

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**PROPUESTA DE UN KIT BÁSICO PARA LA POTABILIZACIÓN DE
AGUA EN ÁREAS RURALES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AMBIENTAL**

TATIANA MARGARITA CHAMORRO ROMERO

tatiana.chamorro@epn.edu.ec

ALEXANDRA ABIGAIL GÓMEZ ASIMBAYA

abigail.gomez@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ RODRÍGUEZ, MSc.

marcelo.munoz@epn.edu.ec

CO- DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL, MSc.

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, Tatiana Chamorro y Abigail Gómez, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa vigente

**TATIANA MARGARITA
CHAMORRO ROMERO**

**ALEXANDRA ABIGAIL
GÓMEZ ASIMBAYA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Tatiana Margarita Chamorro Romero y Alexandra Abigail Gómez Asimbaya, bajo nuestra supervisión.

**ING. ISAÍAS MARCELO
MUÑOZ RODRÍGUEZ MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**ING. MARÍA BELÉN
ALDÁS SANDOVAL MSc.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la salud y fuerza necesaria para ir cumpliendo poco a poco todos mis sueños.

A mi madre Isbella, mi guerrera. Expresar en palabras lo importante que es para mí y todo el amor y admiración que siento por usted, es imposible. Ella, la mujer más fuerte, decidida y valiente que he conocido. Agradezco infinitamente a Dios haberme brindado la oportunidad de ser su hija, usted es el pilar fundamental en mi vida. Lo que he logrado y lograré, es gracias a usted.

A mis abuelitos, Alfonso y Aída, por el inmenso amor y apoyo que siempre me han dedicado; sus enseñanzas, consejos y ocurrencias han marcado mi vida. Junto con mi madre, son mi motivación diaria y la mejor familia que puedo tener.

A mi mejor amiga, Carla, por el cariño, paciencia y consejos que ha sabido brindarme durante todo este tiempo y que han sido de gran ayuda en los momentos difíciles.

A Madelin, mi primera amiga en la universidad, por todas las vivencias compartidas en estos años y por mantenernos siempre unidas a pesar de la distancia.

A Gabriela y María Fernanda, por toda la paciencia y ayuda brindada que fue fundamental para cumplir con esta meta académica, por todos los buenos momentos compartidos durante nuestra carrera universitaria.

A Alyson, por su gracia y espontaneidad, por siempre alegrar mis días en la universidad y sacarme sonrisas sea cual sea la situación.

A la Ing. Carolina Lemus, Gabriela, Jaqueline, Édison y Máximo, quienes conforman el equipo de trabajo del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental,

por las facilidades brindadas para la realización de este estudio y por los momentos amenos compartidos en el laboratorio.

A Abigail, coautora de este trabajo, por toda la paciencia, responsabilidad y dedicación puesta en el mismo, por brindarme su amistad y comprensión. Te deseo éxito en tu vida profesional y personal, te lo mereces.

Al la Ing. María Belén Aldás y al Ing. Marcelo Muñoz, por habernos guiado en la realización de este estudio, por compartir sus conocimientos y su tiempo, ayudándonos de esta manera a culminar exitosamente esta etapa.

A la Escuela Politécnica Nacional y su cuerpo docente, por la formación académica que recibí a lo largo de estos años.

Finalmente, a todas las personas que de muchas maneras hicieron mi permanencia en la EPN una de las experiencias mas bonitas y gratificantes de mi vida.

Tatiana

AGRADECIMIENTO

Con gratitud a Dios, a nuestra Virgen Santísima María y al Niño Jesús, por ser quienes guían mi camino todos los días de mi vida.

A mis padres María y José, por su amor incondicional y su ejemplo de trabajo y perseverancia, por inculcarme buenos valores que me han permitido ser mejor persona con el pasar de los días. A mi hermano Andrés por su ayuda y comprensión en cada momento.

A mi alma mater, la Escuela Politécnica Nacional porque a través de sus docentes contribuyeron con nuestra formación profesional.

Gracias a nuestro director Ing. Marcelo Muñoz, por brindarnos la oportunidad y la confianza de realizar esta investigación, por compartir sus conocimientos de una manera paciente y desinteresada.

A nuestra codirectora Ing. María Belén Aldás, gracias por su paciencia y su ayuda generosa, por su motivación y conocimientos transmitidos para poder culminar con este proyecto.

A mi compañera de tesis Tatiana Margarita, por su alegría y carisma que la caracterizan, por ser una buena amiga y un gran apoyo en la realización de este proyecto.

A la Ing. Carolina Lemus, por su apoyo dentro y fuera del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), de igual manera a quienes laboran en el mismo: Máximo, Gaby, Jacqueline y Edison, gracias por su ayuda durante la realización de los análisis de esta investigación.

A Milton Iván, por brindarme su ánimo y su apoyo moral, en todo momento, por ser parte de esta historia y enseñarme que con amor, lucha y perseverancia “Mereces lo que sueñas”.

DEDICATORIA

A mi madre y abuelitos, mi razón de ser.

Todo por ustedes.

Tatiana

DEDICATORIA

A Dios, a nuestra Santísima Virgen María y al Niño Jesús, lo más esencial en mi vida.

A mis padres y hermano, este logro es para ustedes y por ustedes.

Abigail

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
CONTENIDO.....	IX
LISTA DE TABLAS.....	XV
LISTA DE GRÁFICAS	XXIII
LISTA DE FIGURAS	XXVI
LISTA DE ANEXOS	XXVII
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XXVIII
RESUMEN	XXIX
ABSTRACT	XXX
PRESENTACIÓN	XXXI
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1

1.2	JUSTIFICACIÓN	2
1.3	OBJETIVOS	4
1.3.1	OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4	ALCANCE	5
CAPÍTULO 2		6
MARCO TEÓRICO.....		6
2.1	EL AGUA POTABLE	6
2.1.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS.....	6
2.1.1.1	Características Físicas	6
2.1.1.2	Características Químicas	8
2.1.1.3	Características Biológicas	10
2.1.2	IMPORTANCIA Y PROBLEMÁTICA	10
2.2	PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	12
2.2.1	COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	14
2.2.1.1	Coagulación	14
2.2.1.2	Floculación	14
2.2.1.3	Factores que influyen en la coagulación y floculación.....	14
2.2.1.4	Sulfato de aluminio	17
2.2.1.5	Polímeros	18
2.2.2	DESINFECCIÓN.....	20
2.2.2.1	Cloración	23
2.3	MARCO LEGAL APLICABLE.....	26

2.3.1	NORMATIVA ECUATORIANA.....	26
CAPÍTULO 3		28
METODOLOGÍA.....		28
3.1	PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA	28
3.1.1	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE BENTONITA EMPLEADA PARA LA TURBIEDAD BAJA, MEDIA Y ALTA.....	29
3.2	DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE REACTIVOS A EMPLEAR PARA LA REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIEDAD	30
3.2.1	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS CON SULFATO DE ALUMINIO	30
3.2.2	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS CON POLÍMERO	31
3.2.3	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS CON SULFATO DE ALUMINIO Y POLÍMERO.....	32
3.3	DETERMINACIÓN DE DOSIS OPTIMA DE HIPOCLORITO DE CALCIO	33
3.3.1	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO E HIPOCLORITO DE CALCIO.....	34
3.3.2	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO E HIPOCLORITO DE CALCIO.....	34
3.4	PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA CON COLIFORMES.....	35
3.5	DETERMINACIÓN DE LA COMBINACIÓN ÓPTIMA DE REACTIVOS ..	36
3.5.1	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO E HIPOCLORITO DE CALCIO.....	37

3.5.2	ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO E HIPOCLORITO DE CALCIO	37
3.6	VALIDACIÓN CON AGUA CRUDA.....	37
3.7	ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL	39
3.7.1	TURBIEDAD	39
3.7.2	COLOR.....	40
3.7.3	pH.....	40
3.7.4	TEMPERATURA.....	41
3.7.5	ALCALINIDAD	41
3.7.6	COLOR LIBRE RESIDUAL.....	42
3.7.7	COLIFORMES.....	43
3.8	PROCESAMIENTO DE DATOS	44
3.8.1	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN	44
3.8.2	DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL KIT POTABILIZADOR.....	45
CAPÍTULO 4		47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		47
4.1	EFICIENCIA DE REMOCIÓN TURBIEDAD Y COLOR.....	47
4.1.1	TURBIEDAD BAJA: 10 NTU.....	47
4.1.1.1	Ensayo con sulfato de aluminio.....	47
4.1.1.2	Ensayo con polímero.....	50
4.1.1.3	Ensayo con sulfato de aluminio más polímero	53

4.1.2	TURBIEDAD MEDIA: 20 NTU	55
4.1.2.1	Ensayo con sulfato de aluminio	55
4.1.2.2	Ensayo con polímero	58
4.1.2.3	Ensayo con sulfato de aluminio más polímero	61
4.1.3	TURBIEDAD ALTA: 70 NTU	63
4.1.3.1	Ensayo con sulfato de aluminio	63
4.1.3.2	Ensayo con polímero	66
4.1.3.3	Ensayo con sulfato de aluminio más polímero	68
4.2	DOSIS ÓPTIMAS DE HIPOCLORITO DE CALCIO	71
4.2.1	TURBIEDAD BAJA: 10 NTU	71
4.2.1.1	Ensayo con sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio..	71
4.2.2	TURBIEDAD MEDIA: 20 NTU	73
4.2.2.1	Ensayo con sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio..	73
4.2.3	TURBIEDAD ALTA: 70 NTU	75
4.2.3.1	Ensayo con sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio..	75
4.3	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES	77
4.3.1	TURBIEDAD BAJA: 10 NTU	77
4.3.2	TURBIEDAD MEDIA: 20 NTU	82
4.3.3	TURBIEDAD ALTA: 70 NTU	87
4.4	VALIDACIÓN EN AGUA CRUDA	92
4.5	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CONTENIDO DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN	95

CAPÍTULO 5	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1 CONCLUSIONES.....	98
5.2 RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS POLIELECTROLITOS	18
TABLA 3.1 CANTIDAD DE BENTONITA PARA LA PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA.....	29
TABLA 3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SULFATO DE ALUMINIO .	30
TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POLÍMERO.....	31
TABLA 3.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO	33
TABLA 3.5 CANTIDAD DE BENTONITA PARA LA PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA CON COLIFORMES	36
TABLA 3.6 COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	37
TABLA 3.7 COSTOS DE LOS REACTIVOS EMPLEADOS	46
TABLA 4.1 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (10 NTU)	47
TABLA 4.2 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (10 NTU)	50
TABLA 4.3 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (10 NTU)	53
TABLA 4.4 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (20 NTU)	56
TABLA 4.5 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (20 NTU)	58

TABLA 4.6 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (20 NTU)	61
TABLA 4.7 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (70 NTU)	64
TABLA 4.8 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (70 NTU)	66
TABLA 4.9 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (70 NTU)	69
TABLA 4.10 VALORES DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (10 NTU).....	71
TABLA 4.11 VALORES DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (20 NTU).....	74
TABLA 4.12 VALORES DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (70 NTU).....	76
TABLA 4.13 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES PARA LAS DISTINTAS COMBINACIONES (10 NTU).....	78
TABLA 4.14 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES PARA LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU).....	83
TABLA 4.15 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES PARA LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU).....	87
TABLA 4.16 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR, COLIFORMES FECALES Y CLORO LIBRE RESIDUAL PARA LOS DISTINTOS KITS	92
TABLA 4.17 COSTO DE LOS REACTIVOS EMPLEADOS EN EL KIT POTABILIZADOR PARA TRATAR 20 LITROS DE AGUA.....	95

TABLA A 1.1 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	114
TABLA A 1.2 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	114
TABLA A 1.3 ENSAYO CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU	115
TABLA A 1.4 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU	115
TABLA A 1.5 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU	116
TABLA A 1.6 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	116
TABLA A 1.7 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	117
TABLA A 1.8 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	117
TABLA A 1.9 ENSAYO CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU	118
TABLA A 1.10 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU	118
TABLA A 1.11 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU	119
TABLA A 1.12 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	119
TABLA A 1.13 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.....	120

TABLA A 1.14 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.....	120
TABLA A 1.15 ENSAYO CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	121
TABLA A 1.16 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	121
TABLA A 1.17 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	122
TABLA A 1.18 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	122
TABLA A 2.1 ENSAYO DE SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	124
TABLA A 2.2 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.	124
TABLA A 2.3 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU	125
TABLA A 2.4 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	125
TABLA A 2.5 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	126
TABLA A 2.6 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.	126
TABLA A 2.7 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU	127

TABLA A 2.8 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	127
TABLA A 2.9 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.....	128
TABLA A 2.10 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.	128
TABLA A 2.11 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	129
TABLA A 2.12 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.....	129
TABLA A 3.1 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	131
TABLA A 3.2 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.	131
TABLA A 3.3 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU	132
TABLA A 3.4 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU.....	132
TABLA A 3.5 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES PARA TURBIEDAD DE 10 NTU	133
TABLA A 3.6 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (10 NTU).....	133

TABLA A 3.7 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (10 NTU)	134
TABLA A 3.8 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	135
TABLA A 3.9 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.	135
TABLA A 3.10 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU	136
TABLA A 3.11 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU.....	136
TABLA A 3.12 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES PARA TURBIEDAD DE 20 NTU	137
TABLA A 3.13 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (20 NTU).....	137
TABLA A 3.14 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (20 NTU)	138
TABLA A 3.15 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.....	139
TABLA A 3.16 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.	139
TABLA A 3.17 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	140

TABLA A 3.18 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU.....	140
TABLA A 3.19 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES PARA TURBIEDAD DE 70 NTU	141
TABLA A 3.20 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (70 NTU).....	141
TABLA A 3.21 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (70 NTU)	142
TABLA A 4.1 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 10 NTU.....	144
TABLA A 4.2 RESULTADOS PROMEDIO DE LA DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 10 NTU	144
TABLA A 4.3 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES EN AGUA CRUDA DE 10 NTU	145
TABLA A 4.4 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES AL APLICAR EL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 10 NTU	145
TABLA A 4.5 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 20 NTU.....	146
TABLA A 4.6 RESULTADOS PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 20 NTU.....	146
TABLA A 4.7 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES EN AGUA CRUDA DE 20 NTU	147

TABLA A 4.8 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES AL APLICAR EL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 20 NTU	147
TABLA A 4.9 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 70 NTU.....	148
TABLA A 4.10 RESULTADOS PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 70 NTU	148
TABLA A 4.11 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES EN AGUA CRUDA DE 70 NTU	149
TABLA A 4.12 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES AL APLICAR EL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 70 NTU	149
TABLA A 5.1 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL	151

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 4.1 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (10 NTU)	49
GRÁFICA 4.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (10 NTU)....	50
GRÁFICA 4.3 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (10 NTU)	51
GRÁFICA 4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (10 NTU).....	52
GRÁFICA 4.5 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (10 NTU)	54
GRÁFICA 4.6 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (10 NTU)	55
GRÁFICA 4.7 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (20 NTU)	57
GRÁFICA 4.8 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (20 NTU)....	58
GRÁFICA 4.9 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (20 NTU)	59
GRÁFICA 4.10 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (20 NTU).....	60
GRÁFICA 4.11 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (20 NTU)	62

GRÁFICA 4.12 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (20 NTU) ..	63
GRÁFICA 4.13 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (70 NTU)	65
GRÁFICA 4.14 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (70 NTU)....	66
GRÁFICA 4.15 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (70 NTU)	67
GRÁFICA 4.16 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (70 NTU).....	68
GRÁFICA 4.17 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (70 NTU)	70
GRÁFICA 4.18 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (70 NTU) ..	70
GRÁFICA 4.19 VARIACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (10 NTU).....	72
GRÁFICA 4.20 VARIACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (20 NTU).....	75
GRÁFICA 4.21 VARIACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (70 NTU).....	77
GRÁFICA 4.22 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (10 NTU)....	80
GRÁFICA 4.23 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (10 NTU).....	81

GRÁFICA 4.24 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU)....	84
GRÁFICA 4.25 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU).....	86
GRÁFICA 4.26 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU)....	89
GRÁFICA 4.27 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU).....	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE EN EL PLANETA	11
FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DEL ÁCIDO HIPOCLOROSO Y DEL HIPOCLORITO EN AGUA A DIFERENTES VALORES DE PH.....	24
FIGURA 2.3 PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA REACCIÓN DEL CLORO EN EL AGUA.....	26
FIGURA 3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE AGUA SINTÉTICA	29
FIGURA 3.2 APLICACIÓN DEL KIT POTABILIZADOR.....	38
FIGURA 3.3 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD	39
FIGURA 3.4 DETERMINACIÓN DE COLOR.....	40
FIGURA 3.5 DETERMINACIÓN DE pH	41
FIGURA 3.6 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD	42
FIGURA 3.7 DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL.....	43
FIGURA 3.8 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES.....	44
FIGURA 4.1 CONTENIDO DE REACTIVOS Y COSTO DE CADA KIT PARA TRATAR 20, 40 Y 60 LITROS DE AGUA.....	96

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO Y POLIMERO	113
ANEXO 2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS CON HIPOCLORITO DE CALCIO	123
ANEXO 3. RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y COLIFORMES FECALES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS CON LAS DISTINTAS COMBINACIONES DE REACTIVOS.....	130
ANEXO 4. RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y COLIFORMES FECALES OBTENIDOS EN LA ETAPA DE VALIDACIÓN.....	143
ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO	150

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

cent.	Centavos
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
HC	Hipoclorito de Calcio
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LMP	Límite Máximo Permisible
NMP	Número más Probable
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
OMS/WHO	Organización mundial de la salud/ World Health Organization
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS/PAHO	Organización Panamericana de la Salud/ The Pan American Health Organization
P	Polímero
rpm	Revoluciones por Minuto
SA	Sulfato de Aluminio
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund

RESUMEN

El presente estudio busca proponer un kit básico para la potabilización de agua en zonas rurales mediante ensayos de prueba de jarras, empleando reactivos como: sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio; su comportamiento se evaluó en base a parámetros de turbiedad, color, coliformes fecales y cloro libre residual.

En este trabajo se utilizó agua con tres niveles de turbiedad: baja (10 NTU), media (20 NTU) y alta (70 NTU), para emplearla en la parte experimental, la cual consistió en tres etapas. En la primera parte se determinaron las dosis óptimas de cada reactivo por separado, en base a aquella que presentaba mayor remoción de turbiedad, color, coliformes fecales y dejaba un cloro libre residual dentro de la normativa. La segunda parte consistió en aplicar dichas dosis en diferentes combinaciones de reactivos, para poder determinar aquella que permitiera obtener los mejores resultados, en base al criterio establecido en la primera etapa. Finalmente, la última parte se basó en validar el kit básico de potabilización en un volumen de 20 litros de agua cruda.

Se determinó que en el caso de las tres turbiedades (10, 20 y 70 NTU) la combinación que permitió obtener agua de mejor calidad para consumo humano fue la que contenía tres reactivos. Para 10 y 20 NTU el kit básico de potabilización estaba formado por sulfato de aluminio, polímero más hipoclorito de calcio en dosis de 40; 0,10 y 4 mg/L, respectivamente, mientras que para 70 NTU las dosis fueron 30; 0,05 y 5 mg/L, respectivamente.

Al validar el kit básico de potabilización se obtuvieron eficiencias de remoción de turbiedad y color de: 92,28% y 92,11%, respectivamente, para agua de 10 NTU; 95,28 % y 96,89 %, respectivamente, para agua de 20 NTU y 98,69 % y 98,47 %, respectivamente, para agua de 70 NTU. En cuanto al parámetro de coliformes fecales el kit dejó un valor menor a 1,1 NMP/100 mL para cada turbiedad.

ABSTRACT

The present study seeks to propose a basic kit for water purification in rural zones by testing jars, using reagents such as: aluminum sulphate, polymer and calcium hypochlorite; Its behavior was assessed based on turbidity, color, fecal coliforms and residual free chlorine parameters.

In this work, water was used with three levels of turbidity: low (10 NTU), medium (20 NTU) and high (70 NTU), to use in the experimental part, which consisted of three stages. In the first part, the optimal doses of each reagent were determined separately, based on the one that had a greater removal of turbidity, color, fecal coliforms and left a residual free chlorine within the regulation. The second part consisted in applying these doses in different combinations of reagents, to be able to determine the one that allows to obtain the best results, based on the criterion established in the first stage. Finally, the last part was based on validating the basic purification kit in a volume of 20 liters of raw water.

It was determined that in the case of the three turbidities (10, 20 and 70 NTU) the combination that allowed to obtain better quality water for human consumption was the one that contained three reagents. For 10 and 20 NTU the basic purification kit consisted of aluminum sulphate, polymer plus calcium hypochlorite in doses of 40; 0,10 and 4 mg/L, respectively, while for 70 NTU doses were 30; 0,05 and 5 mg/L, respectively.

By validating the basic water purification kit, turbidity and color removal efficiencies were obtained: 92,28% and 92,11%, respectively for 10 NTU water; 95,28% and 96,89% respectively, for 20 NTU water and 98,69% and 98,47% respectively for water of 70 NTU. For the fecal coliforms parameter, the kit left a value less than 1,1 NMP/100 ML for each turbidity.

PRESENTACIÓN

En el presente trabajo se propone un kit básico de potabilización para zonas rurales, con el fin de obtener agua apta para consumo humano. El mismo se encuentra conformado por cinco capítulos:

En el Capítulo 1 se describen aspectos generales de este trabajo como son: la introducción, justificación, objetivo general, objetivos específicos y alcance.

En el Capítulo 2 se describe el marco teórico mismo que aborda conceptos relacionados con el agua como parámetros fisicoquímicos y biológicos, la importancia y problemática además de los procesos y factores que influyen en el tratamiento de la misma.

En el Capítulo 3 se expone la metodología que se siguió para llevar a cabo la fase experimental de este estudio, la cual comprendió la elaboración de agua sintética con bentonita, agua sintética con bentonita y coliformes, ensayos de prueba de jarras y los análisis de los diferentes parámetros de control.

En el Capítulo 4 se presentan los resultados y discusión de las eficiencias de remoción de color, turbiedad y coliformes fecales de los reactivos empleados por separado así como de las combinaciones de los mismos, mediante la realización de tablas y gráficas elaboradas para las diferentes turbiedades tanto de agua sintética como de agua cruda (validación), además se realizó el análisis económico del contenido del kit básico de potabilización.

Finalmente, el Capítulo 5 contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de los objetivos que se plantearon al iniciar esta investigación y de los resultados conseguidos durante la fase experimental.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

A nivel mundial 663 millones de personas se abastecen de fuentes de agua sin tratamiento previo y, entre éstas, 159 millones dependen de aguas superficiales (OMS y UNICEF, 2018), las cuales presentan ciertos parámetros de calidad como turbiedad, color y coliformes por encima de los límites máximos permisibles, por lo que es necesario que el agua antes de ser ingerida sea sometida a un proceso de tratamiento para producir la denominada “agua potable” (Pinto, 2006).

El agua potable es aquella cuyas características físico-químicas y microbiológicas han sido modificadas con la finalidad de garantizar su uso para consumo humano (INEN, 2006). Esto se hace posible a través de diferentes procesos como: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración (Fuentes, Mendoza, López, Castro y Urdaneta, 2011), orientados a remover color, turbiedad y microorganismos de origen fecal (Pérez, Carrillo, y Magrinyà, 2003).

Según datos emitidos por la OMS y UNICEF (2007) la falta de agua potable se ha visto reflejada en zonas rurales donde, ocho de cada diez personas no tienen acceso a este servicio básico. En el Ecuador el 51% de los hogares en la zona rural tiene acceso al agua segura (El Telégrafo, 2017). Entre 2010 y 2014, la brecha de acceso a agua potable entre la zona urbana y el resto del territorio se redujo de 24,3% a 15,9%. Aun así, existe todavía una problemática con la cobertura de este servicio en el área rural, principalmente en la región Litoral y Amazónica, donde ésta llega tan solo a 57,99% y 59,35%, respectivamente (SENAGUA, 2016).

En las zonas rurales el problema de abastecimiento de agua se debe a las dificultades que presentan estas áreas como son: bajo nivel socio económico de los beneficiarios; viviendas aisladas o pequeños núcleos urbanos; limitado acceso a nuevas tecnologías; limitado o nulo acceso a recursos financieros; carencia de

supervisión, control y apoyo técnico de instituciones públicas o empresas de agua (Lampoglia, Agüero, y Barrios, 2008), por lo que a estas zonas es necesario proveer de tecnologías acordes a su realidad y accesibles en términos económicos que permitan mejorar las estadísticas de cobertura del servicio de agua potable.

En base a esta problemática, este estudio propondrá la elaboración de un kit, el mismo que se define como el conjunto de productos para conseguir un determinado fin, que en el caso de esta investigación será el de potabilizar agua de manera sencilla. Este kit de potabilización podría ser empleado por las familias en las zonas rurales con la finalidad de obtener agua segura para el consumo humano, ajustándose así al interés de las autoridades por cumplir con uno de los objetivos del desarrollo sostenible que es garantizar agua libre de impurezas y accesible para todos (ONU, 2018).

Para cumplir el objetivo, en este trabajo se desarrollarán una serie de análisis de laboratorio empleando la combinación de productos como el sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio, mismos que son empleados en tratamientos de potabilización del agua (Orellana, 2005), lo que permitirá determinar la mejor combinación de los compuestos antes mencionados para obtener agua apta para el consumo humano. El proponer un kit accesible a este tipo de poblaciones, podría ser información valiosa que el municipio puede utilizar para cubrir con las necesidades de las mismas, beneficiando así a las familias que no tienen acceso a agua potable debido a que se podrá mejorar la salud pública y reducir los casos de enfermedades parasitarias y gastrointestinales (SENPLADES, 2014).

1.2 JUSTIFICACIÓN

El consumo de agua sin previo tratamiento influye directamente en la salud pública, debido a que esto ocasiona enfermedades, entre las más comunes están: cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis (OMS y UNICEF, 2018). En países en vías de desarrollo, cuatro quintos de las enfermedades son transmitidas por el agua, siendo la diarrea la causa principal de muerte infantil (LENNTECH, 2018).

Este estudio pretende generar un conocimiento nuevo en cuanto a la validez de un kit que contenga tres componentes para la potabilización del agua de forma sencilla. Para esto se determinará el porcentaje de remoción de turbiedad (NTU), color (Pt-Co) y coliformes fecales (NMP) en función de cada combinación de reactivos, así como también las dosis óptimas de los reactivos a emplear según un determinado volumen de agua y turbiedad, por último, cuál de las tres combinaciones permite obtener agua con la mejor calidad para el consumo humano.

Los reactivos empleados serán: sulfato de aluminio, que es el coagulante más utilizado en tratamientos convencionales debido a su fácil manejo y obtención, además de su bajo costo (Fuentes, Contreras, Perozo, Mendoza, y Villegas, 2008); polímeros, que son usados como coadyuvantes de la coagulación, y actualmente se ha estudiado el uso únicamente de éstos para remover turbiedad en procesos de potabilización (Benavides, 2017); e hipoclorito de calcio, que ha sido ampliamente aceptado para la desinfección del agua debido a que tiene alta capacidad para oxidar sustancias inorgánicas además que su uso es de bajo costo (Romero, 2011).

Para determinar las dosis y combinaciones óptimas de reactivos que permitan obtener el agua apta para consumo humano se realizará el ensayo de prueba de jarras (Camargo y Cruz, 1999), empleando agua sintética, la cual tendrá características similares al agua cruda en cuanto a turbiedad y coliformes, mismas que serán evaluadas antes de la aplicación del kit potabilizador. Finalmente, para probar la validez del kit de potabilización, el mismo se aplicará a una muestra de agua cruda, evaluando los parámetros básicos tales como: turbiedad, pH, cloro libre residual y coliformes fecales antes y después de la aplicación del mismo (Pérez et al., 2003).

El agua potable debe tener un control en su calidad sanitaria antes de ser destinada al consumo (Silva, Ramírez, Alfieri, Rivas, y Sánchez, 2004), por esta razón se realizará la evaluación del agua resultante luego de aplicar el kit, con pruebas de parámetros básicos tales como: turbiedad, pH, cloro libre residual y coliformes fecales, mismos que son recomendados por la OMS por estar

relacionados con enfermedades transmitidas por vía hídrica (OPS y COSUDE, 2007).

El desarrollo del kit de potabilización beneficiará a los habitantes de áreas rurales, en donde aún no se tiene acceso al servicio de agua potable; además aportará con información valiosa que los municipios podrían emplear para promover esta alternativa y ampliar así la cobertura de este servicio; adicionalmente, las personas podrán llevar a cabo un tratamiento simple y de bajo costo que permitirá remover, a nivel domiciliario, la presencia de turbiedad, color y organismos patógenos (coliformes fecales) de aguas que son usadas para consumo humano, sin un tratamiento previo (Pérez et al., 2003).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un kit básico para la potabilización de agua en zonas rurales mediante pruebas de tratabilidad con el fin de obtener agua apta para el consumo humano.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las dosis de los reactivos, por separado, que presenten mayor porcentaje de remoción de turbiedad, color y coliformes fecales, mediante la prueba de jarras, para que éstas puedan ser empleadas en el kit potabilizador.
- Determinar la combinación óptima de reactivos mediante ensayos de pruebas de jarras para la obtención de agua apta para el consumo humano.
- Validar el kit potabilizador, mediante su aplicación en agua cruda, para evaluar la eficiencia del mismo en condiciones reales.

1.4 ALCANCE

La presente investigación busca proponer un kit básico que permita obtener agua apta para el consumo humano, mediante la experimentación con diferentes dosis y combinaciones de reactivos empleados comúnmente en procesos de potabilización de agua como son: sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio.

Se realizarán ensayos de laboratorio empleando agua sintética que contendrá coliformes y además presentará diferentes turbiedades, 10, 20 y 70 NTU, para determinar la mejor combinación de reactivos, en función de los mayores porcentajes de remoción de turbiedad, color y coliformes fecales.

Finalmente se validará el kit, aplicándolo a un volumen de agua cruda, para evaluar su eficiencia en condiciones reales.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 EL AGUA POTABLE

El agua es un recurso esencial para la vida, se considera que la parte utilizable por el hombre proviene de fuentes superficiales y subterráneas (Córdoba, Del Coco, y Basualdo, 2010), mismas que por problemas de contaminación requieren de procesos de tratabilidad para convertirla en potable (Banús y Bertrán, 2010).

Se define al agua potable como aquella a la que se le han modificado sus características físicas, químicas y biológicas, eliminando o reduciendo microorganismos y sustancias nocivas con el fin de garantizar su uso para consumo humano (INEN, 2006; Rojas, 2002). Para catalogar si un agua es potable, se comparan las características antes mencionadas con ciertos estándares de calidad, mismos que se fundamentan en niveles de toxicidad aceptables para los seres humanos (ONU-DAES, 2014).

Por lo anteriormente expuesto el agua potable no presenta sustancias físico-químicas, radioactivas ni microorganismos que representen una amenaza para la salud de las personas que la consuman (Mateo, Bedoya del Olmo, Navia, y Ducci, 2017).

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

2.1.1.1 Características Físicas

Se definen como características físicas a aquellas que pueden ser percibidas por los sentidos y son: color, olor y sabor, temperatura y turbiedad.

- **Color:** debido a materiales suspendidos o disueltos como compuestos orgánicos de procedencia natural (descomposición de vegetales) o antrópica (vertidos de industrias) (Fernández, 2012). En aguas

subterráneas y superficiales con poca cantidad de oxígeno la presencia de color se debe a sales solubles de hierro y manganeso (Marín, 2008).

Se debe tomar en cuenta que se presentan dos tipos de color que son: el color verdadero que se obtiene cuando sea removida la turbiedad de la muestra mediante un proceso de filtración, es decir se debe a las sustancias disueltas; y el color aparente que resulta de analizar la muestra sin remover la turbiedad, por lo que el agua contiene sustancias disueltas más sólidos suspendidos (Aguirre, 2015).

La determinación del color en una muestra se realiza a través de análisis espectrofotométricos (Fernández, 2012), y sus valores son reportados en unidades de Pt/Co (Londoño, Giraldo, y Gutiérrez, 2010).

- **Olor y Sabor:** Constituyen una apreciación mas no una medida en una muestra de agua, son características subjetivas que describen cualitativamente la calidad del agua. La problemática del olor y sabor en el agua se origina principalmente por la presencia de compuestos químicos como fenoles, cloro, hidrocarburos, materias orgánicas en descomposición o por sustancias liberadas por algas u hongos (Bonilla, 2015).

La determinación de estos parámetros se hace en base a una serie de diluciones con la finalidad de que éstos sean perceptibles al sentido del olfato de los analistas (Orellana, 2005).

- **Temperatura:** Está determinada por la cantidad de irradiación que recibe el agua (Marín, 2008). Es un parámetro que juega un papel importante dentro de la calidad del agua puesto que altera la solubilidad de sales y gases disueltos además de los procesos biológicos de los ecosistemas acuáticos (Fernández, 2012).

Si la temperatura del agua está por encima de la temperatura ambiente, existe actividad química, física y biológica, y sus valores se reportan en escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (Londoño et al., 2010).

- **Turbiedad:** La presencia de partículas suspendidas provenientes de la erosión y transporte de sedimentos en los ríos o de las descargas de efluentes residuales que éstos reciben son los factores responsables de ocasionar turbiedad al agua (Fernández, 2012).

Esta característica se relaciona con la pérdida de transparencia del agua, determinando la claridad de la misma (Vargas y Calvo, 2018). Mide la transmisión de luz al momento de analizar una muestra de agua (Trujillo et al., 2014).

La turbiedad se determina mediante instrumentos conocidos como los nefelómetros o turbidímetros, cuyo funcionamiento se basa en enviar luz desde una fuente hacia la muestra, detectando la cantidad de luz atenuada por las partículas suspendidas en la misma (Vargas y Calvo, 2018).

2.1.1.2 Características Químicas

Estas características están relacionadas con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias de origen natural o industrial, estas son: pH, dureza, alcalinidad y conductividad (Orellana, 2005).

- **pH:** Es una característica importante del agua, que establece las condiciones de acidez, alcalinidad o neutralidad de la misma; por lo que interfiere en las reacciones químicas y biológicas (Aguilar, 2010).

El valor del pH está determinado por la cantidad de iones hidrógeno presentes en el agua, es así que a mayor concentración de éstos el agua presenta un carácter ácido ($\text{pH} < 7$) y por el contrario una menor concentración significa que una disolución es básica ($\text{pH} > 7$) (Monte, 2016).

El potencial hidrógeno (pH) de las aguas naturales generalmente está entre valores de 6 y 9 (Fernández, 2012). La determinación de este parámetro se puede realizar empleando un aparato eléctrico conocido como pH – metro (Londoño et al., 2010).

- **Dureza:** Generalmente se debe a la presencia de sales disueltas de magnesio y calcio (Aguilar, 2010). La dureza puede ser: temporal cuando el agua contiene bicarbonato de calcio y de magnesio, y permanente si existe un contenido de sales como los cloruros y sulfatos (Soto, 2010).

Se considera que las aguas duras tienen una concentración mayor a 120 mg/L de CaCO_3 mientras que las aguas blandas y moderadamente blandas presentan concentraciones de 0-60 y de 60 a 120 mg/L de CaCO_3 respectivamente (Fernández, 2012). La dureza de una muestra se determina mediante titulación y se expresa en mg/L de CaCO_3 (Londoño et al., 2010).

- **Alcalinidad:** Se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos (Cortijo, 2013), debido al contenido de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de potasio, sodio, amonio, calcio y magnesio siendo los dos últimos los más comunes. Los valores de alcalinidad se expresan en mg/L de CaCO_3 y se obtienen a través de la titulación de la muestra con ácido (Pérez, 2016).
- **Conductividad:** Es el potencial que tiene el agua para conducir electricidad y se relaciona con la temperatura y concentración total de sales que lleva disuelta (Valdivia, Pedro, y Laurel, 2010).

Los factores que interviene en la conductividad son: las descargas de efluentes residuales y el tipo de terreno que atraviesa el agua. Su determinación se realiza mediante un conductímetro y se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fernández, 2012).

2.1.1.3 Características Biológicas

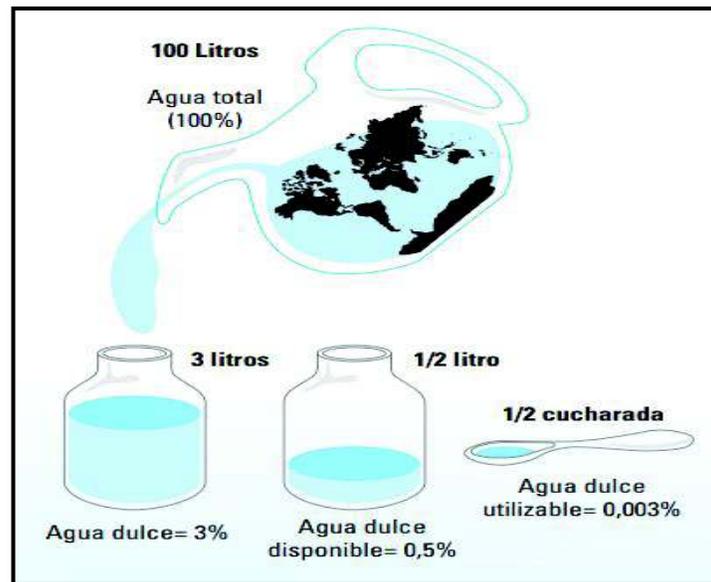
Son aquellas que están vinculadas a la presencia de microorganismos presentes en el agua y que afectan la calidad de la misma, debido a que pueden provocar la transmisión de enfermedades. Entre los microorganismos presentes en agua dulce o residual se encuentran principalmente: helmintos, algas, protozoos, virus y bacterias (Aguilar, 2010).

En lo referente al agua potable se estudian generalmente organismos indicadores como: coliformes totales y fecales (Silva et al., 2004).

- **Coliformes Totales:** Son microorganismos que se encuentran en gran cantidad en el suelo, la vegetación y fuentes de agua (Robert, 2014), corresponden a los bacilos Gram-negativos que son fermentadores de lactosa produciendo gas en un periodo de incubación de 48 h a 35 C°, a este grupo pertenecen los géneros: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Kleibsella* (Camacho et al., 2009).
- **Coliformes Fecales:** Son un subgrupo de los coliformes totales formado por bacterias fermentadoras de lactosa produciendo gas en un periodo de incubación de 48 h a 44.5 C°, este grupo está formado en su mayoría por la especie *Escherichia Coli* (Robert, 2014), que es un indicador de la presencia de material fecal (Aguilar, 2010).

2.1.2 IMPORTANCIA Y PROBLEMÁTICA

Aproximadamente el 71 % de la superficie del planeta es agua, esta cifra representa muchas veces una idea errónea sobre la disponibilidad de agua apta para el consumo humano, puesto que se cree toda el agua existente en la tierra es aprovechable por los seres vivos; pero lo que realmente es utilizable corresponde a tan solo un 0,003 % del total de agua dulce, como se puede ver representado en la figura 2.1.

FIGURA 2.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE EN EL PLANETA

FUENTE: (González, 2007).

Según datos emitidos por UNICEF y OMS una persona requiere como mínimo 20 litros diarios de agua potable para sus necesidades básicas como el consumo e higiene (OMS, 2003).

El agua potable constituye un eje fundamental para el desarrollo de una población (OMS y UNICEF, 2007), ya que interviene en las actividades productivas del hombre y en los procesos metabólicos de los seres vivos (Fernández, 2012). El acceso adecuado a la misma es indispensable para prevenir casos de morbilidad ocasionados por enfermedades de transmisión hídrica entre las cuales están el cólera y la diarrea (UNICEF, 2010).

El acceso al agua potable es un derecho para todos los seres humanos, por lo que es obligación de cada país formular estrategias que permitan mejorar la calidad de vida de sus habitantes (ONU, 2005), pero esto se ha convertido en un verdadero reto para las autoridades tanto de los países desarrollados como en vías de desarrollo y una de las razones es incremento de la población, ya que con esto también aumenta la demanda de este servicio (Acosta y Martínez, 2010).

Según datos de la Organización Panamericana de la Salud en América Latina y el Caribe aproximadamente 77 millones de personas no tienen acceso al servicio de agua potable, por lo que se ven en la necesidad de optar por alternativas como captación de agua lluvia o de ríos, lagos, pozos individuales, manantiales o de otros cuerpos de agua sin previo tratamiento (Jouravlev, 2004), lo que constituye un inminente peligro para la salud debido al incremento de contaminación en las fuentes de agua (UNICEF, 2010).

Esta contaminación obedece a que las fuentes de abastecimiento de agua para consumo reciben sin previo tratamiento descargas de efluentes industriales y domésticos con lo cual alteran su composición y reducen su disponibilidad (Arcos, Ávila, Estupiñan, y Gómez, 2005), por lo cual se prevé que para el 2025 la escasez de agua perjudicará a más de 2800 millones de habitantes en todo el planeta (Agudelo, 2005).

Por otro lado la calidad del agua se ve afectada también por procesos naturales como erupciones volcánicas, inundaciones y sequías, debido a que éstos también ocasionan la disminución de agua disponible para el consumo humano, pero en menor proporción que la contaminación antropogénica (Fernández, 2012).

En conjunto las fuentes de agua se ven afectadas por contaminación natural o antropogénica y éstas a su vez pueden ser de origen puntual o difuso, el primero ocasionado por descargas industriales o urbanas mientras que el segundo se relaciona con las actividades agrícolas (González, 2007).

2.2 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA

Se entiende por potabilización al conjunto de técnicas empleadas para la transformación de agua cruda en agua apta para el consumo humano, estas técnicas dependerán del tipo de fuente abastecimiento que puede ser subterránea o superficial (Córdoba et al., 2010).

Las fuentes de agua subterránea comprenden los manantiales y pozos; éstas por lo general suelen estar libres de organismos patógenos y en ocasiones resultan ser aptas para el consumo humano, en tanto las fuentes de agua superficial están representadas por ríos, lagos, embalses y arroyos, las cuales pueden estar expuestas a descargas contaminantes que afecten la calidad de las mismas (Barrios, Torres, Lampoglia, y Agüero, 2009).

Dentro del proceso de potabilización es primordial que se realice la determinación de la calidad del agua inicial, con la finalidad de establecer el tipo de tratamiento que se le va a aplicar (Leal, 2009), ya sea éste de tipo convencional o únicamente se requiera desinfección (TULSMA, 2015).

El tratamiento convencional para potabilizar agua comprende procesos como:

- Decantación: Extracción de partículas sedimentables (Romero, 2011). Se efectúa antes del proceso de clarificación en aguas que presentan un alto contenido de arenas, se efectúa con la finalidad de evitar la sobrecarga de sedimentos que puedan afectar las unidades de operación posteriores (Casero, 2008).
- Coagulación: Desestabilización de partículas coloidales mediante la aplicación de agentes químicos (Romero, 2011).
- Floculación: Cohesión de partículas desestabilizadas, para su posterior sedimentación (Romero, 2011).
- Sedimentación: Constituye la separación de las partículas agrupadas en los procesos de coagulación y floculación, particularmente son arenas, limos y coloides (Cogollo, 2011).
- Filtración: En este proceso el agua pasa a través de un medio filtrante generalmente de arena, donde las partículas sólidas que no sedimentaron quedan retenidas y así con esto dar por culminado el proceso de clarificación (Romero, 2011).
- Desinfección: Consiste en la eliminación de microorganismos que puedan ser causantes de enfermedades, con la finalidad de garantizar la calidad bacteriológica del agua para su consumo (Aguilar, 2010).

2.2.1 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

2.2.1.1 Coagulación

Se define como el proceso mediante el cual las partículas coloidales se desestabilizan, éste se inicia al momento de aplicación del coagulante en una mezcla rápida (Cogollo, 2011).

2.2.1.2 Floculación

Es el proceso a través del cual las partículas desestabilizadas empiezan a aglomerarse formando los conocidos flóculos (Cogollo, 2011), mismos que adquieren el tamaño y peso necesario para que puedan sedimentar con facilidad, este proceso se logra mediante una mezcla lenta para no producir la ruptura de los flóculos ya formados (Andía, 2000).

En el proceso de coagulación – floculación se emplean coagulantes y coadyuvantes con los cuales se proceda a eliminar entre un 80 o 90% de las partículas que se encuentran suspendidas, para aquello se requiere determinar las dosis óptimas de los mismos, lo cual se lo realiza mediante una prueba de jarras en el laboratorio (Solís, Laines, y Hernández, 2012).

Según Lorenzo (2006) la coagulación y floculación tienen por finalidad: remover color, turbiedad (orgánica e inorgánica) y eliminar organismos patógenos de fácil separación.

2.2.1.3 Factores que influyen en la coagulación y floculación

- **pH:** Rodríguez (2008), menciona que la solubilidad de los precipitados que forman las sales de aluminio y hierro (coagulantes) durante el proceso de coagulación, la carga sobre las partículas coloidales así como el tiempo de formación del floc, son factores que se ven afectados por el pH, generalmente la cantidad de especies hidrolizadas aumentan al incrementar el pH.

Cada coagulante trabaja con un rango de pH específico, si se llega a trabajar fuera de este rango óptimo, se debe aumentar la cantidad de coagulante, es decir aplicar dosis más altas que quizá no resulten en una coagulación eficiente (Andía, 2000).

- **Turbiedad y color:** Según Arboleda (2000), la presencia en conjunto de color y turbiedad en una muestra de agua, conlleva el empleo de dosis menores de coagulante, ya que la superficie de los coloides se hace mayor, promoviéndose la adsorción de las moléculas de color a ellos. Cuando el color está solo en el agua se necesitan dosis altas de coagulantes.

La presencia únicamente de partículas finas en el agua dificulta la coagulación, y de hecho, resulta ventajoso que exista presencia tanto de partículas livianas como pesadas. Los flocs que se forman debido a la presencia de color son de naturaleza frágil y liviana, por esto la presencia de turbiedad ayuda al proceso de sedimentación ya que dichos flocs ganan peso y además se hacen menos frágiles.

El proceso de coagulación se dificulta cuando la concentración de coloides en el agua es baja, es decir, aguas de baja turbiedad (menores a 20 NTU), exista o no presencia de color.

- **Temperatura:** Toda reacción química puede verse afectada por la temperatura, y esto sucede con la coagulación. La variación de la temperatura del agua produce cambios en la densidad de esta y a su vez en la energía cinética de las partículas. Cuando la temperatura es muy baja, cercana al punto de congelación, la coagulación puede no ocurrir u ocurrir erróneamente; lo mismo sucede si la temperatura es muy elevada. También al disminuir la temperatura, el pH al cual se va a dar la solubilidad mínima de los precipitados formados por los coagulantes aumentará (Andía, 2000; Arboleda, 2000; Rodríguez, 2008).

- **Dosis y concentración del coagulante:** La turbiedad residual del agua tratada será elevada si se usan cantidades muy bajas o muy altas de coagulante. Al usar dosis muy pequeñas, no se neutralizará completamente la carga de las partículas, formándose muy pocos microflóculos. Por el contrario, al usar dosis elevadas, puede ocurrir una inversión en la carga de la partícula y formarse muchos microflóculos de tamaños minúsculos que sedimentarán a velocidades muy bajas (Gómez, 2005).

Generalmente la aplicación del coagulante se hace en solución, ya que al dosificarlo directamente en polvo, sin que sus partículas hayan tenido tiempo de disolverse, disminuye la efectividad del proceso. Sin embargo, soluciones muy diluidas pueden incurrir en que éste se hidrolice antes de tiempo, formando productos que no favorecen la coagulación (Rodríguez, 2008).

- **Tipo de coagulante:** Las sales de hierro presentan ventajas sobre las sales de aluminio en cuanto al peso del floc que se forma, ya que es mayor, y al rango de pH dentro del que trabajan, que es más amplio; a pesar de ello, el manejo de este tipo de sales dentro de una planta de potabilización es más complejo.

Cuando las sales de hierro trabajan a pH elevados, ocurre la formación de óxido férrico, el cual precipita masivamente, y sumando que posee propiedades higroscópicas, genera una gran cantidad de lodos. Por otro lado, las sales de aluminio a pH mayor a 8,5 forman complejo de aluminato, perdiendo así sus cargas libres (Gómez, 2005).

En el proceso de potabilización suelen usarse polímeros con alto peso molecular y debido a la gran cantidad de segmentos que estos poseen, es que se aplica en dosis muy pequeñas, pero exceder la dosis puede ocasionar dispersión al momento de ocurrir la coagulación (Arboleda, 2000).

- **Mezcla:** Varios estudios concluyen que el éxito del proceso de clarificación del agua depende mucho de una correcta dispersión del coagulante, por eso es que al aplicarlo en solución, junto con una buena turbulencia, se logrará una mejor dispersión. El proceso de coagulación dura apenas unas fracciones de segundos, por tal razón la mezcla debe darse rápidamente (Gómez, 2005; Rodríguez, 2008).

La turbulencia necesaria para que se logre la dispersión de los coagulantes en el agua a tratar, puede darse empleando la misma energía cinética que trae el agua o con energía que provenga de una fuerza externa.

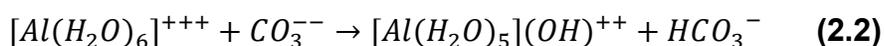
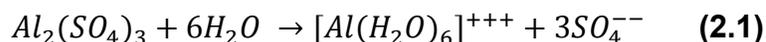
El floc está compuesto del 2 al 11% de materia sólida. La velocidad que se dé a la masa de agua, influirá en el grado de hidratación de éste, el cual a su vez viene a ser un factor que incide en el peso específico de las partículas que se van formando, así como en su velocidad de asentamiento (Rodríguez, 2008).

Una coagulación completa dependerá mucho del grado de agitación que se dé a la masa de agua durante la dosificación del coagulante. La turbulencia debe ser intensa y uniforme, caso contrario el reactivo puede concentrarse más en unas zonas que en otras; hay que recalcar que la aplicación del mismo no debe darse en un solo punto. Con estas consideraciones se asegura que el coagulante se disperse correctamente en toda el agua a tratar, produciéndose así la reacción química de neutralización de los coloides (Andía, 2000).

2.2.1.4 Sulfato de aluminio

También conocido como alumbre, el sulfato de aluminio es el coagulante que debido a su bajo costo y fácil aplicación, se usa con más frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable (Arboleda, 2000). Para aguas naturales se suele usar dosis de alumbre entre 5 y 50 mg/L. El pH para el cual este reactivo es más efectivo se encuentra en el rango de 5,5 a 8 (Rodríguez, 2008).

Cuando el sulfato de aluminio entra en contacto con el agua, los iones Al^{3+} desestabilizan los coloides, los cuales se encuentran cargados negativamente. La ecuación 2.1 muestra la hidrólisis del ion metálico Al^{3+} . Esta sal también reaccionará con las bases que encuentran en el agua como lo muestra la ecuación 2.2, formándose el precipitado de hidróxido de aluminio el cual cumple con la función de arrastrar las impurezas que se encuentran en el agua, sean suspendidas o disueltas (Vargas y Romero, 2006).



El alumbre reaccionará primero con las bases que forman parte de la alcalinidad antes que con las moléculas de agua, lo que ocasionará un descenso de pH. El hidróxido de aluminio resultante, se polimeriza reaccionando entre sí. Los iones de aluminio y los compuestos poliméricos son adsorbidos rápidamente por las partículas presentes en el agua, provocando su desestabilización (Arboleda, 2000).

2.2.1.5 Polímeros

También llamados polielectrolitos o ayudantes de la coagulación, son macromoléculas de cadenas largas que se obtienen por la asociación de monómeros sintéticos (Andía, 2000). Su clasificación se detalla en la tabla 2.1.

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS POLIELECTROLITOS

Polielectrolito	Características	Ejemplo
Aniónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Producen iones de carga negativa (-). • Remueven sólidos de carga positiva (+). • Generalmente acompañan a sales de hierro. 	Copolímero de acrilamida-acrilato, polisulfónicos.

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS POLIELECTROLITOS (CONTINUACIÓN)

Catiónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Producen iones de carga positiva (+). • Se usan generalmente en aguas naturales. • Se usan como coagulantes primarios o ayudantes del alumbre o sulfato férrico. 	Polietilamina, polimetacrilato.
No iónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Producen iones positivos (+) y negativos (-). • Se emplean como coagulantes o ayudantes de coagulación. • Se necesitan dosis más grandes que en los otros tipos de polímeros. 	Poliacrilamidas, polímeros del óxido de etileno.

FUENTE: (Gómez, 2005; Rodríguez, 2008)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Las dosis que se emplean están establecidas en función de cómo se usará el polímero, pudiendo ser coagulante primario o ayudante de la coagulación. Estas pueden ir entre 1-5 mg/L para el primer caso y entre 0,1-2 mg/L en el segundo caso. Su uso es un tanto limitado debido a su costo, el cual es alto en comparación con otro tipo de coagulantes, como los metálicos (Barrenechea, 2004).

Según Arboleda (2000) los polielectrolitos pueden ser dosificados al agua de distintas maneras: coagulantes primarios, ayudantes de la coagulación y ayudantes de la floculación; sin embargo es muy común que no se haga distinción entre los dos últimos términos a pesar que involucren mecanismos de acción diferentes. En la tabla 2.2 se resumen dichas diferencias.

TABLA 2.2 FORMAS DE USO DE LOS POLIELECTROLITOS

Forma de usar los polielectrolitos	Descripción
Coagulante primario	<ul style="list-style-type: none"> • Se agrega en lugar del coagulante metálico, como único coagulante. • Bajo las condiciones usuales de tiempo y mezcla se debe agregar una cantidad elevada de polímero. • Poca cantidad resulta en una pobre coagulación o incluso ésta puede no darse.
Ayudante de la coagulación	<ul style="list-style-type: none"> • Se agrega antes del coagulante metálico. • Se adhieren primero a los coloides, compitiendo por los sitios de adsorción. • Parte de los productos de la hidrólisis del sulfato de aluminio, pueden adsorberse en los sitios vacantes del polímero. • Se resta eficiencia al proceso de coagulación.
Ayudante de la floculación	<ul style="list-style-type: none"> • Se agrega después del coagulante metálico. • Los microflóculos se forman primero. • El polímero solo refuerza las uniones de los flocs. • Se agregan 15-60 segundos después del coagulante. • Da mejores resultados.

FUENTE: (Arboleda, 2000)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

2.2.2 DESINFECCIÓN

Se conoce por desinfección del agua al proceso de oxidación en el cual se eliminan o desactivan los microorganismos presentes en ella, sean patógenos o no (CONAGUA y SEMARNAT, 2016). Su meta es destruir aquellos organismos que son potencialmente dañinos a niveles en los que no causen enfermedades (CONAGUA, 2007).

La desinfección por sí sola no elimina todos los organismos patógenos presentes en el agua, por lo que se necesitan tratamientos previos como la coagulación, sedimentación y filtración para cumplir con este propósito. Su efectividad incrementa cuando el agua se encuentra libre de sustancias coloidales que provocan turbiedad y color (Barrenechea y Vargas, 2004); si ésta presenta una

elevada turbiedad pueden presentarse complicaciones durante la desinfección ya que los patógenos se ocultan en las partículas suspendidas presentes en el agua, haciendo más difícil su eliminación (CAWST, 2011). La eficiencia máxima de este proceso se obtiene cuando la turbiedad del agua es cercana a la unidad.

La efectividad de este proceso se ve influenciada por los factores que se describen en la tabla 2.3

TABLA 2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN

Factor	Descripción
Número de microorganismos a ser destruidos y su comportamiento	<ul style="list-style-type: none"> • La reacción de los microorganismos ante el desinfectante está en función de la resistencia de su membrana celular a que éste penetre. • Las bacterias son las menos resistentes. • Los aglomerados celulares que forman las bacterias ocasionan que muchas de ellas sobrevivan. Esto se evita logrando una distribución homogénea de los microorganismos en el agua, mediante la agitación. • A mayor número de microorganismos, mayor tiempo se emplea para inactivarlos.
Naturaleza y concentración del agente desinfectante	<ul style="list-style-type: none"> • La concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto que se necesita para destruir a los microorganismos que se hallan en el agua; a su vez está relacionada con la eficiencia de la desinfección.
Temperatura del agua	<ul style="list-style-type: none"> • El incremento de este parámetro favorece la desinfección. • Se debe tomar en cuenta que la solubilidad de los desinfectantes gaseosos es inversamente proporcional a la temperatura. • La cantidad de desinfectante que se disuelva en el agua será menor mientras mayor sea la temperatura.
Calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Los sólidos suspendidos pueden brindar protección a los microorganismos. • La materia orgánica puede reaccionar con los desinfectantes químicos, cambiando su estructura.
Tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua	<ul style="list-style-type: none"> • A mayor tiempo de contacto mayor eficiencia en la desinfección.
pH del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Un pH muy bajo o muy alto limita la vida de los microorganismos en el agua. • Cada desinfectante cuenta con un rango de pH para el cual su eficiencia es mayor, pero se ha demostrado que mientras más alcalina sea el agua, se necesitará mayor cantidad de desinfectante.

FUENTE: (Barrenechea y Vargas, 2004; CONAGUA, 2007)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

En base a lo descrito anteriormente, se puede concluir que las variables que se pueden controlar dentro del proceso de desinfección son el nivel de agitación que se le dé al agua, la concentración del desinfectante así como el tiempo de contacto entre éste y los microorganismos (Barrenechea y Vargas, 2004).

La desinfección del agua puede llevarse a cabo por medios físicos o químicos. En la tabla 2.4 se muestran los principales métodos de desinfección.

TABLA 2.4 MÉTODOS PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA

Métodos físicos	Filtración
	Temperatura
	Radiación (solar, luz UV, gamma)
	Procesos electrolíticos
Métodos químicos	Cloro
	Yodo
	Bromo
	Plata
	Ozono

FUENTE: (CONAGUA y SEMARNAT, 2016)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

La acción de los desinfectantes consiste en destruir o inactivar el sistema enzimático de los microorganismos (Barrenechea y Vargas, 2004). En el caso de los agentes desinfectantes químicos, éstos actúan con los siguientes mecanismos:

- Dañar la pared celular
- Alterar la permeabilidad de las células
- Alterar la naturaleza coloidal del protoplasma
- Inhibir la actividad enzimática

Los agentes químicos son oxidantes fuertes que tienen gran eficiencia en la remoción de los microorganismos presentes en el agua pero se corre el riesgo que dejen remanentes tóxicos en ésta. Es por ello que deben cumplir con ciertas características, la cuales garantizan su eficacia (Barrenechea y Vargas, 2004).

Según la CONAGUA y SEMARNAT (2016), un desinfectante ideal debe destruir el mayor número y variedad de microorganismos en un tiempo razonable, además que no debe ser tóxico en dosis usuales ni le debe dar olor o sabor al agua tratada, es decir no debe alterar su calidad, por último, debe tener un costo razonable.

2.2.2.1 Cloración

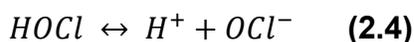
Actualmente el cloro es el desinfectante que se usa con mayor frecuencia debido a que su uso es más confiable, económico y presenta un efecto residual que le permite seguir actuando durante días, aun después de terminado el proceso de desinfección (CONAGUA y SEMARNAT, 2016; OPS, 2009).

Después de aplicar el cloro al agua, se debe dejar actuar por un tiempo de al menos 30 minutos. Este tiempo de contacto asegura la inactivación de los microorganismos, con lo cual el agua ya puede ser consumida (OPS, 2009).

Algunas de sus sales también cuentan con un poder desinfectante idéntico al del cloro gas, las más usadas son el hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio (Barrenechea y Vargas, 2004). Esta última se presenta en estado sólido blanquecino ya sea polvo, gránulos o tabletas, los cuales cuentan con un porcentaje de cloro activo de 20-35%, 65-70% y 65-70%, respectivamente (Solsona y Méndez, 2002).

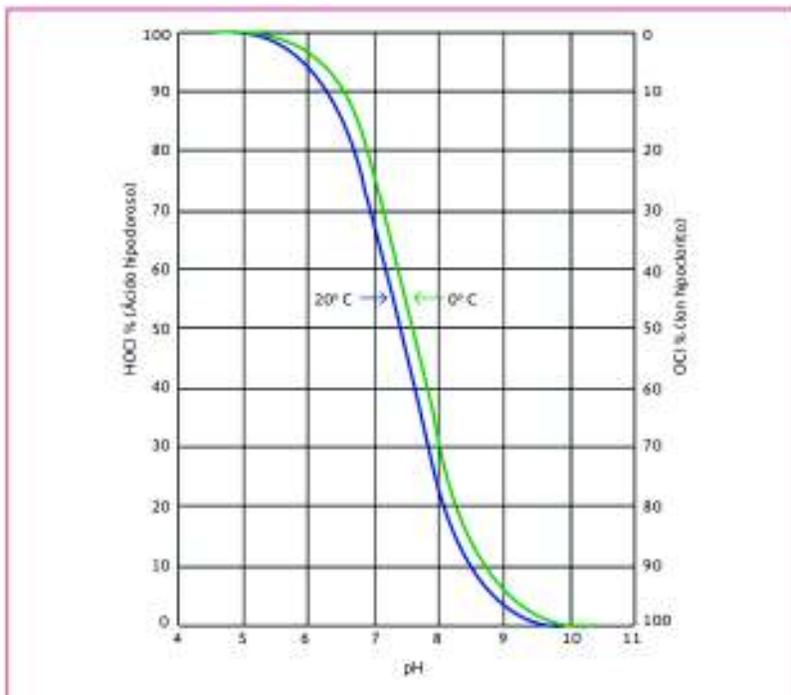
El hipoclorito de calcio se emplea con mayor frecuencia en casos de emergencia, pequeñas instalaciones y áreas rurales (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984), en dosis que van entre 0,5 a 5 mg/L (CONAGUA y SEMARNAT, 2016).

Cualquiera que sea la presentación en la que se encuentre el cloro, éste reacciona de la misma manera, hidrolizándose con el agua y formando ácido hipocloroso (HOCl). La reacción del hipoclorito de calcio se muestra en la ecuación 2.3. EL ácido hipocloroso (HOCl) se disocia a su vez en hidrógeno (H^+) e ion hipoclorito (OCl^-), como muestra la ecuación 2.4 (Solsona y Méndez, 2002).



El ácido hipocloroso (HOCl) es el agente desinfectante y su poder es aproximadamente 80 veces mayor que el del ion hipoclorito (OCl^-). La eficacia del poder desinfectante del cloro está en función de las concentraciones que estas dos especies tengan en el agua. La figura 2.2 muestra la proporción de estas dos especies en función del pH, para aguas con temperaturas entre 0 y 20 °C (CONAGUA y SEMARNAT, 2016).

FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DEL ÁCIDO HIPOCLOROSO Y DEL HIPOCLORITO EN AGUA A DIFERENTES VALORES DE PH



FUENTE: (CONAGUA y SEMARNAT, 2016)

Cuando el pH es bajo, por debajo de 6, predomina la especie (HOCl), mientras que con un pH alto, superior a 8, prevalece la especie (OCl)⁻, debido a esto se sugiere vigilar el pH del agua, cuando se está monitoreando el cloro, ya que la cloración del agua es más eficiente a pH bajo (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984). En aguas naturales su pH está dentro de los límites en los que coexisten tanto ácido hipocloroso como ion hipoclorito (Barrenechea y Vargas, 2004).

Otra de las reacciones que se suscita es la del cloro con el amoníaco, el cual suele estar presente en aguas naturales debido a la descomposición de la materia orgánica y de la urea (CONAGUA y SEMARNAT, 2016). El amoníaco reacciona con el ácido hipocloroso, que es un oxidante muy fuerte, para formar monocloramias, dicloramias o tricloramias como se muestra en las ecuaciones 2.5, 2.6 y 2.7 respectivamente (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 1984).



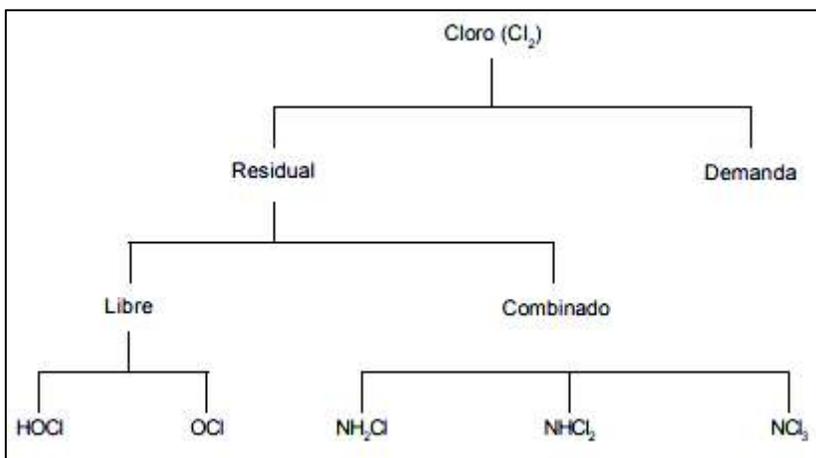
Las cloramias cuentan con un poder desinfectante al igual que el (HOCl) o el (OCl)⁻ pero en menor intensidad, aproximadamente 50 veces. A pesar de ello, son más perdurables en el agua a lo largo del tiempo, haciendo su poder residual más duradero (CONAGUA y SEMARNAT, 2016).

Por último el cloro reacciona con otros componentes del agua como materia orgánica, ácido sulfhídrico, manganeso, hierro, nitritos que en conjunto se denominan compuestos reductores del agua (CONAGUA y SEMARNAT, 2016). Los compuestos que de estas reacciones se generan no tienen ningún poder desinfectante (Barrenechea y Vargas, 2004).

La figura 2.3 indica los principales productos de la reacción del cloro en el agua. El cloro que queda aún en el agua ya tratada se conoce como cloro residual,

pudiendo ser cloro residual libre o cloro residual combinado. El primero corresponde al ácido hipocloroso e ion hipoclorito, mientras que el segundo abarca a las cloraminas (Ramírez, 2005). La cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras, materia orgánica y microorganismos patógenos se denomina demanda de cloro (CONAGUA y SEMARNAT, 2016).

FIGURA 2.3 PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA REACCIÓN DEL CLORO EN EL AGUA



FUENTE: (Barrenechea y Vargas, 2004)

2.3 MARCO LEGAL APLICABLE

2.3.1 NORMATIVA ECUATORIANA

El agua potable debe cumplir con ciertos requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

El presente estudio se centrará en el análisis de parámetros como turbiedad, pH, color, cloro residual y coliformes fecales, que como se mencionó anteriormente son recomendados por la OMS por estar relacionados con enfermedades transmitidas por vía hídrica (OPS y COSUDE, 2007). La tabla 2.5 muestra los límites máximos permisibles para los parámetros anteriormente mencionados.

TABLA 2.5 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE TURBIEDAD, pH, COLOR, CLORO RESIDUAL Y COLIFORMES FECALES

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Turbiedad	NTU	5
pH	-	6,5-8,5
Color	Pt-Co	15
Cloro Libre Residual	mg/L	0,3-1,5 ¹⁾
Coliformes Fecales	NMP/100mL	< 1,1*
1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 min. *<1,1 Significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo		

FUENTE: (INEN, 2006)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La parte experimental de esta investigación se realizó en dos etapas, las cuales consistieron en un inicio en hallar las dosis y combinaciones óptimas de reactivos: sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio mediante la ejecución de pruebas de jarras con agua sintética. Durante la primera etapa se realizaron ensayos de turbiedad, color, pH, alcalinidad, cloro libre residual y coliformes previo y posteriormente a la aplicación de los reactivos, estos análisis se llevaron a cabo dentro del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA).

Una vez finalizada la primera etapa se obtuvo la mejor combinación de acuerdo a la mayor remoción en turbiedad, color y coliformes fecales, para con esto proceder a la segunda etapa que consistió en validar dicha combinación mediante su aplicación en agua cruda de una planta de tratamiento de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual de igual manera se realizaron los ensayos descritos en la primera etapa antes y después de la validación.

3.1 PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA

En un balde de 20 litros se añadió agua y cierta cantidad de material arcilloso, en este caso bentonita, la cual fue adquirida en el Laboratorio Docente de Hidráulica, para darle valores de turbiedad al agua de 10, 20 y 70 NTU.

El agua sintética finalmente se obtuvo extrayendo el sobrenadante del balde después de realizar la mezcla de los materiales antes mencionados durante un tiempo de 10 minutos y posterior a un periodo de sedimentación de una hora, como se puede observar en la figura 3.1. La elaboración del agua sintética se realizó de acuerdo a los requisitos de turbiedad alta, media o baja para los ensayos que se ejecutaban diariamente, dando un total de 20 L de agua por día.

FIGURA 3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE AGUA SINTÉTICA



3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE BENTONITA EMPLEADA PARA LA TURBIEDAD BAJA, MEDIA Y ALTA

El agua sintética se elaboró con turbiedades bajas, medias y altas que corresponden a valores de 10, 20 y 70 (± 2) NTU, respectivamente.

Mediante pruebas preliminares se estableció la cantidad de bentonita previamente triturada y pesada para alcanzar los niveles de turbiedad antes mencionados, como se muestra en la tabla 3.1.

TABLA 3.1 CANTIDAD DE BENTONITA PARA LA PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA

Agua	Bentonita (g)	Turbiedad (NTU)
20 litros	3,2	10
	6,4	20
	22,4	70

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

3.2 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE REACTIVOS A EMPLEAR PARA LA REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIEDAD

Para la determinación de las dosis óptimas de reactivos en todos los ensayos se empleó la prueba de jarras como se describe a continuación:

- Se colocó 1 litro de muestra de agua en un vaso de precipitación dando un total de 6 litros por cada prueba de jarras.
- En la mezcla rápida se procedió a colocación de los reactivos. La misma tuvo una duración de 1 minuto a 100 rpm (Tarón, Guzmán, y Barros, 2017).
- Posteriormente se procedió a la mezcla lenta disminuyendo progresivamente la velocidad a 40, 20 y 10 rpm durante 10 min cada una.
- Finalmente una vez culminada la prueba de jarras, se dejó un periodo de 30 min para la sedimentación (Benavides, 2017).

Además las dosis óptimas de reactivos en este apartado se establecieron en función del mayor porcentaje de remoción en cuanto a color y turbiedad.

3.2.1 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS CON SULFATO DE ALUMINIO

El sulfato de aluminio utilizado es un sólido granulado, el cual se trituró en un mortero, pesó y finalmente dosificó. Las características del mismo se describen en la tabla 3.2.

TABLA 3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SULFATO DE ALUMINIO

Nombre Comercial	Sulfato de Aluminio grado técnico
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Densidad	1,335 g/mL
Solubilidad	Soluble en agua
pH	Es efectivo en un rango de 6 a 8

FUENTE: (Solís et al., 2012)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se aplicó el sulfato de aluminio en polvo en dosis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 mg/L (Benavides, 2017) para las turbiedades de 10, 20 y 70 NTU. Los ensayos se realizaron por triplicado resultando un total de 15 pruebas de jarras para determinar la dosis óptima de este reactivo.

3.2.2 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS CON POLÍMERO

Los ensayos se realizaron con un polímero catiónico ampliamente empleado para los procesos de potabilización de agua cuyas características se describen en la tabla 3.3.

TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POLÍMERO

Nombre Comercial	LIPESA 1560 PWG
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Densidad	0,65-0,78 g/mL
Solubilidad	0,5% en agua
pH	Es efectivo en un amplio rango de 1 a 13

FUENTE: (LIPESA, 2014)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

La aplicación del polímero como coagulante primario se realizó en polvo empleando dosis de 1, 2, 3, 4 y 5 mg/L (Barrenechea, 2004) para las turbiedades de 10, 20 y 70 NTU. Los ensayos se realizaron por triplicado resultando un total de 9 pruebas de jarras para la determinación de la dosis óptima de este reactivo.

Al realizar el ensayo de prueba de jarras con polímero, los resultados finales que se obtuvieron en cuanto a turbiedad y color no se encontraban dentro de lo que estipula la normativa, debido a esto se descartaron las combinaciones en las cuales el polímero actuó como coagulante primario, ya que no era viable obtener agua apta para el consumo humano. En el capítulo 4 se discutirá más a fondo dichos resultados.

3.2.3 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS CON SULFATO DE ALUMINIO Y POLÍMERO

Una vez que se determinó la dosis óptima de sulfato de aluminio a éste se le añadió dosis de polímero catiónico 1560 PWG de 0,05 mg/L hasta 2 mg/L (Lorenzo, 2006).

Como ayudantes del proceso de coagulación y floculación las dosis de polímeros empleadas no son apreciables a la balanza por lo que en este apartado se procedió a realizar una solución de polímero y dosificarla al 0,1 % mediante una pipeta de la siguiente manera:

- Pesarse 0,1 g de polímero en polvo.
- Colocar agua en un balón de aforo de 100 mL, aproximadamente hasta la mitad.
- Agregar parte del polvo en el agua y agitar durante 15 minutos.
- Colocar el polímero restante y aforar el balón con agua.
- Finalmente agitar durante 45 minutos.

Posteriormente para determinar el volumen de solución a aplicar se emplearon las ecuaciones 3.1 y 3.2 descritas a continuación:

$$\text{Masa de polímero} = 1 \text{ L} \times \text{Dosis} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (3.1)$$

$$\text{Volumen de Solución al } 0,1\% = \frac{\text{masa de polímero (mg)}}{\text{solución de polímero} \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}} \right)} \quad (3.2)$$

Ejemplo:

Dosis: 0,2 mg/L

$$\text{Masa de polímero} = 1 \text{ L} \times 0,2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 0,2 \text{ mg}$$

$$\text{Volumen de Solución al } 0,1\% = \frac{0,2 \text{ (mg)}}{\frac{0,1 \text{ (g)}}{100 \text{ mL}}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 0,2 \text{ mL}$$

Una vez determinada la dosis óptima de sulfato de aluminio para 10 NTU se añadieron soluciones de polímero catiónico 1560 PWG en cantidades de 0,1; 0,15 y 0,2 mL, obtenidas a partir de las ecuaciones 3.1 y 3.2, en los vasos de precipitación con agua sintética de esta turbiedad (Benavides, 2017).

El mismo procedimiento se llevó a cabo para las turbiedades de 20 y 70 NTU, variando las dosis de polímero que en este caso fueron 0,05; 0,1 y 0,15 mL para ambos casos.

Los ensayos con sulfato de aluminio más polímero se realizaron por triplicado para las turbiedades bajas, medias y altas, dando un total de 6 pruebas de jarras.

3.3 DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA DE HIPOCLORITO DE CALCIO

El reactivo empleado fue hipoclorito de calcio granulado, el cual se trituró en un mortero, pesó y finalmente dosificó a los vasos de precipitación usados en el equipo de prueba de jarras. La tabla 3.4 muestra las características del reactivo en cuestión.

TABLA 3.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO

Nombre Comercial	Hipoclorito de calcio granulado al 70%
Color	Blanco ligeramente grisáceo
Olor	Fuerte olor a cloro
Densidad	2,35 g/mL
Solubilidad	Soluble en agua

FUENTE: (CONAGUA y SEMARNAT, 2016)

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

La determinación de las dosis óptimas de hipoclorito de calcio se realizó en función del cloro libre residual medido luego de realizar la prueba de jarras y

esperar el tiempo de sedimentación, es decir, aproximadamente una hora después de que el reactivo estuvo en contacto con el agua. También se midieron los parámetros de turbiedad, color, pH, temperatura y alcalinidad.

Las dosis empleadas fueron 1, 2, 3, 4 y 5 mg/L (CONAGUA y SEMARNAT, 2016), siendo la óptima aquella cuyo cloro libre residual, después del tiempo de contacto, se encontró dentro del rango de 0,3 - 1,5 mg/L, límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

El agua empleada para esta parte de la investigación fue únicamente el agua sintética preparada a base de bentonita, ya que antes de proceder a realizar la desinfección del agua sintética con coliformes, se buscaba descartar aquellas dosis que después del tiempo de contacto dejaban un cloro libre residual por debajo o muy cerca de 0,3 mg/L que es lo que establece la norma.

Los ensayos se realizaron por triplicado para cada turbiedad, 10, 20 y 70 NTU, resultando un total de 18 pruebas de jarras para esta parte de la experimentación.

3.3.1 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO E HIPOCLORITO DE CALCIO

La dosis óptima de sulfato de aluminio que se determinó para cada turbiedad en el apartado 3.2.1, se combinó con las distintas dosis de hipoclorito de calcio y se dosificó en conjunto a los vasos de precipitación del equipo de prueba de jarras. Esto se realizó por triplicado para la turbiedad de 10, 20 y 70 NTU, dando un total de 9 pruebas de jarras.

3.3.2 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO E HIPOCLORITO DE CALCIO

La dosis óptima de polímero que se determinó en el apartado 3.2.3, junto con la dosis óptima de sulfato de aluminio previamente encontrada, todas estas específicas de cada turbiedad, se combinaron con las distintas dosis de hipoclorito de calcio.

La dosificación de los reactivos a los vasos de precipitación del equipo de prueba de jarras fue de manera simultánea. El polímero se aplicó de forma líquida con ayuda de una pipeta, mientras que para el sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio se lo hizo en polvo. Esto se realizó por triplicado para la turbiedad de 10, 20 y 70 NTU, dando un total de 9 pruebas de jarras.

3.4 PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA CON COLIFORMES

Para poder evaluar el proceso de desinfección, realizar los ensayos con agua sintética preparada a base de bentonita ya no era suficiente, se necesitó una muestra de agua que contenga microorganismos ya que así se pudo identificar si las dosis previamente establecidas de hipoclorito de calcio los eliminaban o no.

La preparación de esta agua se llevó a cabo en dos partes. La primera consistió en la obtención de una muestra de agua que contenga coliformes, para lo cual se analizó la base de datos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) sobre calidad de agua potable en plantas de tratamiento, disponible en la página web de dicha entidad.

La base de datos cuenta con los valores de ciertos parámetros de control de la calidad del agua antes (agua cruda) y después de su tratamiento (agua potable) de todas las plantas de potabilización de la ciudad. En base a esto se decidió obtener las muestras de agua cruda en la Planta de tratamiento El Placer, ya que presentaba uno de los valores más altos para coliformes fecales (EPMAPS, 2018).

Diariamente se trasladaron alrededor de 40 litros de agua cruda desde la Planta El Placer hasta el LDIA en bidones de 20 litros de capacidad, los cuales se almacenaban en el interior de un cooler con hielo a una temperatura fría (se recomienda 4°C) para de esta manera conservar la muestra (APHA, AWWA, y WPCF, 1989).

La segunda parte consistió en darle a dicha agua la turbiedad de 10, 20 o 70 NTU según sea el caso. Para esto se procedió a medir la turbiedad original del agua y

en base a pruebas preliminares se determinaron las cantidades de bentonita que permitieron obtener las turbiedades mencionadas anteriormente, como se muestra en la tabla 3.5.

TABLA 3.5 CANTIDAD DE BENTONITA PARA LA PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA CON COLIFORMES

Agua	Bentonita (g)	Turbiedad (NTU)
20 litros	1,3	10
	4,3	20
	19,6	70

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Cada día se preparó un lote de 20 litros de agua, siguiendo el procedimiento que ya fue descrito en el literal 3.1 del presente capítulo.

3.5 DETERMINACIÓN DE LA COMBINACIÓN ÓPTIMA DE REACTIVOS

En este apartado se usaron las dosis óptimas de sulfato de aluminio y polímero que ya se habían establecido previamente para cada turbiedad y además las dosis óptimas de hipoclorito de calcio que fueron encontradas en el punto 3.3.

La determinación de la combinación óptima de reactivos se realizó en función de aquella que mayor remoción de turbiedad, color y coliformes presentaba y cuyo cloro libre residual se encontraba dentro de la norma.

La medición de los parámetros de control se hizo inicialmente del lote de agua preparado ese día y luego de realizar la prueba de jarras y esperar el tiempo de sedimentación, es decir al cabo de una hora. Cabe reiterar que el agua usada en esta etapa fue aquella que ya contenía coliformes.

Los ensayos se efectuaron por triplicado para cada turbiedad, 10, 20 y 70 NTU, resultando un total de 6 pruebas de jarras para esta parte de la experimentación.

3.5.1 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO E HIPOCLORITO DE CALCIO

Una vez determinadas las dosis óptimas de hipoclorito de calcio para esta combinación, se las dosificó en conjunto con la dosis óptima de sulfato de aluminio, en función de cada turbiedad, siguiendo la metodología descrita en el numeral 3.3.1. De esta parte de la experimentación resultaron 3 pruebas de jarras.

3.5.2 ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EMPLEANDO: SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO E HIPOCLORITO DE CALCIO

Las dosis óptimas de hipoclorito de calcio establecidas para esta combinación se dosificaron junto con la de sulfato de aluminio y polímero, específicas de cada turbiedad, siguiendo la metodología descrita en el apartado 3.3.2. Se ejecutaron en total 3 pruebas de jarras para esta combinación.

3.6 VALIDACIÓN CON AGUA CRUDA

Una vez determinada la combinación óptima de reactivos (específica de cada turbiedad), se probó su validez aplicándola a una muestra de agua cruda y evaluando los parámetros de turbiedad, color, pH, temperatura, alcalinidad, cloro libre residual y coliformes fecales antes y después de su dosificación.

Las muestras de agua cruda, que correspondían a turbiedad baja, media y alta se obtuvieron de los lugares que se especifican en la tabla 3.6.

TABLA 3.6 COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Turbiedad	Lugar	Coordenadas
Baja (10 NTU)	Planta de tratamiento de agua potable El Placer	0°12'59.4"S 78°31'11.2"O
Media (20 NTU)	Planta de tratamiento de agua potable Yaruquí	0°09'51.9"S 78°18'22.7"O
Alta (70 NTU)	Yaruquí- Acequia San José	0°09'57.9"S 78°18'18.8"O

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Diariamente se trasladaron 60 litros de agua cruda desde el punto de muestreo hasta el LDIA. Las pruebas se realizaron para cada turbiedad por triplicado, en baldes de 20 litros de capacidad. El agua que contenía sólidos suspendidos de gran tamaño como restos de hojas, hierbas, fue filtrada a través de una tela de algodón antes de aplicar el kit.

Para la dosificación del kit, se simuló al equipo de prueba de jarras. Se usó una paleta de madera para agitar el agua. Para la mezcla rápida primero se empezó a revolverla vigorosamente hasta que se forme una especie de remolino en el centro del balde y fue en ese momento cuando se aplicó el kit y se mezcló aproximadamente durante 3 minutos tratando de mantener constante esa velocidad. En la mezcla lenta se redujo la velocidad gradualmente cada 10 minutos, durante 3 ocasiones, dando un tiempo total de aproximadamente 30 minutos para toda esta etapa. Finalmente se dejó reposar el agua por al menos 30 minutos más.

La medición de los parámetros de control antes y después de aplicar el kit se la hizo de cada balde, con excepción de la muestra inicial de coliformes la cual se tomó en campo directamente del punto de muestreo. La aplicación del kit potabilizador se muestra en la figura 3.2.

FIGURA 3.2 APLICACIÓN DEL KIT POTABILIZADOR



3.7 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL

Los ensayos que se llevaron a cabo son aquellos que se realizan comúnmente en las plantas de potabilización para el análisis de turbiedad, color y coliformes fecales y totales (Pozo, 2012).

Todos los análisis se realizaron previo y al finalizar el test de jarras, posterior a un periodo de sedimentación de 30 minutos, extrayendo el sobrenadante con ayuda de una pipeta.

Las pruebas iniciales se realizaron del lote de agua preparada para ese día mientras que para las pruebas finales se extrajeron muestras de cada vaso de precipitación después de culminada la prueba de jarras y el tiempo de espera de sedimentación.

3.7.1 TURBIEDAD

Este parámetro se determinó colocando una muestra de agua en la celda del turbidímetro hasta su aforo, para posteriormente registrar el valor medido en Unidades Nefelométricas (NTU).

El equipo utilizado fue el turbidímetro 2100 P marca HACH que se muestra en la figura 3.3.

FIGURA 3.3 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD



3.7.2 COLOR

Los ensayos para determinar el color se realizaron de la siguiente manera:

- Primero se colocó agua destilada en una celda tipo HACH de 10 ml para ser empleada como blanco.
- En otra celda tipo HACH se colocaron 10 mL de muestra para ser analizada.
- Se procedió a encerrar el espectrofotómetro con el blanco antes mencionado.
- Finalmente el color se determinó con el programa 120 del espectrofotómetro a una longitud de onda igual 455 nm.
- Se registraron los valores medidos en unidades de platino cobalto (Pt-Co).

El equipo empleado para realizar los ensayos de color fue el Espectrofotómetro DR 2700 tipo HACH que se indica en figura 3.4.

FIGURA 3.4 DETERMINACIÓN DE COLOR



3.7.3 pH

El pH se determinó colocando una muestra de agua en un vaso de precipitación de 50 mL con la ayuda del medidor multiparámetro de marca OAKTON mostrado en la figura 3.5.

FIGURA 3.5 DETERMINACIÓN DE pH



3.7.4 TEMPERATURA

Los valores de temperatura se establecieron mediante el medidor multiparámetro de marca OAKTON que se indica en la figura 3.5, para una muestra de agua contenida en un vaso de precipitación de 50 mL. La temperatura se registró en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

3.7.5 ALCALINIDAD

Para la determinación de este parámetro se usó el método 2320 B por titulación de los Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas Potables y residuales (APHA et al., 1989) como se indica en la figura 3.6.

El procedimiento consistió en colocar 100 mL de la muestra a analizar en un matraz de 250 mL, al ser el pH de estas menor a 8,3 la alcalinidad que se determinó fue la total. Se agregaron dos gotas de anaranjado de metilo y se procedió a titular con ácido sulfúrico 0,02 N hasta que el color cambie de amarillo a un tono anaranjado intenso, indicativo que el pH es de 4,5.

FIGURA 3.6 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD



3.7.6 CLORO LIBRE RESIDUAL

Se determinó el cloro libre residual de las muestras de agua empleando el método 8021 del Manual de Análisis de Agua HACH (HACH, 2000) como se indica en la figura 3.7.

Por cada muestra de agua se usaron dos celdas, cada una se llenó hasta su aforo con 10 mL del agua a analizar. A una de las celdas se le agregó el contenido del reactivo DPD Free Chlorine RGT, se tapó, se agitó durante 20 segundos y se dejó reposar un minuto para que ocurra la reacción; si existía cloro libre residual la muestra se tornaba de un color rosado.

Se usó el programa número 80 del espectrofotómetro DR 2700 tipo HACH. Se procedió a encerrar el equipo con la celda del blanco que era aquella que no contenía el reactivo DPD y luego se realizó la medición inmediatamente (dentro del minuto después de agregar el reactivo). Los resultados se obtuvieron en mg Cl_2/L (HACH, 2000).

FIGURA 3.7 DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL



3.7.7 COLIFORMES

Para este ensayo las muestras se tomaron en fundas estériles para evitar su contaminación. El método que se usó fue el 9221 B y 9221 C de fermentación en tubo múltiple (NMP) de los Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas Potables y residuales (APHA et al., 1989).

Para la determinación de coliformes totales, se usó caldo lactosado junto con el indicador púrpura de bromocresol para llevar a cabo la inoculación. Los tubos en los que existía presencia de bacterias coliformes fueron aquellos que cambiaron su coloración de morado a amarillo lechoso (resultado positivo), después de haber estado incubados por 48 ± 3 horas a $35 \pm 0,5$ °C.

La determinación de coliformes fecales se realizó a partir de los tubos que arrojaron resultados positivos en la prueba antes descrita, incubándolos en medio EC, en tubos de fermentación que contenían un vial invertido por 24 ± 3 horas a $45 \pm 0,5$ °C. Los tubos positivos para este ensayo fueron aquellos en los que se evidenció formación de gas.

Para el caso del agua cruda se realizaron diluciones desde 10^0 hasta 10^{-2} por triplicado, mientras que en el caso del agua tratada se emplearon 10 porciones de 10 cm^3 ya que la APHA (1989) indica que estos volúmenes de muestra se relacionan de forma más concreta con aguas potables. Para cada muestra de

agua se realizó el ensayo de coliformes por duplicado. La realización de este ensayo se muestra en la figura 3.8.

FIGURA 3.8 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES



3.8 PROCESAMIENTO DE DATOS

3.8.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Para determinar el porcentaje de remoción de turbiedad y color se utilizó la ecuación 3.3.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100\% \quad (3.3)$$

C_o = Valor inicial del parámetro medido (antes de realizar la prueba de jarras)

C_f = Valor final promedio del parámetro medido (después de realizar la prueba de jarras)

El valor final de cada parámetro empleado en la fórmula 3.3 se obtuvo en base al promedio de los valores obtenidos en los ensayos por triplicado como se describe en la ecuación 3.4.

$$\text{Valor final promedio} = \frac{\text{Prueba 1} + \text{Prueba 2} + \text{Prueba 3}}{3} \quad (3.4)$$

Ejemplo

Ensayo con sulfato de aluminio para 10 NTU

Los datos empleados para esta demostración se muestran en el Anexo 1.

Dosis de sulfato de aluminio = 40 mg/L

Turbiedad inicial= 11,65 NTU

Turbiedad final:

- Prueba1= 1 NTU
- Prueba 2= 0,81 NTU
- Prueba 3= 0,68 NTU

$$\text{Turbiedad final promedio} = \frac{(1+0,81+0,68) \text{ NTU}}{3} = 0,83 \text{ NTU}$$

$$\% \text{ Remoción} = \frac{11,65-0,83}{11,65} * 100\% = 92,88\%$$

3.8.2 DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL KIT POTABILIZADOR

Se determinó el costo del kit potabilizador para la turbiedad baja, media y alta, empleando la ecuación 3.5 y 3.6, previa una investigación en campo en la cual se obtuvieron los costos de los diferentes reactivos que componen el kit.

$$\text{Consumo del reactivo (mg)} = \text{Dosis} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \text{Volumen(L)} \quad (3.5)$$

$$\text{Costo del reactivo (\$)} = \text{Consumo(mg)} * \text{Precio reactivo} \left(\frac{\$}{\text{mg}} \right) \quad (3.6)$$

$$\text{Costo del kit (\$)} = \sum \text{costos de los reactivos que conformen el kit(\$)} \quad (3.7)$$

La tabla 3.7 muestra los costos de los reactivos que se emplearon en este estudio.

TABLA 3.7 COSTOS DE LOS REACTIVOS EMPLEADOS

Reactivo	Costo (\$/kg)	Costo (\$/mg)
Sulfato de aluminio	0,90	9×10^{-7}
Polímero	5	5×10^{-6}
Hipoclorito de calcio	3,20	$3,2 \times 10^{-6}$

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Ejemplo

Costo del kit potabilizador para un volumen de 20 L (10 NTU)

Precio del sulfato de aluminio = \$0,90/kg

Dosis de sulfato de aluminio para 10 NTU = 40 mg/L (Anexo 1)

$$\text{Consumo de sulfato de aluminio (mg)} = 40 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * 20(\text{L}) = 800 \text{ mg de SA}$$

$$\text{Costo del sulfato de aluminio ($) = } 800(\text{mg}) * 9 \times 10^{-7} \left(\frac{\$}{\text{mg}} \right) = \$ 7,2 \times 10^{-4}$$

Se procedió a obtener el precio de cada reactivo que formara parte del kit para después utilizarlos en la ecuación 3.7. Este procedimiento se realizó para cada turbiedad.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN TURBIEDAD Y COLOR

4.1.1 TURBIEDAD BAJA: 10 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos para la remoción de turbiedad y color, empleando sulfato de aluminio y polímero en una muestra de agua sintética de 10 NTU.

4.1.1.1 Ensayo con sulfato de aluminio

La tabla 4.1 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llegó después de aplicar diferentes dosis de sulfato de aluminio a una muestra de agua. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.1 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (10 NTU)

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	11,65	89,67	0,00	0,00
10	10,14	78,00	12,93	13,01
20	1,34	9,00	88,47	89,96
30	0,89	5,00	92,36	94,42
40	0,83	0,33	92,88	99,63
50	0,88	6,67	92,47	92,57
60	2,11	11,67	81,92	86,99
70	14,00	100,33	0,00	0,00
80	14,07	101,33	0,00	0,00
90	13,47	105,00	0,00	0,00

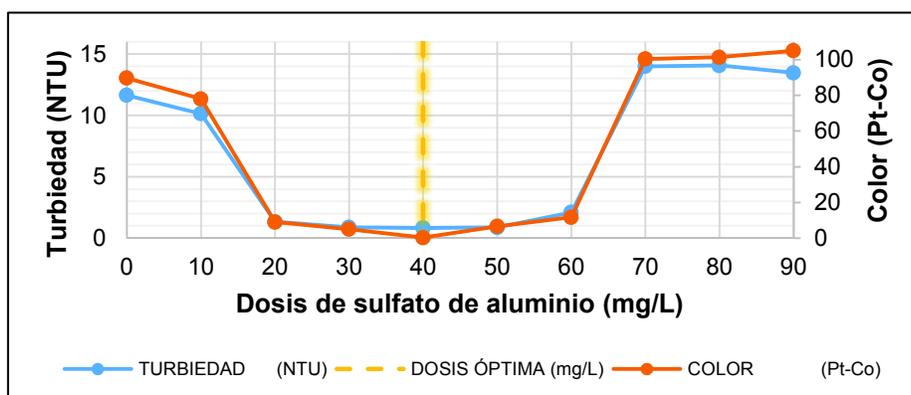
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 11,65 NTU y color de 89,67 Pt-Co. Al aplicar la primera dosis de 10 mg/L se evidencia que el descenso de estos parámetros no es muy significativo en comparación a los iniciales, reportándose valores de 10,14 NTU y 78 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 12,93 % y 13,01 % respectivamente, por otro lado, las dosis comprendidas entre 20 y 60 mg/L presentan los valores más bajos de turbiedad y color los cuales oscilan entre 1,34 a 2,11 NTU y 9 a 11,67 Pt-Co con porcentajes de remoción entre 88,47-81,92 % y 89,96-86,99 %, respectivamente. Finalmente las dosis superiores a este rango, correspondientes a 70, 80 y 90 mg/L, no remueven turbiedad ni color sino que más bien aumentan sus valores iniciales entre 14-13,47 NTU y 100,33-105 Pt-Co, razón por lo cual los porcentajes de remoción de estos parámetros se reportan como 0,00%.

La dosis óptima se elige en función de los valores más bajos de color y turbiedad que se obtuvieron, resultando aquella concentración de sulfato de aluminio con la mejor remoción de turbiedad y color (Solís et al., 2012), que en este caso corresponde a 40 mg/L, valor acorde a los resultados obtenidos en la investigación de Cerón (2016) y que además permite obtener una turbiedad y color que cumple con los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad baja 10 NTU se observan en la gráfica 4.1.

GRÁFICA 4.1 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

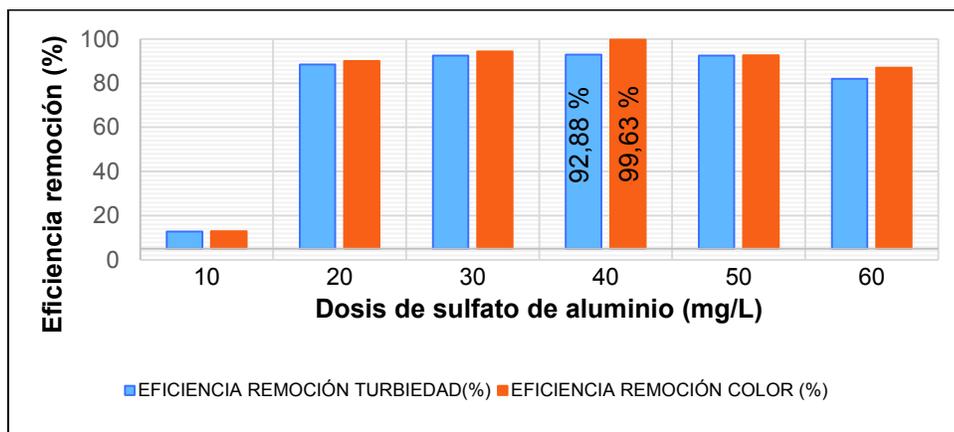
Cuando se emplean dosis por debajo de las consideradas óptimas tiende a no darse un proceso completo de neutralización de cargas, conllevando a la no formación de los denominados flóculos (Cogollo, 2011), esto se evidencia en este estudio ya que al colocar la menor dosis de sulfato de aluminio (10 mg/L) los valores finales de turbiedad y color son muy cercanos a los iniciales.

A medida que se incrementa la dosis se observa que los niveles de turbiedad y color bajan hasta un punto denominado como dosis óptima a partir del cual si se coloca mayor cantidad de reactivo los parámetros antes mencionados empiezan a elevarse nuevamente, esto debido a un proceso conocido como inversión de cargas, lo que ocasiona la formación de una cantidad elevada de pequeños flóculos que no sedimentan fácilmente y ocasionan valores de turbiedad alta (Andía, 2000).

Aguas de muy baja turbiedad tienen partículas coloidales muy dispersas, lo que dificulta su aglomeración, para lo cual es necesario la aplicación de una mayor cantidad de coagulante para facilitar este proceso, en comparación a las dosis que se aplican a aguas con elevadas turbiedades (Cogollo, 2011).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.2.

GRÁFICA 4.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se observa que los mayores porcentajes de remoción de turbiedad y color, 92,88 y 99,63 % respectivamente, se obtienen al aplicar una dosis de coagulante de 40 mg/L, sobrepasando estos a los valores típicos de remoción de partículas que están entre 80 y 90 % en los procesos de clarificación (Solís et al., 2012).

4.1.1.2 Ensayo con polímero

La tabla 4.2 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar diferentes dosis de polímero a una muestra de agua. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.2 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (10 NTU)

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	10,58	68,00	0,00	0,00
1	9,72	54,67	8,10	19,61
2	9,33	60,67	11,82	10,78
3	8,51	58,00	19,54	14,71
4	8,04	46,00	24,02	32,35
5	8,12	54,00	23,26	20,59

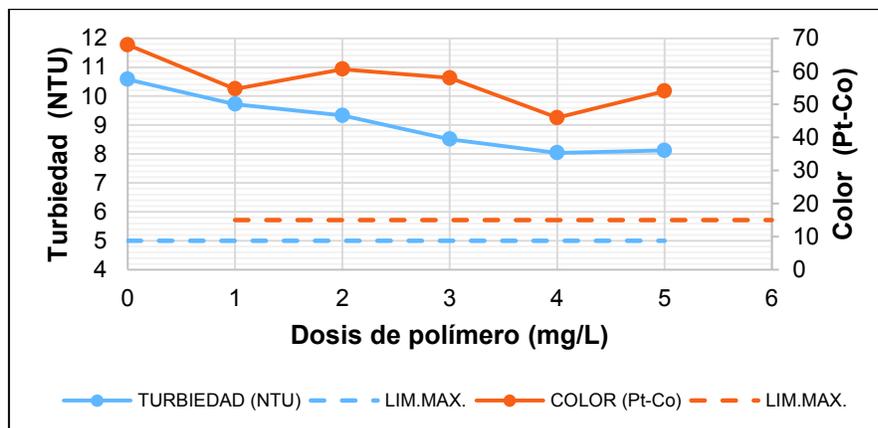
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa, el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 10,58 NTU y color de 68 Pt-Co. Las dosis aplicadas en este ensayo no mostraron un descenso significativo de estos parámetros en comparación a sus valores iniciales, es así que al aplicar la primera dosis de 1 mg/L se obtiene una turbiedad de 9,72 NTU y un color de 54,67 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 8,10 % y 19,61 % respectivamente, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reportan valores de 9,33 NTU y 60,67 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 11,82 % y 10,78 %. Al aplicar 3 mg/L se obtiene 8,51 NTU y 58 Pt-Co que equivalen a una eficiencia de 19,54 % y 14,71 %, mientras que al dosificar 4 mg/L se registran valores de 8,04 NTU y 46 Pt-Co para los cuales las eficiencias son de 24,02 % y 32,35 %, finalmente empleando 5 mg/L de polímero los resultados fueron 8,12 NTU y 54 Pt-Co con eficiencias de remoción de 23,26 % y 20,59 %.

Al emplear el polímero como coagulante primario los resultados más bajos de turbiedad y color se obtuvieron con las dosis más altas del mismo que para este ensayo son de 4 y 5 mg/L.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las diferentes dosificaciones de polímero al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad baja 10 NTU se evidencia en la gráfica 4.3.

GRÁFICA 4.3 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (10 NTU)



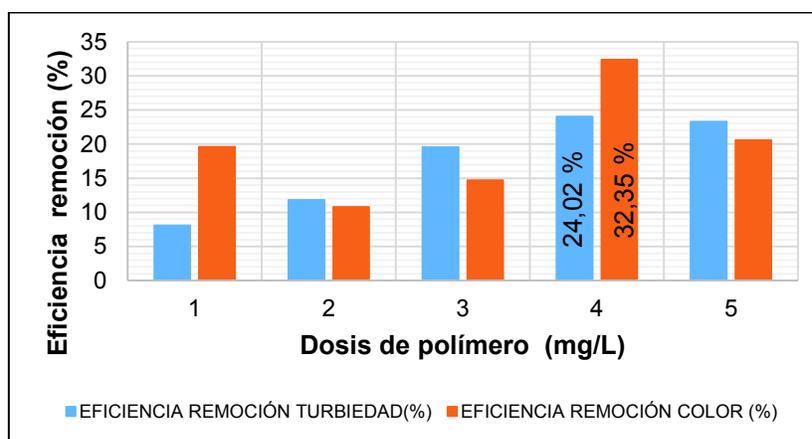
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se observa que las dosis de polímero aplicadas como coagulante primario no reducen los valores de turbiedad y color a valores aceptables para obtener agua apta para el consumo humano puesto que están sobre los límites máximo permisibles que establece la normativa (INEN, 2006). Por lo anteriormente expuesto se determina que al no cumplir el objetivo de este presente trabajo se descarta el uso de este reactivo como coagulante primario para ensayos posteriores.

Los resultados obtenidos en estos ensayos demuestran que el polímero catiónico PWG 1560, al accionar solo en dosis de 1 a 5 mg/L (Pérez, Cánepa, y Richter, 2006), no tiene la capacidad para desestabilizar completamente las cargas de los coloides para la formación de los flóculos, razón por la cual la reducción de los parámetros iniciales no es significativa, estos resultados concuerdan además con el estudio realizado por Najúl, López, Sánchez, Blanco y Rincones (1996).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.4

GRÁFICA 4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Al no existir una reducción significativa de los parámetros de turbiedad y color se espera que tampoco exista una eficiencia de remoción elevada de los mismos; como se puede observar los porcentajes no sobrepasan el 35 %, tanto para turbiedad como color, estando por debajo de valores típicos de remoción de

partículas los cuales están entre 80 y 90 % en los procesos de clarificación (Solís et al., 2012).

Lo anteriormente expuesto, se debe a que al no usar una elevada cantidad de este reactivo, no se forman suficientes cadenas de polímeros que se adhieran a los coloides y permitan la formación de agregados que precipitan fácilmente y reduzcan los niveles de turbiedad y color a valores aceptables (Arboleda, 2000).

4.1.1.3 Ensayo con sulfato de aluminio más polímero

La tabla 4.3 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar a una muestra de agua diferentes dosis de polímero junto con la dosis de sulfato de aluminio previamente establecida en el apartado 4.1.1.1. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.3 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (10 NTU)

SA = 40 mg/L				
DOSIS POLÍMERO (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0,00	11,37	80,00	0,00	0,00
0,10	0,44	5,33	96,13	93,33
0,15	0,80	9,67	92,96	87,92
0,20	0,93	10,67	91,79	86,67

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

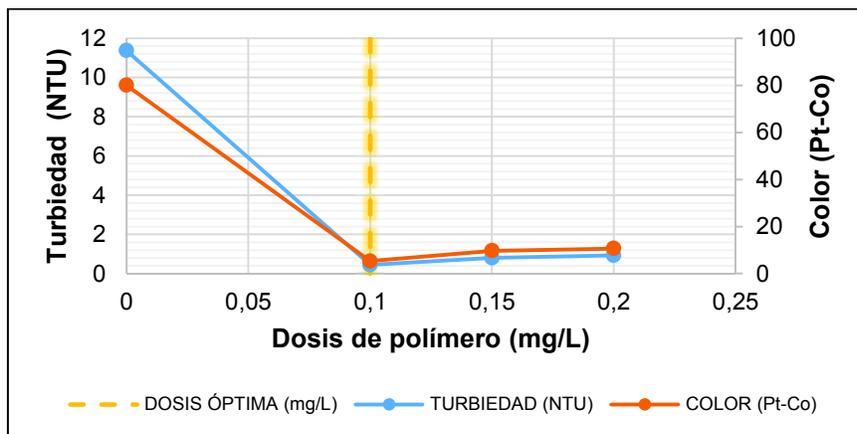
Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 11,37 NTU y color de 80 Pt-Co. Las dosis aplicadas en este ensayo mostraron un descenso significativo de estos parámetros en comparación a sus valores iniciales, es así que al aplicar la primera dosis de 0,10 mg/L se obtiene una turbiedad de 0,44 NTU y un color de 5,33 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 96,13 % y 93,33 % respectivamente, para la segunda dosis que corresponde a 0,15 mg/L se reportan valores de 0,80 NTU y 9,67 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 92,96 % y 87,92 %, finalmente empleando 0,20 mg/L de polímero los

resultados registrados fueron 0,93 NTU y 10,67 Pt-Co que equivale a eficiencias de remoción de 91,79 % y 86,67 %.

La dosis óptima de polímero como ayudante se elige en función de la dosificación que mayor remoción de turbiedad y color presenta (Iglesias, 2018), que en este caso corresponde a 0,1 mg/L, valor cercano a los resultados obtenidos en la investigación de Benavides (2017) y que además permite obtener una turbiedad y color que cumple con los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las dosis de sulfato de aluminio más polímero al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad baja 10 NTU se observan en la gráfica 4.5.

GRÁFICA 4.5 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

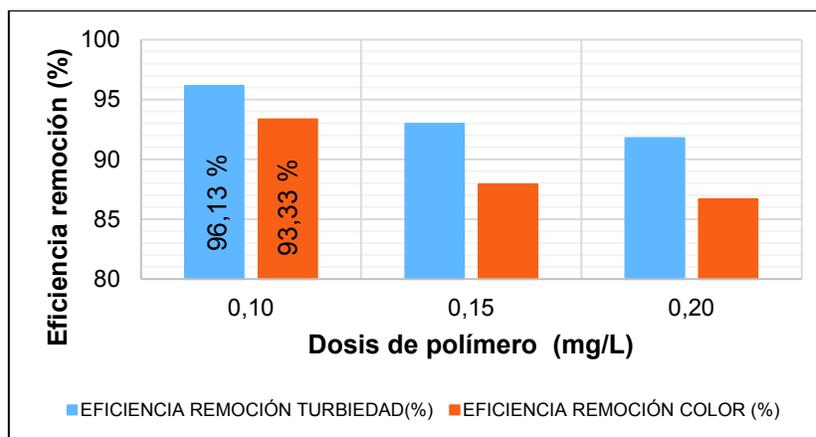
Se puede observar que a medida que se aumenta la dosis de polímero los resultados de turbiedad y color también lo hacen, sin embargo éstos son valores muy cercanos entre sí y a la vez aceptables para agua apta de consumo humano, esto se debe a que las dosis establecidas de reactivo son las que usualmente se usan en las plantas de tratamiento de agua potable (Lorenzo, 2006).

El empleo de polímero como ayudante y más no como coagulante principal da mejores resultados ya que se permite que el sulfato de aluminio actúe en primer

lugar, formando microflocs y dejando libres algunos sitios de adsorción que es donde las cadenas poliméricas intervienen ya que su objetivo es el de reforzar las uniones y aumentar el número de núcleos que integra cada floc (Arboleda, 2000).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.6.

GRÁFICA 4.6 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Para corroborar todo lo dicho anteriormente, se puede constatar que los mayores porcentajes de remoción de turbiedad y color se dan para la dosificación de 0,1 mg/L, siendo éstos 96,13 y 93,33% respectivamente.

4.1.2 TURBIEDAD MEDIA: 20 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos para la remoción de turbiedad y color, empleando sulfato de aluminio y polímero en una muestra de agua sintética de 20 NTU.

4.1.2.1 Ensayo con sulfato de aluminio

La tabla 4.4 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar diferentes dosis de sulfato de aluminio a una muestra de

agua. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.4 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (20 NTU)

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	21,26	157,00	0,00	0,00
10	12,57	68,33	40,89	56,48
20	1,53	12,33	92,79	92,14
30	1,35	9,33	93,63	94,06
40	1,13	3,67	94,70	97,66
50	3,21	24,33	84,90	84,50
60	17,77	135,67	16,43	13,59
70	15,31	122,00	28,00	22,29
80	19,33	155,67	9,06	0,85
90	19,23	157,67	9,53	0,00

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

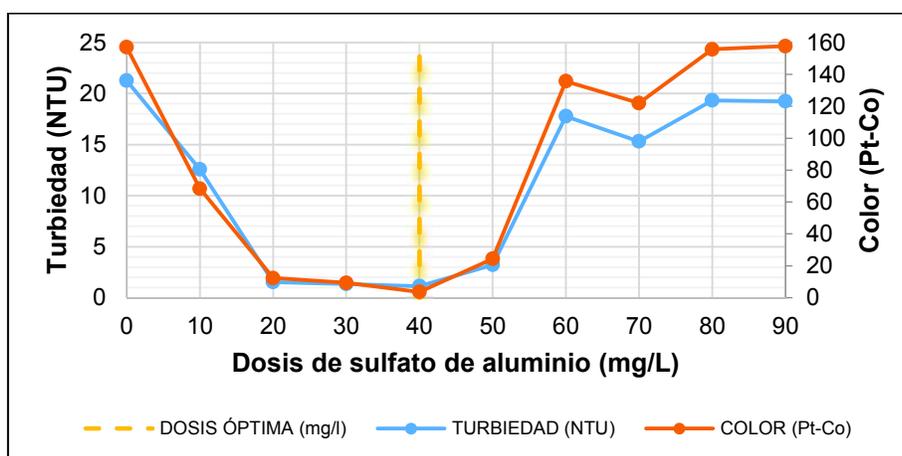
Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 21,26 NTU y color de 157 Pt-Co. Al aplicar la primera dosis de 10 mg/L se evidencia el descenso de estos parámetros reportándose valores de 12,57 NTU y 68,33 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 40,89 % y 56,48 %, respectivamente, por otro lado, las dosis comprendidas entre 20 y 50 mg/L presentan los valores más bajos de turbiedad y color los cuales oscilan entre 1,53 a 3,21 NTU y 12,33 a 24,33 Pt-Co con porcentajes de remoción entre 92,79-84,90 % y 92,14-84,50 %, respectivamente. Finalmente las dosis superiores a este rango, correspondientes a 60, 70, 80 y 90 mg/L, no presentaron una remoción significativa de turbiedad ni color en relación a sus valores iniciales, obteniéndose resultados entre 17,77-19,23 NTU y 135,67-157,67 Pt-Co con porcentajes de remoción entre 16,43-9,53 % para turbiedad y 13,59-0,00 % para color.

La dosis óptima se determinó en función de los valores más bajos de color y turbiedad que se obtuvieron, resultando esta la concentración de sulfato de aluminio con la mejor remoción de turbiedad y color (Sandoval y Laines, 2013), la

cual corresponde a 40 mg/L valor acorde a la investigación de Cerón (2016). Además los resultados de los parámetros antes mencionados al aplicar esta dosis están dentro de los límites máximos permisibles estipulados en la normativa (INEN, 2006).

El comportamiento de turbiedad y color en función de las diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad baja 20 NTU se observan en la gráfica 4.7.

GRÁFICA 4.7 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (20 NTU)

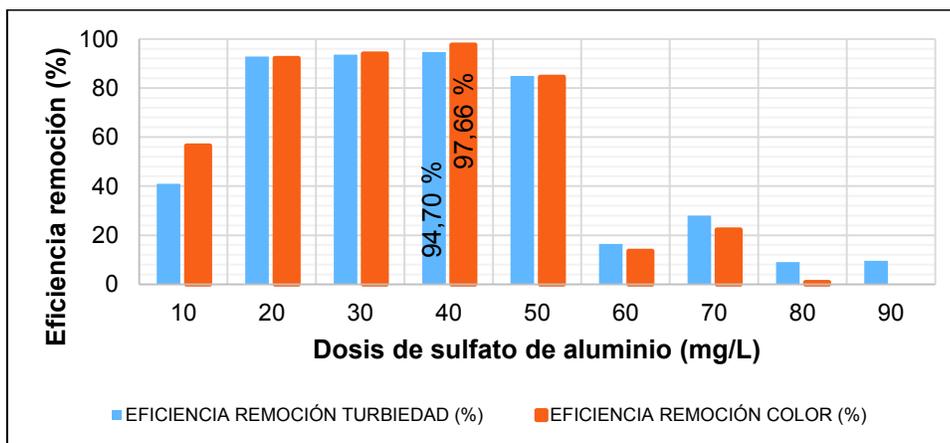


ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se puede observar que al aplicar la menor dosis de sulfato de aluminio (10 mg/L) los valores finales de turbiedad y color son menores a los iniciales, pero continúan siendo relativamente altos debido a que no se dio un proceso completo de neutralización de cargas (Cogollo, 2011). A medida que se incrementaron las dosis del reactivo sucedió lo contrario ya que la turbiedad y color descendieron hasta un punto donde se registraron sus valores mínimos que fue al dosificar 40 mg/L; si se aplican dosis mayores a ésta se produce una inversión de cargas que ocasionan valores de turbiedad alta (Andía, 2000).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.8.

GRÁFICA 4.8 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (20 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se observa que el mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color, 94,70 y 97,66% respectivamente, se obtiene al aplicar una dosis de coagulante de 40 mg/L sobrepasando estos a los valores típicos de remoción de partículas que están entre 80 y 90 % en los procesos de clarificación (Solís et al., 2012).

4.1.2.2 Ensayo con polímero

La tabla 4.5 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar diferentes dosis de polímero a una muestra de agua. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.5 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (20 NTU)

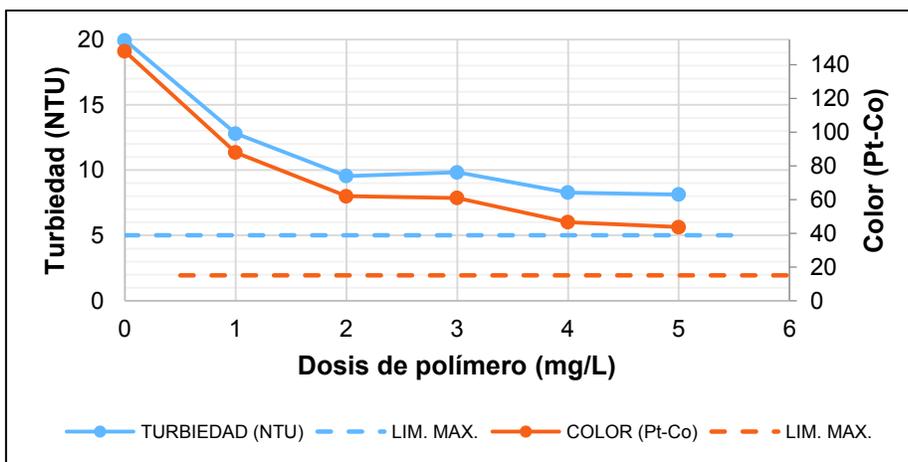
DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	19,93	148,00	0,00	0,00
1	12,80	88,00	35,79	40,54
2	9,55	62,00	52,09	58,11
3	9,83	61,00	50,67	58,78
4	8,28	46,67	58,44	68,47
5	8,14	43,67	59,16	70,50

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 19,93 NTU y color de 148 Pt-Co. Al aplicar la primera dosis de 1 mg/L se obtiene una turbiedad de 12,80 NTU y un color de 88 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 35,79 % y 40,54 %, respectivamente, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reportan valores de 9,55 NTU y 62 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 52,09 % y 58,11 %. Al aplicar 3 mg/L se obtiene 9,83 NTU y 61 Pt-Co que equivalen a una eficiencia de 50,67 % y 58,78 %, mientras que al dosificar 4 mg/L se registran valores de 8,28 NTU y 46,67 Pt-Co para los cuales las eficiencias son de 58,44 % y 68,47 %, finalmente empleando 5 mg/L de polímero los resultados fueron 8,14 NTU y 43,67 Pt-Co con eficiencias de remoción de 59,16 % y 70,5 %.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las diferentes dosificaciones de polímero al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad media 20 NTU se observan en la gráfica 4.9.

GRÁFICA 4.9 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (20 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

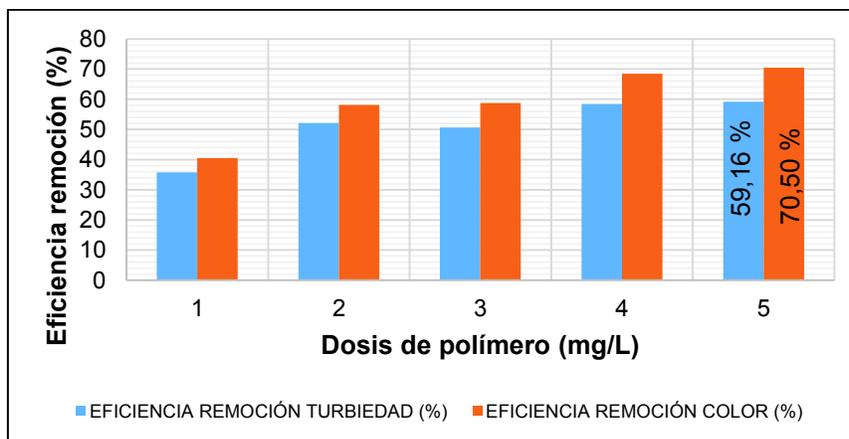
Como se observa los valores de turbiedad y color bajan a medida que se aumenta la dosis de polímero, evidenciándose que al aplicar 5 mg/L se da la mayor remoción de turbiedad y color; estos resultados son semejantes a los obtenidos en el estudio realizado por Najul et al. (1996).

Cabe mencionar además que el comportamiento de los datos en este ensayo, se asemeja al reportado en el estudio de Polasek y Mutl (2002) en el cual se evidencia que los valores más bajos de turbiedad se obtienen al aplicar la dosis más altas de polímero.

Sin embargo, cuando el polímero es dosificado como coagulante primario, las dosis que se aplican no reducen los valores de turbiedad y color bajo los límites máximos permisibles que se establecen en la normativa, razón por la cual no se garantiza el uso del agua tratada para consumo humano (INEN, 2006) y al no cumplirse el objetivo de esta investigación, se descartan ensayos posteriores donde el uso de este reactivo sea como coagulante primario.

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.10.

GRÁFICA 4.10 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (20 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa las eficiencias más altas para remoción de turbiedad y color, 59,16 y 70,50% respectivamente, a pesar de ser mayores al 50% no logran remover dichos parámetros bajo los límites máximos permisibles.

Las dosis para que el polímero actúa eficientemente como coagulante deben ser altas (CEPIS, 1975), caso contrario la coagulación puede darse parcialmente o incluso no darse, como ocurre en este ensayo en donde la cantidad de cadenas

poliméricas que se forman y que deben adherirse a los coloides, en los tiempos y gradientes de velocidad usuales de experimentación, no son suficientes (Arboleda, 2000) perjudicando así la formación del floc.

4.1.2.3 Ensayo con sulfato de aluminio más polímero

La tabla 4.6 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar a una muestra de agua diferentes dosis de polímero junto con la dosis de sulfato de aluminio previamente establecida en el apartado 4.1.2.1. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.6 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (20 NTU)

SA = 40 mg/L				
DOSIS POLÍMERO (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	19,05	141,00	0,00	0,00
0,05	0,59	6,00	96,90	95,74
0,10	0,56	2,67	97,06	98,11
0,15	0,92	3,33	95,17	97,64

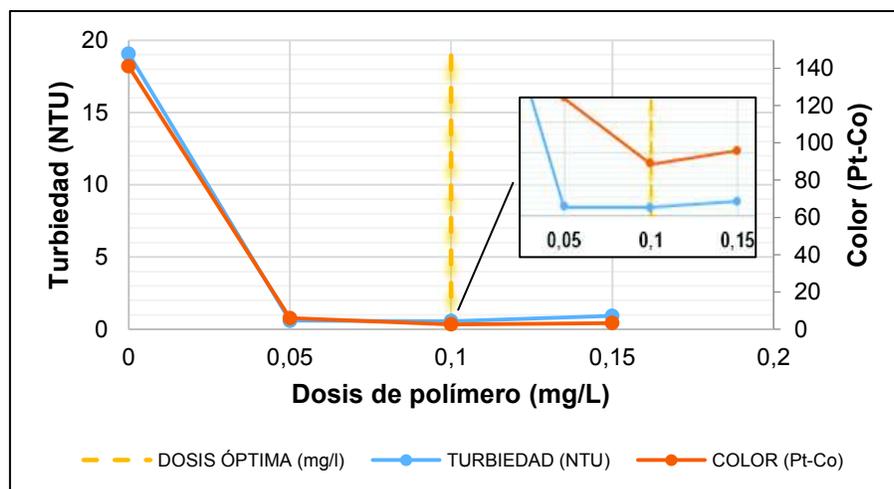
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 19,05 NTU y color de 141 Pt-Co. Las dosis aplicadas en este ensayo mostraron un descenso significativo de estos parámetros en comparación a sus valores iniciales, es así que al aplicar la primera dosis de 0,05 mg/L se obtiene una turbiedad de 0,59 NTU y un color de 6 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 96,90 % y 95,74 %, respectivamente, para la segunda dosis que corresponde a 0,10 mg/L se reportan valores de 0,56 NTU y 2,67 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 97,06 % y 98,11 %, finalmente empleando 0,15 mg/L de polímero los resultados registrados fueron 0,92 NTU y 3,33 Pt-Co que equivale a eficiencias de remoción de 95,17 % y 97,64 %.

La dosis óptima de polímero como ayudante se elige en función de la dosificación que mayor remoción de turbiedad y color presenta (Iglesias, 2018), que en este caso corresponde a 0,1 mg/L, valor acorde a los resultados obtenidos en la investigación de Benavides (2017) y que además permite obtener una turbiedad y color que cumple con los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las dosis de sulfato de aluminio más polímero al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad media 20 NTU se observan en la gráfica 4.11.

GRÁFICA 4.11 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (20 NTU)

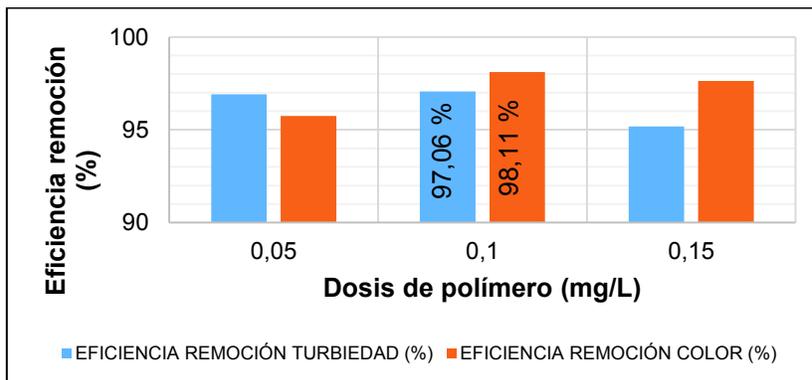


ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Las dosis establecidas de polímero son las que usualmente se usan en las plantas de tratamiento de agua potable y a pesar de que al aumentar su dosificación se da un ligero incremento en el valor de turbiedad y color, los resultados de estos parámetros son muy cercanos entre sí y además se ajustan a la normativa (Lorenzo, 2006). En este caso se dio una mejor coagulación ya que el polímero se encargó de reforzar las uniones y aumentar el número de núcleos que integra cada floc (Arboleda, 2000).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.12.

GRÁFICA 4.12 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (20 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Para corroborar todo lo dicho anteriormente, se puede constatar que los mayores porcentajes de remoción de turbiedad y color se dan para la dosificación de 0,1 mg/L, siendo estos 97,06 y 98,11%, respectivamente.

4.1.3 TURBIEDAD ALTA: 70 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos para la remoción de turbiedad y color, empleando sulfato de aluminio y polímero en una muestra de agua sintética de 70 NTU.

4.1.3.1 Ensayo con sulfato de aluminio

La tabla 4.7 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar diferentes dosis de sulfato de aluminio a una muestra de agua. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.7 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (70 NTU)

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	69,18	424,67	0,00	0,00
10	6,04	54,00	91,27	87,28
20	1,67	18,00	97,59	95,76
30	0,58	6,00	99,16	98,59
40	0,87	7,33	98,75	98,27
50	0,99	10,00	98,56	97,65
60	1,62	13,00	97,66	96,94
70	1,12	8,00	98,38	98,12
80	1,56	9,67	97,75	97,72
90	2,15	16,67	96,89	96,08

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

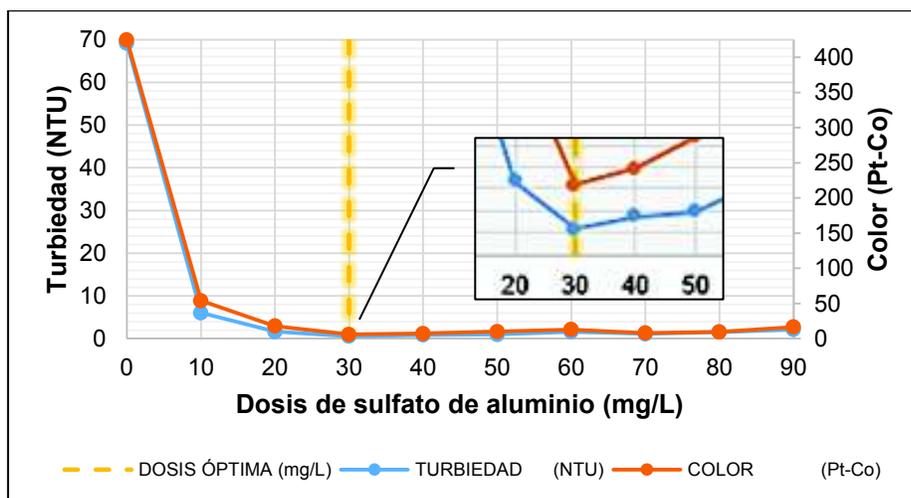
Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 69,18 NTU y color de 424,67 Pt-Co. Al aplicar la primera dosis de 10 mg/L se evidencia el descenso de estos parámetros reportándose valores de 6,04 NTU y 54 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 91,27 % y 87,28 %, respectivamente, por otro lado, al emplear la dosis de 20 mg/L los resultados fueron 1,67 NTU y 18 Pt-Co con eficiencias de 97,59% y 95,76 %, mientras que las dosis comprendidas entre 30 y 50 mg/L presentan los valores más bajos de turbiedad y color los cuales oscilan entre 0,58 a 0,99 NTU y 6 a 10 Pt-Co con porcentajes de remoción entre 99,16-98,56 % y 98,56-97,65 %, respectivamente. Finalmente las dosis superiores a este rango, correspondientes a 60, 70, 80 y 90 mg/L, registraron resultados entre 1,62-2,15 NTU y 13-16,67 Pt-Co con eficiencias entre 97,66-96,89 % para turbiedad y 96,94-96,08 % para color.

La dosis óptima se elige en función de los valores más bajos de color y turbiedad que se obtuvieron, resultando aquella concentración de sulfato de aluminio con la mejor remoción de turbiedad y color (Sandoval y Laines, 2013), que en este caso corresponde a 30 mg/L, valor acorde a la investigación de Solís et al. (2012). Además los resultados de los parámetros antes mencionados al aplicar esta dosis

están dentro de los límites máximos permisibles estipulados en la normativa (INEN, 2006).

El comportamiento de turbiedad y color en función de las diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad baja 70 NTU se observan en la gráfica 4.13.

GRÁFICA 4.13 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (70 NTU)

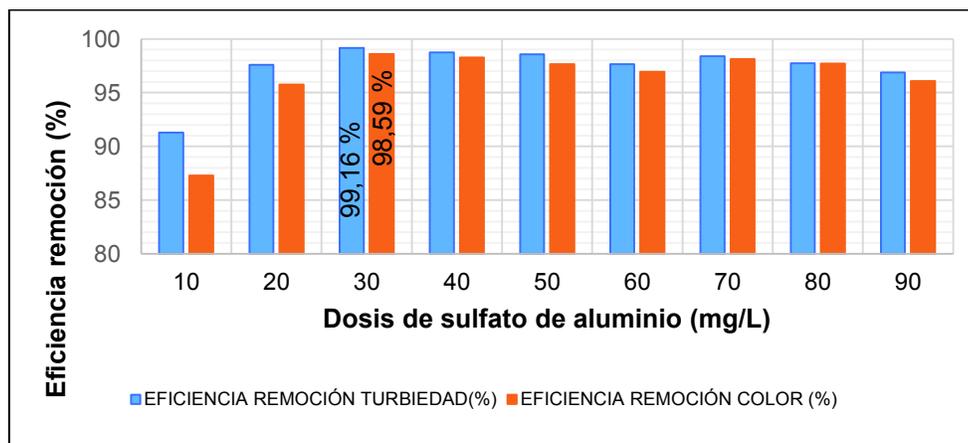


ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Para el agua que presenta turbiedad alta la probabilidad de colisión de las partículas coloidales es muy elevada y esto facilita la formación de flóculos agregando una menor cantidad de coagulante para facilitar el proceso (Cogollo, 2011), debido a esto es que en comparación con las anteriores turbiedades (10 y 20 NTU) en donde al agregar 10 mg/L de sulfato de aluminio no se evidencia un descenso significativo en los valores de turbiedad y color, en el caso de 70 NTU estos parámetros ya disminuyen considerablemente.

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.14.

GRÁFICA 4.14 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE SULFATO DE ALUMINIO (70 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se observa que el mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color 99,16 y 98,59%, respectivamente, se obtiene al aplicar una dosis de coagulante de 40 mg/L sobrepasando estos a los valores típicos de remoción de partículas que están entre 80 y 90 % en los procesos de clarificación (Solís et al., 2012).

4.1.3.2 Ensayo con polímero

La tabla 4.8 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar diferentes dosis de polímero a una muestra de agua. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.8 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (70 NTU)

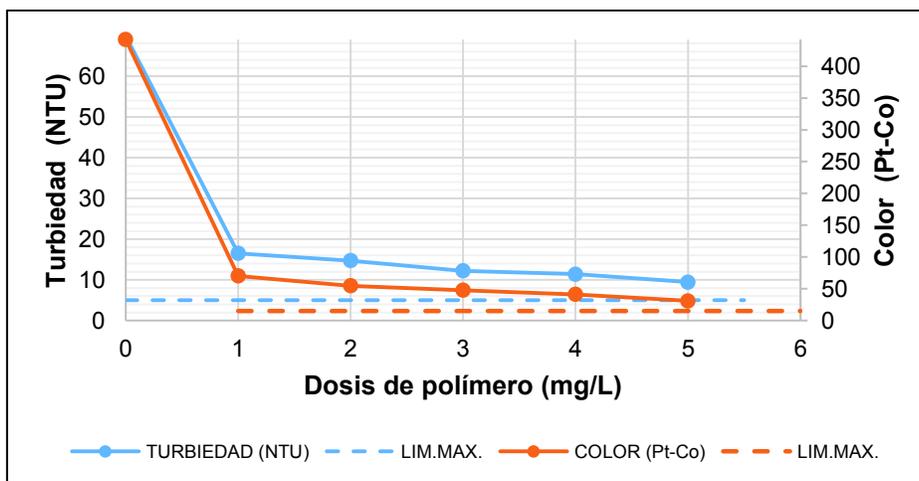
DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	69,83	442,00	0,00	0,00
1	16,53	70,33	76,33	84,09
2	14,73	54,67	78,91	87,63
3	12,23	47,67	82,49	89,22
4	11,41	41,33	83,66	90,65
5	9,45	31,00	86,46	92,99

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 69,83 NTU y color de 442 Pt-Co. Al aplicar la primera dosis de 1 mg/L se obtiene una turbiedad de 16,53 NTU y un color de 70,33 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 76,33 % y 84,09 % respectivamente, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reportan valores de 14,73 NTU y 54,67 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 78,91 % y 87,63 %. Al aplicar 3 mg/L se obtiene 12,23 NTU y 47,67 Pt-Co que equivalen a una eficiencia de 82,49 % y 89,22 %, mientras que al dosificar 4 mg/L se registran valores de 11,41 NTU y 41,33 Pt-Co para los cuales las eficiencias son de 83,66 % y 90,65 %, finalmente empleando 5 mg/L de polímero los resultados fueron 9,45 NTU y 31 Pt-Co con eficiencias de remoción de 86,46 % y 92,99 %.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las diferentes dosificaciones de polímero al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad media 20 NTU se observan en la gráfica 4.15.

GRÁFICA 4.15 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (70 NTU)



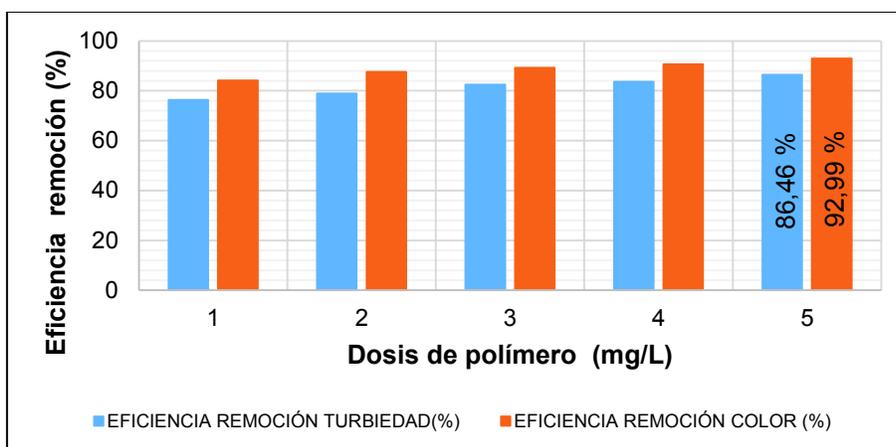
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se observa que los valores de turbiedad y color bajan a medida que las dosis de polímero van aumentando, es así que al aplicar 5 mg/L se da la mayor remoción de turbiedad y color, sin embargo, estos valores no se encuentran bajo los límites máximos permisibles que se establecen en la normativa (INEN, 2006) debido a que cuando este reactivo se emplea como coagulante primario las dosis para que

actúe eficientemente deben ser altas (CEPIS, 1975), caso contrario la coagulación puede darse parcialmente o incluso no darse.

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.16.

GRÁFICA 4.16 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES DE POLÍMERO (70 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa las mejores eficiencias para remoción de turbiedad y color, 86,46 y 92,99%, respectivamente, a pesar de ser relativamente altas no logran remover dichos parámetros bajo los límites máximos permisibles.

4.1.3.3 Ensayo con sulfato de aluminio más polímero

La tabla 4.9 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad y color a los que se llega después de aplicar a una muestra de agua diferentes dosis de polímero junto con la dosis de sulfato de aluminio previamente establecida en el apartado 4.1.3.1. En función a los mismos se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros antes mencionados.

TABLA 4.9 VALORES DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (70 NTU)

SA = 30 mg/L				
DOSIS POLÍMERO (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0,00	70,10	439,00	0,00	0,00
0,05	0,66	4,33	99,06	99,01
0,10	0,73	6,33	98,96	98,56
0,15	0,75	6,67	98,93	98,48

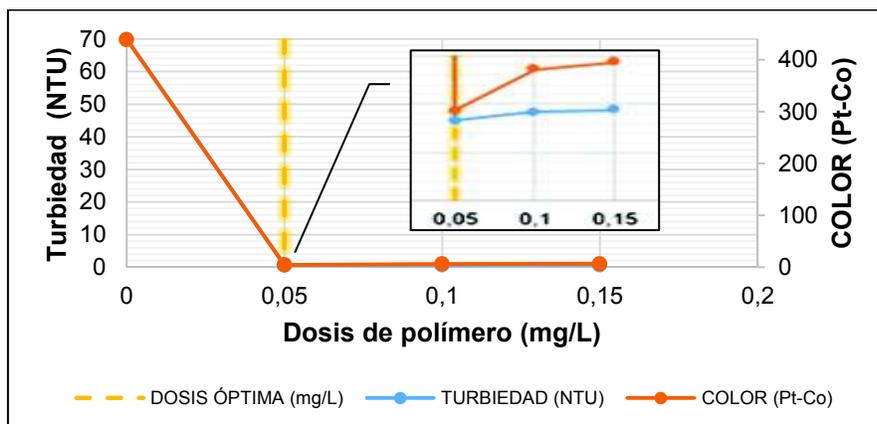
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 70,10 NTU y color de 439 Pt-Co. Las dosis aplicadas en este ensayo mostraron un descenso significativo de estos parámetros en comparación a sus valores iniciales, es así que al aplicar la primera dosis de 0,05 mg/L se obtiene una turbiedad de 0,66 NTU y un color de 4,33 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 99,06 % y 99,01 %, respectivamente, para la segunda dosis que corresponde a 0,10 mg/L se reportan valores de 0,73 NTU y 6,33 Pt-Co, con eficiencias de remoción de 98,96 % y 98,56 %, finalmente empleando 0,15 mg/L de polímero los resultados registrados fueron 0,75 NTU y 6,67 Pt-Co que equivale a eficiencias de remoción de 98,93 % y 98,48 %.

La dosis óptima de polímero como ayudante se elige en función de la dosificación que mayor remoción de turbiedad y color presenta (Iglesias, 2018), que en este caso corresponde a 0,05 mg/L, valor acorde a los resultados obtenidos en la investigación de Benavides (2017) y que además permite obtener una turbiedad y color que cumple con los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.

El comportamiento de turbiedad y color en función de las dosis de sulfato de aluminio más polímero al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad alta 70 NTU se observan en la gráfica 4.17.

GRÁFICA 4.17 VARIACIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (70 NTU)

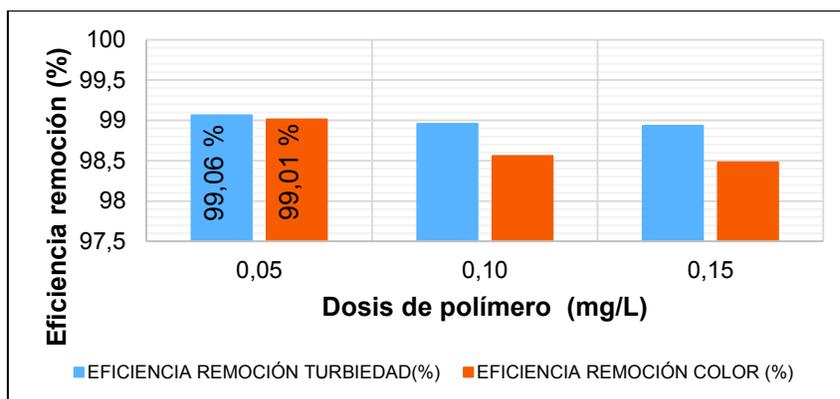


ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Al aplicar las diferentes dosis de polímero se observó que todas registraron valores de turbiedad y color muy próximos y además que se hallaban bajo los límites máximos permisibles, esto debido a que al dosificar el polímero como ayudante se favoreció la formación de flocs dando como resultado un mejor proceso de coagulación (Arboleda, 2000), que es lo que usualmente sucede en las plantas de tratamiento de agua potable ya que éstas usan dosificaciones similares a las empleadas en este ensayo (Lorenzo, 2006).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.18.

GRÁFICA 4.18 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO (70 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Para corroborar todo lo dicho anteriormente, se puede constatar que los mayores porcentajes de remoción de turbiedad y color se dan para la dosificación de 0,05 mg/L, siendo estos 99,06 y 99,01%, respectivamente. Para el agua que presenta turbiedad alta la probabilidad de colisión de las partículas coloidales es muy elevada y esto facilita la formación de flóculos agregando una menor cantidad de reactivo (Cogollo, 2011), como se evidencia en la turbiedad de 70 NTU, donde la dosis óptima de polímero como ayudante es menor que la establecida para las turbiedades de 10 y 20 NTU.

4.2 DOSIS ÓPTIMAS DE HIPOCLORITO DE CALCIO

4.2.1 TURBIEDAD BAJA: 10 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos de cloro libre residual al aplicar distintas dosis de hipoclorito de calcio, en conjunto con las dosis óptimas de sulfato de aluminio y polímero establecidas en los apartados 4.1.1.1 y 4.1.1.3 respectivamente, en una muestra de agua sintética de 10 NTU.

4.2.1.1 Ensayo con sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio

La tabla 4.10 muestra los valores de cloro libre residual que se obtienen después de aplicar a muestras de agua sintética diferentes combinaciones de reactivos las cuales fueron: sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio; sulfato de aluminio más polímero e hipoclorito de calcio.

TABLA 4.10 VALORES DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (10 NTU)

SA = 40 mg/L P = 0,10 mg/L	HC+SA	HC+SA+P
DOSIS HC (mg/L)	COLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	COLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)
1	0,11	0,08
2	0,29	0,25
3	0,57	0,51
4	1,00	0,78
5	1,07	1,51

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

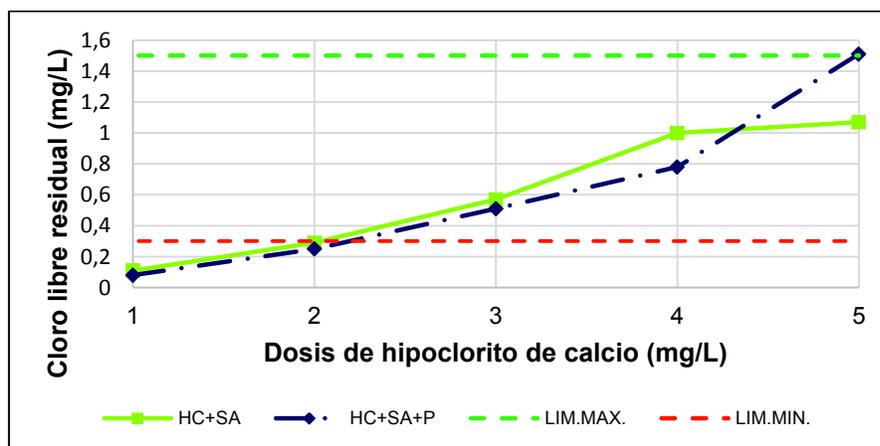
Como se observa para la combinación de sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio al aplicar la primera dosis de 1 mg/L se obtiene un valor de cloro libre residual de 0,11 mg/L, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reporta 0,29 mg/L. La dosificación de 3 mg/L da como resultado 0,57 mg/L de cloro libre residual, mientras que al aplicar 4 mg/L se registra el valor de 1,00 mg/L y finalmente empleando 5 mg/L de hipoclorito de calcio el resultado es de 1,07 mg/L.

La combinación de tres reactivos como se observa al aplicar la primera dosis de 1 mg/L de hipoclorito de calcio se obtiene un valor de cloro libre residual de 0,08 mg/L, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reporta 0,25 mg/L. La dosificación de 3 mg/L da como resultado 0,51 mg/L de cloro libre residual, mientras que al aplicar 4 mg/L se registra el valor de 0,78 mg/L y finalmente empleando 5 mg/L de hipoclorito de calcio el resultado es de 1,51 mg/L .

Para determinar las dosis de hipoclorito de calcio a emplear en el agua con coliformes se realizaron ensayos previos de demanda de cloro para conocer la misma y además los valores de cloro libre residual (CEPIS, 2002).

El comportamiento de cloro libre residual en función de las dosis de hipoclorito de calcio para las diferentes combinaciones aplicadas a una muestra de agua de turbiedad baja 10 NTU se observan en la gráfica 4.19.

GRÁFICA 4.19 VARIACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se observa que a medida que se aumenta la dosis de hipoclorito de calcio, éstas no se consumen en su totalidad, dejando una concentración de cloro libre residual que va aumentando progresivamente, esto se ve evidenciado ya que al colocar una menor dosis de este reactivo, 1 mg/L, este se consume para satisfacer la demanda para remover impurezas y productos que están disueltos debido a su poder oxidante en el agua (Pérez y Espigares, 1995) quedando valores de cloro libre residual de 0,11 mg/L y 0,08 mg/L para las diferentes combinaciones respectivamente y éstos son menores a los establecidos en la normativa.

Por el contrario al emplear dosis mayores a 2 mg/L, se puede apreciar que la cantidad de cloro es suficiente para satisfacer la demanda y dejar un valor de cloro libre residual que proteja al sistema de una posterior contaminación debido a la acción desinfectante que ejercen el ácido hipocloroso e ión hipoclorito presentes (CEPIS, 2002).

Por lo anteriormente expuesto y debido a que aún no se toma en cuenta la demanda de cloro que implique la eliminación de coliformes fecales, se eligieron para cada combinación las dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio, que fueron las que registraron resultados aceptables de cloro libre residual y además se encontraron dentro de los valores establecidos en la normativa, los cuales son 0,3 - 1,5 mg/L (INEN, 2006).

4.2.2 TURBIEDAD MEDIA: 20 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos de cloro libre residual al aplicar distintas dosis de hipoclorito de calcio, en conjunto con las dosis óptimas de sulfato de aluminio y polímero establecidas en los apartados 4.1.2.1 y 4.1.2.3 respectivamente, en una muestra de agua sintética de 20 NTU.

4.2.2.1 Ensayo con sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio.

La tabla 4.11 muestra los valores de cloro libre residual que se obtienen después de aplicar a muestras de agua sintética diferentes combinaciones de reactivos las cuales fueron: sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio; sulfato de aluminio más polímero e hipoclorito de calcio.

TABLA 4.11 VALORES DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (20 NTU)

SA = 40 mg/L P = 0,10 mg/L	HC+SA	HC+SA+P
DOSIS HC (mg/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)
1	0,12	0,13
2	0,28	0,23
3	0,64	0,77
4	1,04	1,15
5	1,20	1,66

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

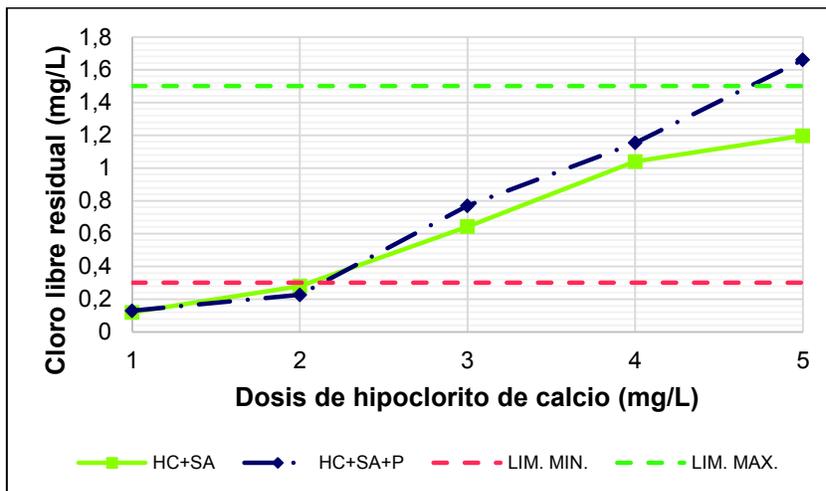
Como se observa para la combinación de sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio al aplicar la primera dosis de 1 mg/L de hipoclorito de calcio se obtiene un valor de cloro libre residual de 0,12 mg/L, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reporta 0,28 mg/L. La dosificación de 3 mg/L da como resultado 0,64 mg/L de cloro libre residual, mientras que al aplicar 4 mg/L se registra el valor de 1,04 mg/L y finalmente empleando 5 mg/L de hipoclorito de calcio el resultado es de 1,20 mg/L.

Para la combinación de tres reactivos se observa que al aplicar la primera dosis de 1 mg/L de hipoclorito de calcio se obtiene un valor de cloro libre residual de 0,13 mg/L, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reporta 0,23 mg/L. La dosificación de 3 mg/L da como resultado 0,77 mg/L de cloro libre residual, mientras que al aplicar 4 mg/L se registra el valor de 1,15 mg/L y finalmente empleando 5 mg/L de hipoclorito de calcio el resultado es de 1,66 mg/L .

Para determinar las dosis de hipoclorito de calcio a emplear en el agua con coliformes se realizaron ensayos previos de demanda de cloro para conocer la misma y además los valores de cloro libre residual (CEPIS, 2002).

El comportamiento de cloro libre residual en función de las dosis de hipoclorito de calcio para las distintas combinaciones aplicadas a muestras de agua de turbiedad media 20 NTU se observan en la gráfica 4.20.

GRÁFICA 4.20 VARIACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (20 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

A medida que las dosis de hipoclorito de calcio aumentan, también lo hace el cloro libre residual. Inicialmente este reactivo se consumió en mayor proporción ya que debía satisfacer la demanda necesaria para remover impurezas y productos disueltos en el agua, debido a su poder oxidante (Pérez y Espigares, 1995) dejando un cloro libre residual que no se encontró dentro de los límites máximos permisibles. En este ensayo, al no considerarse aún la demanda de cloro que conlleve eliminar coliformes fecales, se escogieron las dosis de hipoclorito de calcio que dejaban valores de cloro libre residual más altos y cercanos a la norma, siendo estas 4 y 5 mg/L para las dos combinaciones.

4.2.3 TURBIEDAD ALTA: 70 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos de cloro libre residual al aplicar distintas dosis de hipoclorito de calcio, en conjunto con las dosis óptimas de sulfato de aluminio y polímero establecidas en los apartados 4.1.3.1 y 4.1.3.3 respectivamente, en una muestra de agua sintética de 10 NTU.

4.2.3.1 Ensayo con sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio

La tabla 4.12 muestra los valores de cloro libre residual que se obtienen después de aplicar a muestras de agua sintética diferentes combinaciones de reactivos las

cuales fueron: sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio; sulfato de aluminio más polímero e hipoclorito de calcio.

TABLA 4.12 VALORES DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (70 NTU)

SA = 30 mg/L P = 0,05 mg/L	HC+SA	HC+SA+P
DOSIS HC (mg/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)
1	0,05	0,03
2	0,11	0,10
3	0,65	0,47
4	1,03	0,92
5	1,63	1,47

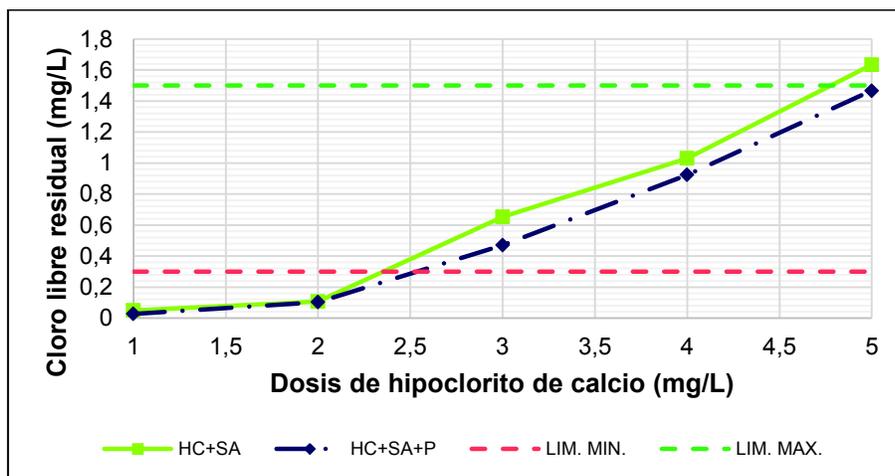
ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa para la combinación de sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio al aplicar la primera dosis de 1 mg/L de hipoclorito de calcio se obtiene un valor de cloro libre residual de 0,05 mg/L, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reporta 0,11 mg/L. La dosificación de 3 mg/L da como resultado 0,65 mg/L de cloro libre residual, mientras que al aplicar 4 mg/L se registra el valor de 1,03 mg/L y finalmente empleando 5 mg/L de hipoclorito de calcio el resultado es de 1,63 mg/L

Para la combinación de tres reactivos se observa que al aplicar la primera dosis de 1 mg/L de hipoclorito de calcio se obtiene un valor de cloro libre residual de 0,03 mg/L, para la segunda dosis que corresponde a 2 mg/L se reporta 0,10 mg/L. La dosificación de 3 mg/L da como resultado 0,47 mg/L de cloro libre residual, mientras que al aplicar 4 mg/L se registra el valor de 0,92 mg/L y finalmente empleando 5 mg/L de hipoclorito de calcio el resultado es de 1,47 mg/L.

El comportamiento de cloro libre residual en función de las dosis de hipoclorito de calcio para las diferentes combinaciones aplicadas a una muestra de agua de turbiedad alta 70 NTU se observan en la gráfica 4.21.

GRÁFICA 4.21 VARIACIÓN DE CLORO LIBRE RESIDUAL DE LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES PARA CADA COMBINACIÓN (70 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Los valores de cloro libre residual incrementan a medida que se dosifica mayor cantidad de hipoclorito de calcio. En este ensayo el cloro se consumió para satisfacer la demanda necesaria en la remoción de impurezas y productos disueltos en el agua, debido a su poder oxidante (Pérez y Espigares, 1995) sin tomar en cuenta aun la demanda que implicaba la presencia de coliformes fecales, es por esto que se eligieron las dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio para las dos combinaciones, ya que eran aquellas que dejaban el cloro libre residual más alto y cercano a lo establecido en la norma.

4.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES

4.3.1 TURBIEDAD BAJA: 10 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos para la remoción de turbiedad, color y coliformes fecales empleando las dosis óptimas de sulfato de aluminio (40 mg/L) y polímero (0,10 mg/L) en conjunto con las dosis de hipoclorito de calcio establecidas en el apartado 4.2.1

La tabla 4.13 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad, color y coliformes fecales a los que se llegó después de aplicar a una muestra de agua diferentes combinaciones de reactivos las cuales son: sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio y sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio. En función de estos valores se determinó la eficiencia de remoción de turbiedad y color, mientras que para coliformes fecales se verificó si su resultado se encuentra dentro de lo establecido por la normativa.

TABLA 4.13 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES PARA LAS DISTINTAS COMBINACIONES (10 NTU)

SA = 40 mg/L; P = 0,10 mg/L							
COMBINACIÓN	DOSIS HC (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES <1,1 NMP/100 mL
-	0	11,40	77,00	0,00	0,00	0,00	-
HC+SA	4	1,18	8,00	89,62	89,61	0,34	Si Cumple
	5	1,15	8,33	89,88	89,18	0,64	Si Cumple
HC+SA+P	4	0,91	6,00	92,02	92,21	0,41	Si Cumple
	5	0,97	11,67	91,46	84,85	0,49	Si Cumple

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 11,40 NTU y color de 77 Pt-Co. Cada combinación se aplicó con distintas dosis de hipoclorito de calcio manteniendo constante la dosis de sulfato de aluminio y polímero según sea el caso.

Para la primera combinación se dosifica en conjunto 40 mg/L de sulfato de aluminio con 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio. En el primer caso se obtiene una turbiedad de 1,18 NTU y color de 8 Pt-Co, lo que indica una eficiencia de remoción del 89,62 % y 89,61 %, respectivamente, mientras que para el segundo caso los resultados fueron 1,15 NTU y 8,33 Pt-Co con eficiencias de remoción de 89,88 % y 89,18%

Para la segunda combinación se dosifica en conjunto 40 mg/L de sulfato de aluminio y 0,10 mg/L de polímero con 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio. En el primer caso se obtiene una turbiedad de 0,91 NTU y color de 6 Pt-Co, lo que indica eficiencias de remoción del 92,02 % y 92,21%, respectivamente, mientras que para el segundo caso los resultados fueron 0,97 NTU y 11,67 Pt-Co con eficiencias de remoción de 91,46% y 84,85%.

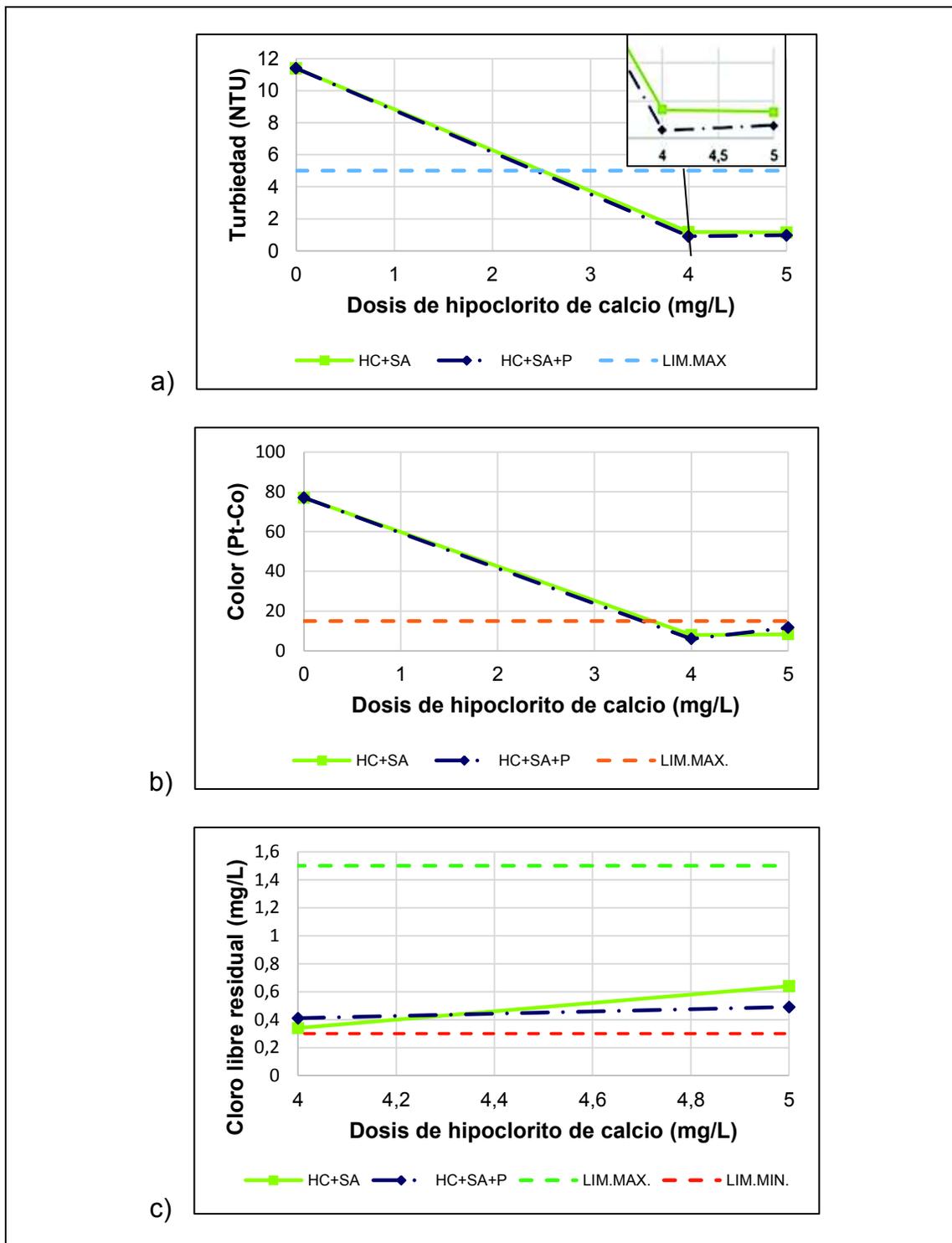
En cuanto al parámetro de coliformes fecales el agua sintética presentó inicialmente 65 NMP/100 mL (Anexo 3). Para la primera combinación, las dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio, presentaron un valor final de coliformes fecales menor a 1,1 NMP/100 mL, con resultados de cloro libre residual de 0,34 y 0,64 mg/L, respectivamente.

Para la segunda combinación, tanto la dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio, registraron un valor final de coliformes fecales menor a 1,1 NMP/100 mL, con resultados de cloro libre residual de 0,41 y 0,49 mg/L, respectivamente.

La mejor combinación de reactivos se eligió en base a la mayor remoción de turbiedad, color y coliformes fecales (Solís et al., 2012), tomando en cuenta que para el último parámetro mencionado las dosis de hipoclorito de calcio remuevan estos patógenos bajo los límites máximos permisibles y que además los valores de cloro libre residual se encuentren dentro de la normativa. En este caso la mejor combinación fue aquella que contenía sulfato de aluminio (40 mg/L), polímero (0,10 mg/L) más hipoclorito de calcio (4 mg/L).

El comportamiento de turbiedad, color y cloro libre residual en función de las diferentes combinaciones al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad baja 10 NTU se observan en la gráfica 4.22 (a, b y c).

GRÁFICA 4.22 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

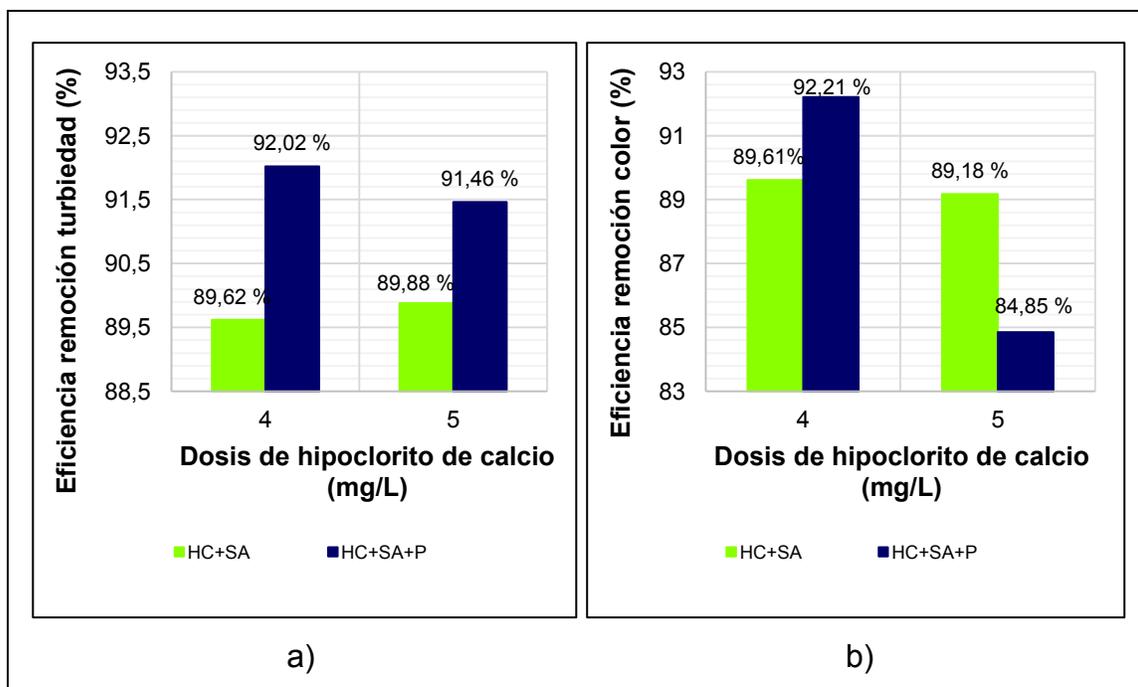
Se puede observar en la gráfica 4.22.a. y 4.22.b. que las distintas dosificaciones de ambas combinaciones reducen los niveles de turbiedad y color bajo los límites

máximos permisibles que establece la normativa (5 NTU y 15 Pt-Co respectivamente). En el caso de coliformes fecales la tabla 4.13 indica que igualmente las dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio para ambas combinaciones logran remover estos patógenos a un valor $<1,1$ NMP/100 mL dejando un cloro libre residual dentro de lo que estipula la normativa (0,3-1,5 mg/L) (INEN, 2006) como se observa en la gráfica 4.22.c.

Sin embargo, aunque cualquier combinación permite obtener agua apta para el consumo humano, los valores más bajos de turbiedad y color se consiguen con la mezcla que contiene sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio con una dosis de 4 mg/L (gráfica 4.1.a. y 4.1.b.), que a su vez deja una concentración de coliformes fecales bajo los límites máximos permisibles y un valor de cloro libre residual que garantiza la protección del agua de una futura contaminación (Souter et al., 2003).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.23 (a y b).

GRÁFICA 4.23 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (10 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se puede observar en la gráfica 4.23.a. y 4.23.b. los porcentajes de remoción de turbiedad y color, tanto para la combinación de dos reactivos como para la de tres reactivos son similares, sin embargo, la mezcla de tres componentes con dosis de 4 mg/L de hipoclorito de calcio fue la que presentó mayor porcentaje de remoción de los parámetros anteriormente mencionados, obteniéndose un 92,02 % para turbiedad y 92,21 % para color.

La combinación de los tres reactivos resultó como la mejor debido que al agregar sulfato de aluminio éste actúa como coagulante desestabilizando las partículas coloidales (Choque, Choque, Solano, y Ramos, 2018), el empleo de polímero permite que se formen cadenas que refuercen las uniones y aumenten el número de núcleos que integra los flocs (Arboleda, 2000) favoreciendo así un mejor proceso de coagulación-floculación que cuando no se añade éste, además el hipoclorito de calcio actúa como desinfectante para la remoción de los microorganismos patógenos presentes en la muestra de agua (Castro, 2004).

4.3.2 TURBIEDAD MEDIA: 20 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos para la remoción de turbiedad, color y coliformes fecales empleando las dosis óptimas de sulfato de aluminio (40 mg/L) y polímero (0,10 mg/L) en conjunto con las dosis de hipoclorito de calcio establecidas en el apartado 4.2.2

La tabla 4.14 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad, color y coliformes a los que se llega después de aplicar a una muestra de agua diferentes combinaciones de reactivos las cuales son: sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio y sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio. En función a estos valores se determinó la eficiencia de remoción de turbiedad y color, mientras que para coliformes fecales se verificó si su resultado se encuentra dentro de lo establecido por la normativa.

TABLA 4.14 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES PARA LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU)

SA = 40 mg/L; P = 0,10 mg/L							
COMBINACIÓN	DOSIS HC (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES <1,1 NMP/100 mL
-	0	21,90	158,00	0,00	0,00	-	-
HC+SA	4	1,37	10,33	93,73	93,46	1,55	Si Cumple
	5	1,21	6,33	94,46	95,99	1,84	Si Cumple
HC+SA+P	4	0,99	3,00	95,48	98,10	1,25	Si Cumple
	5	1,14	3,33	94,78	97,89	1,82	Si Cumple

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 21,90 NTU y color de 158 Pt-Co. Cada combinación se aplicó con distintas dosis de hipoclorito de calcio manteniendo constante la dosis de sulfato de aluminio y polímero según sea el caso.

Para la primera combinación se dosifica en conjunto 40 mg/L de sulfato de aluminio con 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio. En el primer caso se obtiene una turbiedad de 1,37 NTU y color de 10,33 Pt-Co, lo que indica eficiencias de remoción del 93,73 % y 93,46 %, respectivamente, mientras que para el segundo caso los resultados fueron 1,21 NTU y 6,33 Pt-Co con eficiencias de remoción de 94,46 % y 95,99%

Para la segunda combinación se dosifica en conjunto 40 mg/L de sulfato de aluminio y 0,10 mg/L de polímero con 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio. En el primer caso se obtiene una turbiedad de 0,99 NTU y color de 3 Pt-Co, lo que indica eficiencias de remoción del 95,48 % y 98,10 %, mientras que para el segundo caso los resultados fueron 1,14 NTU y 3,33 Pt-Co con eficiencias de remoción de 94,78 % y 97,89%.

En cuanto al parámetro de coliformes fecales el agua sintética presentó inicialmente 65 NMP/100 mL (Anexo 3). Para la primera combinación, las dosis de

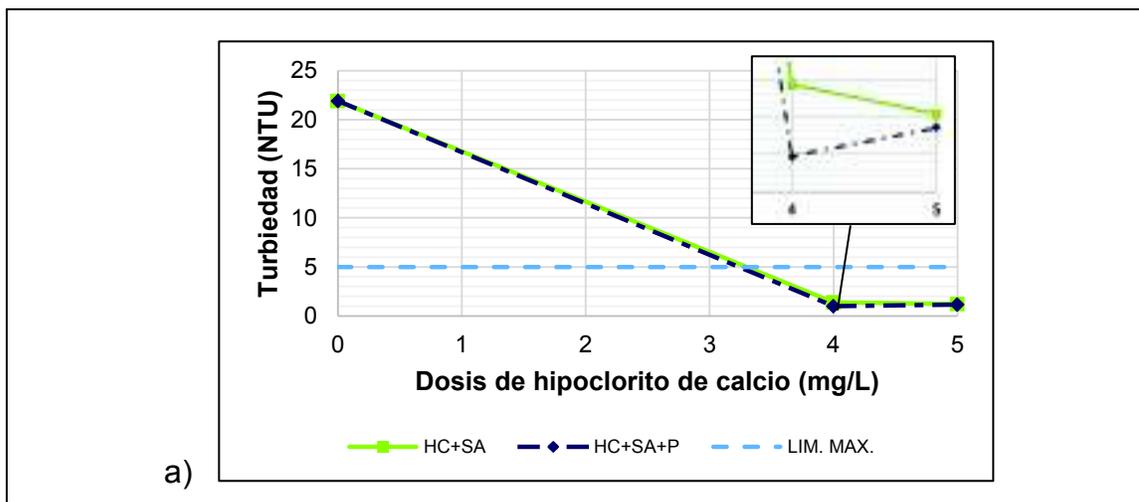
4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio, presentaron un valor final de coliformes fecales menor a 1,1 NMP/100 mL, con resultados de cloro libre residual de 1,55 y 1,84 mg/L, respectivamente.

Para la segunda combinación las dosis de 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio, presentaron un valor de coliformes fecales menor a 1,1 NMP/100 mL, con resultados de cloro libre residual de 1,25 y 1,82 mg/L respectivamente.

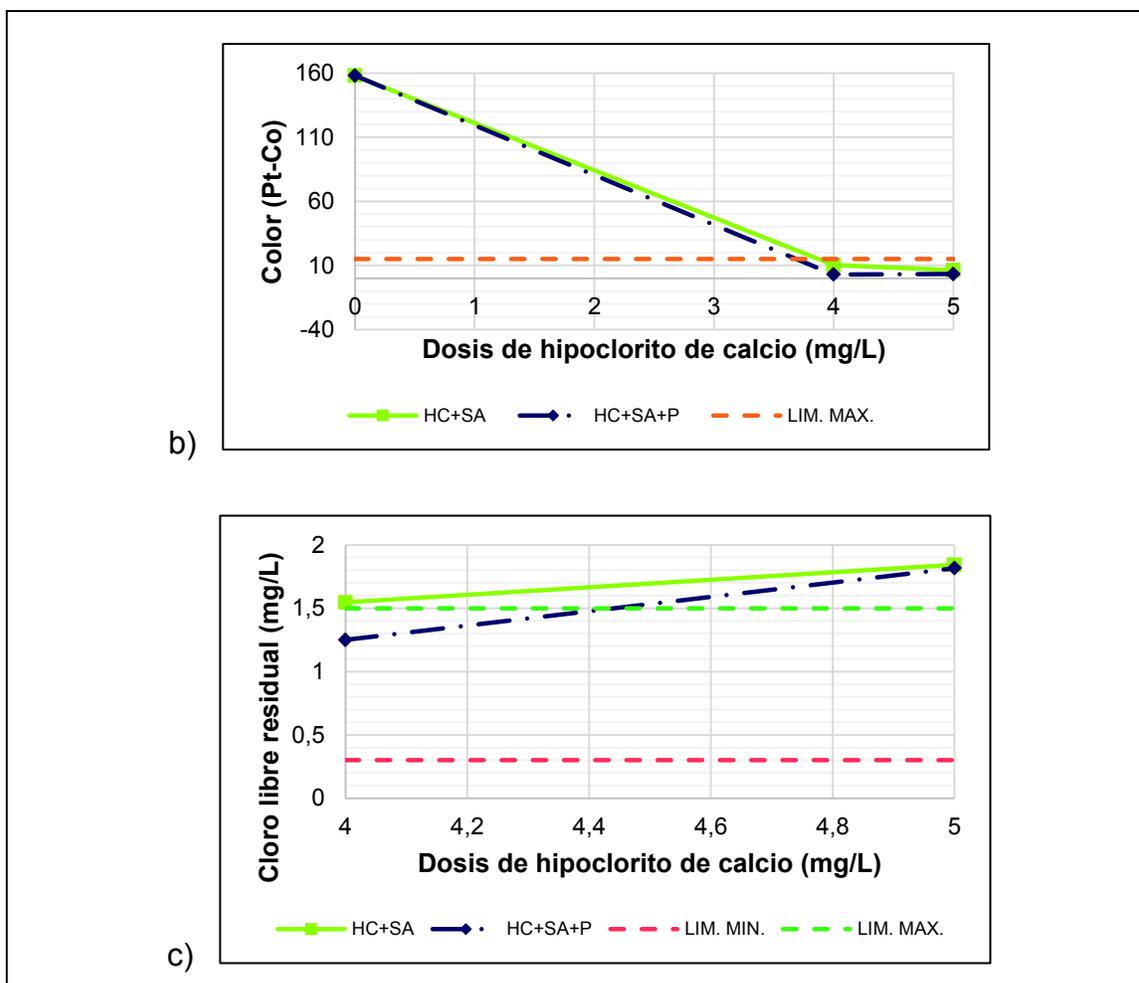
La mejor combinación de reactivos se eligió en base a la mayor remoción de turbiedad, color y coliformes fecales (Solís et al., 2012), tomando en cuenta que para el último parámetro mencionado las dosis de hipoclorito de calcio remuevan estos patógenos bajo los límites máximos permisibles y que además los valores de cloro libre residual se encuentren dentro de la normativa. En este caso la mejor combinación fue aquella que contenía sulfato de aluminio (40 mg/L), polímero (0,10 mg/L) más hipoclorito de calcio (4 mg/L).

El comportamiento de turbiedad, color y cloro libre residual en función de las diferentes combinaciones al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad media 20 NTU se observan en la gráfica 4.24 (a, b y c).

GRÁFICA 4.24 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU)



GRÁFICA 4.24 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU) (CONTINUACIÓN)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

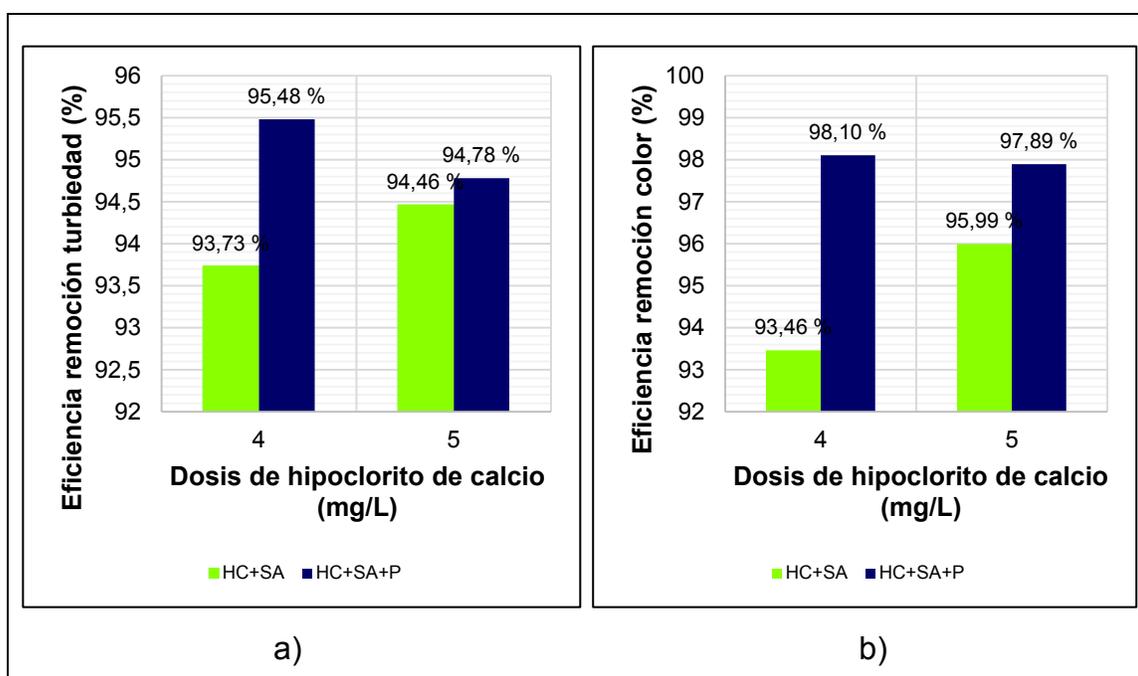
Se puede observar en la gráfica 4.24.a. y 4.24.b. que las distintas dosificaciones de ambas combinaciones reducen los niveles de turbiedad y color bajo los límites máximos permisibles que establece la normativa (5 NTU y 15 Pt-Co respectivamente). En el caso de coliformes fecales la tabla 4.14 indica igualmente que las dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio para ambas combinaciones logran remover estos patógenos a un valor <1,1 NMP/100 mL, pese a ello no todas dejan un cloro libre residual dentro de lo que estipula la normativa (0,3-1,5 mg/L) (INEN, 2006) como se observa en la gráfica 4.24.c.

En base a lo anteriormente expuesto, la combinación que permite obtener agua apta para el consumo humano, en la cual los valores de turbiedad, color,

coliformes y cloro libre residual se encuentren dentro de lo que establece la normativa es la mezcla que contiene sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio con una dosis de 4 mg/L, que a su vez también permite conseguir los valores más bajos de turbiedad y color (gráfica 4.24.a y 4.24.b).

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.25 (a y b).

GRÁFICA 4.25 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (20 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se puede observar en la gráfica 4.25.a. y 4.25.b. los porcentajes de remoción de turbiedad y color, tanto para la combinación de dos reactivos como para la de tres reactivos son superiores al 90 % y cercanos entre sí, sin embargo, la mezcla de tres componentes con dosis de 4 mg/L de hipoclorito de calcio fue la que presentó mayor porcentaje de remoción de los parámetros anteriormente mencionados, obteniéndose un 95,48 % para turbiedad y 98,10 % para color.

La combinación de los tres reactivos resultó como la mejor debido que al agregar sulfato de aluminio este actúa como coagulante desestabilizando las partículas

coloidales (Choque et al., 2018), el empleo de polímero permite que se formen cadenas que refuercen las uniones y aumenten el número de núcleos que integra los flocs (Arboleda, 2000) favoreciendo así un mejor proceso de coagulación-floculación que cuando no se añade este, además el hipoclorito de calcio actúa como desinfectante para la remoción de los microorganismos patógenos presentes en la muestra de agua (Castro, 2004).

4.3.3 TURBIEDAD ALTA: 70 NTU

A continuación se discuten los resultados promedio obtenidos para la remoción de turbiedad, color y coliformes fecales empleando las dosis óptimas de sulfato de aluminio (30 mg/L) y polímero (0,05 mg/L) en conjunto con las dosis de hipoclorito de calcio establecidas en el apartado 4.2.3

La tabla 4.15 muestra los valores finales en cuanto a turbiedad, color y coliformes fecales a los que se llega después de aplicar a una muestra de agua diferentes combinaciones de reactivos las cuales son: sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio y sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio. En función a estos valores se determinó la eficiencia de remoción de turbiedad y color, mientras que para coliformes fecales se verificó si su resultado se encuentra dentro de lo establecido por la normativa.

TABLA 4.15 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR Y COLIFORMES FECALES PARA LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU)

SA = 30 mg/L; P = 0,05 mg/L							
COMBINACIÓN	DOSIS HC (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES <1,1 NMP/100 mL
-	0	70,10	420,00	0,00	0,00	-	-
HC+SA	4	1,20	10,00	98,29	97,62	0,98	No Cumple
	5	1,38	14,33	98,04	96,59	1,44	No Cumple
HC+SA+P	4	0,84	7,00	98,81	98,33	0,86	No Cumple
	5	1,08	9,67	98,45	97,70	1,36	Si Cumple

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa el agua sintética presenta inicialmente turbiedad de 70,10 NTU y color de 420 Pt-Co. Cada combinación se aplicó con distintas dosis de hipoclorito de calcio manteniendo constante la dosis de sulfato de aluminio y polímero según sea el caso.

Para la primera combinación se dosifica en conjunto 30 mg/L de sulfato de aluminio con 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio. En el primer caso se obtiene una turbiedad de 1,20 NTU y color de 10 Pt-Co, lo que indica eficiencias de remoción del 98,29 % y 97,62 %, respectivamente, mientras que para el segundo caso los resultados fueron 1,38 NTU y 14,33 Pt-Co con eficiencias de remoción de 98,04 % y 96,59 %

Para la segunda combinación se dosifica en conjunto 30 mg/L de sulfato de aluminio y 0,05 mg/L de polímero con 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio. En el primer caso se obtiene una turbiedad de 0,84 NTU y color de 7 Pt-Co, lo que indica eficiencias de remoción del 98,81 % y 98,33%, mientras que para el segundo caso los resultados fueron 1,08 NTU y 9,67 Pt-Co con eficiencias de remoción de 98,45% y 97,70%

En cuanto al parámetro de coliformes fecales el agua sintética presentó inicialmente 180 NMP/100 mL (Anexo 3). Para la primera combinación, las dosis de 4 y 5 mg/L de hipoclorito de calcio, presentaron un valor final de coliformes fecales mayor a 1,1 NMP/100 mL, con resultados de cloro libre residual de 0,98 y 1,44 mg/L, respectivamente.

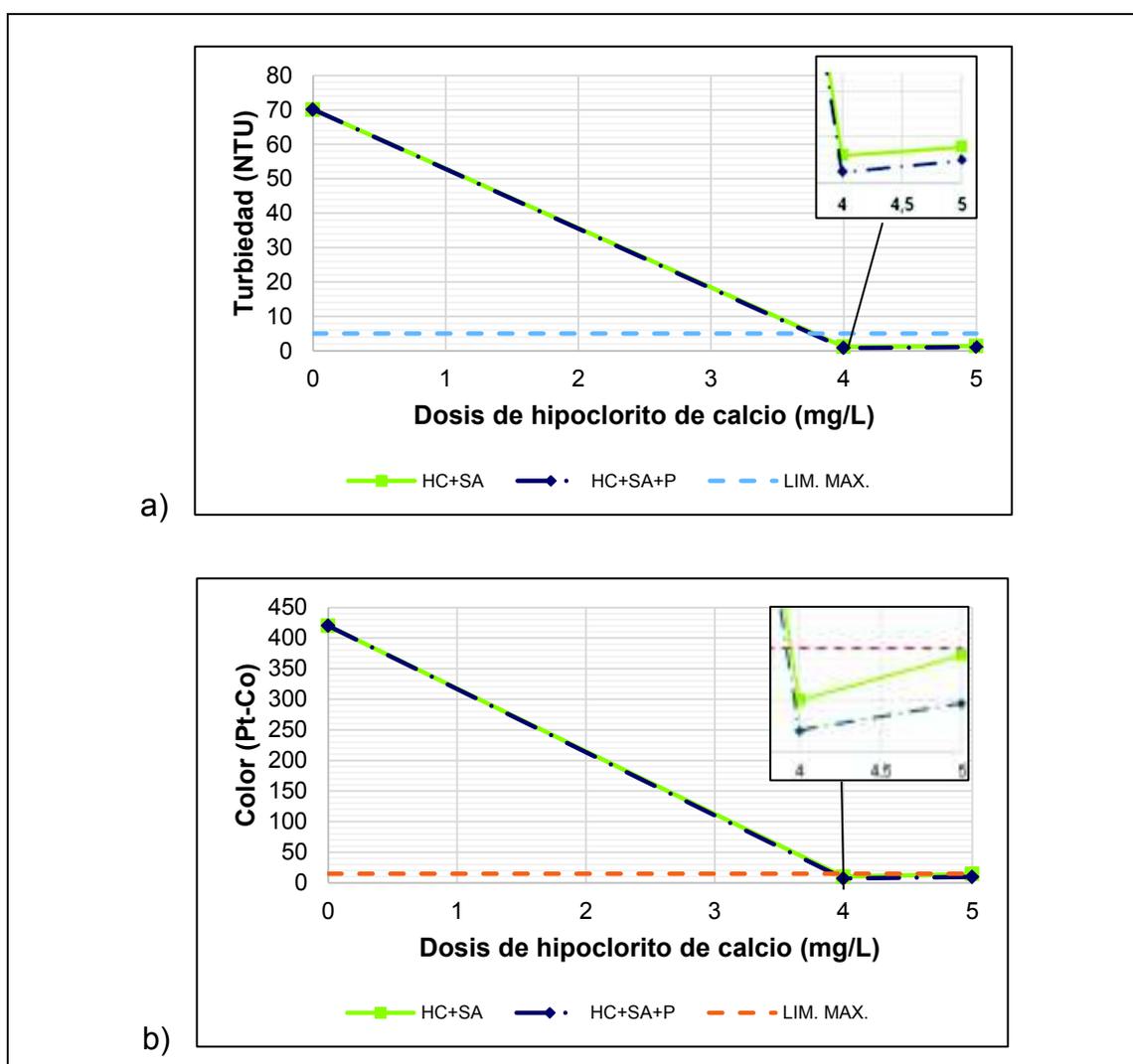
Para la segunda combinación las dosis de 4 o 5 mg/L de hipoclorito de calcio, presentaron en el primer caso un valor final de coliformes fecales mayor a 1,1 NMP/100 mL, con un cloro libre residual de 0,86 mg/L, mientras que en el segundo caso el resultado final de coliformes fecales es menor a 1,1 NMP/100 mL, con un cloro libre residual de 1,36 mg/L.

La mejor combinación de reactivos se eligió en base a que los valores de turbiedad, color y coliformes fecales se encuentren bajo los límites máximos

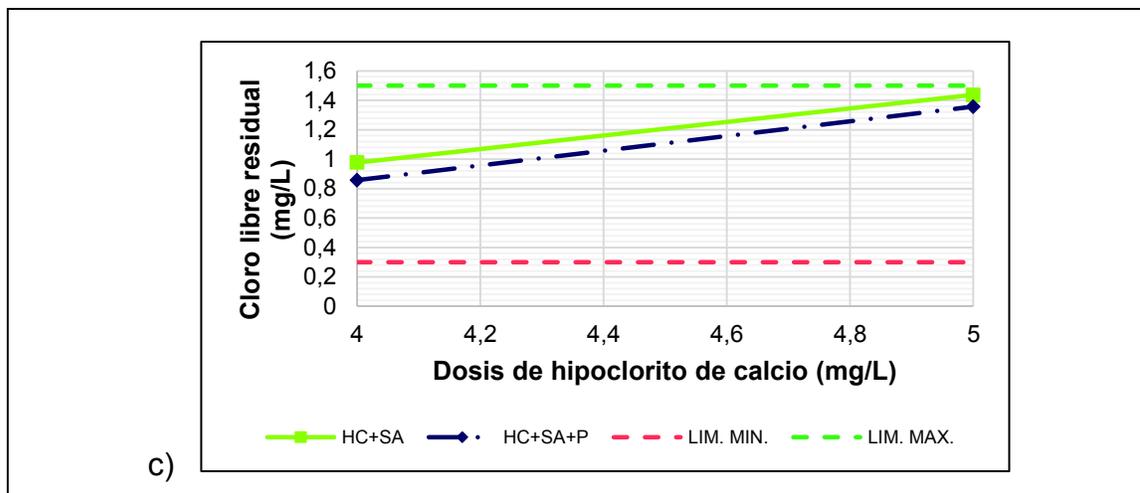
permisibles. En este caso la mejor combinación fue aquella que contenía sulfato de aluminio (30 mg/L), polímero (0,05 mg/L) más hipoclorito de calcio (5 mg/L).

El comportamiento de turbiedad, color y cloro libre residual en función de las diferentes combinaciones al aplicarlas a una muestra de agua de turbiedad alta 70 NTU se observan en la gráfica 4.26. (a, b y c).

GRÁFICA 4.26 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU)



GRÁFICA 4.26 VARIACIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y CLORO LIBRE RESIDUAL EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU) (CONTINUACIÓN)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se puede observar en la gráfica 4.26.a. y 4.26.b. que las distintas dosificaciones de ambas combinaciones reducen los niveles de turbiedad y color bajo los límites máximos permisibles que establece la normativa (5 NTU y 15 Pt-Co respectivamente). En el caso de coliformes fecales la tabla 4.15 indica que la combinación que contiene tres reactivos con una dosis de 5 mg/L de hipoclorito de calcio es la única que logra remover estos patógenos a un valor $<1,1$ NMP/100 mL, a pesar de que todas las dosificaciones dejen un cloro libre residual dentro de lo que estipula la normativa (0,3-1,5 mg/L) (INEN, 2006) como se observa en la gráfica 4.26.c.

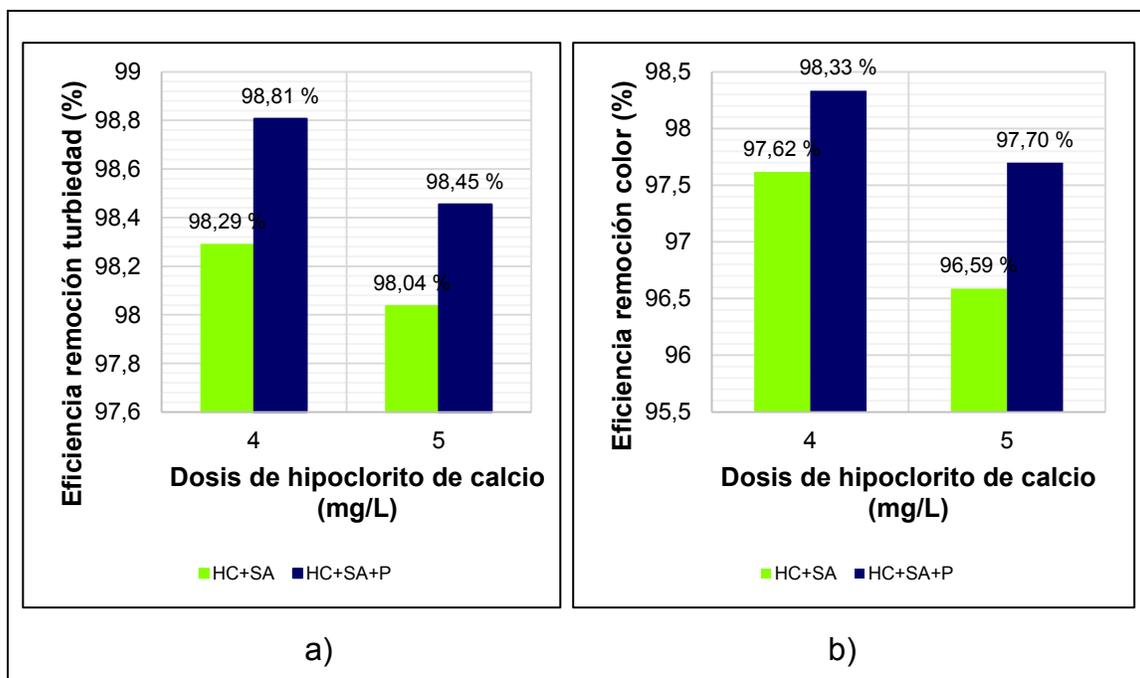
En aguas con altas turbiedades los sólidos suspendidos pueden brindar protección a los microorganismos ya que éstos se adsorben en la superficie de las partículas, mientras mayor es el tamaño y número de las partículas presentes en el agua mayor es el efecto de protección (Pérez y Espigares, 1995); por esta razón es que se necesitó una cantidad mayor de hipoclorito de calcio (5 mg/L), en comparación con la turbiedad de 10 y 20 NTU (4 mg/L), para que este reactivo logre remover coliformes fecales bajo los límites máximos permisibles. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en la investigación realizada por Crump et

al. (2004) en donde se establece que para aguas de alta turbiedad, las dosis de reactivo que logran eliminar los coliformes fecales bajo los límites que establece la WHO, son las más altas.

Por lo anteriormente expuesto se escogió como la mejor combinación aquella que contiene sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio con una dosis de 5 mg/L; si bien es cierto, aunque esta no permite obtener los valores más bajos de turbiedad y color, éstos si se encuentran dentro de lo que establece la norma y lo más importante, la concentración de coliformes fecales es adecuada para que el agua tratada pueda ser consumida por el ser humano sin que ésta le ocasione afectaciones a su salud.

El porcentaje de remoción de turbiedad y color para las diferentes dosificaciones se muestran en la gráfica 4.27 (a y b)

GRÁFICA 4.27 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD Y COLOR EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS COMBINACIONES (70 NTU)



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se puede observar en la gráfica 4.27.a. y 4.27.b. los porcentajes de remoción de turbiedad y color, tanto para la combinación de dos reactivos como

para la de tres reactivos son superiores al 90 % y cercanos entre sí , sin embargo, la mezcla de tres componentes con dosis de 4 mg/L de hipoclorito de calcio fue la que presentó mayor porcentaje de remoción de los parámetros anteriormente mencionados, obteniéndose un 98,81 % para turbiedad y 98,33 % para color, pero como ya se explicó anteriormente para esta turbiedad se escogió como la mejor combinación aquella que contiene tres reactivos con dosis de 5 mg/L de hipoclorito de calcio la cual presenta porcentajes de remoción de turbiedad y color de 98,45 % y 97,70 %, respectivamente, los cuales igualmente son altos.

4.4 VALIDACIÓN EN AGUA CRUDA

Una vez realizados los ensayos en agua sintética con coliformes y habiéndose obtenido el kit potabilizador para cada una de las turbiedades, se realizó la validación en agua cruda con diferentes turbiedades.

La tabla 4.16 muestra los valores finales promedio en cuanto a turbiedad, color, coliformes fecales y cloro libre residual a los que se llegó después de aplicar a distintas muestras de agua cruda de diferentes turbiedades los kits básicos de potabilización. En función a estos valores se determinó la eficiencia de remoción de turbiedad y color, mientras que para coliformes fecales y cloro libre residual se verificó si sus resultados se encuentran dentro de lo establecido por la normativa.

TABLA 4.16 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR, COLIFORMES FECALES Y CLORO LIBRE RESIDUAL PARA LOS DISTINTOS KITS

		AGUA CRUDA (20 L)		
		Turbiedad baja*	Turbiedad media**	Turbiedad alta***
TURBIEDAD (NTU)	To	8,08	19,69	71,57
	Tf	0,62	0,93	0,94
	% Remoción	92,28	95,28	98,69
	LMP	5		
COLOR (Pt-Co)	Co	50,67	139,33	413,67
	Cf	4	4,33	6,33
	% Remoción	92,11	96,89	98,47
	LMP	15		

TABLA 4.16 VALORES DE TURBIEDAD, COLOR, COLIFORMES FECALES Y CLORO LIBRE RESIDUAL PARA LOS DISTINTOS KITS (CONTINUACIÓN)

		AGUA CRUDA (20 L)		
		Turbiedad baja*	Turbiedad media**	Turbiedad alta***
COLIFORMES FECALES (NMP/100 mL)	CFo	55	1575	3500
	CFf	<1,1	<1,1	<1,1
	LMP	<1,1		
CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	CLR	1,41	1,08	0,97
	LMP	0,3-1,5		

*Kit para turbiedad baja contiene SA = 40 mg/L; P = 0,10 mg/L; HC = 4 mg/L

** Kit para turbiedad media contiene SA = 40 mg/L; P = 0,10 mg/L; HC = 4 mg/L

*** Kit para turbiedad alta contiene SA = 30 mg/L; P = 0,05 mg/L; HC = 5 mg/L

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se observa, para el agua cruda de turbiedad baja (8,08 NTU; 50,67 Pt-Co y 55 NMP/100 mL) al aplicar el kit básico de potabilización los resultados de turbiedad y color fueron 0,62 NTU y 4 Pt-Co con porcentajes de remoción de 92,28 % y 92,11%, respectivamente, en cuanto a coliformes fecales el resultado fue < 1,1 NMP/100 mL mientras que el análisis de cloro libre residual registró un valor de 1,41 mg/L.

Para el agua cruda de turbiedad media (19,69 NTU; 139,33 Pt-Co y 1575 NMP/100 mL) al aplicar el kit básico de potabilización los resultados de turbiedad y color fueron 0,93 NTU y 4,33 Pt-Co con porcentajes de remoción de 95,28 % y 96,89 %, respectivamente, en cuanto a coliformes fecales el resultados fue < 1,1 NMP/100 mL mientras que el análisis de cloro libre residual registró un valor de 1,08 mg/L.

Finalmente, en el agua cruda de turbiedad alta (71,57 NTU; 413,67 Pt-Co y 3500 NMP/100 mL) al aplicar el kit básico de potabilización los resultados de turbiedad y color fueron 0,94 NTU y 6,33 Pt-Co con porcentajes de remoción de 98,69 % y 98,47% respectivamente, en cuanto a coliformes fecales el resultados fue < 1,1 NMP/100 mL mientras que el análisis de cloro libre residual registró un valor de 0,97 mg/L.

En lo que respecta al abastecimiento de agua en zonas rurales, la OMS recomienda que en estos lugares, debido a factores como accesibilidad y disponibilidad de recursos económicos, humanos y materiales, los parámetros que se analizan y en base a los cuales se establece si el agua es apta o no para ser consumida por la población son: turbiedad, cloro libre residual y coliformes fecales (OPS y COSUDE, 2007), parámetros que como se puede observar en la tabla 4.16 se encuentran dentro de lo establecido por la normativa.

Este estudio se asemeja al realizado por Islam et al. (2014), en el cual se trata agua cruda de zonas rurales con una mezcla de alumbre de potasio, cal e hipoclorito de calcio o con cada reactivo individualmente y concluye que la mezcla de los tres compuestos es aquella que permite obtener agua apta para el consumo humano con la mejor calidad en base a los lineamientos establecidos por la WHO para turbiedad, coliformes fecales y cloro libre residual, al igual que la presente investigación, donde los mejores resultados se los obtuvieron con la mezcla de los tres reactivos empleados: sulfato de aluminio, polímero e hipoclorito de calcio.

El kit básico para potabilizar agua en zonas rurales propuesto en este estudio actúa combinando los procesos de coagulación - floculación – sedimentación - desinfección, permitiendo de esta manera obtener agua apta para consumo humano. Souter et al. (2003) analizan en su investigación un tratamiento que combina los procesos de floculación - sedimentación - desinfección y que está compuesto por un coagulante, un agente alcalino, un ayudante de floculación y un desinfectante a base de cloro, obteniendo igualmente resultados favorables en relación a las directrices de la OMS para agua potable

El tratamiento propuesto en este trabajo puede sustituir a otro tipo de métodos que suelen usarse para tratar agua en zonas rurales como son la cloración, desinfección solar (SODIS) y desinfección ultravioleta en los cuales los niveles altos de turbiedad disminuyen su efectividad (CAWST, 2011). Estas limitaciones pueden ser superadas mediante el empleo de un tratamiento que combine procesos de coagulación-floculación-sedimentación-desinfección como es el caso del kit básico de potabilización, ya que presenta alta remoción para aguas turbias

en lo que respecta a patógenos, turbiedad y además deja el agua con una concentración de cloro libre residual que ayuda a prevenir una posible contaminación futura (Souter et al., 2003).

4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CONTENIDO DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN

El análisis económico del kit básico de potabilización se realizó tomando en cuenta los precios usuales que tienen los reactivos empleados (Tabla 3.7). La tabla 4.17 muestra el costo que tendría el kit básico para potabilizar agua en zonas rurales para las diferentes turbiedades, en función únicamente a la cantidad que se emplea de cada reactivo, para tratar un volumen de agua de 20 litros, cantidad que se usó en la validación.

TABLA 4.17 COSTO DE LOS REACTIVOS EMPLEADOS EN EL KIT POTABILIZADOR PARA TRATAR 20 LITROS DE AGUA

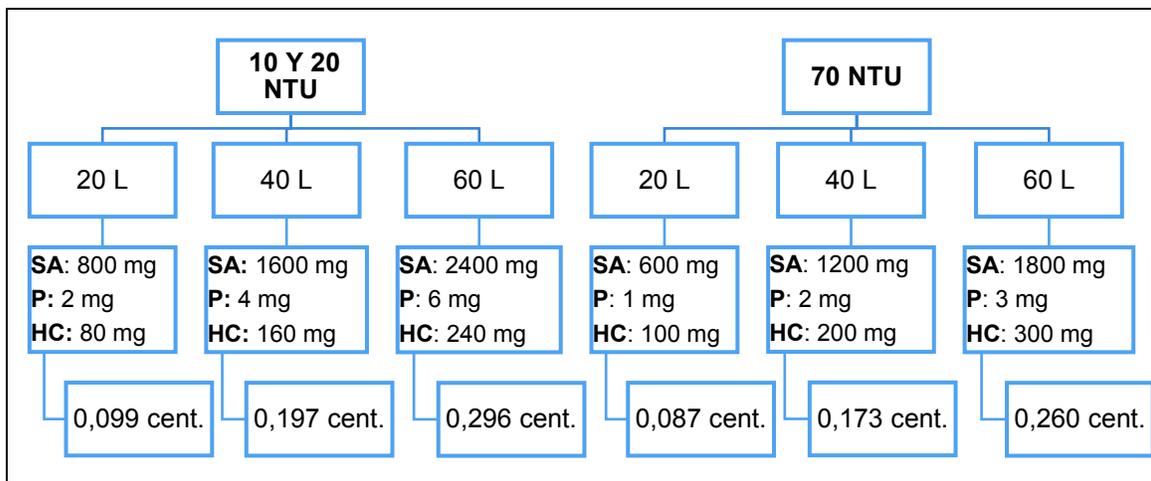
TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA (NTU)	REACTIVOS	CONSUMO (mg)	COSTO (\$)	COSTO (cent.)
10 20	SA	800	0,00072	0,072
	P	2	0,00001	0,001
	HC	80	0,000256	0,0256
	TOTAL	882	0,000986	0,099
70	SA	600	0,00054	0,054
	P	1	0,000005	0,0005
	HC	100	0,00032	0,032
	TOTAL	701	0,000865	0,087

ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Como se puede observar los precios resultantes del kit para tratar agua de turbiedad baja, media y alta son muy similares y sumamente bajos, determinándose así que para turbiedades bajas (10 NTU) y medias (20 NTU) el costo estimado fue de 0,099 cent. con un consumo de reactivos de 882 mg, mientras que para el agua de turbiedad alta (70 NTU) el kit potabilizador tendría un valor de 0,087 cent. conteniendo un total de 701 mg de reactivos.

Adicionalmente, con la información obtenida durante este trabajo, se estimaron para volúmenes de 40 y 60 litros, la cantidad de reactivos que contendría cada kit y sus respectivos costos, para turbiedad baja (10 NTU), media (20 NTU) y alta (70 NTU). En la figura 4.1 se resume lo mencionado anteriormente.

FIGURA 4.1 CONTENIDO DE REACTIVOS Y COSTO DE CADA KIT PARA TRATAR 20, 40 Y 60 LITROS DE AGUA



ELABORACIÓN: Chamorro, T. y Gómez, A.

Se puede considerar al kit básico de potabilización propuesto en esta investigación como un tratamiento en el punto de uso o a nivel domiciliario, caracterizándose por ser rápido y económico (OMS, 2018) ya que permitió obtener agua apta para el consumo humano en un tiempo que no sobrepasó una hora y además a un costo muy bajo, cualidades que también lo hacen muy útil en casos de emergencia.

Estudios realizados para otras propuestas de tratamiento a nivel domiciliario han demostrado que las mismas son generalmente bastante económicas. El purificador de agua de Procter y Gamble (PyG) que contiene 4 g de reactivos los cuales son sulfato férrico (1,3-1,6 g), carbonato de sodio (0,8-1,2 g), arcilla (1,2-1,5 g), poliacrilamida (0,012-0,048 g), hipoclorito de calcio (0,012-0,08 g) y permanganato de potasio (0-0,006 g) puede tratar 10 L de agua a un costo de 5 cent. (CAWST, 2011). Igualmente Islam et al. (2014) propone un tratamiento en el que emplea 2,1 g de alumbre de potasio, 0,73 g de cal y 0,49 g de hipoclorito de

calcio resultando en una mezcla de reactivos de aproximadamente 3,32 g que puede tratar 15 L de agua a un costo de 0,5 cent.

En base a lo anteriormente expuesto, al comparar el precio del kit básico de potabilización con otros tratamientos similares, este resulta igual de económico, con la diferencia de que permite tratar un volumen mayor de agua.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al emplear únicamente sulfato de aluminio, las dosis óptimas de este reactivo fueron: 40 mg/L para 10 NTU con eficiencias de remoción de turbiedad y color de 92,88 % y 99,63 % respectivamente; para 20 NTU la dosis resulto 40 mg/L con porcentajes de remoción de 94,70 % para turbiedad y 97,66% para color, mientras que para 70 NTU la dosis óptima fue de 30 mg/L con eficiencias de remoción de 99,16 % y 98,59% para turbiedad y color respectivamente.
- En los ensayos en los que se aplicó únicamente polímero como coagulante primario se evidenció que los valores de turbiedad y color disminuyeron, más no lograron cumplir con los límites máximos permisibles estipulados dentro de la normativa, estos corresponden a 5 NTU y 15 Pt-Co para turbiedad y color respectivamente.
- Cuando el sulfato de aluminio se aplicó junto con el polímero, la mejor dosificación fue aquella que contenía la dosis óptima de sulfato de aluminio, específica de cada turbiedad, junto con la dosis óptima de polímero que en el caso de 10 NTU fue 0,10 mg/L con eficiencias de remoción de turbiedad y color de 96,13 %y 93,33 % respectivamente; 0,10 mg/L para 20 NTU con porcentajes de remoción de 97,06 % y 98,11% y finalmente 0,05 mg/L para 70 NTU con eficiencias de remoción de 99,06 % para turbiedad y 99,01% para color.
- Las dosis óptimas de hipoclorito de calcio fueron: 4 mg/L para turbiedad de 10 y 20 NTU con un valor de cloro libre residual de 0,41 mg/l y 1,25 mg/L, respectivamente, mientras que para turbiedad alta de 70 NTU resultó de 5 mg/L con un valor de cloro libre residual de 1,36 mg/L. Todas estas dosis presentaron una remoción de coliformes menor a 1,1 NMP/100mL.
- Se determinó que la mejor combinación para turbiedad baja, media y alta fue aquella que contenía la mezcla de los tres reactivos: sulfato de

aluminio, polímero más hipoclorito de calcio puesto que presentó los mejores resultados en cuanto a remoción de turbiedad, color y coliformes fecales en comparación con la combinación que tan solo contenía sulfato de aluminio más hipoclorito de calcio.

- Para turbiedad de 10 y 20 NTU el kit básico de potabilización contenía sulfato de aluminio, polímero más hipoclorito de calcio en dosis de 40; 0,10 y 4 mg/L, respectivamente, mientras que para turbiedad de 70 NTU las dosis fueron 30; 0,05 y 5 mg/L, respectivamente. Su aplicación a 20 litros de agua cruda permitió obtener eficiencias de remoción de turbiedad y color de: 92,28% y 92,11%, respectivamente, para agua de 10 NTU; 95,28 % y 96,89 %, respectivamente, para agua de 20 NTU y 98,69 % y 98,47 %, respectivamente, para agua de 70 NTU. En cuanto al parámetro de coliformes fecales el kit dejó un valor menor a 1,1 NMP/100 mL para cada turbiedad.
- El kit básico de potabilización resulta un tratamiento fácil de emplear, rápido y accesible para zonas rurales debido a su bajo costo, ya que puede tratar 20 litros de agua a 0,099 cent. para turbiedades de 10 y 20 NTU y 0,087 cent. para turbiedad de 70 NTU, además no se requiere de equipamiento ni personal especializado para emplearlo y poder obtener agua apta para el consumo humano.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda probar distintos tiempos y revoluciones, a los empleados en esta investigación durante la ejecución del ensayo de prueba de jarras, para poder identificar si esta variación influye en la eficiencia de los reactivos empleados.
- Es recomendable realizar ensayos en los cuales sea posible determinar la eficiencia del kit de potabilización después de un cierto periodo de tiempo a partir de su fecha de elaboración, esto con la finalidad de poder determinar una fecha de caducidad del mismo.
- Se sugiere probar la validez del kit básico de potabilización en agua cruda de diferentes regiones, para identificar si la variación de las condiciones

ambientales así como las del cuerpo de agua influyen en la eficiencia del mismo.

- Se sugiere aplicar el kit básico de potabilización a volúmenes de agua de 40 y 60 litros, para evaluar el comportamiento del mismo, empleando las dosis óptimas estimadas en el presente trabajo.
- Proponer un kit básico de potabilización empleando diferentes reactivos, a los utilizados en este estudio, que suelen usarse en los proceso de potabilización de agua, con la finalidad de determinar si su eficiencia y costo se asemeja a las del kit propuesto en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A., y Martínez, E. (2010). *AGUA. Un derecho humano fundamental*. (Nadesha Montalvo Rueda, Ed.). (1ra ed.). Quito: Abya-Yala. Recuperado de www.abayala.org
- Agudelo, R. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 23(1), 12.
- Aguilar, A. (2010). *CALIDAD DEL AGUA - Un enfoque multidisciplinario*. (Universidad Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Económicas, Ed.). (1ra ed.). México. Recuperado de <http://ru.iiec.unam.mx/65/1/CalidadAguaimpr.pdf>
- Aguirre, R. (2015). Análisis espectral del Lago de Guadalupe mediante imágenes de satélite y datos in situ. *Investigaciones Geográficas-Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, (86), 15–24.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de Agua-Coagulación y Floculación*. Lima. doi:org/10.1016/j.aca.2011.08.016
- APHA, AWWA, y WPCF. (1989). *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* (3ra ed.). Bogotá: McGraw-Hill Interamericana . Recuperado de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/teoria_coagulacion_agua.pdf
- Arcos, M., Ávila, S., Estupiñan, S., y Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación En Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69–79.
- Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento. (1984). *MANUAL DE LA CLORACIÓN*. Madrid. Recuperado de

<https://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/AEAS.Manual.de.la.Cloracion.pdf>

Banús, M., y Bertrán, C. (2010). H₂O Elixir de vida. *Potabilización Del Agua*, 15–17.

Barrenechea, A. (2004). Coagulación. En *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I* (pp. 153–224). Lima: CEPIS/OPS.

Barrenechea, A., y Vargas, L. (2004). Desinfección. En *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo II* (pp. 155–214). Lima: CEPIS/OPS.

Barrios, C., Torres, R., Lampoglia, T., y Agüero, R. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. (CEPIS/OPS, Ed.). Asociación Servicios Educativos Rurales-SER. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/0gral/078_guia_alcaldes_SB/Guia_alcaldes_2009.pdf

Benavides, S. (2017). *Análisis de la eficiencia de remoción de turbiedad de agua cruda con el uso únicamente de polímeros* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19009/1/CD-8406.pdf>

Bonilla, M. (2015). Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 “Valsequillo” para riego agrícola. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 2(4), 1–29.

Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., y Velázquez, O. (2009). Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. *Universidad Nacional Autónoma de México.*, 1–8.

Camargo, M., y Cruz, L. (1999). Remoción de Sustancias Húmicas por Coagulación con Alumbre. *Revista Ingeniería e Investigación*, 44, 73–79.

- Casero, D. (2008). Potabilización del agua. *Abastecimientos y Saneamientos Urbanos. Escuela de negocios*, 144.
- Castro, E. (2004). *Principios de Control Microbiológico con Oxidantes*. Recuperado de <https://www.micof.es/bd/archivos/archivo1956.pdf>
- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST). (2011). *Introducción al tratamiento del agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro*. Calgary. Recuperado de https://www.paho.org/par/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=contaminacion&alias=502-introduccion-al-tratamiento-del-agua-a-nivel-domiciliario&Itemid=253
- CEPIS. (1975). *Polímeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Floculación*. Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd26/004200.pdf>
- CEPIS. (2002). Tratamiento de agua. En *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Manual de capacitación para operadores* (pp. 407–529). Lima: CEPIS.
- Cerón, V. (2016). *ESTUDIO PARA LA DETERMINACION Y DOSIFICACION ÓPTIMA DE COAGULANTES EN EL PROCESO DE CLARIFICACION DE AGUAS CRUDAS EN LA POTABILIZACION DE AGUAS DE LA EMPRESA EMPOOBANDO E.SP.* (Tesis de pregrado) Universidad de Nariño. Recuperado de http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg_vcp.pdf
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., y Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298–309. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008
- Cogollo, J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de Aluminio. *DYNA*, 78(165), 18–27. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636>

- CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. (SEMARNAT, Ed.) (2007th ed.). México, D.F. Recuperado de [ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros_pdf_2007/Desinfecci%F3n para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento.pdf](ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros_pdf_2007/Desinfecci%F3n_para_Sistemas_de_Agua_Potable_y_Saneamiento.pdf)
- CONAGUA, y SEMARNAT. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento* (1ra ed.). México, D.F. Recuperado de www.conagua.gob.mx
- Córdoba, M., Del Coco, V., y Basualdo, J. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3), 105–119.
- Cortijo, D. (2013). Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. *Ulima*, 9(31), 221–238.
- Crump, J., Okoth, G., Slutster, L., Ogaja, D., Keswick, B., y Luby, S. (2004). Effect of point-of-use disinfection, flocculation and combined flocculation - Disinfection on drinking quality in western Kenya. *Journal of Applied Microbiology*, 97(1), 225–231. doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02309.x
- El telégrafo. (2017). El 70% de hogares urbanos tiene acceso a agua segura. Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/10/el-70-de-hogares-urbanos-tiene-acceso-a-agua-segura>
- EPMAPS. (2018). Calidad de Agua Potable en Plantas de Tratamiento. Recuperado de <https://www.aguaquito.gob.ec/calidad-de-agua-potable-en-plantas-de-tratamiento/>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.
- Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R., Mendoza, I., y Villegas, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *MULTICIENCIAS*, 8, 281–287.

- Fuentes, L., Mendoza, I., López, Á., Castro, M., y Urdaneta, C. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 34(1), 039–047.
- Gómez, N. (2005). *REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>
- González, S. (2007). Contaminación difusa de las aguas. *Inia Tierra Adentro*, 21–25.
- HACH. (2000). *Manual de Análisis de Agua* (2da ed.). Loveland: Hach Company.
- Iglesias, M. (2018). *OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN PERTENECIENTE AL CANTÓN CAÑAR*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30444/1/Trabajo de Titulación.pdf>
- INEN (2006). Norma Técnica Ecuatoriana 1108. Agua Potable-Requisitos. Quito
- Islam, M., Ansaruzzaman, M., Mahmud, Z., Matin, M., Islam, M., Mallik, A., ... Sack, D. (2014). A novel and simple mixture as point-of-use water treatment agent to produce safe drinking water. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 108(5), 290–296. doi:org/10.1093/trstmh/tru028
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. (ONU-CEPAL, Ed.). Santiago de Chile. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6440/S047562_es.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Lampoglia, T., Agüero, R., y Barrios, C. (2008). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldes y alcaldesas de municipios rurales y*

pequeñas comunidades. Asociación Servicios Educativos Rurales.

Leal, M. (2009). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones. En *Solar Safe Water* (pp. 63–72).

LENNTECH. (2018). Enfermedades transmitidas por el agua. Recuperado de <https://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm>

LIPESA. (2014). *Hojas de seguridad de polímeros*. Quito, Ecuador

Londoño, A., Giraldo, G., y Gutiérrez, Á. (2010). *MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA*. (Universidad Nacional de Colombia, Ed.) (1ra ed.). Manizales: Editorial Blanecolor.

Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 10–17.

Marín, R. (2008). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS*. Recuperado de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf

Mateo, B., Bedoya del Olmo, C., Navia, M., y Ducci, J. (2017). *Manual de base sobre los derechos humanos al agua y al saneamiento en Latinoamérica y el Caribe*. (Banco Interamericano de Desarrollo, Ed.). Recuperado de www.souvenirme.com

Monte, I. (2016). *Agua, pH y equilibrio químico: Entendiendo el efecto del dióxido de carbono en la acidificación de los océanos*. (Oficina de Enlace de Comunicación Social de la SEMS, Ed.) (1ra ed.). México. Recuperado de <http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12235/5/images/agua-ph-ciencias.pdf>

Najul, M., López, E., Sánchez, R., Blanco, H., y Rincones, M. (1996). *METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE*

OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZACIÓN DE AGUAS CON BAJA TURBIEDAD. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02210e21.pdf>

OMS. (2003). *Informe de las Naciones Unidas, sobre el Desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: “Agua para todos, agua para la vida”.* Recuperado de <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>

OMS. (2018). *NOTAS TÉCNICAS SOBRE AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE EN EMERGENCIAS. Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo.* Recuperado de https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=technical-notes-on-disasters&alias=2025-10-tratamiento-de-emergencia-de-agua-potable-en-el-lugar-de-consumo&Itemid=1179&lang=es

OMS, y UNICEF. (2007). *La meta de los ODM relativa al agua potable y el saneamiento: el reto del decenio para zonas urbanas y rurales.* Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43768/9789243563251_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

OMS, y UNICEF. (2018). *Agua.* Recuperado de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

ONU-DAES. (2014). *Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015.* Recuperado de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

ONU. (2005). *Objetivos de desarrollo del milenio: una mirada desde américa latina y el caribe.* (CEPAL, Ed.). Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/2797-objetivos-desarrollo-milenio-mirada-america-latina-caribe>

ONU. (2018). *Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible.* Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- OPS. (2009). *Manual técnico para la desinfección del agua con cloro*. Panamá. Recuperado de https://www.paho.org/pan/index.php?option=com_docmanyview=download&alias=63-manual-tecnico-para-la-desinfeccion-del-agua-con-cloro&category_slug=publications&Itemid=224
- OPS, y COSUDE. (2007). *GUÍA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA ÁMBITO RURAL Y PEQUEÑAS CIUDADES*. Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiacalidadaguarural.pdf>
- Orellana, J. (2005). *Tratamiento de las aguas*. Recuperado de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf
- Pérez, A., Carrillo, M., y Magrinyá, F. (2003). *Tecnología para el Desarrollo Humano-Agua e infraestructura* (1ra ed.). Barcelona: Ingeniería Sin Fronteras. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28459/libro_agua_infra_APF_MC_FM.pdf
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 29(3), 3–14. doi:org/10.18845/tm.v29i3.2884
- Pérez, J., Cánepa, L., y Richter, C. (2006). *Coagulación*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-01.pdf>
- Pérez, J., y Espigares, M. (1995). *Desinfección del agua. Cloración*. Recuperado de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/CLORACION.pdf>
- Pinto, M. (2006). *LA ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL AGUA EN MENDOZA*. Recuperado de <https://www.ina.gov.ar/legacy/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-17-Pinto.pdf>
- Polasek, P., y Mutl, S. (2002). Cationic polymers in water treatment Part 1: Treatability of water with cationic polymers. *Water SA*, 28(1), 69–82.

- Pozo, M. (2012). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de “El Troje”- Informe del Estudio de Impacto Ambiental*. Recuperado de <https://www.aguaquito.gob.ec/downloads/Licitaciones/2012/2/estudiodeimpactoambiental.pdf>
- Ramírez, F. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Técnica Industrial*, 260, 54–63.
- Robert, M. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1).
- Rodríguez, C. (2008). *USO Y CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. (Tesis de pregrado) Universidad de Sucre.
- Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Organización Mundial de la Salud. Lima. CEPIS/OPS
- Romero, M. (2011). *Tratamientos utilizados en potabilización de agua*. Recuperado de http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf
- Sandoval, M., y Laines, J. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 17(2), 93–101.
- SENAGUA. (2016). *Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento*. Recuperado de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/REVISTA-SENAGUA.compressed.pdf>
- SENPLADES. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*. Recuperado de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>
- Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., y Sánchez, M. (2004). Determinación

- de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, 24(1–2), 46–49.
- Solís, R., Laines, J., y Hernández, B. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229–236.
- Solsona, F., y Méndez, J. (2002). *Desinfección del agua*. Lima: OPS/CEPIS. Recuperado de www.cepis.ops-oms.
- Soto, J. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 11(2), 167–177.
- Souter, P., Cruickshank, G., Tankerville, M., Keswick, B., Ellis, B., Langworthy, D., ... Perry, J. (2003). Evaluation of a new water treatment for point-of-use household applications to remove microorganisms and arsenic from drinking water. *Journal of Water and Health*, 1(2), 73–84. doi:org/10.1145/2612669.2612706
- Tarón, A., Guzmán, L., y Barros, P. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *ORINOQUIA*, 73–78.
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J., Rincón, A., Pachecho, S., y Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17–34.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA). (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua Libro VI Anexo 1*. Ecuador. Recuperado de <http://www.industrias.ec/archivos/ICIG/file/CARTELERA/Reforma Anexo 28 feb 2014 FINAL.pdf>

- UNICEF. (2010). *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. Recuperado de <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>
- Valdivia, R., Pedro, S., y Laurel, M. (2010). Agua para uso en laboratorios. *Red de Revistas Científicas de America Latina y El Caribe, España y Portugal*, (1), 3–10.
- Vargas, M., y Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 19(4), 37–41.
- Vargas, S., y Calvo, J. (2018). *Sistema Nefelometrico Auto-referenciado Inmune a Fuentes de Luz Externas*. Panamá. doi:org/10.18502/keg.v3i1.1418

ANEXOS

**ANEXO 1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS CON SULFATO DE
ALUMINIO Y POLIMERO**

TABLA A 1.1 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS (mg/L)	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
0	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)			
	11,65			89,67			7,48			18,70			38,00			
10	10,60	8,83	11,00	80,00	78,00	76,00	7,43	7,77	7,25	19,00	18,90	19,00	30,00	28,00	28,00	28,00
20	1,20	1,81	1,02	6,00	15,00	6,00	7,51	7,89	7,10	19,00	18,90	19,00	34,00	35,00	35,00	24,00
30	1,03	0,99	0,65	4,00	6,00	5,00	7,28	7,43	7,01	19,10	18,90	19,10	23,00	26,00	26,00	23,00
40	1,00	0,81	0,68	0,00	1,00	0,00	7,37	7,22	7,45	19,10	18,90	19,20	28,00	15,00	15,00	33,00
50	1,10	0,74	0,79	6,00	12,00	2,00	7,20	7,40	7,31	19,20	18,90	19,10	19,00	25,00	25,00	19,00
60	2,14	3,30	0,88	10,00	12,00	13,00	6,96	7,03	7,23	19,10	19,00	19,20	16,00	10,00	10,00	15,00
70	14,90	13,40	13,70	105,00	93,00	103,00	5,47	5,48	5,65	18,70	18,70	18,80	7,00	9,00	9,00	10,00
80	14,20	13,90	14,10	105,00	91,00	108,00	5,34	5,22	5,43	18,80	18,80	18,80	10,00	7,00	7,00	10,00
90	14,60	12,80	13,00	109,00	96,00	110,00	4,96	5,54	4,97	18,80	18,80	18,80	8,00	7,00	7,00	7,00

TABLA A 1.2 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)
0	11,65	89,67	7,48	18,70	38,00	0,00	0,00
10	10,14	78,00	7,48	18,97	28,67	12,93	13,01
20	1,34	9,00	7,50	18,97	31,00	88,47	89,96
30	0,89	5,00	7,24	19,03	24,00	92,36	94,42
40	0,83	0,33	7,35	19,07	25,33	92,88	99,63
50	0,88	6,67	7,30	19,07	21,00	92,47	92,57
60	2,11	11,67	7,07	19,10	13,67	81,92	86,99
70	14,00	100,33	5,53	18,73	8,67	0,00	0,00
80	14,07	101,33	5,33	18,80	9,00	0,00	0,00
90	13,47	105,00	5,16	18,80	7,33	0,00	0,00

TABLA A 1.3 ENSAYO CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS (mg/L)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)		
0	10,58			68,00			7,84			20,50			35,00		
1	10,30	9,96	8,90	54,00	54,00	54,00	7,23	7,49	7,34	20,90	21,00	21,10	34,00	34,00	34,00
2	10,50	8,88	8,60	64,00	60,00	60,00	7,55	7,67	7,51	20,90	21,00	21,10	35,00	35,00	34,00
3	8,77	8,00	8,76	62,00	50,00	62,00	7,60	7,71	7,51	20,90	21,00	21,10	35,00	34,00	34,00
4	8,48	7,63	8,00	49,00	46,00	43,00	7,87	7,96	7,55	20,80	21,00	21,10	35,00	35,00	35,00
5	7,15	8,70	8,50	51,00	54,00	57,00	7,77	7,98	7,62	20,70	20,90	21,10	36,00	35,00	35,00

TABLA A 1.4 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	10,58	68,00	7,84	20,50	35,00	0,00	0,00
1	9,72	54,67	7,35	21,00	34,33	8,10	19,61
2	9,33	60,67	7,58	21,00	34,67	11,82	10,78
3	8,51	58,00	7,61	21,00	34,33	19,54	14,71
4	8,04	46,00	7,79	20,97	35,00	24,02	32,35
5	8,12	54,00	7,79	20,90	35,33	23,26	20,59

TABLA A 1.5 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

SA= 40 mg/L															
DOSIS POLÍMERO (mg/L)	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)		
0,00	11,37			80,00			7,15			20,30			37,00		
0,10	0,47	0,42	0,43	6,00	5,00	5,00	6,55	6,70	6,56	20,40	20,40	19,70	18,00	18,00	17,00
0,15	0,64	0,81	0,95	11,00	8,00	10,00	6,61	6,73	6,62	20,40	20,40	19,70	19,00	19,00	19,00
0,20	0,88	0,92	1,00	10,00	11,00	11,00	7,53	7,25	7,12	20,70	20,70	20,70	19,00	19,00	21,00

TABLA A 1.6 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

SA= 40 mg/L							
DOSIS POLÍMERO (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0,00	11,37	80,00	7,15	20,30	37,00	0,00	0,00
0,10	0,44	5,33	6,60	20,17	17,67	96,13	93,33
0,15	0,80	9,67	6,65	20,17	19,00	92,96	87,92
0,20	0,93	10,67	7,30	20,70	19,67	91,79	86,67

TABLA A 1.7 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS (mg/L)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)		
0	21,26	13,20	12,80	89,00	10,00	106,00	6,55	7,32	6,71	19,70	19,80	20,10	24,00	19,00	19,00
10	11,70	1,48	1,51	13,00	13,00	11,00	6,76	7,71	6,93	19,70	19,90	20,30	27,00	27,00	28,00
20	1,25	1,07	1,74	9,00	7,00	12,00	6,94	7,76	6,92	19,80	19,90	20,30	35,00	34,00	23,00
30	1,18	1,13	1,07	1,00	0,00	10,00	6,62	7,56	6,63	19,80	19,90	20,10	19,00	21,00	10,00
40	2,97	3,85	2,81	29,00	28,00	16,00	6,66	7,58	6,68	19,80	19,90	20,10	20,00	23,00	15,00
50	19,90	18,40	15,00	137,00	142,00	128,00	6,36	7,26	7,12	19,80	19,90	19,80	18,00	16,00	35,00
60	15,20	20,80	9,92	122,00	159,00	85,00	6,77	6,67	6,88	20,10	20,10	19,80	29,00	14,00	11,00
70	18,40	19,80	19,80	152,00	158,00	157,00	6,39	6,54	6,73	20,10	20,20	19,80	13,00	13,00	11,00
80	20,40	19,50	17,80	156,00	168,00	149,00	5,88	5,88	5,68	20,20	20,20	19,90	11,00	10,00	6,00

TABLA A 1.8 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	21,26	157,00	7,24	19,65	39,00	0,00	0,00
10	12,57	68,33	6,86	19,87	20,67	40,89	56,48
20	1,53	12,33	7,13	19,97	27,33	92,79	92,14
30	1,35	9,33	7,21	20,00	30,67	93,63	94,06
40	1,13	3,67	6,94	19,93	16,67	94,70	97,66
50	3,21	24,33	6,97	19,93	19,33	84,90	84,50
60	17,77	135,67	6,91	19,83	23,00	16,43	13,59
70	15,31	122,00	6,77	20,00	18,00	28,00	22,29
80	19,33	155,67	6,55	20,03	12,33	9,06	0,85
90	19,23	157,67	5,81	20,10	9,00	9,53	0,00

TABLA A 1.9 ENSAYO CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0		19,93			148,00			7,50			20,30			35,00	
1	10,50	13,80	14,10	72,00	91,00	101,00	7,49	7,15	7,53	20,80	21,60	21,20	35,00	35,00	34,00
2	9,06	7,99	11,60	57,00	49,00	80,00	7,63	7,40	7,62	20,80	21,60	21,20	36,00	35,00	35,00
3	10,00	7,20	12,30	49,00	51,00	83,00	7,58	7,32	7,60	20,90	21,60	21,20	35,00	35,00	36,00
4	8,60	7,18	9,07	47,00	40,00	53,00	7,52	7,46	7,69	20,90	21,60	21,20	35,00	35,00	36,00
5	8,07	8,68	7,67	40,00	47,00	44,00	7,67	7,65	7,72	20,90	21,60	21,20	37,00	36,00	36,00

TABLA A 1.10 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	19,93	148,00	7,50	20,30	35,00	0,00	0,00
1	12,80	88,00	7,39	21,20	34,67	35,79	40,54
2	9,55	62,00	7,55	21,20	35,33	52,09	58,11
3	9,83	61,00	7,50	21,23	35,33	50,67	58,78
4	8,28	46,67	7,56	21,23	35,33	58,44	68,47
5	8,14	43,67	7,68	21,23	36,33	59,16	70,50

TABLA A 1.11 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

SA= 40 mg/L															
DOSIS POLIMERO (mg/L)	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
0,00	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)		
	19,05			141,00			6,95			20,40			33,00		
0,05	0,53	0,38	0,86	7,00	4,00	7,00	6,40	6,93	6,75	19,70	19,30	19,40	21,00	23,00	26,00
0,10	0,62	0,52	0,54	0,00	8,00	0,00	6,39	6,55	6,64	19,70	19,40	19,40	20,00	22,00	23,00
0,15	0,90	1,07	0,79	0,00	10,00	0,00	6,61	6,50	6,46	19,70	19,50	19,50	21,00	21,00	21,00

TABLA A 1.12 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

SA=40 mg/L											
DOSIS POLIMERO (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)				
0,00	19,05	141,00	6,95	20,40	33,00	0,00	0,00				
0,05	0,59	6,00	6,69	19,47	23,33	96,90	95,74				
0,10	0,56	2,67	6,53	19,50	21,67	97,06	98,11				
0,15	0,92	3,33	6,52	19,57	21,00	95,17	97,64				

TABLA A 1.13 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	69,18			424,67			7,38			18,90			55,67		
10	4,20	5,53	8,39	53,00	36,00	73,00	7,70	7,09	7,51	19,00	19,20	18,90	53,00	48,00	50,00
20	0,75	1,58	2,67	12,00	16,00	26,00	7,38	7,05	7,50	19,00	19,20	18,90	51,00	48,00	46,00
30	0,60	0,49	0,66	9,00	0,00	9,00	7,19	6,93	7,44	18,90	19,30	18,80	43,00	36,00	41,00
40	0,79	1,05	0,76	5,00	13,00	4,00	7,11	6,98	7,34	18,90	19,20	18,80	37,00	39,00	33,00
50	0,86	1,02	1,10	8,00	9,00	13,00	7,04	6,93	7,38	18,90	19,20	18,80	31,00	34,00	36,00
60	2,83	0,83	1,20	23,00	7,00	9,00	6,79	6,89	7,20	18,90	19,20	18,80	25,00	28,00	31,00
70	1,23	0,86	1,28	12,00	11,00	1,00	6,88	6,94	6,72	19,00	19,00	19,20	21,00	26,00	26,00
80	1,13	2,05	1,49	11,00	14,00	4,00	6,85	6,80	6,52	19,00	19,00	19,30	21,00	19,00	21,00
90	2,07	2,68	1,70	25,00	22,00	3,00	6,68	6,67	6,55	18,90	18,90	19,40	16,00	14,00	21,00

TABLA A 1.14 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	69,18	424,67	7,38	18,90	55,67	0,00	0,00
10	6,04	54,00	7,43	19,03	50,33	91,27	87,28
20	1,67	18,00	7,31	19,03	48,33	97,59	95,76
30	0,58	6,00	7,19	19,00	40,00	99,16	98,59
40	0,87	7,33	7,14	18,97	36,33	98,75	98,27
50	0,99	10,00	7,12	18,97	33,67	98,56	97,65
60	1,62	13,00	6,96	18,97	28,00	97,66	96,94
70	1,12	8,00	6,85	19,07	24,33	98,38	98,12
80	1,56	9,67	6,72	19,10	20,33	97,75	97,72
90	2,15	16,67	6,63	19,07	17,00	96,89	96,08

TABLA A 1.15 ENSAYO CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0		69,83			442,00			7,10			21,00			49,00	
1	16,12	16,06	17,40	61,00	69,00	81,00	7,42	7,17	7,95	21,00	22,40	21,00	47,00	45,00	47,00
2	16,14	13,24	14,80	63,00	50,00	51,00	7,56	7,56	7,05	21,00	22,40	21,20	47,00	46,00	45,00
3	12,70	10,70	13,28	43,00	43,00	57,00	6,82	7,53	7,20	20,90	22,30	21,20	46,00	45,00	46,00
4	11,34	11,78	11,12	46,00	41,00	37,00	7,29	7,65	7,24	20,90	21,70	21,20	47,00	47,00	45,00
5	9,84	8,66	9,86	23,00	36,00	34,00	7,26	7,63	7,40	20,90	21,60	21,20	47,00	46,00	46,00

TABLA A 1.16 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	69,83	442,00	7,10	21,00	49,00	0,00	0,00
1	16,53	70,33	7,51	21,47	46,33	76,33	84,09
2	14,73	54,67	7,39	21,53	46,00	78,91	87,63
3	12,23	47,67	7,18	21,47	45,67	82,49	89,22
4	11,41	41,33	7,39	21,27	46,33	83,66	90,65
5	9,45	31,00	7,43	21,23	46,33	86,46	92,99

TABLA A 1.17 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS POLÍMERO (mg/L)	SA= 30 mg/L														
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3			
0,00	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)		
	70,10			439,00			7,86			20,30			43,00		
0,05	0,54	0,82	0,61	3,00	6,00	4,00	6,83	6,81	7,50	20,80	20,80	20,60	31,00	31,00	31,00
0,10	1,13	0,59	0,47	10,00	1,00	8,00	7,21	7,25	7,62	20,80	20,70	20,60	32,00	31,00	33,00
0,15	0,85	0,50	0,89	6,00	3,00	11,00	6,84	7,25	7,38	20,60	20,50	20,60	31,00	32,00	32,00

TABLA A 1.18 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS POLÍMERO PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS POLÍMERO (mg/L)	SA=30 mg/L								
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)		
0,00	70,10	439,00	7,86	20,30	43,00	0,00	0,00		
0,05	0,66	4,33	7,05	20,73	31,00	99,06	99,01		
0,10	0,73	6,33	7,36	20,70	32,00	98,96	98,56		
0,15	0,75	6,67	7,16	20,57	31,67	98,93	98,48		

**ANEXO 2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS CON HIPOCLORITO
DE CALCIO**

TABLA A 2.1 ENSAYO DE SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 40 mg/L																	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3						
0	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
1	6,56	2,68	4,78	19,00	7,00	13,00	7,12	7,07	6,85	20,60	20,50	21,10	15,00	15,00	15,00	0,17	0,11	0,04
2	5,93	2,52	2,21	17,00	7,00	6,00	7,08	6,97	6,55	20,60	20,50	21,00	15,00	15,00	8,00	0,30	0,32	0,26
3	3,50	2,41	7,03	10,00	6,00	20,00	7,01	6,97	6,63	20,70	20,50	21,00	14,00	15,00	13,00	0,58	0,60	0,52
4	1,82	1,94	1,18	7,00	17,00	11,00	6,96	6,77	6,67	20,70	20,70	20,70	13,00	13,00	15,00	0,97	1,04	0,99
5	0,92	0,82	0,88	0,00	9,00	1,00	7,35	6,23	6,47	20,40	20,40	20,30	15,00	12,00	14,00	1,03	1,05	1,14

TABLA A 2.2 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L								
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	
0	11,53	95,00	7,53	20,20	27,00	0,00	0,00	0,00	
1	4,67	13,00	7,01	20,73	15,00	0,11	59,48	86,32	
2	3,55	10,00	6,87	20,70	12,67	0,29	69,19	89,47	
3	4,31	12,00	6,87	20,73	14,00	0,57	62,60	87,37	
4	1,65	11,67	6,80	20,70	13,67	1,00	85,72	87,72	
5	0,87	3,33	6,68	20,37	13,67	1,07	92,43	96,49	

TABLA A 2.3 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/l																	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3						
0	TURBIEDAD (NTU)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)					
	11,53			79,00			20,00			25,00			0,00					
1	4,38	4,67	4,84	10,00	11,00	12,00	7,33	6,80	6,60	20,60	21,10	21,00	15,00	12,00	10,00	0,10	0,03	0,12
2	5,23	2,26	4,42	13,00	6,00	11,00	6,99	6,75	6,81	20,60	21,10	21,00	11,00	11,00	11,00	0,28	0,44	0,02
3	4,72	2,03	1,93	11,00	5,00	7,00	7,06	6,66	7,09	20,60	21,10	21,00	11,00	11,00	14,00	0,58	0,41	0,53
4	1,11	1,28	1,15	0,00	3,00	5,00	7,08	6,62	6,95	20,30	20,30	20,40	14,00	7,00	10,00	0,69	0,43	1,22
5	0,69	0,62	0,91	1,00	1,00	2,00	6,58	6,90	7,02	20,60	20,60	20,60	7,00	12,00	12,00	1,46	1,55	1,51

TABLA A 2.4 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/l							
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	11,53	79,00	7,56	20,00	25,00	0,00	0,00	0,00
1	4,63	11,00	6,91	20,90	12,33	0,08	59,86	86,08
2	3,97	10,00	6,85	20,90	11,00	0,25	65,58	87,34
3	2,89	7,67	6,94	20,90	12,00	0,51	74,91	90,30
4	1,18	2,67	6,88	20,33	10,33	0,78	89,77	96,62
5	0,74	1,33	6,83	20,60	10,33	1,51	93,58	98,31

TABLA A 2.5 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L																	
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	19,30	5,90	5,50	125,00	56,00	52,00	7,26	6,41	6,41	19,60	20,70	20,90	25,00	6,00	11,00	0,00	0,06	0,05
1	5,70	4,90	4,14	48,00	41,00	43,00	6,79	6,83	6,46	20,90	20,60	20,90	11,00	9,00	12,00	0,16	0,22	0,46
2	3,80	3,95	4,04	35,00	40,00	38,00	6,85	6,81	6,47	20,50	20,50	20,80	10,00	10,00	10,00	0,27	0,24	1,42
3	2,58	3,58	3,08	23,00	31,00	26,00	6,84	6,86	6,58	20,50	20,50	20,80	12,00	11,00	12,00	0,71	0,65	1,76
4	1,91	3,53	1,53	14,00	13,00	9,00	6,92	7,01	6,69	20,50	20,50	20,80	15,00	11,00	15,00	0,32	1,12	2,15

TABLA A 2.6 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L									
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)		
0	19,30	125,00	7,26	19,60	25,00	0,00	0,00	0,00		
1	5,70	52,00	6,54	20,97	8,33	0,12	11,05	0,00		
2	4,75	43,00	6,65	20,93	10,33	0,28	33,33	17,07		
3	3,93	37,67	6,71	20,87	10,67	0,64	67,32	62,40		
4	3,08	26,67	6,76	20,83	12,00	1,04	80,43	76,00		
5	2,32	12,00	6,87	20,80	13,67	1,20	87,96	82,40		

TABLA A 2.7 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/L																	
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	21,20			148,00			6,50			19,90			27,00			0,00		
1	5,44	2,90	3,07	48,00	20,00	25,00	6,48	7,00	7,30	19,90	20,50	20,20	12,00	16,00	15,00	0,30	0,02	0,07
2	2,05	1,95	1,36	5,00	13,00	17,00	6,23	6,78	7,11	19,90	20,50	20,20	11,00	15,00	12,00	0,17	0,19	0,32
3	1,19	1,75	1,23	2,00	15,00	10,00	5,61	6,72	7,18	19,90	20,50	20,20	11,00	13,00	15,00	0,86	0,45	1,00
4	0,69	0,77	0,68	0,00	8,00	1,00	6,56	6,57	6,58	20,40	20,40	20,50	16,00	11,00	14,00	1,16	1,16	1,14
5	0,76	0,94	0,55	9,00	10,00	3,00	6,63	6,76	6,56	20,50	20,50	20,50	16,00	12,00	12,00	1,61	1,75	1,62

TABLA A 2.8 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/L									
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD(mg CaCO3/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)		
0	21,20	148,00	6,50	19,90	27,00	0,00	0,00	0,00		
1	3,80	31,00	6,93	20,20	14,33	0,13	82,06	79,05		
2	1,79	11,67	6,71	20,20	12,67	0,23	91,57	92,12		
3	1,39	9,00	6,50	20,20	13,00	0,77	93,44	93,92		
4	0,71	3,00	6,57	20,43	13,67	1,15	96,64	97,97		
5	0,75	7,33	6,65	20,50	13,33	1,66	96,46	95,05		

TABLA A 2.9 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 30 mg/L																	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3						
0	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
	68,20			435,00			7,32			20,70			34,00			0,00		
1	1,59	0,90	0,73	16,00	9,00	7,00	7,67	6,93	7,15	20,70	20,90	20,20	25,00	25,00	27,00	0,03	0,09	0,03
2	1,56	1,18	1,21	14,00	11,00	9,00	7,40	6,92	7,09	20,70	20,90	20,30	23,00	25,00	26,00	0,08	0,09	0,15
3	1,69	1,03	0,90	13,00	13,00	8,00	7,45	6,78	7,05	20,70	21,00	20,30	25,00	23,00	24,00	0,47	0,87	0,62
4	1,66	1,16	0,78	15,00	7,00	8,00	7,29	6,79	7,06	20,80	21,00	20,40	24,00	25,00	25,00	0,76	1,37	0,96
5	1,61	1,45	1,07	14,00	17,00	12,00	7,18	6,77	7,03	20,80	21,10	20,40	23,00	24,00	26,00	1,43	2,19	1,28

TABLA A 2.10 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (1-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 30 mg/L								
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)	
0	68,20	435,00	7,32	20,70	34,00	0,00	0,00	0,00	
1	1,07	10,67	7,25	20,60	25,67	0,05	98,43	97,55	
2	1,32	11,33	7,14	20,63	24,67	0,11	98,07	97,39	
3	1,21	11,33	7,09	20,67	24,00	0,65	98,23	97,39	
4	1,20	10,00	7,05	20,73	24,67	1,03	98,24	97,70	
5	1,38	14,33	6,99	20,77	24,33	1,63	97,98	96,70	

**ANEXO 3. RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y COLIFORMES FECALES
OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS CON LAS DISTINTAS COMBINACIONES DE REACTIVOS**

TABLA A 3.1 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

		SA= 40 mg/L								
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
DOSIS HC (mg/L)										
0	TURBIEDAD (NTU)	11,40								
4		1,17	1,15	1,23	8,00	16,00	0,00	6,56	6,50	6,56
5		1,33	1,01	1,12	12,00	2,00	11,00	6,61	6,66	6,87
	COLOR (Pt-Co)				77,00					
	TEMPERATURA (°C)							22,80		
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							23,70	23,70	23,80
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							23,80	23,80	23,80
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							34,00	32,00	33,00
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							31,00	32,00	35,00
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,00
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,32
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,38
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,68
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,60
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,64

TABLA A 3.2 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

		SA= 40 mg/L								
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
DOSIS HC (mg/L)										
0	TURBIEDAD (NTU)	11,40								
4		1,18								
5		1,15								
	COLOR (Pt-Co)	77,00								
	TEMPERATURA (°C)							22,80		
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							23,70	23,70	23,80
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							23,80	23,80	23,80
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							34,00	32,00	33,00
	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)							31,00	32,00	35,00
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,00
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,32
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,38
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,68
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,60
	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)									0,64
	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)									0,00
	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)									89,62
	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)									89,88
	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)									0,00
	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)									89,61
	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)									89,18

TABLA A 3.3 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/L																
DOSIS HC (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)	pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD(mg CaCO3/L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	11,40			77,00	6,91			22,80			46,00					
4	1,03	0,86	0,84	1,00	10,00	7,00	7,07	22,60	22,60	22,60	33,00	33,00	35,00	0,44	0,41	0,39
5	1,00	1,14	0,78	11,00	10,00	14,00	7,13	22,60	22,60	22,60	31,00	32,00	35,00	0,48	0,54	0,44

TABLA A 3.4 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/L								
DOSIS HC (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	11,40	77,00	6,91	22,80	46,00	0,00	0,00	0,00
4	0,91	6,00	7,04	22,60	33,67	0,41	92,02	92,21
5	0,97	11,67	7,11	22,60	32,67	0,49	91,46	84,85

TABLA A 3.5 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES PARA TURBIEDAD DE 10 NTU

	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN			CÓDIGO	NMP	FACTOR	NMP Total/100mL	PROMEDIO NMP Total/100mL
	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²					
COLIFORMES TOTALES	D1	3/3	0/3	300	23	10	230	330
	D2	3/3	1/3	310	43	10	430	
COLIFORMES FECALES	D1	1/3	0/0	100	4	10	40	65
	D2	2/3	0/1	200	9	10	90	

TABLA A 3.6 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (10 NTU)

DOSIS HC (mg/L)	REPETICIÓN	DUPLICADO	SA= 40 mg/L										NMP Total/100mL				
			10 ¹		10 ¹												
4	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1	
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
5	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 3.7 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (10 NTU)

SA= 40 mg/L; P= 0,10 mg/L													
DOSIS HC (mg/L)	REPETICIÓN	DUPLICADO	NUMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCION									NMP Total/100mL	
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹		
4	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
5	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 3.8 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 40 mg/L																	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3						
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
0	21,30			158,00			6,80			21,20			47,00			0,00		
4	1,30	1,39	1,43	3,00	12,00	16,00	6,86	6,50	6,65	22,60	22,60	22,50	37,00	35,00	36,00	1,57	1,59	1,48
5	1,18	1,53	0,93	7,00	1,00	11,00	6,68	6,81	6,88	22,40	22,30	22,30	37,00	36,00	36,00	1,79	1,86	1,88

TABLA A 3.9 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 40 mg/L								
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	
0	21,30	158,00	6,80	21,20	47,00	0,00	0,00	0,00	
4	1,37	10,33	6,67	22,57	36,00	1,55	93,55	93,46	
5	1,21	6,33	6,79	22,33	36,33	1,84	94,30	95,99	

TABLA A 3.10 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/L														
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3			
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH		TEMPERATURA (°C)		ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)		COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
0	21,90			158,00			6,80		21,20		47,00		0,00		
4	1,03	0,92	1,02	9,00	0,00	0,00	6,67	6,55	22,40	22,40	36,00	35,00	1,24	1,70	0,81
5	1,00	1,04	1,39	4,00	0,00	6,00	6,69	6,68	22,40	22,30	36,00	35,00	34,00	1,83	1,83

TABLA A 3.11 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=40 mg/L ; P= 0,10 mg/L							
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	21,90	158,00	6,80	21,20	47,00	0,00	0,00	0,00
4	0,99	3,00	6,59	22,40	35,33	1,25	95,48	98,10
5	1,14	3,33	6,71	22,37	35,00	1,82	94,78	97,89

TABLA A 3.12 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES PARA TURBIEDAD DE 20 NTU

	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN					CÓDIGO	NMP	FACTOR	NMP Total/100mL	PROMEDIO NMP Total/100mL
	DUPLICADO	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²						
COLIFORMES TOTALES	D1	3/3	0/3	0/3		300	23	10	230	230
	D2	3/3	0/3	0/3		300	23	10	230	
COLIFORMES FECALES	D1	1/3	0/0	0/0		100	4	10	40	65
	D2	2/3	0/0	0/0		200	9	10	90	

TABLA A 3.13 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (20 NTU)

DOSIS HC (mg/L)	REPETICIÓN	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN										NMP Total/100mL				
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹		10 ¹			
4	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1	
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
5	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 3.14 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (20 NTU)

S.A= 40 mg/L; P= 0,10 mg/L											
NUMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCION											
DOSIS HC (mg/L)	REPETICIÓN	DUPLICADO	10 ¹	NMP Total/100mL							
4	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
5	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 3.15 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 30 mg/L																	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3						
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
0	70,10			420,00			7,52			21,70			49,00			0,00		
4	1,66	1,16	0,78	8,00	7,00	15,00	7,25	7,41	7,29	22,20	22,20	22,20	42,00	39,00	40,00	1,26	0,75	0,92
5	1,61	1,45	1,07	14,00	17,00	12,00	7,28	7,22	7,13	22,20	22,10	22,10	42,00	44,00	43,00	1,57	1,49	1,25

TABLA A 3.16 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA= 30 mg/L								
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	
0	70,10	420,00	7,52	21,70	49,00	0,00	0,00	0,00	
4	1,20	10,00	7,32	22,20	40,33	0,98	98,29	97,62	
5	1,38	14,33	7,21	22,13	43,00	1,44	98,04	96,59	

TABLA A 3.17 ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=30 mg/L ; P= 0,05 mg/L																		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3							
0	70,10			420,00			7,52			21,70			49,00			0,00			COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)
4	1,25	0,62	0,64	6,00	2,00	13,00	7,47	7,31	7,24	23,60	23,60	23,60	45,00	44,00	44,00	0,94	0,88	0,75	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)
5	1,47	0,71	1,07	7,00	10,00	12,00	7,28	7,22	7,26	23,60	23,60	23,60	41,00	41,00	43,00	1,06	1,33	1,68	TEMPERATURA (°C)
																			pH

TABLA A 3.18 PROMEDIO DE LOS ENSAYOS CON SULFATO DE ALUMINO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (4-5 mg/L) PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

DOSIS HC (mg/L)	SA=30 mg/L ; P= 0,05 mg/L								
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	COLOR LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)	
0	70,10	420,00	7,52	21,70	49,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,84	7,00	7,34	23,60	44,33	0,86	98,81	98,33	
5	1,08	9,67	7,25	23,60	41,67	1,36	98,45	97,70	

TABLA A 3.19 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES PARA TURBIEDAD DE 70 NTU

	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN			CÓDIGO	NMP	FACTOR	NMP Total/100mL	PROMEDIO NMP Total/100mL
		10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²					
COLIFORMES TOTALES	D1	3/3	3/3	2/3	332	1100	10	11000	7800
	D2	3/3	3/3	1/3	331	460	10	4600	
COLIFORMES FECALES	D1	2/3	1/3	0/2	210	15	10	150	180
	D2	2/3	2/3	0/1	220	21	10	210	

TABLA A 3.20 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (70 NTU)

DOSIS HC (mg/L)	REPETICIÓN	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN										NMP Total/100mL				
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹					
4	R1	D1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
5	R1	D1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 3.21 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES PARA EL ENSAYO CON SULFATO DE ALUMINIO, POLÍMERO MÁS HIPOCLORITO DE CALCIO (70 NTU)

		SA= 30 mg/L; P=0,05 mg/L														
DOSIS HC (mg/L)	REPETICIÓN	DUPLICADO	NUMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCION													
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	NMP Total/100mL		
4	R1	D1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
5	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

**ANEXO 4. RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y COLIFORMES FECALES
OBTENIDOS EN LA ETAPA DE VALIDACIÓN**

TABLA A 4.1 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 10 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	7,91	8,24	8,08	48,00	52,00	52,00	7,29	7,29	7,28	20,50	20,50	20,50	47,00	48,00	48,00	0,00	0,00	0,00
SA= 40 P=0,10 HC= 4	0,60	0,53	0,74	3,00	3,00	6,00	7,01	6,98	7,05	20,70	20,70	20,70	35,00	36,00	34,00	1,46	1,42	1,35

TABLA A 4.2 RESULTADOS PROMEDIO DE LA DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 10 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	8,08	50,67	7,29	20,50	47,67	0,00	0,00	0,00
SA= 40 P=0,10 HC= 4	0,62	4,00	7,01	20,70	35,00	1,41	92,28	92,11

TABLA A 4.3 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES EN AGUA CRUDA DE 10 NTU

	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN					CÓDIGO	NMP	FACTOR	NMP Total/100mL	PROMEDIO NMP Total/100mL
	DUPLICADO	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³					
COLIFORMES TOTALES	D1	3/3	3/3	0/3		330	240	10	2400	3500
	D2	3/3	3/3	1/3		331	460	10	4600	
COLIFORMES FECALES	D1	1/3	0/3	0/0		100	4	10	40	55
	D2	1/3	1/3	0/1		110	7	10	70	

TABLA A 4.4 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES AL APLICAR EL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 10 NTU

KIT	REPETICIÓN	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN										NMP Total/100mL		
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹			
HC (4mg/L) + SA (40mg/L) + P (0,10mg/L)	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 4.5 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 20 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
0	19,37	20,11	19,60	131,00	150,00	137,00	7,22	7,11	7,10	20,4	20,4	20,4	49,00	48,00	48,00	0,00	0,00	0,00
SA= 40 P=0,10 HC= 4	0,94	0,75	1,10	5,00	3,00	5,00	6,81	6,87	6,87	20,30	20,30	20,30	35,00	34,00	36,00	1,02	1,11	1,12

TABLA A 4.6 RESULTADOS PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 20 NTU

DOSIS HC (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO ₃ /L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCION TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCION COLOR (%)
0	19,69	139,33	7,14	20,40	48,33	0,00	0,00	0,00
SA= 40 P=0,10 HC= 4	0,93	4,33	6,85	20,30	35,00	1,08	95,28	96,89

TABLA A 4.7 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES EN AGUA CRUDA DE 20 NTU

	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN					CÓDIGO	NMP	FACTOR	NMP Total/100mL	PROMEDIO NMP Total/100mL
		10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²							
COLIFORMES TOTALES	D1	3/3	3/3	1/3		331	460	10	4600	3050	
	D2	3/3	2/3	1/3		321	150	10	1500		
COLIFORMES FECALES	D1	3/3	3/3	0/1		330	240	10	2400	1575	
	D2	3/3	1/2	1/1		311	75	10	750		

TABLA A 4.8 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES AL APLICAR EL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 20 NTU

KIT	REPETICIÓN	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN										NMP Total/100mL				
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹		10 ¹			
HC (4 mg/L) + SA(40mg/L) + P(0,10mg/L)	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1	
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

TABLA A 4.9 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 70 NTU

DOSIS (mg/L)	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba	Prueba		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	TURBIEDAD (NTU)			COLOR (Pt-Co)			pH			TEMPERATURA (°C)			ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)			CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)					
0	73,3	69,7	71,7	418	407	416	7,22	7,19	7,22	20,4	20,4	20,4	52,00	51,00	52,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SA= 30 P=0,05 HC= 5	0,95	0,70	1,16	6,00	5,00	8,00	6,80	6,65	6,60	21,60	21,60	21,60	31,00	31,00	31,00	1,18	0,95	0,77			

TABLA A 4.10 RESULTADOS PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN DEL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 70 NTU

DOSIS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	pH	TEMPERATURA (°C)	ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (mg/L)	EFICIENCIA REMOCIÓN TURBIEDAD (%)	EFICIENCIA REMOCIÓN COLOR (%)
0	71,57	413,67	7,21	20,40	51,67	0,00	0,00	0,00
SA= 30 P=0,05 HC= 5	0,94	6,33	6,68	21,60	31,00	0,97	98,69	98,47

TABLA A 4.11 RESULTADOS INICIALES DE COLIFORMES FECALES EN AGUA CRUDA DE 70 NTU

	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN					PROMEDIO NMP Total/100 mL		
	DUPLICADO	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	CODIGO		NMP	FACTOR
COLIFORMES TOTALES	D1	3/3	3/3	2/3	332	1100	10	11000
	D2	3/3	3/3	2/3	332	1100	10	11000
COLIFORMES FECALES	D1	3/3	3/3	1/2	331	460	10	4600
	D2	3/3	3/3	0/2	330	240	10	2400

TABLA A 4.12 RESULTADOS FINALES DE COLIFORMES FECALES AL APLICAR EL KIT BÁSICO DE POTABILIZACIÓN EN AGUA CRUDA DE 70 NTU

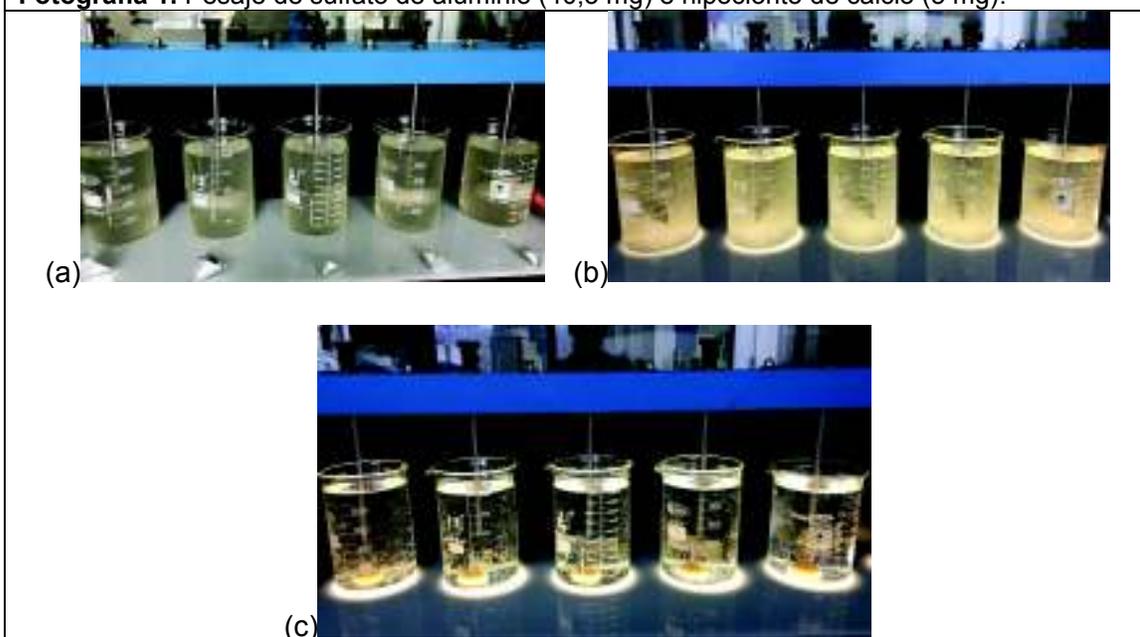
KIT	REPETICIÓN	DUPLICADO	NÚMERO DE TUBOS POSITIVOS/DILUCIÓN										NMP Total/100ml				
			10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹	10 ¹		10 ¹			
SA(30mg/L)+ P(0,05mg/L)	R1	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1	
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
HC (5 mg/L) +	R2	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
	R3	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1
		D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<1,1

ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO

TABLA A 5.1 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL



Fotografía 1. Pesaje de sulfato de aluminio (40,3 mg) e hipoclorito de calcio (5 mg).



Fotografía 2. Ejemplo de ensayo de prueba de jarras para agua sintética con coliformes (70 NTU), empleando sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio, (a) antes (b) durante y (c) después de su aplicación.



Fotografía 3. Preparación de material para ensayo de coliformes.

TABLA A 5.2 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL (CONTINUACIÓN)



Fotografía 4. Muestreo en Planta de Tratamiento para agua potable El Placer.



Fotografía 5. Muestreo en la parroquia Yaruquí.



Fotografía 6. Validación con agua cruda (10 NTU) (a) antes y (b) después de aplicar el kit.

TABLA A 5.3 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL (CONTINUACIÓN)



Fotografía 7. Validación con agua cruda (20 NTU) (a) antes y (b) después de aplicar el kit.



Fotografía 8. Validación con agua cruda (70 NTU) (a) antes y (b) después de aplicar el kit.

TABLA A 5.4 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA FASE EXPERIMENTAL (CONTINUACIÓN)



Fotografía 9. Formación de flocs en agua cruda de 10, 20 y 70 NTU, respectivamente



Fotografía 10. Kit básico de potabilización listo para ser dosificado.