarra 2	64.4	155.8	48.3	151.0	56.2	176.7	42.2	160.1	96.6	146.6
Jarra 3	81.1	168.0	64.4	177.1	62.1	188.0	67.5	181.5	93.5	168.8
Jarra 4	97.8	158.9	83.5	166.0	74.8	174.0	80.1	194.0	74.2	199.0
Jarra 5	100.2	174.2	88.1	190.0	97.2	206.0	92.6	196.2	72.7	178.7
Jarra 6	129.7	179.3	102.6	202.5	112.1	202.5	110.0	204.8	56.6	199.6

Fuente: cuadro de promedios de parámetros etapa I y II

Interpretación:

Le proceso de coagulación floculación con sulfato de aluminio en términos de conductividad en promedio es óptima, encontrándose el valor más elevado de 129.7 $\mu\text{S/cm}$, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano que establece 1500 $\mu\text{S/cm}$. De esta manera se ve reflejado que la coagulación floculación con sulfato de aluminio en esta primera etapa es recomendable para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juninguillo.

Le proceso de coagulación floculación con cloruro férrico en términos de conductividad en promedio es óptima encontrándose el valor más elevado de 216.00 $\mu\text{S/cm}$, que es un valor muy inferior a lo establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano, que establece 1500 $\mu\text{S/cm}$. De esta manera se ve reflejado que la coagulación floculación con cloruro férrico- floculante en esta segunda etapa es recomendable para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juninguillo.

3.1.2. Medición de la remoción del hierro (II) y color, según los cinco tipos de ensayos a diferentes velocidades, Moyobamba 2015.

Tabla 59:

Remoción del hierro con sulfato de aluminio, Moyobamba 2015.

Coagulación con Sulfato de Aluminio						Fe ²⁺ (original)
Velocidad aplicada (r.p.m.)	A	B	C	D	E	
Concentración Fe (mg Fe ²⁺ /L)	0.05	0.08	0.09	0.05	0.06	1.395
Remoción (%)	96.35	94.16	93.43	96.35	95.62	

Fuente: tabla 53

- A = velocidad rápida y lenta de 300 r.p.m. y 75 r.p.m.
- B = velocidad rápida y lenta de 250 r.p.m. y 63 r.p.m.
- C = velocidad rápida y lenta de 200 r.p.m. y 50 r.p.m.
- D = velocidad rápida y lenta de 150 r.p.m. y 37.5 r.p.m.
- E = velocidad rápida y lenta de 100 r.p.m. y 25 r.p.m.

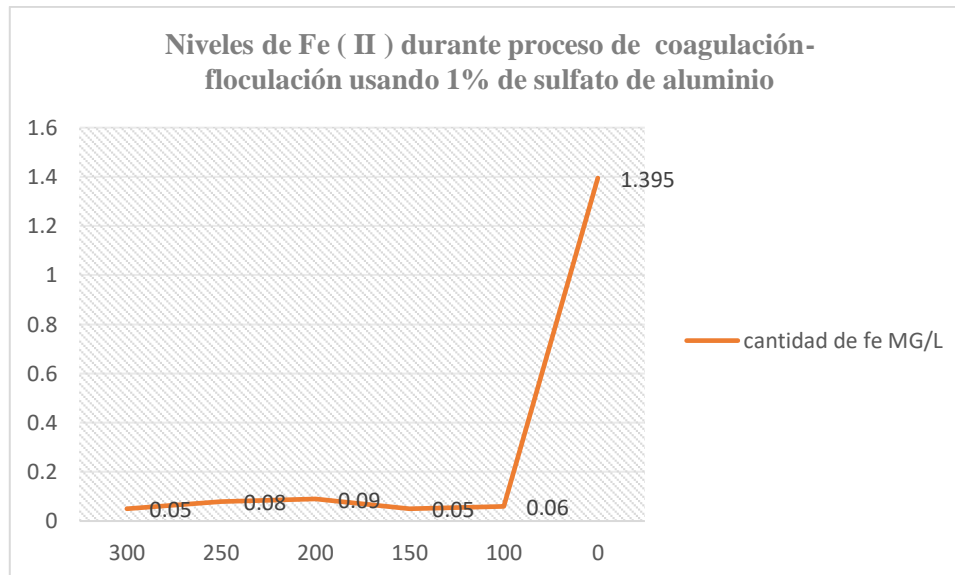


Figura 3: Remoción del hierro con sulfato de aluminio para los meses de julio y setiembre, Moyobamba 2015.

Interpretación:

Revisando los cinco ensayos realizados durante los dos meses de julio y setiembre con sulfato de aluminio, encontramos que en comparación con la muestra inicial de valor

promedio 1.395 mg/L, la remoción del Fe en el ensayo 01 a 300 r.p.m. y en el ensayo 04 a 150 r.p.m. fue de 96 % del hierro que había inicialmente. Asimismo, los demás ensayos tampoco se encuentran muy atrás, pues el mismo gráfico se observa la gran caída que se realiza al coagular.

Tabla 60:

Remoción del hierro con cloruro férrico- floculante, Moyobamba 2015.

Ensayos/ Velocidad r.p.m.	Coagulación con Cloruro Férrico					Fe +2inicial
	300	250	200	150	100	0
cantidad de Fe mg/L	0.2	0.18	0.11	0.16	0.21	1.39
cantidad de fe %	14.33	12.90	7.88	11.46	15.05	1.39
Remoción (%)	85.66	87.09	92.11	88.53	84.94	0

Fuente: tabla 53

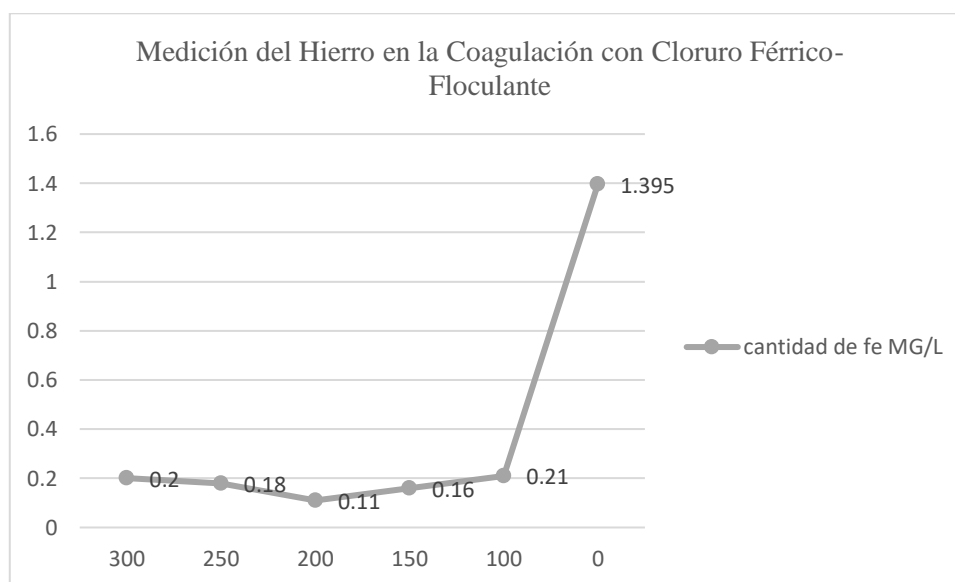


Figura 4: Remoción del hierro con cloruro férrico- floculante para los meses de julio y setiembre, Moyobamba 2015.

Interpretación:

Al igual que en el anterior gráfico, existe gran caída desde la concentración inicial hasta la cantidad promedio después de aplicada el coagulante. Comparando los cinco ensayos realizados durante los dos meses de julio y setiembre cloruro férrico floculante encontramos que en comparación con la muestra inicial de valor promedio 1.395 mg/L, la remoción del Fe en el ensayo 03 a 200 r.p.m., fue de un 92% de lo que había inicialmente. Asimismo, los

demás ensayos tampoco se encuentran muy atrás identificándose en el gráfico la relación y cercanía de los porcentajes de remoción que no bajan en un 84 %.

Tabla 61:

Remoción del color con sulfato de aluminio, Moyobamba 2015

Coagulación con Sulfato de Aluminio						Color inicial
Ensayos/ Velocidad r.p.m.	300	250	200	150	100	
cantidad de color UPC	13.4	12.1	15.8	11.3	13	218
cantidad de fe %	6.14	5.55	7.24	5.18	5.96	218
Remoción(%)	93.85	94.44	92.75	94.81	94.03	

Fuente: tabla 54

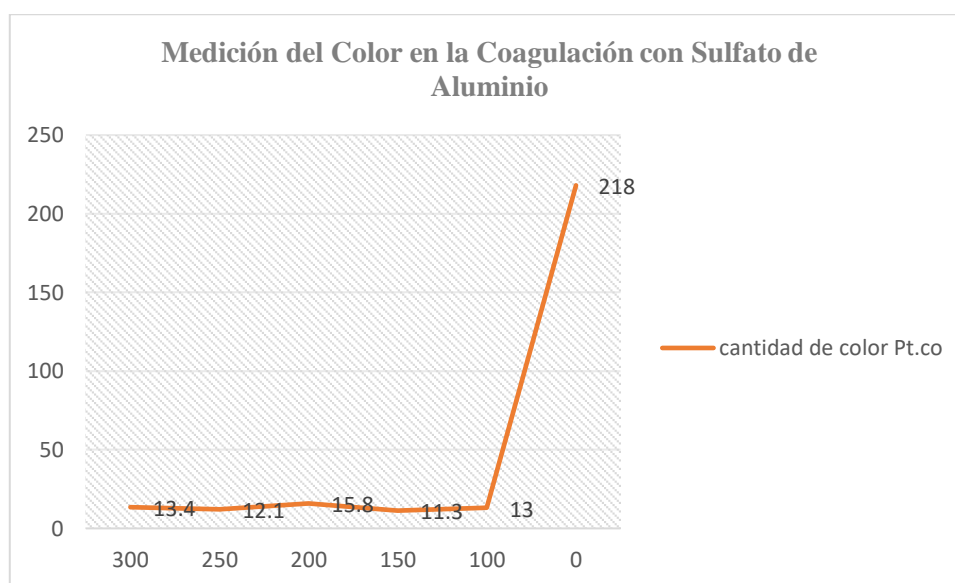


Figura 5: Remoción del color (UPC) con sulfato de aluminio, Moyobamba 2015

Interpretación:

Los cinco ensayos realizados durante los dos meses de julio y setiembre con sulfato de aluminio encontramos que en comparación con la muestra inicial, que determinó un color de 218 UPC, la remoción del mismo en el ensayo 02, a 250 r.p.m., en el ensayo 04 y 05 a 150 y 100 r.p.m. respectivamente, fueron de 94 % del color que había inicialmente. Asimismo, los demás ensayos tampoco se encuentran muy alejados de la realidad y la efectividad de la gran caída del color.

Tabla 62:

Remoción del hierro (II) con cloruro férrico- floculante, Moyobamba 2015.

Ensayos/ Velocidad r.p.m.	Coagulación con Cloruro Férrico- floculante					color inicial
	300	250	200	150	100	
cantidad de color UPC	12.3	11.1	9.6	12.1	12.3	218
cantidad de fe %	5.64	5.09	4.40	5.55	5.64	
Remoción(%)	94.35	94.90	95.59	94.44	94.35	

Fuente: tabla 54

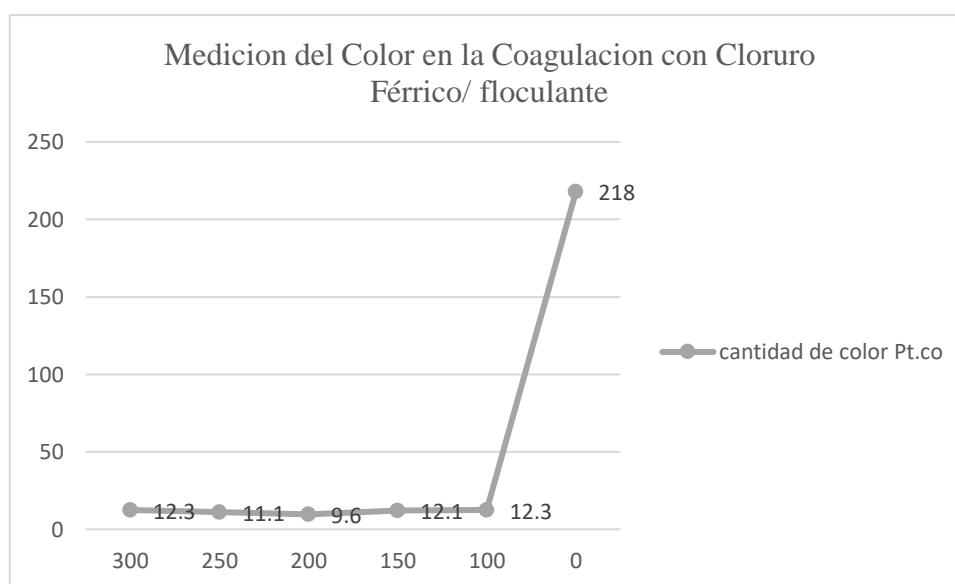


Figura 6 : Remoción del hierro (II) con cloruro férrico- floculante, Moyobamba 2015.

Interpretación:

Al igual que en el anterior gráfico existe gran caída desde la concentración inicial hasta la cantidad promedio después de aplicada el coagulante. Comparando los cinco ensayos realizados durante los dos meses de julio y setiembre con cloruro férrico- floculante encontramos que en comparación con la muestra inicial de valor promedio del color 218 UPC, la remoción del mismo en el ensayo 03 a 200 r.p.m. fue de un 95% con un valor de 9.6 UPC, significativamente bajo, en comparación con los otros resultados que fueron igualmente eficientes pues todos están por un valor de 12 UPC.

3.1.3. Comparación de la diferencia significativa estadística (T STUDENT) de la remoción del hierro (II), y la correlación del hierro (II) y el color, según el tipo de coagulante (sulfato de aluminio y/o cloruro férrico- floculante), Moyobamba 2015.

Tabla 63:

Resultados de la remoción de hierro (II) presente después de los tratamientos con cloruro férrico- floculante y sulfato de aluminio

Remoción del Hierro (II)		
PRUEBAS	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
1	0.05	0.19
2	0.04	0.25
3	0.06	0.23
4	0.05	0.18
5	0.06	0.2
6	0.06	0.17
7	0.08	0.21
8	0.07	0.15
9	0.1	0.15
10	0.1	0.12
11	0.02	0.19
12	0.09	0.24
13	0.12	0.16
14	0.09	0.14
15	0.09	0.09
16	0.1	0.08
17	0.07	0.07
18	0.1	0.16
19	0.06	0.24
20	0.05	0.21
21	0.04	0.14
22	0.05	0.13
23	0.06	0.12
24	0.03	0.1
25	0.07	0.24
26	0.08	0.24
27	0.08	0.2
28	0.07	0.21
29	0.03	0.16
30	0.05	0.2
MEDIA	0.0673	0.1723

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 64:

Análisis estadístico mediante T STUDENT para los dos tipos de coagulantes

nivel de confianza 95%	significancia 5%			
¿Existe diferencia estadísticamente significativa entre los dos tratamiento?		Valor prueba T	Valor P	si/no
hipótesis nula	no existe diferencia significativa	10.0948 5943	1.1114 E-12	N O
hipótesis alterna	si existe diferencia significativa			
PRUEBA F	0.000143345			
H0 = las varianzas son iguales		VALOR P	9.6884 5E-13	
H1 = las varianzas son diferentes		PRUEBA T		1

FUENTE: Elaboración del autor.

Tabla 65:

Concentraciones finales de Fe (II) y color (UPC), obtenidos a dosis al 1% de cloruro férrico- floculante.

Fe+2 (mg/L)	Color (UPC)
0.2	12.3
0.18	11.1
0.11	9.6
0.16	12.1
0.21	12.3
r	0.87

FUENTE: Elaboración del autor.

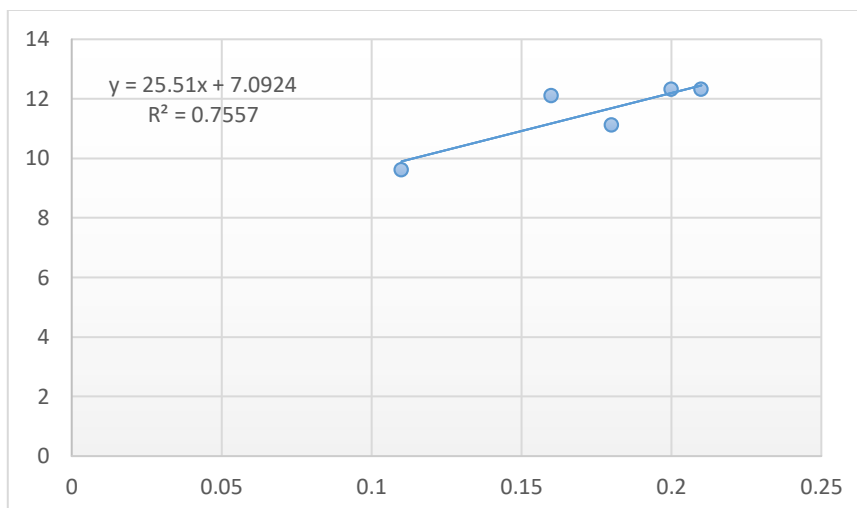


Figura 7: Grado de dispersión y correlación de la remoción del hierro (II) y color removidos con cloruro férrico- floculante.

Interpretación:

El grado de dispersión y cercanía de los datos están demostrados en el gráfico son de manera positiva, el autor demuestra que se encuentra de manera ascendente (según la línea de tendencia), por lo que se indica que mientras el valor del hierro removido es mayor, lo será también el valor del color. Hablando en términos adversos, se puede decir que mientras el valor obtenido de hierro sea menor la cantidad de color bajará de manera proporcional directa (siguiendo la línea de tendencia hacia abajo), todo en esa secuencia así también el valor de correlación entre la remoción de estos dos parámetros demuestra que es positiva fuerte, pues su valor está entre $0.8 < r < 1$ teniendo una gran cercanía al 1, la cual demarca una correlación y/o asociación de varianzas perfectas.

Tabla 66:

Correlación de datos entre el hierro (II) y el color removidos con sulfato de aluminio.

$Al_2(SO_4)_3$	
Hierro (II)	Color
0.05	13.4
0.08	12.1
0.09	15.8
0.05	11.3
0.06	13
r	0.61

FUENTE: Elaboración propia.

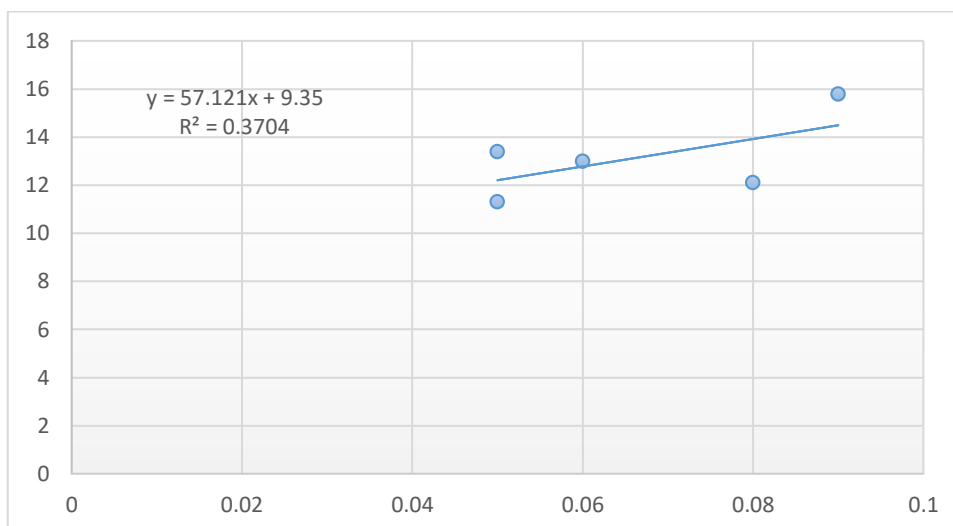


Figura 8: Grado de dispersión y correlación de la remoción del hierro y color removidos con sulfato de aluminio.

Interpretación:

En el gráfico se puede observar cierto grado de cercanía de algunos resultados, pues la dispersión es un poco mayor que en la anterior. Se las puede clasificar de manera positiva ya que se encuentra de manera ascendente (según la línea de tendencia), por lo que se dice que mientras el valor del hierro removido es mayor, lo será también el valor del color o viceversa, todo en secuencia, así también el valor de correlación entre la remoción de estos dos parámetros demuestra que es positiva moderada, pues su valor está entre $0.5 < r < 0.8$, teniendo una gran cercanía y/o asociación de varianzas, las cuales están representadas por el valor en mg/L de la cantidad de hierro y la cantidad de color en UPC.

Tabla 67:

Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con cloruro férrico

FeCl₃	
Velocidad	Hierro
300	0.2
250	0.18
200	0.11
150	0.16
100	0.21
r	0.00

FUENTE: Elaboración propia.

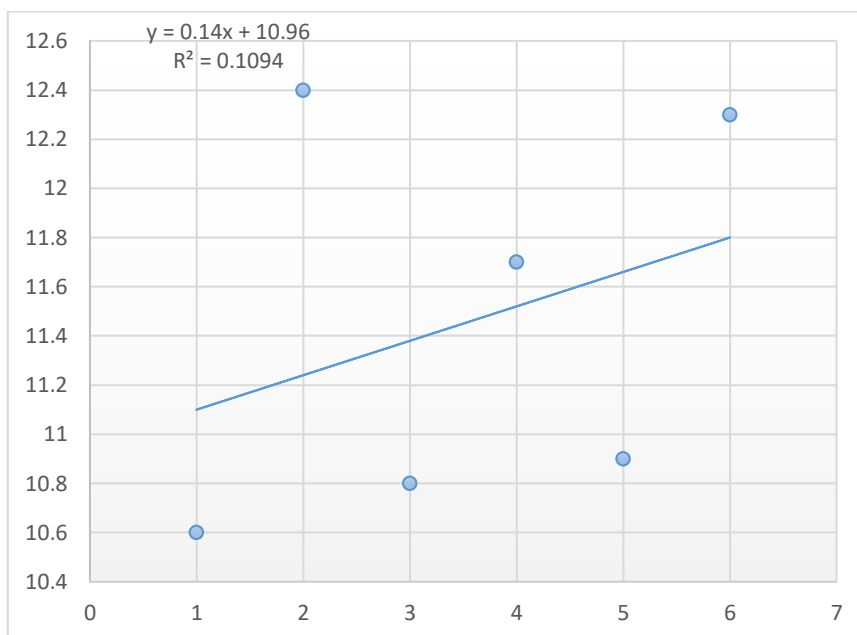


Figura 9: Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con cloruro férrico

Interpretación:

Las variables están incorrelacionadas: no puede establecerse ningún sentido de covariación, la velocidad no influye en gran manera en los resultados del hierro presente en el agua después de la coagulación con cloruro férrico- floculante.

Tabla 68:

Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con cloruro férrico- floculante.

FeCl₃	
Velocidad	color
300	12.3
250	11.1
200	9.6
150	12.1
100	12.3
r	-0.14

FUENTE: Elaboración propia.

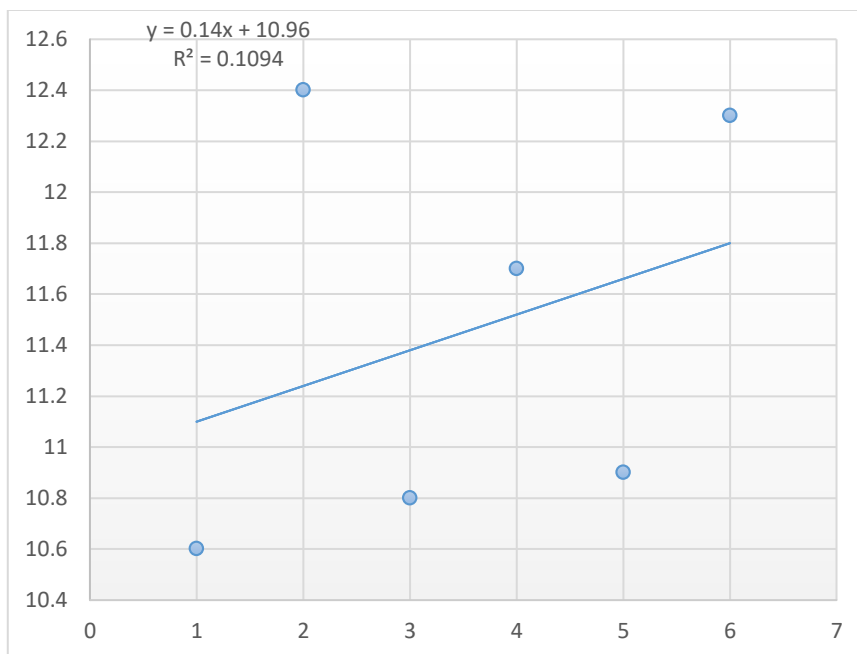


Figura 10: Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con cloruro férrico

Interpretación:

En el gráfico se puede observar que hay correlación negativa: las dos variables se correlacionan en sentido inverso. A valores altos de las velocidades el color presenta valores bajos y viceversa, al utilizar el coagulante cloruro férrico- floculante.

Tabla 69:

Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con sulfato de aluminio

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	
Velocidades	hierro
300	0.05
250	0.08
200	0.09
150	0.05
100	0.06
r	0.09

FUENTE: Elaboración propia.

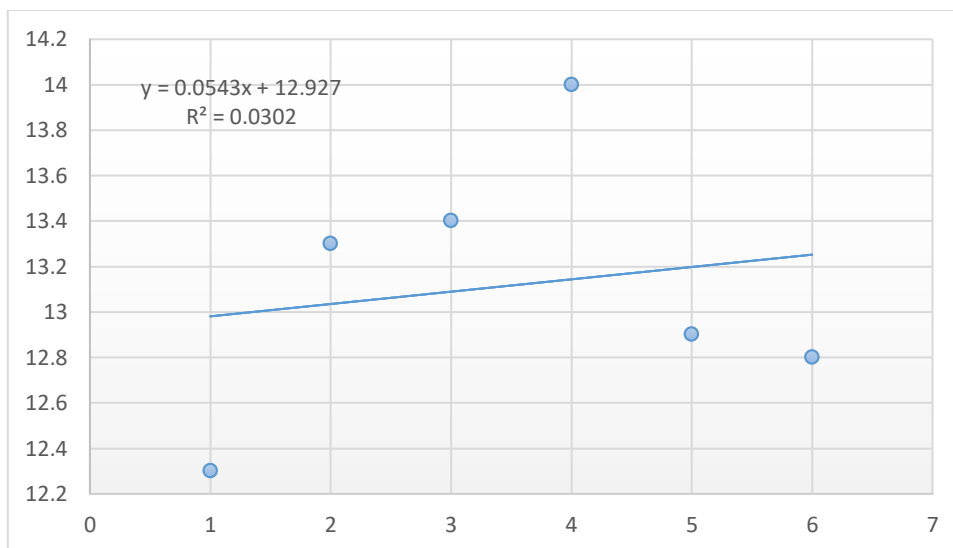


Figura 11: Correlación entre la velocidad y la cantidad de hierro, con sulfato de aluminio

Interpretación:

Entre las velocidades y la cantidad de hierro presente al utilizar sulfato de aluminio, se puede observar que hay una correlación positiva débil, es decir que su cambio de valor no está influenciada en gran manera por las velocidades, pero a diferencia del coagulante anterior, este demuestra tener cierta influencia mínima en la cantidad presente de hierro, aumentando conforme la velocidad aumenta.

Tabla 70:

Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con sulfato de aluminio

Al₂(SO₄)₃	
Velocidades	color
300	13.4
250	12.1
200	15.8
150	11.3
100	13
r	0.15

FUENTE: Elaboración propia.

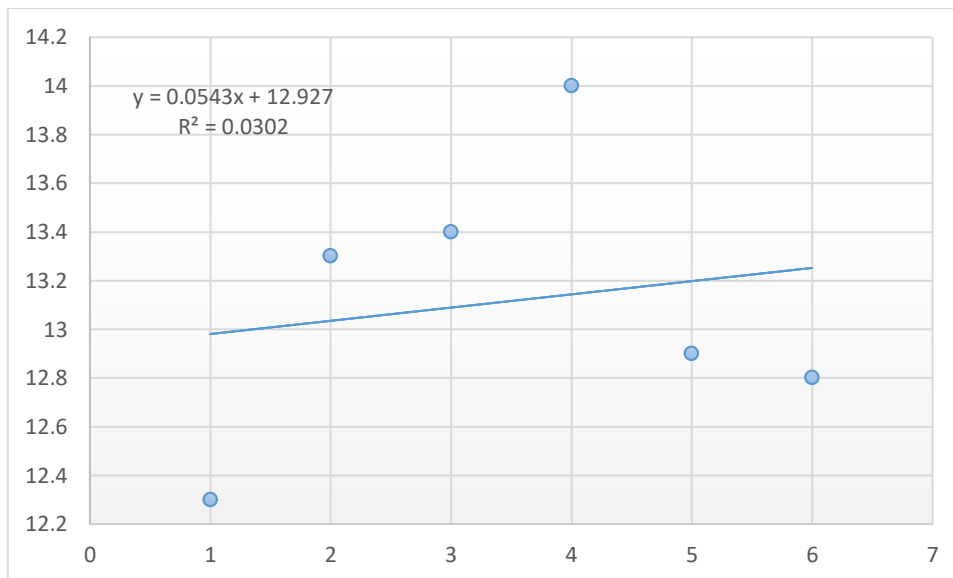


Figura 12: Correlación entre la velocidad y la cantidad de color, con sulfato de aluminio

Interpretación:

Entre la variable de la velocidad y la cantidad de color presente se puede decir que existe correlación positiva pero débil, es decir que este parámetro está poco influenciado por la velocidad, pero que si tiene su sentido conforme aumenta la velocidad también aumenta la cantidad de color presente con la utilización de sulfato de aluminio, puesto que con cloruro férrico era de manera inversa.

Tabla 71:

Correlación entre la cantidad y el hierro presente con cloruro férrico

FeCl₃	
Cantidad	Hierro
1	0.21
2	0.2
3	0.16
4	0.14
5	0.15
6	0.17
r	-0.71

FUENTE: Elaboración propia.

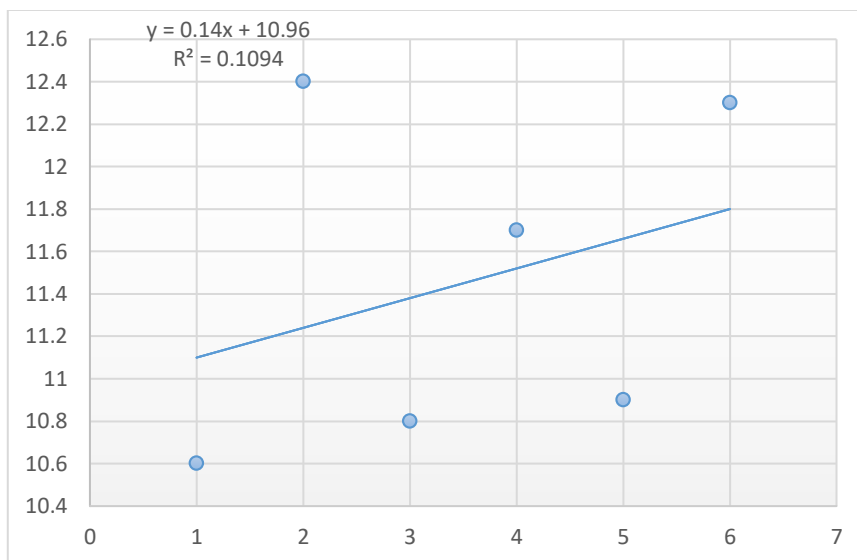


Figura 13: Correlación entre la cantidad y el hierro presente con cloruro férrico

Interpretación:

La cantidad en mililitros (mL) añadida a la muestra actúa de manera inversa, describiéndola como una correlación negativa fuerte, pues de la manera en que la cantidad añadida aumenta la concentración de hierro disminuye.

Tabla 72:

Correlación entre la cantidad y el color presente con cloruro férrico- floculante

FeCl ₃	
Cantidad	color
1	10.6
2	12.4
3	10.8
4	11.7
5	10.9
6	12.3
r	0.33

FUENTE: Elaboración propia.

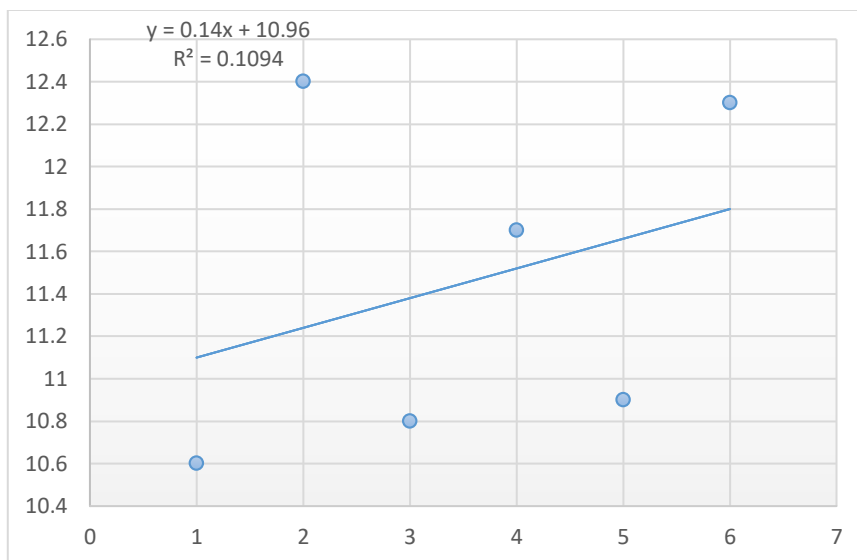


Figura 14: Correlación entre la cantidad y el color presente con cloruro férrico

Interpretación:

De manera contraria observamos como al aumentar la cantidad de coagulante de cloruro férrico a la muestra está también aumenta su concentración, es decir tiene una correlación positiva la cual actúa directamente proporcional a la variación, aunque esta sea por pocas milésimas.

Tabla 73:

Correlación entre la cantidad y el hierro presente con sulfato de aluminio

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	
Cantidad	hierro
1	0.07
2	0.06
3	0.07
4	0.07
5	0.05
6	0.06
r	-0.52

FUENTE: Elaboración propia.

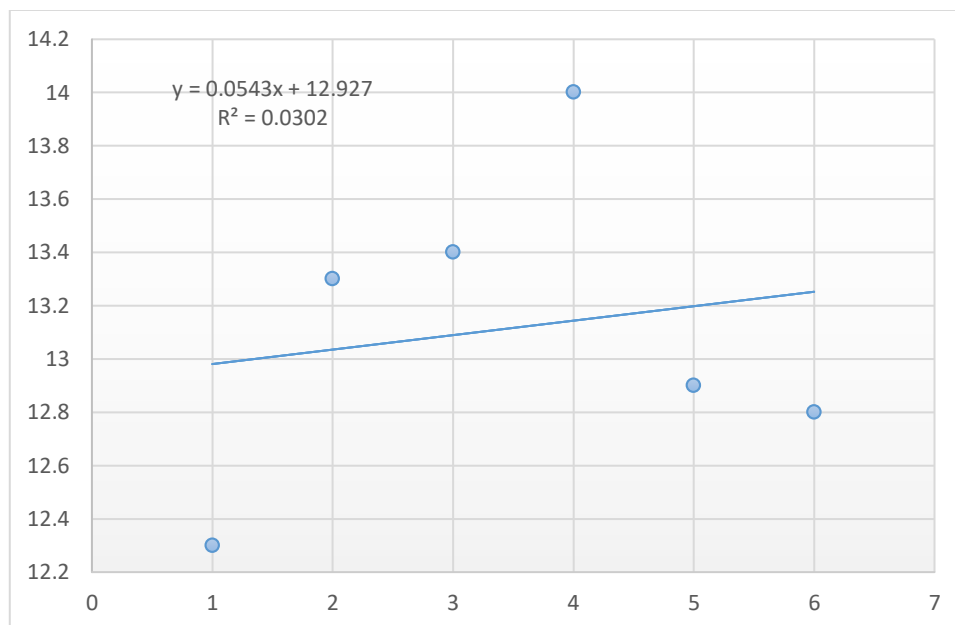


Figura 15: Correlación entre la cantidad y el hierro presente con sulfato de aluminio

Interpretación:

La relación de la cantidad añadida de sulfato de aluminio con la concentración de hierro, actúa de forma indirecta proporcional, debido a la correlación negativa que presentan los resultados pues mientras mayor sea la cantidad añadida de coagulante en mililitros, menos es la concentración de hierro presente en la muestra, aunque comparando con la correlación con cloruro férrico floculante esta es más débil.

Tabla 74:

Correlación entre la cantidad y el color presente con sulfato de aluminio

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	
Cantidad	color
1	12.3
2	13.3
3	13.4
4	14
5	12.9
6	12.8
r	0.17

FUENTE: Elaboración propia.

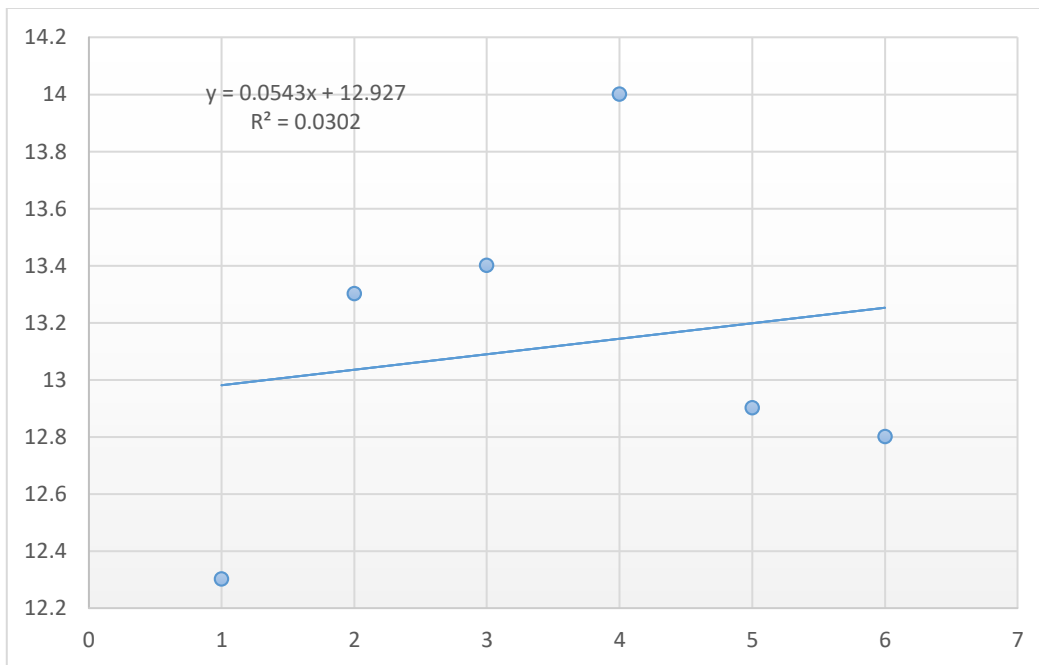


Figura 16: Correlación entre la cantidad y el color presente con sulfato de aluminio

Interpretación:

La relación presente entre la cantidad añadida y la concentración de color presente es una relación positiva directamente proporcional, aunque débil, pues mientras la cantidad aumenta el valor del color también lo hace pero en poca proporción.

3.1.4. Propuesta de diseño de dosificador para el tratamiento convencional del agua de la quebrada Juninguillo.

Tabla 75:

Diseño de dosificador para el tratamiento convencional del agua de la quebrada Juningullo.

PASO	DATO		UNIDAD	CRITERIOS	CALCULOS	UNIDAD	RESULTADOS
1	Q	130	L/s	$q = \frac{Q \times (D_M + D_m)}{2 \times C}$	0.05	L/s	caudal de solución promedio al 10%
	DM=	60	mg/L		3.93	m3/d	
	Dm=	10	mg/L				
	C=	10	%				
	C=	100000	mg/L				
2	C=	2	%	$q = \frac{Q \times (D_M + D_m)}{2 \times C}$	0.23	L/s	Caudal de solución promedio al 2%
	C=	20000	mg/L		19.66	m3/d	
3	T=	8	Horas	$V = Q \times T$	1.31	m3	Volumen del tanque de solución para C=2%
4					6.55	m3	Volumen del tanque de solución para C=10%
5				$P = Q \times D$	4550.00	mg/s	Consumo promedio diario
					393.12	Kg/día	
6				$P_o = P \times T/24$	131.04	Kg	Consumo por tanque
7	Pb=	50	Kg	$N^o = P_o/P_b$	2.62	bolsas	Número de bolsas
8				$q_M = Q \times D_M/C$	0.39	L/s	Caudal máximo por dosificar
					1404.00	L/h	
9				$q_m = Q \times D_m/C$	0.07	L/s	Caudal mínimo por dosificar
					234.00	L/h	
10				$R = q_M - q_m$	864-360	L/h	Rango del dosificador

Fuente: CEPIS (2004).

Leyenda:

Q	Caudal
DM	Dosis Máxima
Dm	Dosis Mínima
C	Concentración CEPIS
T	Tiempo
q	Caudal de Solución
D	Dosis Media
V	Volumen tanque de Solución
P	Consumo Promedio
Po	Consumo por tanque de Solución

Interpretación:

En el cuadro anterior se analizó un modelo teórico según CEPIS (2004). Tomando en cuenta los ensayos realizados donde se colocó 10 mg/L a la primera jarra y 60 mg/L a la última utilizando las dosis mínimas y máximas; de acuerdo a un caudal de 130 L/s. Se calculó dos caudales de solución a las proporciones establecidas en el cuadro. Según los resultados obtenidos, el volumen del tanque para que la solución esté al 2% es de 6.55 m³ y para 10%, de 1.31m³, por lo que se adopta la alternativa con el tanque de 1.31 m³, porque de lo contrario

la utilización de la concentración al 2% necesitaría de una estructura muy grande y tendríamos otros problemas al dosificar tanta agua.

Luego de elegir la concentración adecuada para nuestro caudal de la quebrada Juninguillo, se puede calcular en promedio el caudal máximo y mínimo a dosificar, como también la cantidad en peso que utilizaremos para el agua, por lo que se calculó el rango del dosificador que se requiere debe ser de 864 a 360 L/h.

Con este dato, haciendo uso de la tabla 67, se elige el dosificador de 0 a 1.000 L/h que cubre el rango de trabajo requerido. Se puede observar que la tubería de entrada al dosificador debe ser de 1", y la de salida de 1 ½" de diámetro.

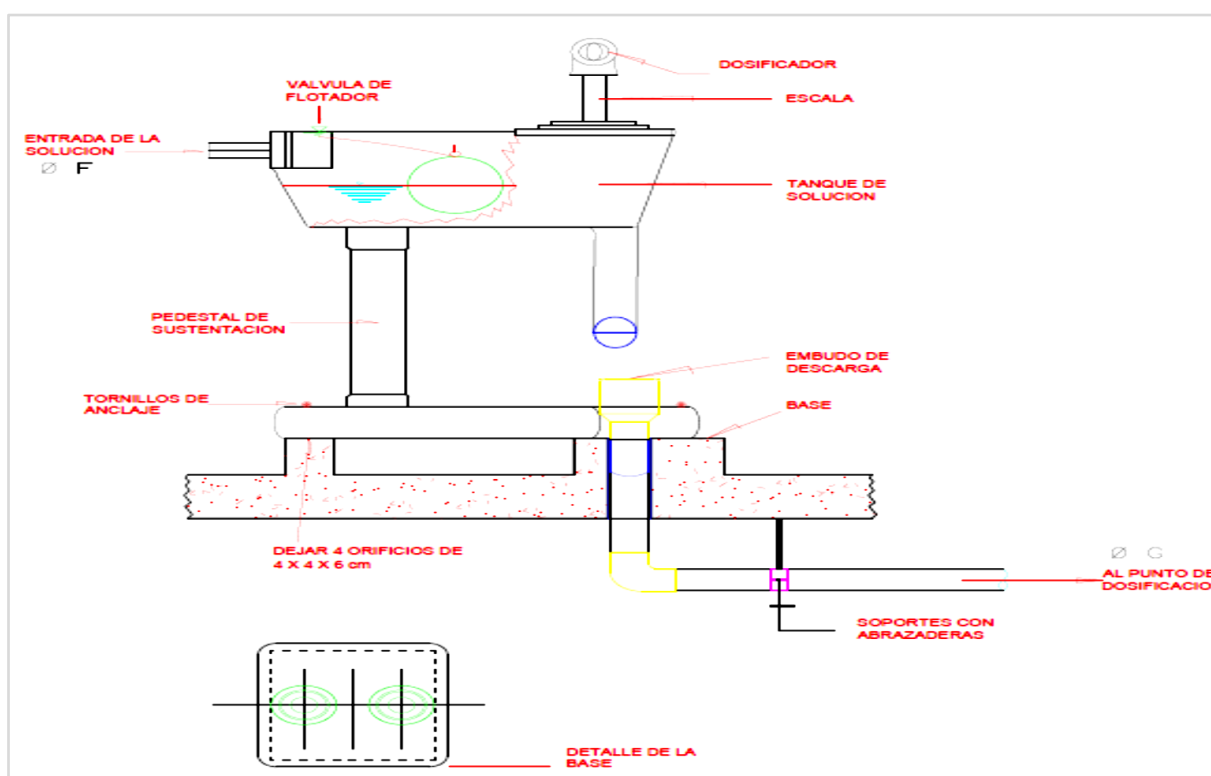


Figura 17: Propuesta de dosificador para el tratamiento de agua potable

De acuerdo a los cálculos y a la tabla, elegimos el del dosificador de (0-1000) L/h que cubre el rango requerido.

Tamaño	Capacidad	A	B	C	D	E	ØF	ØG
1	0 – 400 L/h	760	200	400	140	340	¾"	1 ½"
2	0 – 1.000 L/h	760	200	400	140	340	1"	1 ½"
3	0 – 2.500 L/h	880	310	530	250	470	1 ½"	2"
4	0 – 4.000 L/h	880	310	530	250	470	2"	2 ½"

Fuente: CEPIS (2004).

3.2. Discusiones

El proceso de tratamiento del agua de la quebrada Juninguillo mediante floculación coagulación usando sulfato de aluminio y cloruro férrico- floculante dan resultados positivos para la remoción de hierro, quedando demostrado que pueden ser alternativas válidas para el tratamiento de las aguas para consumo humano de Moyobamba, captación Juninguillo.

De los otros parámetros determinados y los correspondientes límites máximos permisibles, se encontró que todos están por debajo de los límites máximos permisibles, como se muestra en los resultados obtenidos en promedio de los parámetros examinados de todas las muestras.

El Consorcio Amazónico (2011) en sus estudios realizados encontró concentraciones de 0.9 mg/L de hierro y en las aguas de la quebrada Juninguillo, distrito Moyobamba, región San Martín, los cuales sobrepasan límite máximo permisible de 0.3 mg/L de hierro establecido por la Organización Mundial de la Salud. En esta investigación se encontró valores menores a lo establecido por la norma peruana de calidad de agua para consumo humano, demostrando que el proceso de coagulación floculación usando sulfato de aluminio y cloruro férrico, es recomendable para el tratamiento del agua de la quebrada Juninguillo.

Según Informe realizado, los resultados indican reporte de resultados Físico Químico y Biológicos realizados por el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Prestadora de Servicios EPS Moyobamba, Sedalib S.A (2012), donde se indican concentraciones para el agua de la quebrada Juninguillo de 0.81 mg/ L de hierro. Indicando también, que durante el año 2012 de calidad físico química de las aguas de las captaciones se registraron turbiedades de hasta 9.78 UNT y color 125 UPC y de hierro de 0.9528 mg/ L de hierro. En la investigación, el hierro llega a ser removido hasta llegar a valores cercanos al 0.0 con sulfato de aluminio y valores más elevados con cloruro férrico en el caso de turbidez con sulfato de aluminio, cumple con las normas de calidad de agua para consumo humano. En cambio, con cloruro férrico no se cumple, pero sería factible que después de este tratamiento de una aplicación de filtros.

Morales, 2010. Encontró que el tratamiento por coagulación - floculación – decantación son diferentes para cada etapa del proceso. Para la coagulación el tiempo empleado es de 3 minutos y la velocidad de 200 r.p.m. Para la floculación es un proceso más largo y lento, se realiza durante 15 minutos a una velocidad de 40 r.p.m. Por último, se decanta durante 30 minutos antes de analizar el agua clarificada. En investigación se realizó a 300 r.p.m. , 75 r.p.m. y 1.5 min, 15min y 10 min, llegando a resultados satisfactorios en remoción de hierro, color, turbidez. Con cloruro férrico-floculante se encuentra que el potencial de hidrógeno se encuentra dentro del rango establecido por la norma de calidad de agua para consumo humano; en cambio, con sulfato de aluminio el potencial de hidrógeno es muy bajo presentando valores de 4 pH, esto debido a que las aguas de la quebrada Juninguillo no son alcalinas y el sulfato de aluminio al reaccionar forma ácidos que no pueden ser neutralizados generando potencial de hidrógeno bajo.

Para eliminar el hierro y manganeso se realizaron estudios de coagulación con agentes químicos simulando una coagulación en línea. Ana, I (2005). Los resultados de las pruebas no fueron satisfactorios a causa del poco tiempo de contacto entre el coagulante y el agua que mayoritariamente viene impuesto por la fuerza iónica. Al igual que esta investigación se encontraron resultados similares, donde la remoción de hierro es satisfactorio con valores menores de 0.30 mg/L y los otros parámetros satisfactorios, con valores que cumplen con los límites máximos permisibles que establece la norma peruana de calidad de agua para consumo humano, excepto el potencial de hidrógeno en el proceso con sulfato de aluminio y la turbidez con cloruro férrico- floculante, que no cumplen con la norma peruana con este procedimiento. Se recomienda dar un tratamiento adicional para que estos parámetros estén dentro de lo que exige la norma y pueda ser aprovechado para consumo humano.

Carrera, A encontró en el (2012). Los resultados se muestran a continuación: Se encontraron 145.6 mg/L de hierro, luego se realizó la precipitación química (coagulación-floculación). Las sustancias se utilizaron a una concentración de 1000 ppm. El resultado es que el hierro aparece como una sustancia que no supera el límite máximo permisible. En esta investigación también se realizó coagulación floculación, donde se muestra que la remoción de hierro es satisfactoria, donde los resultados no superan los límites máximos permisibles de calidad del agua para

consumo humano, demostrando que el agua de la quebrada Juninguillo es recomendable para el tratamiento usando cualquier de los dos procedimientos.

El objetivo del trabajo fue el de realizar un diagnóstico del proceso de Coagulación-Floculación de la planta de potabilización de la empresa Cervecería Unión S.A, los resultados obtenidos muestran que el tipo de coagulante utilizado puede ser remplazado por otro que no demanda tanto contenido de alcalinidad, por lo cual no requiere de control en el pH. Osorno (2011), aportó información sobre el rendimiento del coagulante para el tratamiento del agua y la importancia que tiene hacer un seguimiento para que el proceso de coagulación – floculación sea el adecuado. En esta investigación, si comparamos los resultados en función del potencial de hidrógeno, encontramos que el tratamiento con cloruro férrico- floculante es recomendado para el tratamiento del agua de la quebrada Juninguillo, dando un potencial de hidrógeno dentro de los rangos que establece la norma peruana de calidad de agua para consumo humano.

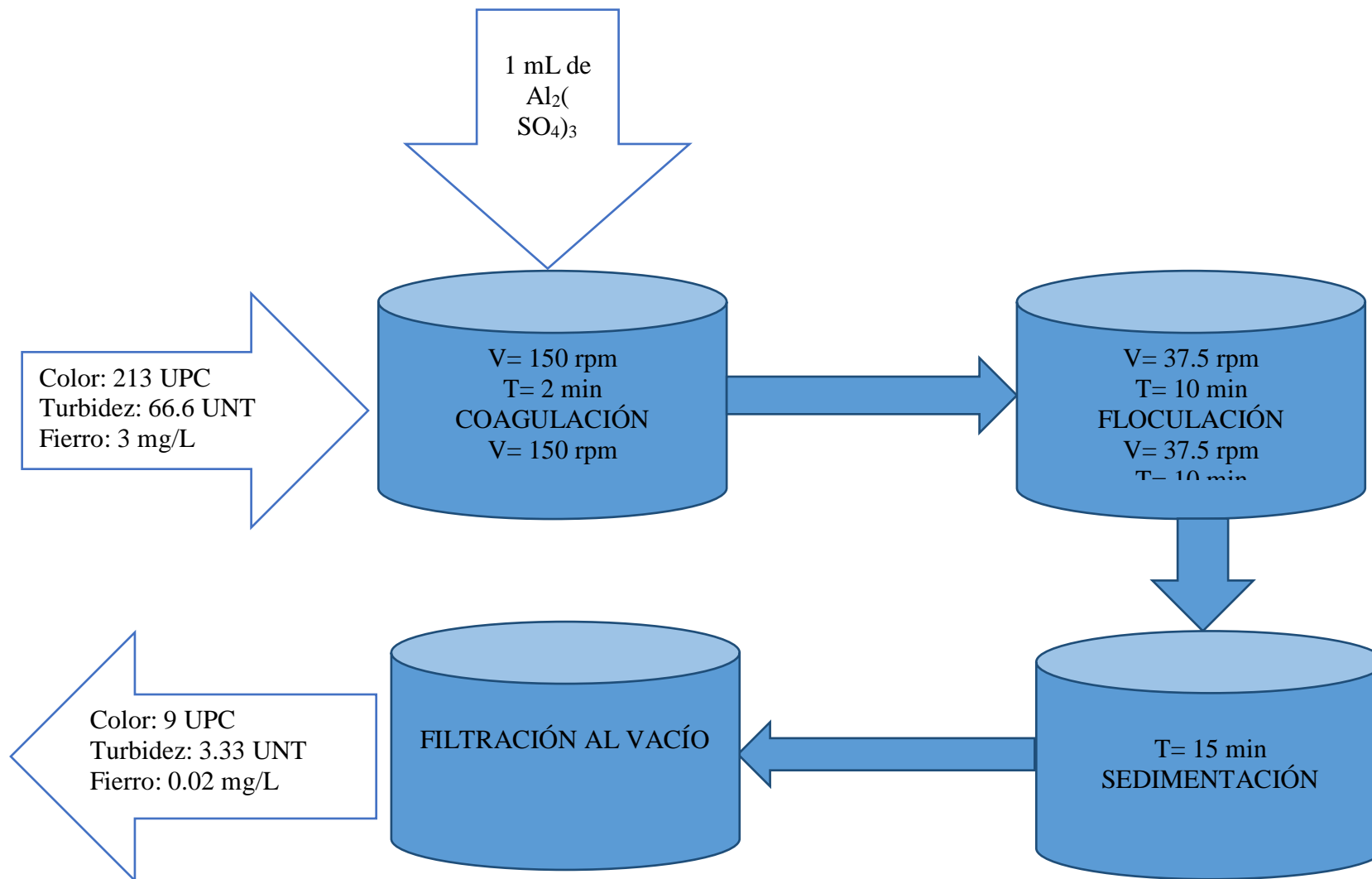
INEGI (2001). Rudy, S (2012) encontraron que los parámetros iniciales del agua cruda superficial fueron los siguientes: turbiedad igual a 70 UNT, color igual a 85 UPC, pH igual a 6.9 y temperatura de 27 C°. Luego se llevó a cabo el proceso de coagulación-floculación mediante el equipo de prueba de jarras marca Phipps & BirdMR, modelo PB-700. Se observa que el tratamiento que presenta el color más bajo es el 2 (28 mg/L de sulfato de aluminio comercial más 2 mg/L de almidón de yuca) con un valor de 7.11 UPC, seguido por el tratamiento 1 con 10.33 UPC, (30 mg/L de sulfato de aluminio comercial). En esa investigación se encontraron resultados de agua cruda de: color 213 UPC, turbidez 66.6 UNT y hierro 1.37 mg/L, luego del tratamiento con el proceso de coagulación floculación, estos parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la norma de calidad de agua para consumo humano, dando a conocer que el tratamiento del agua de la quebrada Juninguillo con coagulación floculación, usando sulfato de aluminio y cloruro férrico es recomendable.

Venegas (2012), analizó su contenido de hierro mediante espectrofotometría de absorción atómica (AA), marca Perkin Elmer, modelo 2380. La duración de todas las pruebas fue de 3 horas. En este trabajo fue posible efectuar la remoción de hierro de arcillas caoliníticas por medio de lixiviación reductiva, utilizando como agente

reductor al tiosulfato de sodio y como agentes complejantes al citrato de sodio y al ácido cítrico. En esta investigación mediante proceso de coagulación floculación usando sulfato de aluminio y cloruro férrico- floculante, se logró remover el hierro presente, logrando que este parámetro cumpla con las normas de calidad del agua para consumo humano; queriendo evaluar el potencial de hidrógeno se recomienda el cloruro férrico- floculante, es con este procedimiento que este parámetro está dentro del rango que establece la norma peruana.

La norma americana ASTM sugiere la mezcla rápida durante un minuto a 120 r.p.m.; mezcla lenta durante unos 20 minutos sin especificar velocidad y 15 minutos de decantación antes de proceder a las determinaciones del clarificado. Mariano, S (2003). En el caso de estudio se eligió en un primer momento tiempos de mezcla lenta y sedimentación de 20 minutos como sugiere la norma americana. Sin embargo, como se puede observar, cuando se reducían los tiempos a 15 minutos el resultado del porcentaje de turbidez eliminada no experimentaba ninguna variación o incluso mejoraba para el caso del polielectrolito. Por tanto, se optó por una mezcla rápida de 2 minutos a 100 r.p.m., una mezcla lenta de 15 minutos a 25 r.p.m. y la decantación de 15 minutos. En esta investigación se usó tiempos de 1.5 minutos, 10 minutos y 15 minutos, dando resultados positivos, donde se encontró resultados que cumplen con la norma de calidad de agua para consumo humano. Además que con cloruro férrico- floculante, en términos de potencial de hidrógeno, es el único que cumple con la norma y sería el recomendado para el tratamiento del agua de la quebrada Juningullo.

3. Diseño del Modelo Teórico y su Implantación



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

❖ Conclusiones

1. La velocidad de agitación y dosis de sulfato de aluminio y cloruro férrico-floculante influyen en los procesos de coagulación-floculación evidenciándose en los niveles de Hierro (II), en las aguas de la quebrada Juningullo en Moyobamba en el año 2014
2. Las mejores condiciones experimentales del uso del sulfato de aluminio para la reducción de Hierro (II), fueron de 120 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{L}$ y a una velocidad de agitación rápida (Coagulación), de 150 r.p.m., seguido de una velocidad de mezcla lenta (Floculación) de 37.5 r.p.m.
3. Las mejores condiciones experimentales del uso del coagulante cloruro férrico floculante para la reducción de Hierro (II), fueron de 80 mg FeCl_3/L y a una velocidad de agitación rápida (Coagulación), de 200 r.p.m., seguido de una velocidad de mezcla lenta (Floculación) de 50 r.p.m.
4. A las condiciones experimentales determinadas usando sulfato de aluminio y cloruro férrico- floculante, se lograron reducciones de Fe(II) del orden del 96.35% y 95.59 % respectivamente, con lo cual las concentraciones finales obtenidas cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua de tipo III, según la Legislación Peruana Vigente

❖ Recomendaciones

1. Se recomienda que para el tratamiento del agua con sulfato de aluminio se neutralice las aguas para evitar que disminuya el pH y pueda cumplir con la norma peruana de calidad del agua para consumo humano, así también monitorear muy de cerca las variaciones de los tiempos climáticos ya que hace que varíen los parámetros del agua cruda.
2. Se recomienda que para el tratamiento del agua con cloruro férrico- floculante, se realice una filtración rápida posterior para que disminuya a turbidez que es el parámetro que no cumple con la norma peruana de calidad del agua para consumo humano, cuando se aplica este procedimiento.
3. Para posteriores análisis es necesario la recolección de un mayor volumen de agua cruda para la realización de los ensayos de una forma más repetitiva y así lograr una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.
4. El autor recomienda que para el tratamiento de las aguas de la quebrada Juninguillo se emplee cualquiera de los procesos, y cuando se utilice sulfato de aluminio se neutralice el agua para evitar que el potencial de hidrógeno sea ácido, y cuando se use cloruro férrico- floculante se tiene que aplicar una filtración rápida para disminuir la turbidez y pueda cumplir con los límites máximos permisibles de calidad del agua para consumo humano.
5. La sala de dosificación debe de ubicarse lo más cerca de la unidad de mezcla rápida, para que la tubería de conducción de la solución no sea muy larga y para no incrementar las pérdidas de carga.
6. Se recomienda tener estricto cuidado y control con la cantidad de dosificación de cloruro férrico floculante y sulfato de aluminio, pues las cantidades pueden ser óptimas de acuerdo a los parámetros iniciales del agua y de acuerdo al estado de la misma.
7. El autor, indica que los estudios realizados para el tratamiento de hierro y color, pudieran verse alterados por efecto del cambio climático; que alteraría las condiciones ambientales de la quebrada Juninguillo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ana, B. (2013). *Evaluación de la quebrada Juninguillo y determinación de hierro*, Universidad Nacional de San Marín. Perú.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua, coagulación floculación*. Lima. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico, SEDEPAL, S.A.
- Arboleda, J. (2008). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá. Colombia.
- Arnau, V.; Gerardo, M. & Rojas CH. (2004). *Tratamiento alternativo para la remoción de hierro en agua de abastecimiento municipal*. Hig. Sanid. Ambient. 4:98-105.
- Austin, T. (2001). *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. Editorial Mc Graw Hill. Primera Edición en español. México.
- APHA-AWWA-WEF. (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua*. 5ta edición. España. McGraw-Hill.
- Barrenechea, A. & CÁNEPA, L. (2004) *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Manual I: Teoría - Tomo II. Desinfección. (Lidia Cánepa de Vargas) Ed. CEPIS/OPS, Lima, Perú. p: 154 – 214.
- Burbano, L. (2011). *Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en gravas*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. España.
- Canepa, L. (1999). *Programa de protección de la salud ambiental HPE, supervisores de Plantas de Tratamiento*. MANUAL DTIAPA N° E-2. CEPIS.
- Calvo, M. (2003) “*Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias*. Se puede buscar en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27574/TRABAJO%20FINAL%20DE%20MASTER%20\(ok\).pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27574/TRABAJO%20FINAL%20DE%20MASTER%20(ok).pdf?sequence=1)
- Castañeda, G. (2010). *Reducción de hierro manganeso y detergente en el agua, por medio de arena verde de manganeso y carbón activado*. Tesis para optar el Grado Académico de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería.
- Castrillón, D. & Giraldo. (2012). *Determinación de la Dosis Optimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color*

para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa María.
Universidad Tecnología de Pereira.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano, Plantas de Filtración Rápida.*

Cobos F. (2016). *Determinación del estado ecológico de la quebrada de Juningullo mediante parámetros hidrobiológicos y fisicoquímicos. Moyobamba – 2016.*
Universidad Nacional de San Martín. Perú.

Cueva, J. (2014). *Diseño de experimentos en la remoción de metales pesados en aguas residuales de la industria minera por procesos de coagulación con sulfato ferroso.* Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

Custodio, E.; M. R. Llamas, (1996). *Hidrología subterránea.* 2ed., Tomo I, Ed. Omega. Barcelona, España.

ENVIROLAB PERU S.A. (2011). Informe de Ensayo N° 1103072. Gobierno Regional de San Martín.

EPS-MOYOBAMBA S.R. LTDA., (2011). Memoria Descriptiva General. “*Mejoramiento y Ampliación del Sistema de agua Potable de la Localidad de Moyobamba*”.

Espigares, M. & Pérez, J. (2001.). *Precipitación química - Ablandamiento del agua.* HDR Engineering, I. Handbook of Public Water Systems (Segunda edición ed.). Canadá: Wiley, John; Sons.

Gamonal, P. (2003). *Tratamiento de drenaje de ácidos de minas en humedales construidos.* Red Latinoamericana sobre Industrias Extractivas y Desarrollo Sostenible. Se puede buscar en: http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/pasivosamb_pub.htm.

Gómez, N. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación.* Tesis Ing. Químico. Manizales, Univ. Nacional de Colombia, facultad de ingeniería y arquitectura, departamento de química.

Informe Proyecto (2011). “*Ampliación y mejoramiento del Sistema de Agua Potable del Distrito de Moyobamba- Provincia de Moyobamba- Región San Martín*”.

- Jerónimo, A. (2012). *La Amazonia como reserva de la Biodiversidad. Ciencias Sociales*. Se puede buscar en: <http://jerhman.blogspot.pe/2012/10/la-amazonia-como-reserva-de-la.html>.
- Kemmer F. y Mc Callion, J, (1995). *Naturaleza Tratamiento y Aplicaciones*. Manual del Agua. Tomo III. McFraw-Hill, Cheminal Company.
- Kiersch, B. y FAO (2000). *Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica*. Roma, Italia. Se puede buscar en: <http://www.fao.org/ag/agl/watershed/watershed/es/bckpapes/indbckes.stm>.
- Kunene, M. (1968). *La Selva precede al hombre y el desierto le sigue. Los Recursos Naturales y la población*. Paris. Se puede buscar en: http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif37.htm.
- Loaiza, A. (2009). *Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante doble filtración con flujo a presión*. Caso el Hormiguero - Cali. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Mc Quillan, D.; A. Richards, & J. Parker (2000). *Agua subterránea (tesoro enterrado de Nuevo México)*. Departamento de Medio ambiente de Nuevo México. www.nmenv.state.nm.us/gwb/Technical%20resources/agua_subterranee.doc.
- McGraw Hill y ACODAL, (2000). 362 p. Tomo I.
- MINAM, (2010). Presidente de Consejo de Ministros. *Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA /Ministerio de Salud*. Dirección General de Salud Ambiental – Ministerio de Salud, Lima – Perú.
- MINAM, (2015). Presidente de Consejo de Ministros. *“Reglamento nacional para la aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles”*. D. S. N° 044-98-PCM. 1,2 Pág. Lima – Perú.
- Morales, M. (2010). *Aplicación de Procesos de Coagulación Floculación en la Regeneración de Aguas Depuradas*. Centro Politécnico Superior. Universidad de Saragoza, España.

- Murrieta E. (2016). *Determinación de la influencia del proceso de coagulación - floculación en la calidad del agua residual del camal municipal de la ciudad de Rioja – San Martín, 2016*. Universidad Nacional de San Martín. Perú.
- Navarro, E. & Sabater, S. (2004). *Contaminación de los ríos por metales pesados*. Scientific American Latinoamérica. Año 3 #26 p. 26-31.
- Orellana, J. (2005). *Tratamiento de las Aguas. Ingeniería Sanitaria*. Unidad Temática N° 06. Unt. FERRO. Perú.
- Ortiz, V. (2011). Informe de Pasantías: *Evaluación y Análisis del Sistema de Dosificación de Policloruro de Aluminio en la Planta Potabilizadora Alejo Zuloaga*. Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Osorno, M. (2011) *Evaluación del proceso de Coagulación Floculación de una planta de tratamiento de agua*. Universidad de Colombia, Facultad de Ingeniería Química.
- PEAM, Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural-San Martín. (2006). *“Expediente Técnico sustentatorio para convertirse como Área de Conservación Municipal Rumiyacu-Mishquiyacu”*. Moyobamba. Perú.
- Piña, S.; Martín, A. & Ramírez, G. (2001). *Remoción de hierro y Manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público*. http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_04.pdf
- Restrepo, A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodier, J (1990) *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona.
- Romero, J. (2000). *Purificación del agua*. Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rodríguez, C. (1995) *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. P 115.

- Rodríguez, J.(sep., 2000); *Biodegradabilidad de la materia orgánica natural del agua y efecto del ozono*. En: Ingeniería del agua. Vol. 7, No. 3. p. 271-277.
- Rodríguez, C. (1995) *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. P 115.
- SEDALIB (2012). Informe Proyecto “*Ampliación y mejoramiento del Sistema de Agua Potable del Distrito Moyobamba- Región San Martín*”. Consultoría: SEDALIB S.A. –Trujillo- La Libertad.
- Valdivia, J. (1997). *Evaluación de procesos de tratamiento de hierro y manganeso solubles en aguas subterráneas*. Tesis de la División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería Sección Ambiental UNAM.
- Valencia, C.E. (2011). Monografía Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Civil; tema: *Química del hierro y Manganeso en el Agua, métodos de Remoción*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Tomo 1. Lima.
- Yaniris, L. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. P 3,4.

ANEXOS

Anexo A:

Marco legal e institucional.

El marco Legal e Institucional para la gestión de los recursos hídricos en el país está constituido por la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338 y su normatividad complementaria vigente, en donde se establece entre otros:

Artículo 14°.- La Autoridad Nacional como ente rector

La Autoridad Nacional es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos.

Es responsable del funcionamiento de dicho sistema en el marco de lo establecido en la Ley.

Artículo 25°.- Ejercicio de las funciones de los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales

Los gobiernos regionales y gobiernos locales, a través de sus instancias correspondientes, intervienen en la elaboración de los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas.

Participan en los Consejos de Cuenca y desarrollan acciones de control y vigilancia, en coordinación con la Autoridad Nacional, para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.

A nivel central, los sectores que intervienen en la gestión del agua a través de sus correspondientes Ministerios, son: Agricultura (aprovechamiento agrícola); Vivienda, Construcción y Saneamiento (aprovechamiento domestico); Salud (calidad del agua); Comercio Exterior y Turismo (aguas termales); Energía y Minas (aprovechamiento energético y operaciones minero-metalúrgicos); Producción (aprovechamiento industrial y acuícola); Presidencia de Consejo de Ministros (PCM) (política ambiental, regulación de tarifas de servicios de agua potable y energía); Defensa (información hidrometeorológica).

- **Reglamento nacional para la aprobación de Estándares de calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles.** (D. S. N° 044-98-PCM)

Este Reglamento establece el procedimiento que se debe seguir para determinar un Estándar de Calidad Ambiental (ECA) o un Límite Máximo Permisible (LMP). (Normas Legales. 2008).

- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP).**

El Límite Máximo Permissible (LMP) y el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) son instrumentos de gestión ambiental que consisten en parámetros y obligaciones que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas.

Una de las diferencias es que la medición de un ECA se realiza directamente en los cuerpos receptores, mientras que en un LMP se da en los puntos de emisión y vertimiento. Sin embargo, ambos instrumentos son indicadores que permiten a través del análisis de sus resultados, establecer políticas ambientales (ECA) y correcciones el accionar de alguna actividad específica (LMP). (Normas Legales. 2008).

- **Aprueban los Estándares Nacional de Calidad ambiental para Agua (D.S. N° 002- 2008- MINAM).**

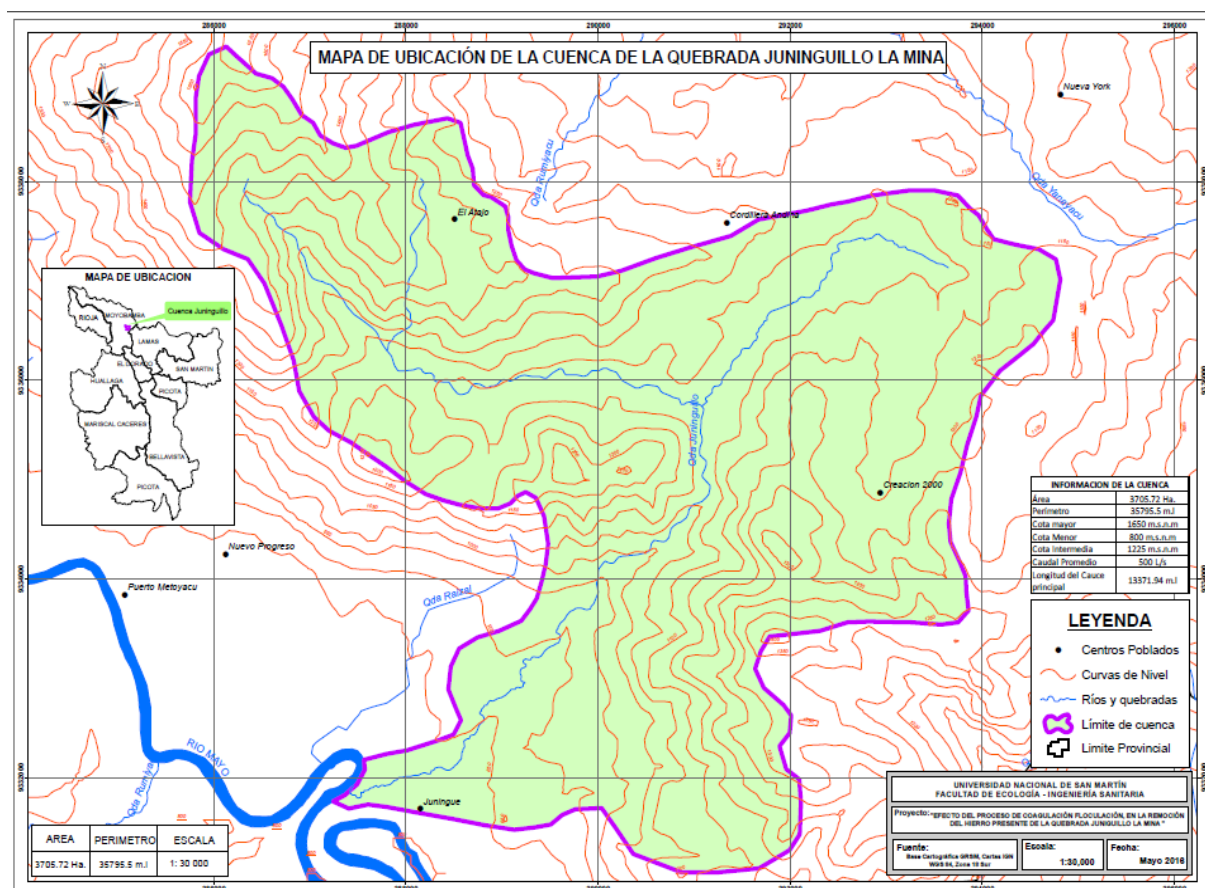
Que, el artículo 1 de la Ley N° 28817- Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley.

Anexo B: Proceso de cálculo de un sistema de dosificación en solución

Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Q=300 D _M =80 D _m =8 C=10 C=100.000	L/s mg/L mg/L % mg/L	$q = \frac{Q \times (D_M + D_m)}{2 \times C}$	$q = \frac{300 \times 44}{100.000}$ $q = 0,132$ $q = 11,4$	Caudal de solución promedio al 10%	L/s m ³ /d
2	C=2	%		$q = \frac{300 \times 44}{20.000}$ $q = 0,66$ $q = 57,0$	Caudal de solución promedio al 2%	L/s m ³ /d
3	T=8,42	horas	$V = Q \times T$	$V = 11,4 \times 8,42/24$ $V = 4,0$	Volumen del tanque de solución para C=10%	m ³
4				$V = 57 \times 8,42/24$ $V = 20$	Volumen del tanque de solución para C=2%	m ³
5			$P = Q \times D$	$P = 300 \times 44$ $P = 13.200$ $P = 1,140$	Consumo promedio diario	mg/s kg/d
6			$P_o = P \times T/24$	$P_o = 1.140 \times 8,42/24$ $P_o = 400$	Consumo por tanque	kg

Fuente: CEPIS (2004).

Anexo C: Mapa de Ubicación de la quebrada Juningullo.



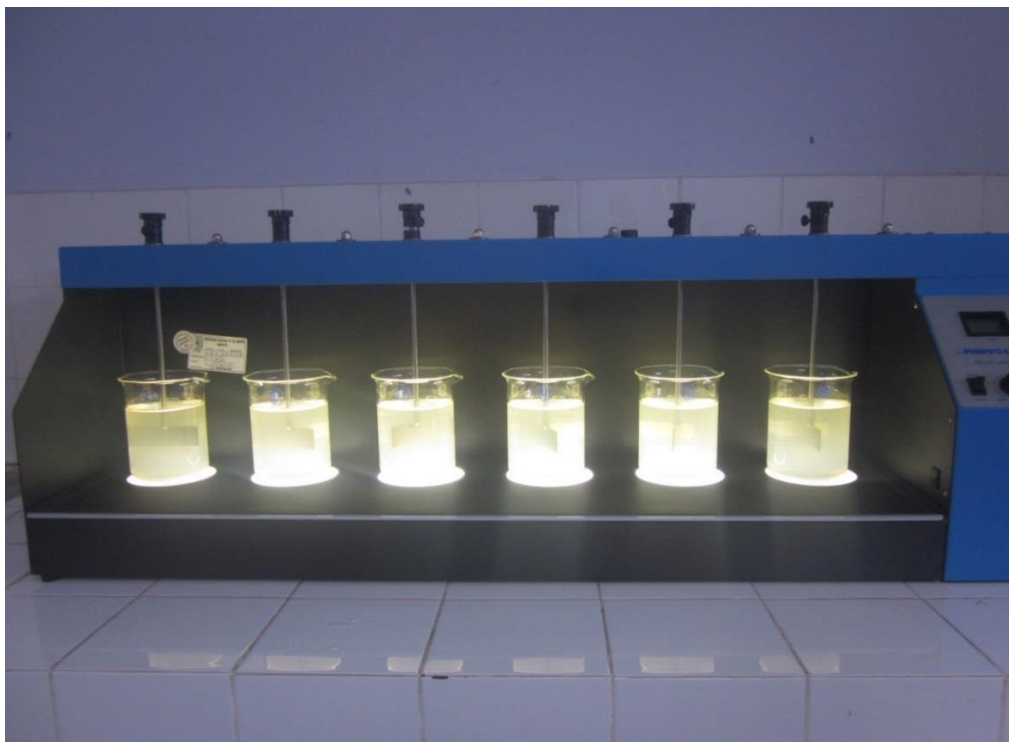
FUENTE: Elaboración propia.

Anexo D: Panel fotográfico

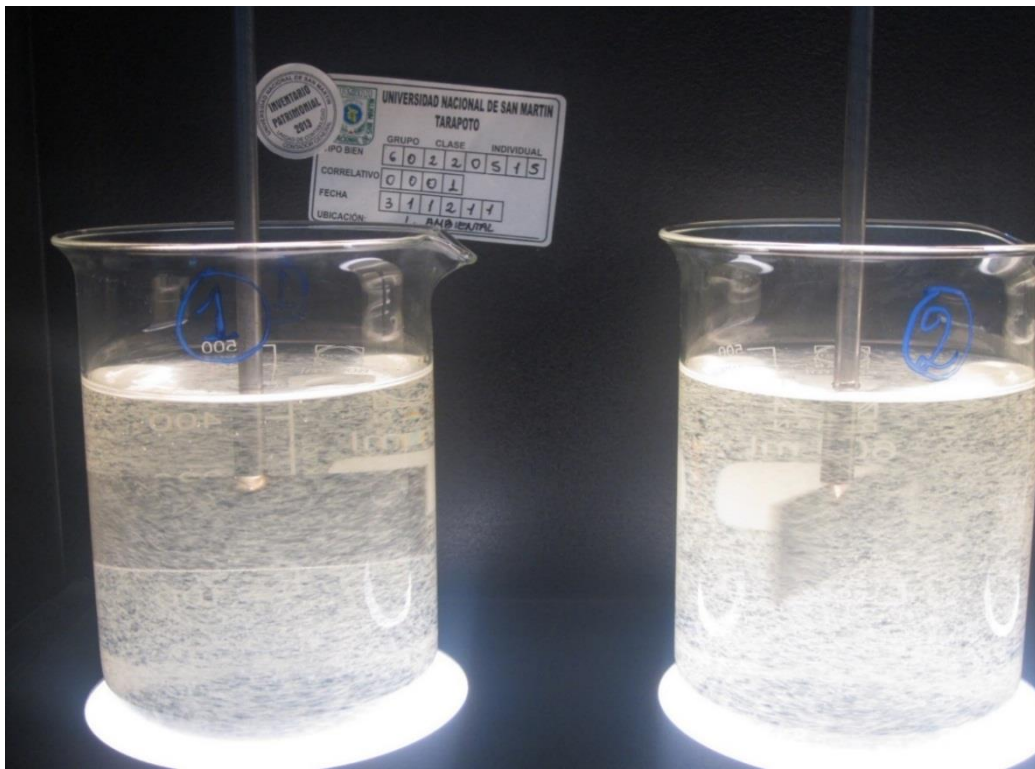
Fotografía 01:



Fotografía 02:



Fotografía 03:



Fotografía 04:

