

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Química

“Optimización del proceso de coagulación – floculación en la planta de tratamiento de la Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo Emapas-G-EP”.

Trabajo de titulación previo a
la obtención del Título de
Ingeniero Químico

Autor:

Rebeca Abigail Guncay Llivicura
C.I. 0105139265

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa
C.I. 0104044474

Asesora:

Dra. Miriam Fabiola Matute Saquicela
C.I. 0102663036

Cuenca - Ecuador

17-04-2018



Resumen

El acceso a fuentes de agua potable y segura, es un derecho fundamental de las personas, es por eso que este estudio realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) se orientó a determinar la dosis óptima de Sulfato de Aluminio en función de la turbiedad, el color y el pH.

Para la determinación de la dosis adecuada se realizaron 16 ensayos, tomando muestras en periodos de alta pluviosidad de la zona, se utilizó como coagulante Sulfato de Aluminio tipo B, y como alcalinizantes una mezcla de Cal/ Carbonato de Sodio, que ayudan a la formación de flóculos y a mantener el pH durante el proceso de potabilización. Por medio de pruebas de jarras se pudo determinar la dosis óptima para los valores de turbiedad analizados, con la finalidad de elaborar la curva de dosificación de coagulante y con el caudal de trabajo del vertedero elaborar una tabla para la correcta dosificación de sustancias para el proceso de tratamiento.

Una adecuada dosificación de sulfato de aluminio, logra la máxima remoción de partículas e impurezas presentes en el agua cruda, lo que facilita su floculación, sedimentación, y su posteriormente su filtración, consiguiendo así, un agua de excelente calidad de acuerdo a los parámetros establecidos.

El presente trabajo está enfocado en mejorar los procesos de coagulación-floculación, ayudando al operador a dosificar la cantidad necesaria de coagulante, para que el proceso sea eficiente y eficaz, evitando la dosificación por defecto o en exceso.

Palabras Claves: Floculación. Coagulación. Alcalinizante. Potabilización. Turbiedad. Curva de dosificación.



Abstract

The access to a safe and drinking water sources is a fundamental people right, for this reason, the study in the “Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)”, is focused on determine the optimal Type-B Aluminum Sulfate dose, in function of the turbidity, the water color and the pH, by this way, obtaining the dose curve, to optimize the coagulation – flocculation treatment, getting an optimal water quality.

To determine the right Aluminum Sulfate dose and the inorganic compounds that helps to form flocs and maintain the pH, 16 jar tests were made with their respective physical-chemical analysis, where the optimal dose, is obtained in function of the ending turbidity, the ending color of the water and the final pH. By obtaining the appropriate dose in each jar tests, the Aluminum Sulfate dose curve is obtained using math methods, this with the elaboration of the flow chart, helps to the treatment plant operator staff the correct Aluminum Sulfate dosage, that is reflected in the turbidity removing, the color removing, and the conservation of the treated water pH.

The adequate dosage of Aluminum Sulfate makes the maximal raw water particles and impurities removing due to the flocculation that ease the sedimentation and the next filtration, getting an excellent water quality that is in accordance to the parameters of the “NTE INEN 1108:2011” norm. To more of this, it could determine that the addition of calcium carbonate and sodium carbonate, advantage to form flocs by adjusting the pH, keeping this in favorable ranges to water treatment, using Type B Aluminum Sulfate and Chlorine.

KEYWORDS: Flocculation. Coagulation. Alkalinizing. Water. Treatment. Turbidity. Dosage curve.



Índice

Resumen	2
Abstract.....	3
Índice	4
Índice de figuras	7
Índice de Ilustraciones	7
Índice de Tablas.....	8
Identificación del Problema y Justificación	14
Introducción.....	16
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Capítulo I.....	18
1. Fundamento Teórico.....	18
1.1. Características generales del agua.....	18
1.2. Potabilización del Agua	18
1.3. Tipos de Plantas de Potabilización.....	19
1.4. Operaciones de la Potabilización	19
1.5. Ajuste de pH.....	38
1.6. Requisitos para el Agua Potable.....	40
Capítulo II.....	44
2. Descripción proceso de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G).....	44
2.1. Conducción y Captación del Agua Cruda	47
2.2. Mezcla Rápida:.....	50
2.3. Coagulación.....	51
2.4. Floculación	54
2.5. Sedimentación	55
2.6. Filtración	57
2.7. Desinfección.....	58
2.8. Almacenamiento de Agua tratada	58
2.9. Laboratorio de control de calidad.....	59
Capítulo III	61
3. Metodología Experimental	61
3.1. Muestreo.....	62
3.2. Determinación de parámetros físico- químicos de agua cruda	62
3.2.1. Equipos, Materiales y Reactivos	62
3.3. Condiciones de Operación para el Proceso de Coagulación - Floculación..	63



3.4.	Dosificación de Coagulante	64
3.5.	Preparación de Coagulante en la Planta de Tratamiento y en el Laboratorio para los Ensayos de Pruebas de Jarras	64
3.6.	Ensayos de Jarras y obtención de dosis óptima de coagulante	65
3.7.	Evaluación de proceso.....	68
3.8.	Análisis de resultados método estadístico.....	68
3.9.	Proceso para el aforado del tanque de dosificación de vía húmeda	68
Capítulo IV	.....	70
4.	Datos Experimentales	70
4.1.	Datos de parámetros físico- químicos de diagnóstico del proceso de floculación-coagulación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo PTAP-G.....	70
4.2.	Prueba de Jarras mes de marzo y abril	72
4.3.	Prueba de Jarras mes de mayo.....	76
4.4.	Prueba de Jarras mes de agosto	79
4.5.	Parámetros iniciales y finales con dosis óptimas de coagulante	83
Capítulo V	.....	84
5.	Análisis de Resultados.....	84
5.1.	Evaluación de la situación inicial de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) por medio de la caracterización de las muestras de agua cruda	84
5.2.	Relación de resultados frente a los límites máximos permitidos	85
5.3.	Relación de la dosis de coagulante y turbiedad inicial de ensayos	89
5.4.	Relación de la dosis de coagulante y color inicial de ensayos	90
5.5.	Porcentajes de remoción de color y turbiedad con sulfato de Aluminio tipo B 90	
5.6.	Comportamiento de pH inicial y final.....	92
5.7.	Observaciones de Formación de Flóculos.....	94
5.8.	Obtención de la curva de Dosificación:	96
5.9.	Dosificación de Sulfato de Aluminio en función del caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento Gualaceo.	101
5.10.	Aforado del tanque de dosificación de vía húmeda para coagulante.	102
Capítulo VI	.....	103
6.	Conclusiones y Recomendaciones	103
6.1.	Conclusiones	103
6.2.	Recomendaciones.....	104
Bibliografía	.....	105
ANEXOS	.....	108
ANEXO No. 1 FICHA TÉCNICA DE CAL	.....	108
ANEXO No. 2 FICHA TÉCNICA DE SULFATO DE ALUMINIO	.....	108



ANEXO No. 3 FICHA TÉCNICA DE CARBONATO SÓDICO	108
ANEXO No. 4 FICHA TÉCNICA DE CLORO GAS	108
ANEXO No. 5 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS.....	108



Índice de figuras

FIGURA 1. MOLÉCULA DE AGUA.....	18
FIGURA 2. CONTORNO DE LA DOBLE CAPA ELÉCTRICA DE UNA PARTÍCULA COLOIDAL	22
FIGURA 3. FENÓMENO DE COAGULACIÓN POR ADSORCIÓN	24
FIGURA 4. PRECIPITACIÓN POR COAGULACIÓN DE BARRIDO.....	25
FIGURA 5. ATRAPAMIENTO DE PARTÍCULAS EN UN FLOC	26
FIGURA 6. REACCIÓN DE DOSIS DE COAGULANTE Y LA CONCENTRA COLOIDAL CON PH CONSTANTE.....	31
FIGURA 7. TABIQUES HORIZONTALES	34
FIGURA 8. FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL.....	34
FIGURA 9. SEDIMENTADOR DE ALTA TASA.	36
FIGURA 10. . CONCENTRACIÓN DE ION ALUMINIO Y EL PH	39
FIGURA 11. DIAGRAMA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE.....	46
FIGURA 12. CAÍDA DE FLOCS HACIA EL COLECTOR DE LODOS EN EL SEDIMENTADOR LAMINAR	56
FIGURA 13. DIAGRAMA DE PROCESO EXPERIMENTAL.....	61
FIGURA 14. TURBIEDAD FINAL DE ENSAYOS REALIZADOS COMPARADOS CON EL LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO.	85
FIGURA 15. RESULTADOS DE COLOR FINAL COMPARADOS CON EL LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO POR LA NORMA INEN 1108:2014.	86
FIGURA 16. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PH INICIALES Y FINALES EN FUNCIÓN DEL LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO	87
FIGURA 17. RELACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE CON LA TURBIEDAD INICIAL.....	89
FIGURA 18. RELACIÓN DE DOSIS ÓPTIMA Y COLOR INICIAL	90
FIGURA 19. RELACIÓN DE PH INICIAL Y FINAL.	93
FIGURA 20. RELACIÓN DE DOSIS DE COAGULANTE Y DOSIS DE ALCALINIZANTE.....	94
FIGURA 21. ÍNDICE DE WILLCOMBS PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DEL FLÓCULO.....	95
FIGURA 22. CURVA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO DE 0 A 1000 NTU	97
FIGURA 23. CURVA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO DE 5 A 100 NTU.....	98
FIGURA 24. CURVA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO DE 100 A 400 NTU	99
FIGURA 25. CURVA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO DE 400 A 1000 NTU	100

Índice de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. UBICACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO.....	44
ILUSTRACIÓN 2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G), MÓDULO 1.....	45
ILUSTRACIÓN 3. VISTA LATERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP- G) - MÓDULO 1	47
ILUSTRACIÓN 4. INGRESO A LA CAPTACIÓN DEL RÍO SAN FRANCISCO.....	48
ILUSTRACIÓN 5. CAPTACIÓN RÍO SAN FRANCISCO.....	48
ILUSTRACIÓN 6. CAPTACIÓN UCHUCAY	49
ILUSTRACIÓN 7. CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE CANAL ABIERTO HACIA LAS REJILLAS DE LA CAPTACIÓN DE UCHUCAY	49
ILUSTRACIÓN 8. TUBERÍAS DE ENTRADA DE AGUA DE CAPTACIÓN HACIA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G).....	50
ILUSTRACIÓN 9. TUBERÍA DE ENTRADA DE AGUA DE LA CAPTACIÓN HACIA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G).....	50
ILUSTRACIÓN 10. VERTEDERO HIDRÁULICO TRIANGULAR	51
ILUSTRACIÓN 11. DOSIFICACIÓN DE ALCALINIZANTE AL 1% DE CONCENTRACIÓN AL TANQUE DE MEZCLA RÁPIDA	51
ILUSTRACIÓN 12. TANQUE DE MEZCLA DE CAL/CARBONATO	52
ILUSTRACIÓN 13. MOTOR DE AGITACIÓN DE LA MEZCLA DE CAL/CARBONATO DE SODIO.....	52
ILUSTRACIÓN 14. CUARTO DE PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.....	53
ILUSTRACIÓN 15. TANQUE DOSIFICADOR DE VÍA HÚMEDA DE CARGA CONSTANTE DE SULFATO DE ALUMINIO.....	53
ILUSTRACIÓN 16. DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO B AL 2 % DE CONCENTRACIÓN EN EL VERTEDERO RECTANGULAR EN LA ZONA DE MAYOR TURBULENCIA.	54
ILUSTRACIÓN 17. BATERÍA DE FLOCULADORES DE FLUJO VERTICAL	55
ILUSTRACIÓN 18. SEDIMENTADOR 1 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G).....	56



ILUSTRACIÓN 19. TUBERÍA COLECTORA DE LODOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.	57
ILUSTRACIÓN 20. FILTROS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G)	57
ILUSTRACIÓN 21. CÁMARA DE CLORACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G).....	58
ILUSTRACIÓN 22. DISTRIBUCIÓN DE TANQUES DE CLORO GAS	58
ILUSTRACIÓN 23. TANQUE DE RESERVA UBICADO EN PARCULOMA CON UNA CAPACIDAD DE 500 M ³	59
ILUSTRACIÓN 24. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.	60
ILUSTRACIÓN 25. LABORATORIO DE CONTROL BACTERIOLÓGICO DE PARÁMETROS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G).....	60
ILUSTRACIÓN 26. MEDICIONES DE CAUDAL PARA EL AFORADO DEL TANQUE DE DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO.....	69
ILUSTRACIÓN 27. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS – LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G)	71
ILUSTRACIÓN 28. FLÓCULOS FORMADOS EN RANGOS SUPERIORES A 7,11 UNIDADES DE pH	86
ILUSTRACIÓN 29. ENSAYO DE JARRAS NO. 15 CORRESPONDIENTE AL MES DE AGOSTO.....	88
ILUSTRACIÓN 30. PRESENTACIÓN DE FLOCS EN ENSAYOS REALIZADOS	95

Índice de Tablas

TABLA 1. PODERES RELATIVOS DE COAGULACIÓN DE VARIOS ELECTROLITOS	26
TABLA 2. PARÁMETROS FÍSICOS CON SUS LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS	41
TABLA 3. PARÁMETROS QUÍMICOS LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS.....	43
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE EXTENSIÓN DE CAPTACIONES HASTA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GUALACEO (PTAP-G)	50
TABLA 5. CONDICIONES DE DISEÑO PARA LA OPERACIÓN EN CADA UNA DE LAS ETAPAS	64
TABLA 6. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA, SEDIMENTADA Y TRATADA	70
TABLA 7. VALORES DE ANÁLISIS DE COLIFORMES TOTALES Y FECALIS.	71
TABLA 8. ENSAYOS REALIZADOS DURANTE EL PERIODO DE ANÁLISIS.....	71
TABLA 9. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA PARA ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EN EL MES DE MARZO Y ABRIL.....	72
TABLA 10. RESULTADOS DE COLOR DESPUÉS APLICACIÓN DE COAGULANTE ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE MARZO Y ABRIL.	72
TABLA 11. RESULTADOS DE TURBIEDAD FINAL CON SU DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE EN LOS MESES DE MARZO Y ABRIL.	73
TABLA 12. RESULTADOS DEL pH FINAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON EL ENSAYO DE JARRAS EN EL MES DE MARZO Y ABRIL.	73
TABLA 13. ANÁLISIS QUÍMICOS DE SULFATOS DE LOS MESES DE MARZO Y ABRIL.....	74
TABLA 14. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ALUMINIO.....	74
TABLA 15. DATOS DE TURBIEDAD, COLOR Y pH FINALES EN LOS MESES DE MARZO Y ABRIL.	74
TABLA 16. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA PARA ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EN EL MES MAYO. 76	
TABLA 17. RESULTADOS DE COLOR DESPUÉS APLICACIÓN DE COAGULANTE ENSAYOS REALIZADOS EN EL MES DE MAYO.	76
TABLA 18. RESULTADOS DE TURBIEDAD FINAL CON SU DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE EN EL MES DE AGOSTO.	77
TABLA 19. RESULTADOS DEL pH FINAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON EL ENSAYO DE JARRAS EN EL MES DE MAYO.....	77
TABLA 20. ANÁLISIS QUÍMICOS DE SULFATOS Y ALUMINIO DE LOS MEJORES ENSAYOS DEL MES DE MAYO. 78	
TABLA 21. DATOS DE TURBIEDAD, COLOR Y pH FINALES EN EL MES DE MAYO.	78
TABLA 22. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA PARA ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS EN EL MES DE AGOSTO.	79
TABLA 23. RESULTADOS DE COLOR FINAL REALIZADOS EN EL MES DE AGOSTO.....	80
TABLA 24. RESULTADOS DE TURBIEDAD FINAL CON SU DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE EN EL MES DE AGOSTO.	80
TABLA 25. RESULTADOS DEL pH FINAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON EL ENSAYO DE JARRAS EN EL MES DE AGOSTO.	81
TABLA 26. DATOS DE TURBIEDAD, COLOR Y pH FINALES EN EL MES DE AGOSTO.	81
TABLA 27. RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SULFATOS Y ALUMINIO DE ENSAYOS FINALES DEL MES DE AGOSTO.	81



TABLA 28. VALORES DE PARÁMETROS INICIALES Y FINALES CON DOSIS ÓPTIMAS	83
TABLA 29. RESULTADOS DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD	91
TABLA 30. PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE COLOR CON SULFATO DE ALUMINIO TIPO B.	92
TABLA 31. ÍNDICE DE WILLCOMBS.....	96
TABLA 32. AFORADO DE TANQUE DE DOSIFICACIÓN DE VÍA HÚMEDA PARA SULFATO DE ALUMINIO TIPO B	102
TABLA 33. TABLA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL	101



Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Rebeca Abigail Guncay Llivicura en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización del proceso de coagulación – floculación en la planta de tratamiento de la Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo Emapas-G-EP", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de Abril del 2019

Rebeca Abigail Guncay Llivicura

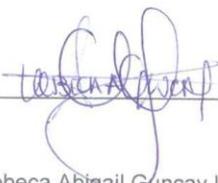
C.I.: 0105139265



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Rebeca Abigail Guncay Llivicura, autor del trabajo de titulación "Optimización del proceso de coagulación – floculación en la planta de tratamiento de la Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo Emapas-G-EP", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de Abril del 2019



Rebeca Abigail Guncay Llivicura

C.I: 0105139265



Agradecimiento

A mis padres German, Patricia y hermanos por su apoyo, comprensión y palabras de aliento que me dieron la fuerza necesaria para la culminación de esta meta.

A mi esposo Andrés por ser parte de este logro por su apoyo y paciencia en los momentos que nos han tocado compartir.

Quiero agradecer de manera especial a mi asesora de tesis la Dra. Fabiola Matute quien con experiencia, conocimiento, consejos y motivación que me orientaron a la creación de este trabajo. A la Ing. Sonia Astudillo por su enseñanza, tiempo y dedicación que fueron la guía para encaminar y terminar este proyecto.

De igual manera quiero agradecer a la Empresa de Agua Potable y Saneamiento de Gualaceo EMAPAS-G-EP, a través de su gerente el Ing. Galo Durazno por abrirme sus puertas en la planta de tratamiento de agua potable, y a todos quienes lo conforman, por su acogida y ayuda para la elaboración de mi trabajo de titulación, a todos ustedes gracias.



Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres y hermanos por su amor, apoyo y motivación a los largo de estos años que me han dado palabras de aliento para continuar hacia delante, y culminar esta meta.

A ti Andrés, por estar a mi lado de manera incondicional y apoyarme través de este tiempo, por tu amor y comprensión, a pesar de las dificultades que la vida nos ha presentado.



Identificación del Problema y Justificación

El agua es uno de los recursos naturales más importantes a nivel mundial, la protección de las reservas acuíferas es el objetivo de todos los países, gobiernos y comunidades para permitir la subsistencia de todas las formas de vida, en cuyos cuerpos, aproximadamente, el 72% de su peso corporal está constituido por agua.

La disponibilidad de este recurso es limitada ya que solo el 3% del agua del planeta es agua dulce, y esta se obtiene principalmente por su caída en la tierra en forma de lluvia que crea lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos.

El suministro de agua potable para el consumo es un problema que enfrenta el hombre en la actualidad debido al aumento progresivo de la población y su uso para las diversas actividades diarias como: la preparación de alimentos, higiene, la agricultura, industria, y servicios domésticos.

La Empresa Pública de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo, EMAPAS-G EP, cuenta con una planta potabilizadora conformada de dos módulos de operación de aguas superficiales provenientes de dos captaciones: la quebrada de Uchucay y un canal del Río San Francisco. Para abastecer a sus 4.880 usuarios hasta el año 2017.

Esta planta tiene como procesos: mezcla rápida, coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Una de las etapas más críticas de estos procesos es el de coagulación – floculación debido a las condiciones del clima especialmente cuando existe alta pluviosidad, debido a que el agua que ingresa a la primera etapa puede estar en condiciones variables de color, turbiedad y pH.

El agua que ingresa a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G), contiene gran variedad de impurezas tanto solubles como insolubles, que son las encargadas de constituir el color y la turbiedad, lo que hace indispensable el uso de sustancias que faciliten su desestabilización y aglomeración. Por esto la planta de tratamiento cuenta con un dosificador de carga constante de vía húmeda para la dosificación de sulfato de aluminio al 2% de concentración, mismo que no posee agitación constante.

Es decir, que el sulfato de aluminio presente en la solución puede precipitarse con facilidad, generando que la concentración que se vierte la masa de agua no sea constante



y homogénea. Es necesario reconocer que el proceso de coagulación – floculación es la base para el adecuado funcionamiento de la planta de agua potable, para que no afecte a las etapas posteriores del proceso, ocasionando que las partículas permanezcan en suspensión y atraviese los filtros finos, obteniendo agua de mala calidad y tener como consecuencias pérdidas económicas.



Introducción

El cantón Gualaceo se encuentra ubicado en la parte centro-oriental de la provincia del Azuay, a 36 km desde la ciudad de Cuenca, situada a 2.330 m.s.n.m., perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Paute, con climas templados y fríos, (M. I. Municipalidad de Gualaceo, 2011), con una temperatura promedio anual de 17 grados centígrados, propio de las zonas cordilleras de ecosistemas de bosque Nublado y los páramos andinos.

En los periodos muy fríos puede llegar a los 6 grados centígrados mientras que, en los días soleados a los 25 grados centígrados, la precipitación aproximada es de 911 milímetros anuales siendo los meses de lluvia Abril, Mayo, Junio y Julio, y los de sequía perteneciendo al periodo Agosto-Noviembre. (M. I. Municipalidad de Gualaceo, 2011)

Gualaceo tiene una extensión de 346,5 km², cuenta con una población aproximada de 42.709 habitantes, que se distribuyen en zonas urbanas y rurales, la población urbana es del 32,7% y la población rural el 67,3%, (INEC, 2014). Para el año 1986 el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias "IEOS", inicia con el abastecimiento de agua hacia la zona urbana desde el río San Francisco a través de un canal, para luego ser tratada en un tanque de reserva ubicado en Capzha a 5 km del centro cantonal.

Con el aumento de la población se vio la necesidad de la construcción de una planta de tratamiento que fue emplazada en Capzha, donde se cumplen los procesos para el tratamiento de agua. Es así que la Empresa Municipal de Agua potable y Saneamiento de Gualaceo-EMAPAS-G EP, se crea el 09 de diciembre del año 2005, con el fin de brindar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento para Gualaceo, cuyas funciones son: operar, mantener, administrar y controlar la calidad del agua potable.

Debido a la localización del cantón Gualaceo, y altas incidencias de precipitación, el agua que ingresa a la planta de tratamiento tiene cambios constantes en sus propiedades físicas y químicas. Y se ve la necesidad de optimizar el proceso de coagulación – floculación para conseguir una mayor efectividad en cuanto a la remoción de partículas coloidales presentes en el agua, y garantizar a los consumidores que el agua esté libre de microorganismos patógenos y que cumpla con la normativa vigente que garantiza que el agua tratada sea de óptima calidad.



Objetivos

Objetivo General

Optimizar el proceso de floculación-coagulación en la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo, EMAPAS-G mediante la obtención de curvas de dosificación de Sulfato de Aluminio.

Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del proceso de floculación- coagulación de la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo, EMAPAS-G.
- Elaborar curvas de dosificación de coagulante, mediante pruebas de jarras de diferentes muestras con distintos valores de turbiedad y color.
- Elaborar tablas de dosificación para implementarlas en la planta de tratamiento de agua potable PTAP.
- Aplicar las dosis óptimas según los parámetros analizados para el agua, para la obtención de un agua de mejor calidad y mejorar el uso del coagulante usado en la planta de tratamiento.

Capítulo I

1. Fundamento Teórico

1.1. Características generales del agua

El agua se presenta principalmente como un líquido y con tres características principales siendo que el agua pura es insípida (no tiene sabor), incolora (sin color) e inodora (sin olor). (Cardenas, 2000), esencial para la vida animal y vegetal, solvente universal compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (Romero, Calidad de agua, 2005). La disposición espacial de los átomos de la molécula de H_2O en ángulos de $104,5^\circ$ de separación entre cada partícula y que permanece unida por la alta electronegatividad del oxígeno frente a la del hidrógeno, posibilita la acumulación parcial de carga negativa, existiendo un momento dipolar, facilitando la unión electrostática de moléculas. (Mellado & Galvin, 1999).

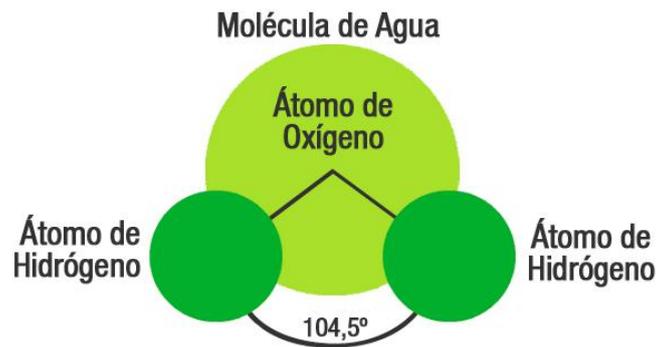


Figura 1. Molécula de agua

Fuente: <https://www.ceupe.com/blog/el-agua-sus-caracteristicas-y-propiedades.html>

Entre las propiedades físicas del agua tenemos:

- Estado físico: sólida, líquida y gaseosa.
- Densidad: 1 g/cm^3 a 4°C
- Punto de congelación: 0°C
- Punto de ebullición : 100°C
- Presión crítica: 217,5 atm.
- Temperatura crítica: 374°C

1.2. Potabilización del Agua

La potabilización es un conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda para modificar sus propiedades organolépticas, físicas, químicas y



microbiológicas con el propósito de hacerla apta para el consumo humano (Rivas, Potabilización del Agua, 2015).

La calidad del agua cruda varía de una fuente a otra, por ello, el tipo de tratamiento requerido para potabilizar el agua, también va a variar. (Rivas, 2015). Dependiendo de la calidad del agua cruda, se determina el grado de complejidad del tratamiento y el diseño de la planta para que sea eficiente y económica requiriendo un estudio de los procesos y operaciones que cumplan con la norma vigente, cuidando la salud del consumidor. (Rojas, 2002) El agua debe purificarse para que esté siempre libre de todo organismo patógeno, la desinfección es efectiva para dicho propósito si está libre de material suspendido, para que los organismos no encuentren recubrimiento protector de material que produce turbiedad. (Rojas, 2002)

1.3. Tipos de Plantas de Potabilización

En una planta potabilizadora se da un proceso sistemático de operaciones unitarias en las cuales se pueden clasificar por el tipo de proceso involucrado en dos tipos: de filtración rápida y filtración lenta. (Conagua, 2014)

- a. Plantas de Filtración rápida.** - este tipo de planta está integrada por los siguientes procesos: coagulación, decantación, filtración y desinfección. La diferencia radica en el proceso de coagulación que se realiza en dos etapas, el primero es la agitación fuerte para tener una dispersión instantánea conocido como mezcla rápida y el segundo paso que es la agitación lenta para que se aglomeren y crezcan los flocs para que se precipiten. (Vargas, 2004)
- b. Plantas de Filtración lenta.** - este tipo de filtros simulan el proceso que se efectúa en la naturaleza como lo es con el agua lluvia, ríos, lagos, etc. La planta de tratamiento debe contar con una serie de procesos previos como desarenado, pre sedimentación, sedimentación y filtración de grava para poder acondicionar el agua para ingresar a los límites aceptables para el filtro en un máximo de 500 N.T.U. (Vargas, 2004)

1.4. Operaciones de la Potabilización

Las principales operaciones de potabilización en una planta de tratamiento son las siguientes: (Romero, 2005):

- Captación
- Desbaste



- Desarenadores
- Pre sedimentadores
- Mezcla rápida
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección/Cloración

1.4.1. Captación

La fuente de agua de donde se abastecerá la población debe ser caracterizada de una manera completa y conforme una normativa de uso para la cual está destinada en este caso para el consumo humano, en nuestro país es la NTE INEN 1108: Agua Potable. Requisitos. Dando cumplimiento a métodos estándar y disposiciones legales vigentes. (Rivas, Potabilización del Agua, 2015), siendo una estructura que permita captar el agua cruda de mejor calidad y alejada de alguna fuente de contaminación, cuando se capta agua de un río se conduce a cierta distancia del río o de la fuente para luego ser conducida fácilmente por canales y tuberías. (Brière & Pizarro, 2005)

1.4.2. Desbaste

El objetivo de esta etapa es el retirar del agua cruda conducida para ser potabilizada los elementos gruesos como: ramas, hojas, restos de animales y objetos indeseables. Para los casos que se toman desde un río se debe de proyectar o construir un canal abierto y no por tubería para que los restos sean mejor eliminados por dispositivos como rejillas, mallas o trampas flotantes. (Rivas, Potabilización del Agua, 2015)

- **Rejillas.** - estas se pueden clasificar de acuerdo a la distancia de los barrotes en: finas (1,5 - 3,0 cm), medias (3,0 - 5,0 cm) y gruesas (más de 5,0 cm). También por su posición en: verticales (75° y 85° de inclinación) e inclinadas (entre 45° y 60° de inclinación) y finalmente por la forma de limpieza en manual (el operador debe retirar periódicamente el material) y mecánica (dispositivos fabricados para retirar los sólidos) (Rivas, Potabilización del Agua, 2015)
- **Desarenadores.**- se deben ubicar cerca de la fuente con el fin de proteger de la abrasión y taponamiento a la línea de conducción hacia la planta de



tratamiento, siendo unidades de sedimentación de partículas discretas que funcionan con tiempos de retención largos por tiempos de caída de las partículas con gravedad específica y describiendo trayectorias semi-parabólica aplicando la Ley de Stokes (Rivas, Potabilización del Agua, 2015)

- **Pre sedimentadores.** – a diferencia de los desarenadores estos remueven las partículas más finas, siendo de dos tipos de flujo horizontal y vertical, comúnmente se usan en aguas que poseen una turbiedad igual o superior a 1.000 NTU para mejorar el rendimiento de los coagulantes y floculantes para acelerar el proceso de sedimentación de las partículas, pero se debe considerar también construir un sistema de extracción o remoción de lodos. (Alejandro, 2009)

1.4.3. Mezcla Rápida

En el tratamiento de agua la mezcla rápida es una operación que se usa con el fin de dispersar diferentes tipos de sustancias químicas, generalmente con el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante al flujo de agua. (Rojas, 2002). La mezcla puede darse mediante la turbulencia provocada por sistemas hidráulicos o mecánicos, los mismos que pueden ser: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida (Rojas, 2002).

El uso de estos dispositivos es variado y su elección adecuada depende de las condiciones de diseño y adecuación de la planta, generando dos diferencias entre estos:

- **Mezcladores Mecánicos.** - para este proceso se utilizan tanques con equipos de agitación. Estos tanques son fabricados para generar la turbulencia necesaria por mediante el uso de hélices, paletas, turbinas u otros elementos acoplados a un eje de rotación impulsados por fuerza motriz (Rojas, 2002)
- **Mezcladores Hidráulicos.** - estos se utilizan cuando se dispone de energía en el flujo de entrada, con resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, dispersores de tubos perforados o tanques con baffles (paletas en las paredes), para dispersar la energía en turbulencia y mezclar así el coagulante (Rojas, 2002). Entre las ventajas que ofrece este tipo de equipo es el no requerir el uso adicional de equipo mecánico considerando para lugares en donde no se

cuenta con personal capacitado ni el suministro apropiado de repuestos (Rojas, 2002)

1.4.4. Coagulación

El agua puede contener partículas en suspensión, tanto orgánicas como inorgánicas que pueden ser sedimentadas por simples procedimientos físicos y, otras que requieren el uso de compuestos químicos que intervienen en la carga superficial y que al aglutinar las partículas en pequeños flocs se vuelven más pesadas y más fáciles de sedimentar, a este proceso se lo denomina coagulación. (Pujos, 2013).

El coloide puede definirse como una partícula en suspensión formada por un sistema de fases heterogéneas que no se separan, describiendo trayectorias zigzagueantes producidas por los choques entre moléculas del agua (Movimiento Browniano), oponiéndose a la decantación e impulsada por las fuerzas de repulsión entre sí. (Alejandro, 2009). Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, impidiendo que se formen masas mayores y puedan sedimentarse. (Kemmer & McCallion , 2001).

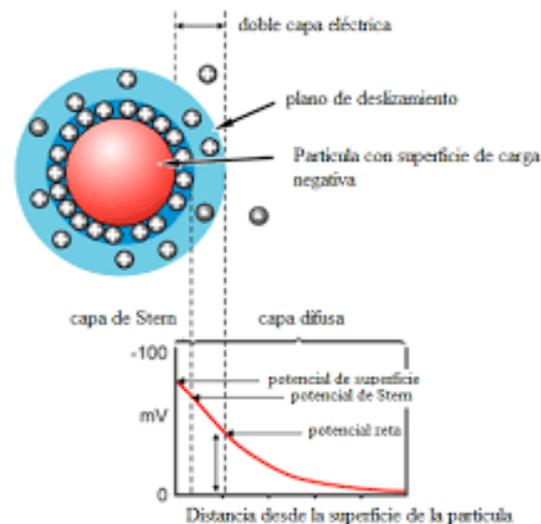


Figura 2. Contorno de la doble capa eléctrica de una partícula coloidal

Fuente: https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/124062/mod_resource/content/1/CFI.pdf

Con la coagulación se logra neutralizar las fuerzas que mantienen las partículas separadas, cancelando las cargas de la superficie del coloide, para que se aglomeren formando flocs que son capaces de precipitarse para facilitar el proceso de eliminación de partículas coloidales (Kemmer & McCallion , 2001).



1.4.4.1. Potencial Zeta

El movimiento que se produce en las capas superficiales dieléctricas de las partículas da como resultado un cizallamiento en donde la fricción de iones generan un potencial eléctrico, esto es lo que se conoce como potencial Zeta (Alejandro, 2009), en fuentes de agua natural con un pH de 5 a 8, el potencial de zeta se encuentra entre -14 y -30 mili volts, considerándose que a un mayor potencial eléctrico negativo se genera una mejor colisión de partículas, es aquí donde los coagulantes presentan un ligero potencial zeta negativo para que la carga no sea neutralizada por completo (Kemmer & McCallion , 2001). La desestabilización de las partículas no es solo neutralización sino también la compresión, es decir, el colapso de la doble capa eléctrica de la superficie solida del coloide. (Alejandro, 2009)

Los factores que pueden afectar la estabilidad de las partículas son dos grandes fuerzas (Cardenas, 2000): *Fuerzas de atracción de Van der Waals* que genera inestabilidad producidas por el movimiento continuo de las partículas, por el enlace covalente que se dan entre partículas por las capas electrónicas. Mientras tanto que *Fuerzas de repulsión electrostáticas* generan estabilidad ya que son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas, por la distancia mínima entre los núcleos.

Por lo tanto para lograr la aglomeración de las partículas y para reducir la fuerza de repulsión, se da añadiendo iones de carga eléctrica contraria a la del coloide que se va a remover, para producir el doble efecto, el primero: disminuir la carga eléctrica neta del coloide con respecto a la solución y, segundo el aumentar la concentración de iones para reducir la distancia de la cual la carga es efectiva, en conclusión mientras mayor sea la valencia del ion mayor será su poder de coagulación (Romero, Calidad de agua, 2005).

Tipos de coagulación

La coagulación se puede realizar mediante dos mecanismos:

- a) **Absorción de especies hidrolíticas por el coloide:** la desestabilización provocada por las interacciones coagulante-coloide, dan como resultado la neutralización de las cargas en la parte superficial en coloide. Este

mecanismo también se lo llama neutralización de carga. Su efectividad se ve afectada por la dosis de coagulante y el pH. De tal forma que estas especies se forman complejos superficiales desestabilizando al coloide permitiendo así la formación de flocs. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

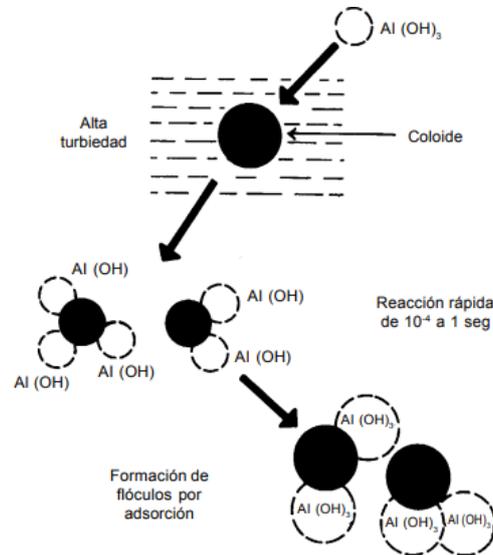


Figura 3. Fenómeno de coagulación por adsorción
Fuente: (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

- b) **Por barrido:** en dosis altas de coagulante en solución como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, forman precipitados de sus hidróxidos metálicos, que envuelven a las partículas coloidales sin depender de la neutralización de las cargas. Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara y el porcentaje de coloides es pequeño. Este tipo de mecanismo es utilizado en plantas de tratamiento donde la floculación y sedimentación son anteriores a la filtración. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

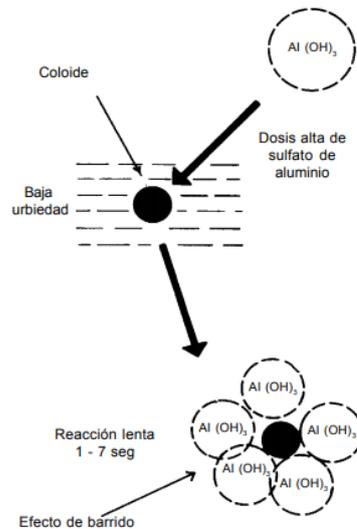


Figura 4. Precipitación por coagulación de barrido
Fuente: (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

Mediante este proceso lo que se pretende es lo siguiente:

- Remoción de la turbiedad y color
- Eliminación parcial de virus, bacterias y microorganismos patógenos

En este proceso es necesario considerar que el reactivo debe ser capaz de permitir la separación de la suspensión coloidal mediante la desestabilización (anulación de fuerzas repulsivas) y agregación (aglomeración de coloides neutralizados) (Alejandro, 2009).

El fenómeno de desestabilización involucra una serie de reacciones químicas, entre estas se encuentran algunas que involucran la alcalinidad del agua, y en tanto que otras producen CO_2 , cuyo efecto consisten en el incremento de la acidez del agua y por consiguiente la disminución del pH. (Peña, 1995)

1.4.4.2. Selección de los Coagulantes

En aguas superficiales podemos encontrar que poseen cargas negativas, para esto se utilizan coagulantes que son compuestos de hierro o aluminio que son capaces de formar un floc para dar como resultado la coagulación de las partículas suspendidas en el agua. Los más utilizados en son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, cloruro férrico, el aluminato de sodio y la cal (Romero, Calidad de agua, 2005). De acuerdo con la ley de Schulze-Hardy: “La precipitación de un coloide es efectuada por aquel ion del electrolito añadido que tenga una carga opuesta en signo a la de las partículas

coloidales, y el efecto de dicho ion se incrementa tanto más cuanto mayor sea el número de cargas que posea” (Romero, Calidad de agua, 2005).

Tabla 1. Poderes relativos de coagulación de varios electrolitos

Electrolito	Coloide +	Coloides -
$NaCl$	1	1
Na_2SO_4	30	1
Na_2PO_4	1.000	1
$BaCl_2$	1	30
$MgSO_4$	30	30
$AlCl_3$	1	1.000
$Al_2(SO_4)_3$	30	>1.000
$FeCl_3$	1	1.000
$Fe_2(SO_4)_3$	30	>1.000

Fuente: (Romero, 2005)

Las partículas coloidales desestabilizadas se las puede atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes que pueden ser sales de metales trivalentes como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o cloruro férrico $ClFe_3$ con la presencia de algunos aniones y partículas coloidales jugando un rol durante la formación del floc, en relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. (Kemmer & McCallion , 2001)

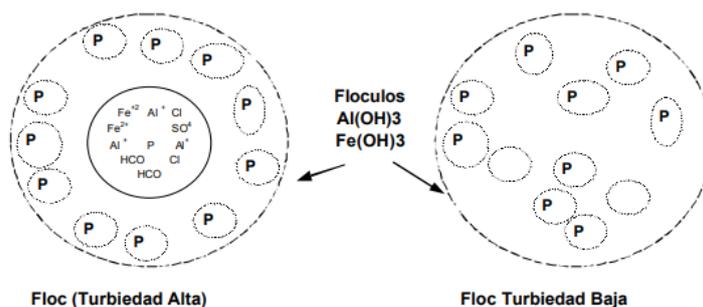
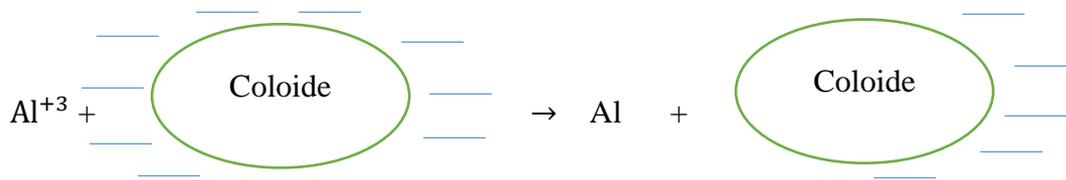


Figura 5. Atrapamiento de partículas en un Floc
Fuente: (Cardenas, 2000)

Sulfato de Aluminio (alumbre).- es el coagulante estándar que es empleado en el tratamiento de aguas, usualmente de manera comercial se obtiene con la siguiente formula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ con un peso molecular de 600 uma, encontrándose en presentaciones siendo las más comunes: en polvo, molido, en terrones, granulado y en



forma líquida (diluido en concentraciones) (Romero, 2005). Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y SO_4^- . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar la parte coloidal. (Castrillón Bedoya & Giraldo, 2012)



El Al^{+++} pueden también combinarse con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.



Y,

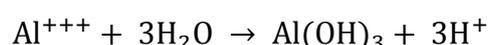
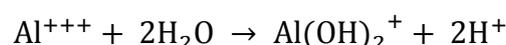
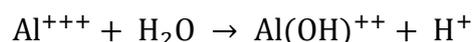


Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que absorbe iones positivos en solución, para neutralizar la carga de los coloides negativos para dar lugar a la aglomeración de las partículas. (Castrillón Bedoya & Giraldo, 2012)

En las soluciones además se forma un exceso de solución de hidróxido de aluminio y su destrucción se logra mediante los iones sulfato y otros iones negativos que se encuentran presentes en el agua.



Se puede afirmar también que los cationes metálicos reaccionan inmediatamente con el agua para formar hidróxidos en solución e hidrogeno, permaneciendo libres o combinados con otros cationes.





Los hidróxidos en solución son absorbidos por el coloide negativo neutralizando la carga superficial permitiendo la coagulación. La coagulación por adsorción y neutralización de la carga es posible a la alta concentración de los coloides. Permitiendo que los coloides sean atrapados durante la floculación y sedimentación, por los precipitados de $Al(OH)_3$ efectuando una coagulación por barrido. Debe considerarse sin embargo, que la sobre dosificación de coagulante, puede revertir el fenómeno y resurgir el coloide negativo causando nuevamente problemas de turbiedad y color. (Castrillón Bedoya & Giraldo, 2012)

Es por esto que al adicionarse el sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin que se logre el contacto con todas las partículas evitando la formación de especies menos deseables. Esto se logra mediante una mezcla instantánea y homogénea en el menor tiempo posible. (Castrillón Bedoya & Giraldo, 2012)

En el proceso de floculación se completa la aglomeración de partículas y el crecimiento de flocs hasta llegar a la sedimentación. Durante la sedimentación el floc se precipita para dejar un líquido clarificado. Cuando se añade sulfato de aluminio como coagulante al agua este reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar el floc de hidróxido de aluminio:



La producción de CO_2 es inestable puesto que incrementa la acidez del agua, como se puede apreciar en la reacción se da una conversión del bicarbonato de calcio en sulfato de calcio, lo cual reduce la dureza de carbonatos. Si el agua no contiene alcalinidad natural suficiente es necesario añadir un alcalinizante con el uso de cal o de carbonato de sodio.



La dosis de sulfato de aluminio varía normalmente de entre 5 a 50 mg/L para aguas naturales y el pH efectivo para la coagulación es de 5,5 a 8,0. (Castrillón Bedoya & Giraldo, 2012)



También se pueden emplear las sales de hierro que tienen una ventaja sobre las de aluminio y es que forma flocs más pesados y el pH es menos restrictivo en rangos, pero su poder corrosivo hace que se manchen las superficies haciéndolo difícil de manejar (Alejandro, 2009).

Se debe tomar en consideración que si se sobre dosifica el coagulante el fenómeno puede revestirse causando turbiedad y color. Generalmente la floculación oscila en un periodo entre diez y treinta minutos periodo en el que se aglomeran y crecen los flocs hasta la condición adecuada para su sedimentación (Romero, 2005).

Sílice activada. - se prepara a partir de Na_2SiO_3 (silicato de sodio), ayudando a reducir la cantidad de alumbre, aumentando la tasa de coagulación y ampliando el pH efectivo. Entre sus ventajas están el fortalecer el floc, haciéndolo denso, grande y precipitándolo rápidamente, la desventaja que presenta es que requiere un meticuloso control a lo largo de la activación y su dosificación (Romero, 2005).

Poli electrolitos. - son compuestos orgánicos sintéticos, finamente divididos que pueden ser clasificados en catiónicos, aniónicos y no iónicos. Los catiónicos son los que comúnmente se utilizan en aguas naturales produciendo iones positivos, los aniónicos producen carga negativa y ayudan a remover partículas de carga positiva con la ayuda de alumbre o de coagulante de hierro, estos dos tipos de poli electrolitos en dosis normales están entre los rangos de 0,1 y 1 mg/L; mientras que los no iónicos generan los dos tipos de cargas, pero su dosis al agregarse es más alta para que sean efectivos en dosis de 1 a 10 mg/L. Pero su uso es limitado por su alto costo y las restricciones que poseen pues hay cierto número que son aprobados para el uso en plantas de potabilización (Romero, 2005).

1.4.4.3. Factores de mayor influencia en el desarrollo del proceso de coagulación

También podemos citar otros factores que pueden influir en el proceso de coagulación físicos para complementar la destrucción de la estabilidad mediante el choque (Romero, 2005) también el mezclado mediante el movimiento caótico y, otros químicos como lo son: pH, turbiedad, sales disueltas, temperatura del agua, tipo de coagulante, condiciones de mezcla y sistemas de aplicación. (Cardenas, 2000).



Influencia del pH, concentración de coloides y alcalinidad: estos factores son muy importantes debido a que los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas a los usuarios del agua. (Romero, Calidad de agua, 2005), cuanto menor sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del floculo a los cambios de pH, teniendo en consideración que para el aluminio el rango de pH es de 6,5 a 8,0 mientras que para las sales de hierro el rango es de 5,5 a 8,5 unidades (Cardenas, 2000),

En el que se pueden presentar cuatro tipos de situaciones con las variaciones de los coloides en el agua. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

- *Alta concentración de coloides y baja alcalinidad:* este sistema es de fácil manejo o tratamiento en donde solo se debe determinar la dosis óptima del coagulante ya que la desestabilización de las especies hidrolíticas se da por medio de la absorción y estas se producen de manera rápida por los pH ácidos en el rango de pH de 4 a 6 dependiendo del tipo de coagulante.
- *Alta concentración de coloides y alcalinidad alta:* la neutralización de la carga es fácil, debido a que por el general los niveles de pH son neutros, donde los hidróxidos metálicos no tienen carga muy alta y puede ser mejor precipitados.
- *Baja concentración de coloides y alta alcalinidad:* es estos casos la coagulación se debe realizar con dosis de coagulante altas para poder capturar las partículas coloidales, en estos casos se ve necesaria la adición de arcillas o bentonita para aumentar la concentración coloidal y generar así el mayor contacto interparticular.
- *Baja concentración coloidal y alcalinidad baja:* estos sistemas son más complicados de realizar debido a que al agregar el coagulante disminuye el pH y no permite la formación de hidróxidos y seguida de la baja concentración coloidal no permite el contacto interparticular. Para este caso es necesario la adición de alcalinizantes y arcillas o bentonita.

Considerando también que la alcalinidad guarda relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores a considerarse en la coagulación. (Peña, 1995)

Influencia de la Turbiedad: tomando en consideración que la turbiedad es la medida indirecta de las partículas suspendidas en un solvente, que se mide el efecto de la dispersión al paso de la luz en función del número, forma y tamaño de las partículas. Cuando se obtiene la turbiedad residual más baja es la dosis óptima, también se debe considerar que si la turbiedad aumenta se debe adicionar una cantidad no tan alta de reactivo solo necesario para aumentar la probabilidad de colisión entre las partículas para que se la realice con facilidad, sino se debe considerar el empleo de polímero aniónico, por el contrario si la turbiedad es baja la coagulación es difícil de realizarla y la cantidad de reactivo puede ser igual o mayor que si la turbiedad fuese alta (Cardenas, 2000)

Influencia de las Sales Disueltas: las sales dentro disueltas pueden influir en la modificación del pH, el tiempo requerido (dureza), coagulante requerido y cantidad residual del coagulante dentro del efluente (Cardenas, 2000).

Influencia de la Temperatura: la variación de un grado centígrado conduce a la modificación de la densidad afectando la energía cinética de las partículas en suspensión haciéndola más lenta, aumentándola viscosidad dificultando la sedimentación de un floc. (Cardenas, 2000)

Influencia de la Dosis de Coagulante: si existe poca cantidad no se va a neutralizar totalmente la carga de la partícula y la turbiedad residual es elevada, si la cantidad es alta se produce la inversión de la carga formando microfloculos con velocidades de sedimentación son muy bajas generando igual turbiedad residual es elevada. (Cardenas, 2000)

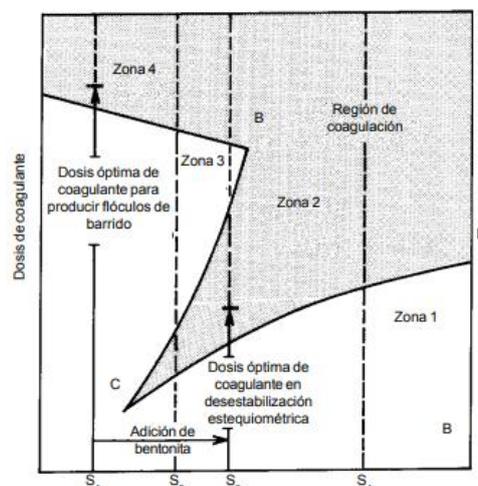


Figura 6. Reacción de dosis de coagulante y la concentra coloidal con pH constante



. Fuente: (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

En la imagen 2 se puede observar cuatro zonas:

- **Zona 1** que corresponde a las dosis bajas, donde se ha agregado el coagulante en cantidades insuficientes para que se produzca la desestabilización.
- **Zona 2** la dosis es poco más alta, se realiza la adecuada desestabilización y se forma el floc que posteriormente precipita.
- **Zona 3** al tener gran cantidad de hidróxido de aluminio o hierro, actúa capturando las partículas coloidales.

La dosis química de coagulante requerida dependerá del mecanismo de desestabilización, ya que en casos como baja turbiedad se necesita que el floc sea más voluminoso entonces la dosis disminuye conforme la concentración del coloide aumenta. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

Influencia de la Mezcla: El grado de agitación del flujo del agua en la adición del coagulante, esto determina que la coagulación es homogénea, asegurando la mezcla de agua y reactivo químico para la reacción de neutralización de cargas correspondiente (Cardenas, 2000).

Sistema de Aplicación de Coagulante: si se adiciona de manera constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida este quedara completamente disperso y homogéneo con el agua. El sistema debe ser de un caudal constante y de fácil regulación según las condiciones que requiera en ese momento el agua que ingresa a la planta de tratamiento, es importante que estos equipos se encuentren calibrados y comprobados por medio de pruebas de aforamiento (Cardenas, 2000).

1.4.5 Floculación

La desestabilización de las partículas para formar aglomerados que tienen mayor peso y tamaño para que precipiten de mejor manera, es así que la floculación se debe analizar como un proceso de colisión de las partículas, debido a que se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van del Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica.



El coagulante aplicado da lugar a la formación de flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo. (Acosta Y. L., 2006)

Los principales factores que intervienen en la floculación son:

- *Concentración y naturaleza de las partículas.*- la velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas. (Peña, 1995)
- *Tiempo de retención.*- la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio del ensayo de prueba de jarras, esto se puede lograr dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. (Peña, 1995)
- *Gradiente de velocidad.*- este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados. (Peña, 1995)

Tipos de floculadores

Para la mezcla lenta se pueden usar diferentes tipos de equipos como son unos que tienen paletas o hidráulicos que generan el movimiento del agua, entre los importantes son:

Floculadores hidráulicos de tabiques.- su característica principal es que tienen pantallas o tabiques que producen turbulencia en cada cambio de dirección del flujo, estos pueden separarse en flujo horizontal y vertical el mismo que consiste en un tanque de hormigón, fibra de vidrio, plástico de alta densidad, acero inoxidable u madera (Alejandro, 2009).

- a) **Tabiques de flujo horizontal.** - su principal componente son los tabiques que son pantallas de concreto u otro material ubicados de tal manera que el agua

circule de ida y vuelta, su uso principal es para plantas a pequeña escala en caudales menores a 50 l/s.

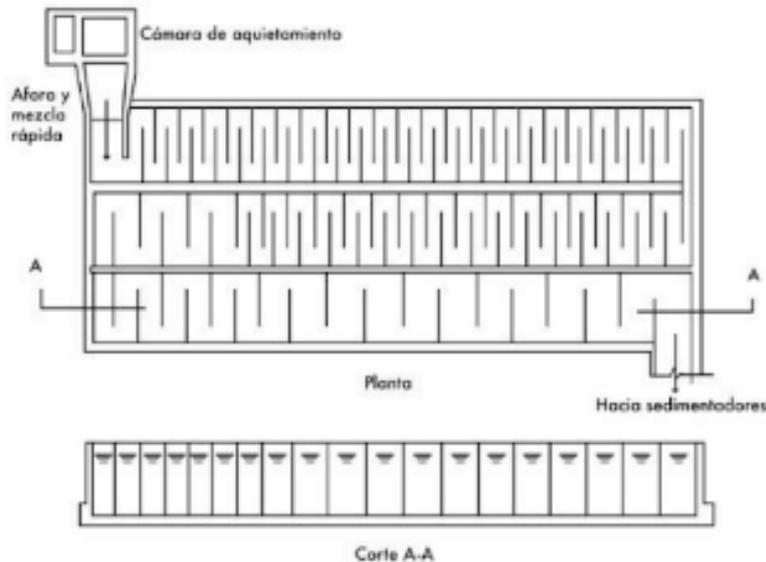


Figura 7. Tabiques horizontales

Fuente: (Alejandro, 2009)

- b) **Tabiques de flujo vertical.**- está compuesto de varios canales con compartimientos de varias dimensiones, en este tipo el agua fluye de arriba hacia abajo de manera que circula por encima y por debajo de los tabiques. Estos floculadores se utilizan en plantas a gran escala y que pueda generar gran profundidad de entre 2 a 3 m (Alejandro, 2009). Sus ventajas son: es su alta eficiencia, simplicidad en la construcción y operación. Pero su desventaja es la constante acumulación de lodos. (Campos, 2001)

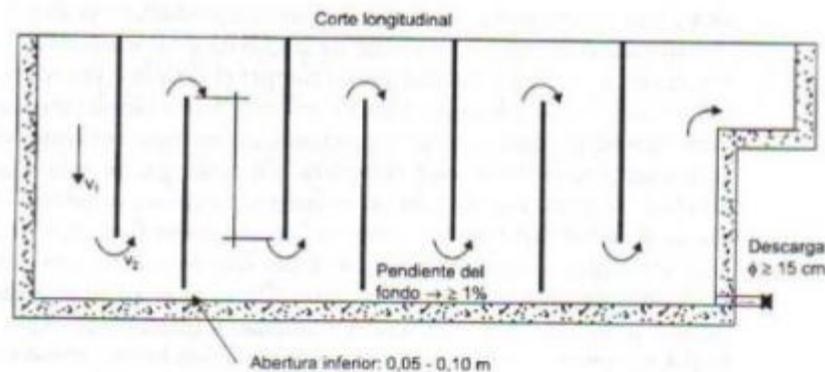


Figura 8. Floculador hidráulico de flujo vertical

(Fuente: <https://es.slideshare.net/castillejofredy/alternatpotab>)



c) **Floculadores mecánicos.** - en este tipo se introducen agitadores mecánicos como paletas que por el movimiento rotatorio orientado de forma horizontal o vertical para generar la turbulencia interna necesaria para el grado óptimo de mezcla y que obtenga la velocidad variable según la calidad del agua considerando que también pueden usarse turbinas y mezcladores rápidos. (Romero, Calidad de agua, 2005). Entre los principales floculadores mecánicos tenemos:

1.4.6 Sedimentación

El proceso de sedimentación se debe entender como el cual se remueven las partículas sólidas en suspensión en el agua, pudiendo ser básicamente de tres tipos:

- *De partículas discretas.*- estas no cambian de tamaño y cuentan con un tamaño, forma y peso específico cercano al de la arena cuando se sedimentan (Alejandro, 2009). Cuando se encuentran en un fluido en reposo la partícula se mueve de manera vertical por la acción de la gravedad interviniendo una fuerza vertical hacia abajo el peso y hacia arriba la fricción producida por el líquido en el que se encuentra (Romero, Calidad de agua, 2005)
- *De partículas floculentas.*- las partículas de esta clasificación cambian de densidad y el volumen a medida que se adhieren unas con otras mediante la floculación, precipitación o el arrastre y barrido. Lo ideal para precipitar este tipo de partículas es necesario tener columnas para que las partículas se aglomeren y formen agregados para su eliminación (Romero, Calidad de agua, 2005)
- *Sedimentación de tasa alta.*- son sedimentadores de poca profundidad que contienen módulos de tubos que pueden ser circulares, cuadrados, hexagonales, de placas planas con tiempos de retención menores a 15 minutos, con pequeños conductos usados para desarrollar un flujo laminar uniforme (Romero, Calidad de agua, 2005)

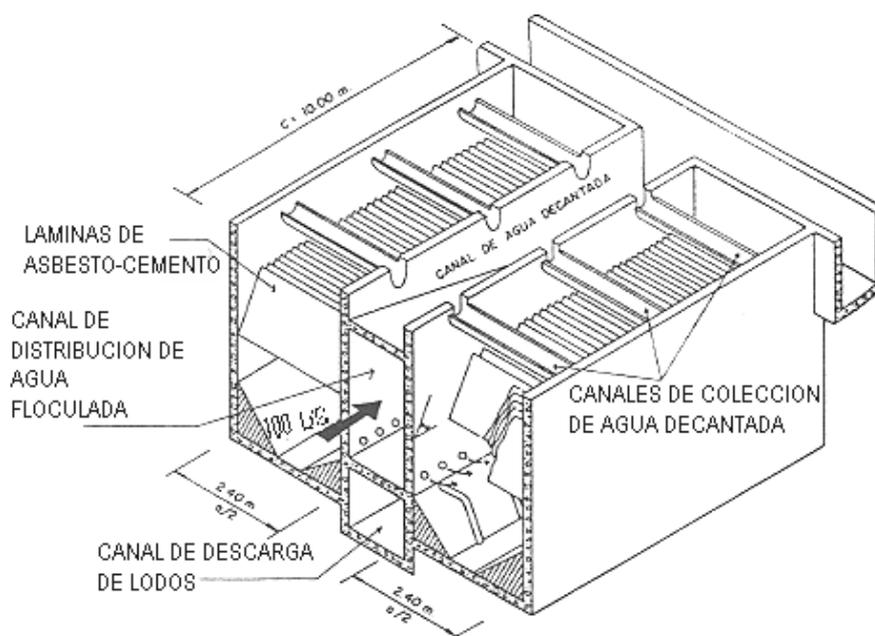


Figura 9. Sedimentador de alta tasa.

Fuente: (Alejandro, 2009)

1.4.7. Filtración

Para la obtención de agua cristalina y clara se necesita un proceso llamado *filtración* que usa medios porosos generalmente arena y antracita para remover el material suspendido que genera turbiedad como son los flocs, suelo y microorganismos, para llegar al último paso que es la desinfección. (Alejandro, 2009)

Entre los mecanismos de remoción son lechos que son como tamices o microcribas que atrapan el material suspendido mediante la acción física que ocurre en el filtro mediante mecanismos físicos y químicos, como es la adsorción y/o las fuerzas que atraen a las partículas sobre los poros del material (Romero, Calidad de agua, 2005)

1.4.8. Desinfección

Se considera como desinfección al proceso que destruye los microorganismos patógenos, pero no sus esporas e impedir el adquirir una enfermedad producida por el consumo de agua potable de mala calidad. (Romero, Calidad de agua, 2005)

Teoría de la desinfección

La desinfección es un término que usa para definir la eliminación de microorganismos que pueden producir enfermedades, pero también se debe considerar que es un proceso selectivo que no destruye a todos los organismos patógenos. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)



Entre los principales factores que influyen en la desinfección del agua:

- *Microorganismos presentes.*- los organismos presentes en el agua no reaccionan de la misma manera y pueden generar cierta resistencia o afinidad al producto desinfectante. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)
- *Naturaleza del agente desinfectante.* - el cloro y sus derivados tienen diferente eficiencia lo que determinará el tiempo de contacto para eliminar los microorganismos patógenos que están presentes en el agua. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)
- *Naturaleza y calidad del agua cruda.*- tanto el material en suspensión y materia orgánica pueden proteger a los microorganismos e interferir en la desinfección y estos a su vez pueden generar sabor u olor al agua siendo en algunos casos desagradables afectando su calidad organoléptica y rechazo del consumidor. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)
- *El pH (Potencial Hidrógeno).* - los valores muy altos o demasiado bajos afectan en la vida de los microorganismos a excepción de algunos como los quistes de amebas que pueden soportar pH de 1 y de 13. Y también se debe considerar que entre más alto es el pH mayor será la cantidad de desinfectante que se requiera en el proceso. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)
- *Tiempo de contacto.*- cuanto mayor sea el tiempo de contacto del desinfectante con el agua aumentará la posibilidad de la destrucción de los microorganismos presentes en ella. (Quím. Ada Barrenechea Mantel, 2018)

La cloración

Siendo el cloro un poderoso oxidante, su uso como desinfectante es común debido a sus propiedades como la fácil aplicación y manejo, bajo costo, destrucción de microorganismos a temperatura ambiente, tiempos de retención corto y variadas formas de presentación para utilizarlo. La forma más efectiva de cloro es la que se encuentra en forma gaseosa ya que la reacción del cloro al entrar en contacto con el agua es para formar ácido hipocloroso y ácido clorhídrico según esta la reacción a continuación:



Aunque también se deben considerar algunas desventajas como: en concentraciones altas genera riesgo al consumidor y mal sabor, su transporte y almacenamiento cuando



está en forma gaseosa debe ser controlada por los riesgos que puede generar con el personal que opera este tipo de cilindros. (Rivas, Potabilización del Agua, 2015)

1.5. Ajuste de pH

La alcalinidad es uno de los parámetros importantes en el tratamiento del agua potable, puesto que influye en la coagulación o el ablandamiento. El ajuste del pH es uno de los métodos comunes, simples y económicos para que se puedan controlar la corrosión y reducir a un nivel aceptable las incrustaciones en las redes de distribución de agua potable sin que afecte la salud del consumidor. (Lozada, 2014)

En los procesos de coagulación y desinfección se altera el equilibrio del sistema carbonato tendiendo a producir hidrólisis que libera iones hidrógeno dando como resultado la disminución el pH. Estos fenómenos hacen necesario el ajustar sus valores, para asegurar la estabilidad del proceso y distribución. (Yurani Cruz Rojas, 2015)



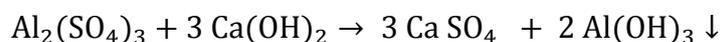
Es necesario recalcar que los iones metálicos como el aluminio y el hierro no solo reaccionan con el agua sino también con los bicarbonatos que son los responsables de la alcalinidad. De tal manera que los iones hidrogeno H_3O^+ reaccionan con las bases bicarbonato, carbonato e hidroxilos, haciendo que sean favorables, pero solo en un rango de pH de 5,5 a 7,5 para el sulfato de aluminio, razón por la cual la alcalinidad es necesaria para el proceso, y si no está presente es necesario agregar un alcalinizante cuando las condiciones del agua cruda son acidas. (Yurani Cruz Rojas, 2015)

Las principales reacciones del sulfato de aluminio con la alcalinidad son las siguientes:

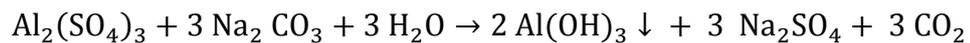
- *Sulfato de aluminio (líquido o solido):*



- *Sulfato de aluminio + cal:*



- *Sulfato de aluminio + carbonato sódico*



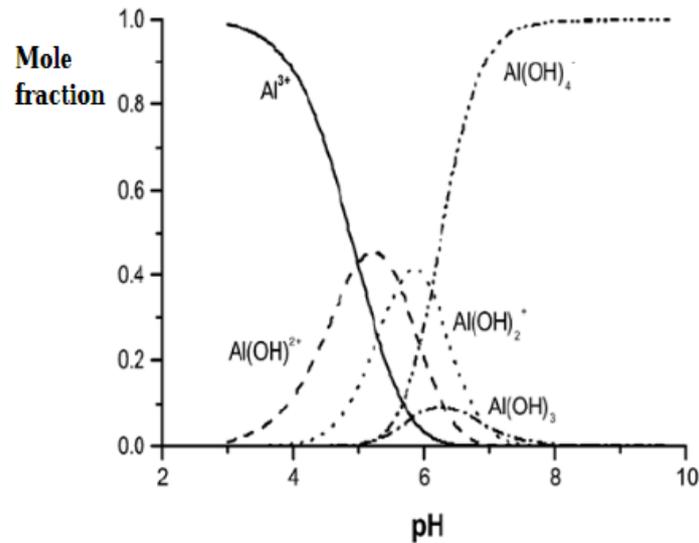
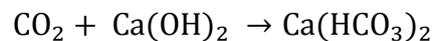


Figura 10. . Concentración de ion Aluminio y el pH
Fuente: (Kamagate, 2008)

Alcalinizantes

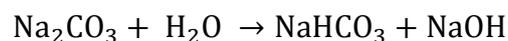
Existen varios modificadores y/o estabilizadores de pH para el tratamiento del agua potable incrementado su alcalinidad, pH y las especies de carbonatos, los cuales pueden ser la neutralización con una base y con un carbonato alcalino.

- **Neutralización con una base – cal hidratada $Ca(OH)_2$** : siendo una base fuerte, es un alcalinizante de bajo costo, fácil uso y adquisición, para ajustar el pH según la siguiente reacción. (Zabala, 2014)



Es necesario resaltar que la cal hidratada es de baja solubilidad y requiere grandes cantidades para obtener un buen resultado.

- **Neutralización con carbonato alcalino – carbonato sódico Na_2CO_3** : en aguas con baja alcalinidad, como son las que poseen valores alrededor de 50 mg/l $CaCO_3$, deben agregarse un carbonato alcalino, ya que aportan iones carbonato o bicarbonato, los cuales generan una capacidad buffer y resistir cambios de pH. El carbonato sódico aumenta la alcalinidad mediante la introducción de iones bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidroxilo (OH^-), al mismo tiempo que el pH se incrementa por las reacciones que se producen con el ion hidroxilo, según las siguientes reacciones. (Zabala, 2014)





El carbonato de Sodio se encuentra en forma de sal de uso sencillo, que se puede adquirir de forma anhidra como Na_2CO_3 o hidratado $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. (Zabala, 2014)

1.6. Requisitos para el Agua Potable

El agua natural puede considerarse como una solución que contiene una variedad de agregados, que se adquiere por el ciclo hidrológico, esta depende de la composición de los suelos, la ubicación, procesos químicos y físicos (Flores, 2015)

Existen diferentes parámetros de control del agua potable, siendo estos físicos y químicos.

1.6.1. Parámetros físicos

a. Turbidez

Siendo una expresión óptica causada por la dispersión de la luz por material en dispersión (Romero, Calidad de agua, 2005), entre los parámetros que influyen en la turbiedad pueden ser el fitoplancton, sedimentos de erosión (arena, arcilla y limo) y crecimiento de algas. En niveles elevados puede proteger a los microorganismos impidiendo su eliminación en el proceso de desinfección. (Organización Panamericana de la Salud, 1985).

b. Color

Se debe a la presencia de arcillas, sustancias húmicas, metales como hierro y manganeso, esta es importante para evaluar la fuente de la que proviene y determinar la eficiencia del proceso para su remoción. (Romero, Calidad de agua, 2005)

c. Sabor y olor

Este parámetro se ve afectado por la presencia principalmente de sustancias orgánicas que promueven la actividad biológica, aunque son detectadas por el sentido del gusto y el olfato, son una percepción del consumidor que pueden generar quejas e inconformidad con los consumidores. Su importancia es por la aceptabilidad del consumidor y esto se obtiene en el control de los procesos de la planta de tratamiento (Organización Panamericana de la Salud, 1985)

d. Temperatura



Ciertos procesos de tratamiento requieren la temperatura exacta para su análisis en el laboratorio entre estos tenemos la actividad biológica y la saturación con carbonato de calcio que están en relación con la temperatura (Romero, Calidad de agua, 2005).

e. Sólidos

El material que puede contener el agua denominado “sólidos”, su determinación es de importancia para conocer la eficiencia de la remoción del tratamiento en el proceso de sedimentación. (Rivas, Potabilización del Agua, 2015)

f. Conductividad

Se usa mucho para obtener de manera rápida un estimado del contenido de solidos disueltos en el agua ya que esta depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas. (Rojas, 2002)

Tabla 2. Parámetros Físicos con sus límites máximos permitidos

Parámetros de análisis físicos	Unidad	Norma INEN 1108 Límite Máximo Permitido
Color	U.Escl.Pt-Co	15
Turbiedad	N.T.U.	5
Olor	---	No objetable
Sabor	---	No objetable

Fuente: (INEN, 2014)

1.6.2. Parámetros químicos

a. Alcalinidad

Siendo que la alcalinidad se define como la capacidad para neutralizar ácidos debido a la presencia de tres grupos principalmente: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, que pueden influir en el proceso de coagulación, ablandamiento y la corrosión. (Flores, 2015)

b. Acidez

Su importancia es por las características corrosivas que generan, si el agua es excesivamente acida puede atacar a los dientes y el costo que genera su remoción en la planta. La causa más común es el CO_2 el cual puede estar disuelto en el agua



producto de reacciones de oxidación de los coagulantes (Romero, Calidad de agua, 2005).

c. Dureza

La causa de la dureza son los iones metálicos divalentes generalmente calcio y magnesio, su exceso puede causar incrustaciones en las tuberías de agua con el aumento de la temperatura del agua, su precipitación puede realizarse con cal o con la combinación de cal-carbonato incluyéndolo en el proceso de tratamiento (Romero, Calidad de agua, 2005).

d. Fluoruros

Su característica principal es su baja solubilidad, y que en aguas naturales es de baja concentración pueden tener acción preventiva sobre las caries pero en altas concentraciones puede producir fluorosis cuando se encuentra por encima de los 2 mg/L. (Acosta R. S., 2008)

e. Nitritos y nitratos

La contaminación por nitritos indica contaminación bacteriana mientras que los nitratos pueden provocar metahemoglobinemia llegando a ser cancerígenos y ser letales en concentraciones de mg/L en lactantes (Acosta R. S., 2008)

f. Sulfatos

Es el ion más común en aguas naturales como sulfatos de sodio y de magnesio, se recomienda que no supere los 250 mg/L ya que puede causar un efecto purgante en los niños. Su alto contenido también es importante ya que puede formar incrustaciones en calderas y en los intercambiadores (Acosta R. S., 2008)

g. Cloruros

Generan corrosividad y afectar al sabor, están presentes en todas las aguas naturales, pero en las superficiales es menor su concentración. Sin embargo, para el consumo humano el límite máximo permitido es de 250 mg/L y la importancia de su determinación es para comprobar si es que existe contaminación por aguas residuales (Romero, Calidad de agua, 2005)



Tabla 3. Parámetros químicos límites máximos permitidos

Parámetros de análisis físicos	Unidad	Norma INEN 1108 Límite Máximo Permitido
Alcalinidad	mg/l	300
Dureza total	mg/l	300
Dureza cálcica	mg/l	300
Dureza magnésica	mg/l	200
Cloro residual	mg/l	0,3 - 1,5
Hierro Fe ⁺⁺⁺	mg/l	0,3
Nitratos NO ₃ ⁻	mg/l	10
Nitritos NO ₂ ⁻	mg/l	0
Sulfatos SO ₄ ⁻⁻	mg/l	200
Cloruros CL ⁻	mg/l	250
Aluminio AL ⁺⁺⁺	mg/l	0,2
Manganeso Mn	mg/l	0,1

Fuente: (INEN, 2014)

Capítulo II

2. Descripción proceso de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) se encuentra ubicada en la comunidad de Capzha a 10 minutos del centro del Cantón Gualaceo.

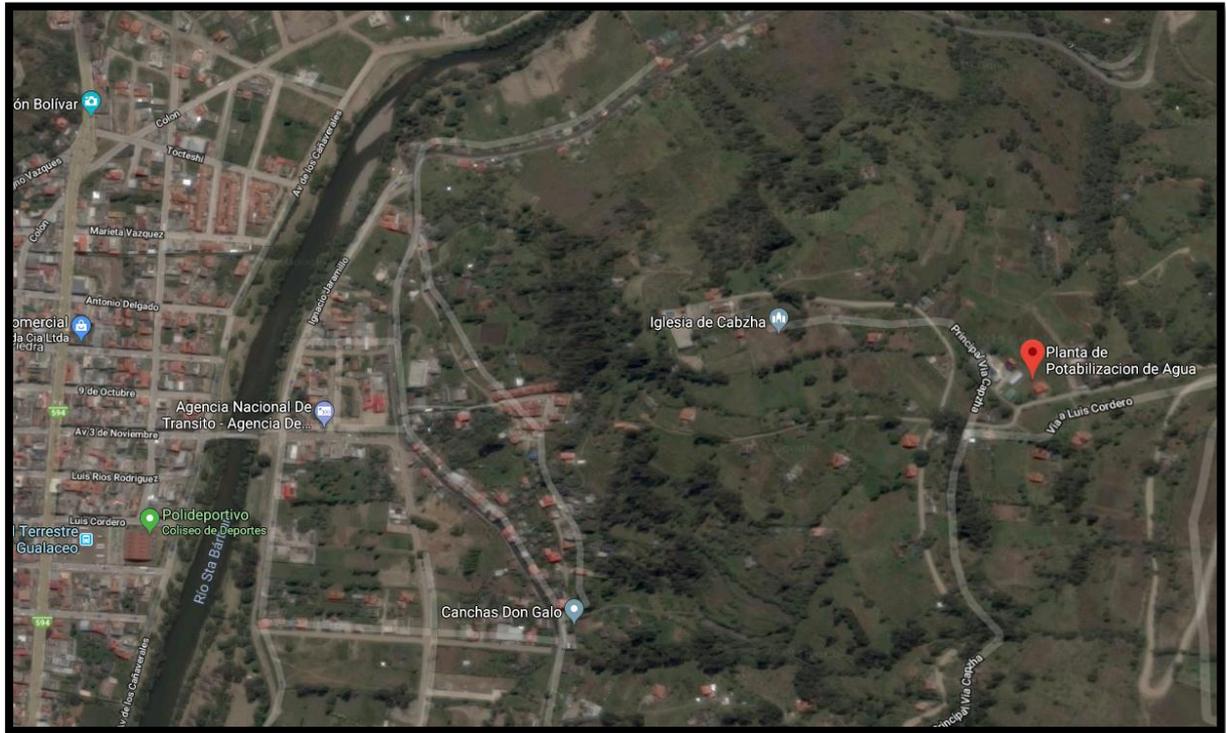


Ilustración 1. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo
Fuente: Google maps

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) consta de dos módulos de operación el mismo que fueron construidos en dos etapas. El primer módulo (PT1) fue construido por la compañía COANDES en el año de 1994 hasta el año 1995 con su puesta en marcha para procesar 34 l/s hasta un máximo de 100 l/s.

Mientras que la construcción del módulo 2 (PT2) inicio en noviembre del 2010 hasta diciembre del 2011, teniendo que someterse a un periodo de pruebas y ajustes preliminares en un periodo de seis meses. Iniciando su puesta en funcionamiento en junio del 2012 con un caudal de 40 l/s de procesamiento; tanto para PT1 y PT2 cuando las condiciones son adversas que son color de 5000 UC (Unidades de color Pt-Co) y 1000 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbiedad) pueden funcionar con caudales mínimos de 50 l/s y 20 l/s respectivamente.



La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) está compuesta por una secuencia de procesos partiendo desde la captación, conducción, mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.



Ilustración 2. Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G), módulo 1.
Fuente: EMAPAS-G-EP

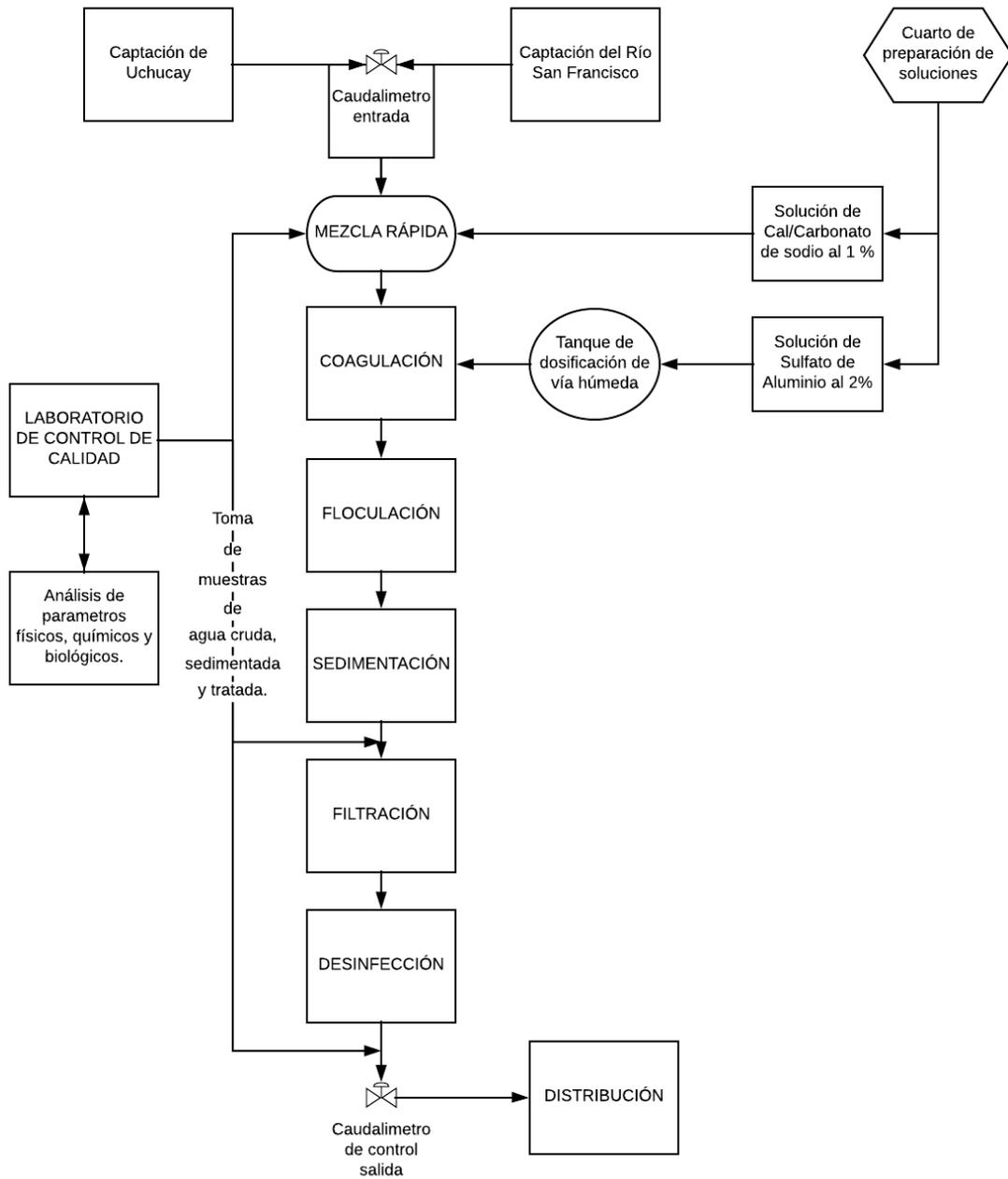


Figura 11. Diagrama del proceso de potabilización en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)

Fuente: Autor

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) también posee un laboratorio de control de parámetros físico – químicos; una sala de preparación de químicos, bodega y cuarto de operadores para el control de las operaciones,

abasteciendo las 24 horas del día de líquido vital, en beneficio de la población del cantón Gualaceo.



Ilustración 3. Vista lateral de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) - módulo 1
Fuente: Autor

2.1. Conducción y Captación del Agua Cruda

Captación del río San Francisco

Esta captación se encuentra ubicada aproximadamente a 6 Km de la ciudad de Gualaceo contigua al carretero que comunica al Azuay con la provincia de Morona Santiago, construida aproximadamente en el año 1936 como parte del sistema de abastecimiento de agua y regadío para servicio a la ciudad de Gualaceo.

Actualmente la captación es de tipo lateral y está integrada por los siguientes materiales: rejilla construida de barrotes de hierro corrugado para impedir el ingreso hacia la conducción de material grueso y flotante, desripiador, dos aliviaderos construidos junto al desripiador y otro ubicado a 20 m aguas abajo, una compuerta para evacuar materiales gruesos, un muro de ala para proteger las estructuras y un dique regulador del nivel de agua hacia la rejilla.



*Ilustración 4. Ingreso a la captación del río San Francisco
Fuente: EMAPAS-G-EP*



*Ilustración 5. Captación Río San Francisco
Fuente: EMAPAS-G-EP*

Cada entrada tiene una dimensión de 1,47 m x 0,75 m hasta llegar al desarenador de 2,70 m x 1,50 m para pasar por una rejilla para ser conducida por tubería hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G).

Captación quebrada Uchucay

La captación de la quebrada de Uchucay, afluente el río San Francisco, se encuentra a una altura de 2.675 m.s.n.m. Se puede acceder mediante la vía Gualaceo – Limón en el Km 6,1. El agua pasa a través de una rejilla de fondo, pasando por un canal cerrado de sección triangular que la conduce a un desarenador ubicado aguas abajo.



*Ilustración 6. Captación Uchucay
Fuente: EMAPAS-G-EP*



*Ilustración 7. Conducción a través de canal abierto hacia las rejillas de la captación de Uchucay
Fuente: EMAPAS-G-EP*

Tabla 4. Descripción de extensión de captaciones hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)

Captación	Distancia a la planta	Conducido por:	Caudal (l/s)
Uchucay	7.350 m	Tubería PVC	65
San Francisco	4.789 m	Tubería PVC	55

Fuente: EMAPAS-G-EP

El agua cruda de las captaciones es conducida a la planta mediante tuberías PVC.

2.2. Mezcla Rápida:

El cajón de mezcla rápida es un mezclador hidráulico que consiste en un canal rectangular y un vertedero de 90° colocado a una altura medida del vértice de forma triangular, que tiene una dimensión de largo 1,80 m, ancho 4,20 m y profundidad de 1 m., para receptor el agua proveniente de las dos captaciones.



Ilustración 8. Tuberías de entrada de agua de captación hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)

Fuente: Autor



Ilustración 9. Tubería de entrada de agua de la captación hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)

Fuente: Autor



Ilustración 10. Vertedero hidráulico triangular

Fuente: Autor

Éste tanque de mezcla rápida tiene como medidas de diseño las siguientes:

- Caudal de diseño $Q_d = 65 \text{ l/s}$
- Gradiente de velocidad $G = 2071 \text{ s}^{-1}$
- Tiempo de mezcla $T = 0,6 \text{ s}$

De esta manera se asegura una dispersión homogénea de alcalinizante y coagulante al agua cruda que ingresa de forma continua.

2.3. Coagulación

El proceso de coagulación parte desde el tanque de mezcla rápida en el cual se adiciona alcalinizante, que es una mezcla de cal/carbonato de sodio ($\text{Ca(OH)}_2 / \text{Na}_2\text{CO}_3$) al 1% de concentración, a través de una tubería de PVC de 1 pulgada, con el propósito de lograr mejores resultados en el tratamiento.



Ilustración 11. Dosificación de alcalinizante al 1% de concentración al tanque de mezcla rápida

Fuente: Autor

La solución de alcalinizante es preparada en un tanque en el cuarto de químicos, siendo un cajón rectangular de 1m de largo por 0,8m de ancho y con una profundidad de 1,20m. Para mantener una concentración constante la solución es agitada por un mecanismo de paletas accionado por motor de 2 HP.



*Ilustración 12. Tanque de mezcla de Cal/Carbonato
Fuente: Autor*



*Ilustración 13. Motor de agitación de la mezcla de Cal/Carbonato de sodio
En la casa de químicos PTAP
Fuente: Autor*

En otro tanque se prepara la solución Sulfato de Aluminio $[(SO_4)_3Al_2]$ al 2% con las siguientes dimensiones: de longitud 3,25 m por 0,95 m de ancho y profundidad de 1,25m, obteniendo un volumen de 3,85 m³.



*Ilustración 14. Cuarto de preparación de soluciones
Fuente: Autor*



*Ilustración 15. Tanque dosificador de vía húmeda de carga constante de Sulfato de Aluminio
Fuente: Autor*

El orificio graduable permite que el sulfato de aluminio tipo B al 2% de concentración sea dosificado a través de un tubo flauta de ½ pulgada de diámetro.



Ilustración 16. Dosificación de sulfato de aluminio tipo B al 2 % de concentración en el vertedero rectangular en la zona de mayor turbulencia.

Fuente: Autor

De esta forma la solución se distribuye constantemente hacia el vertedero en una concentración regulada, en la zona de mayor turbulencia, sin embargo al ser un sistema provisional no brinda un correcto funcionamiento, provocando que el sulfato de aluminio no reaccione de manera efectiva.

Cabe mencionar también que el proceso no utiliza ayudante de coagulación en el tratamiento, debido a que el personal a cargo no considera que es importante el uso de ayudante de coagulación.

2.4. Floculación

La planta de tratamiento posee floculadores de pantallas en flujo vertical. Permitiendo que el agua fluya de manera ascendente y descendente a través de las cámaras de concreto, que tienen una profundidad de 2 metros y una capacidad de 50 litros por segundo.

Como se puede apreciar en la Ilustración 13, se cuenta con tres módulos de 22 pantallas cada una, permitiendo generar velocidades decrecientes en el flujo partiendo de máxima, media y mínima, con un tiempo de residencia del flujo de 35 minutos.



*Ilustración 17. Bateria de Floculadores de flujo vertical
Fuente: Autor*

Los floculadores tienen las siguientes características:

- Caudal de diseño $Q_d = 32,5 \text{ l/s}$
- Gradiente de velocidad zona 1, $G_1 = 63 \text{ s}^{-1}$
- Gradiente de velocidad zona 2, $G_2 = 32 \text{ s}^{-1}$
- Gradiente de velocidad zona 3, $G_3 = 0 \text{ s}^{-1}$
- Tiempo de retención zona 1, $T_1 = 20 \text{ min}$
- Tiempo de retención zona 2, $T_2 = 15 \text{ min}$
- Tiempo de retención zona 3, $T_3 = 20 \text{ min}$
- Velocidad de escurrimiento en canales, $V = 0.102 \text{ m/s}$

2.5. Sedimentación

Para este proceso se utiliza dos sedimentadores de flujo vertical ascendente de forma rectangular de 5,60 m de largo por 3,60 m de ancho y una profundidad de 2 m.

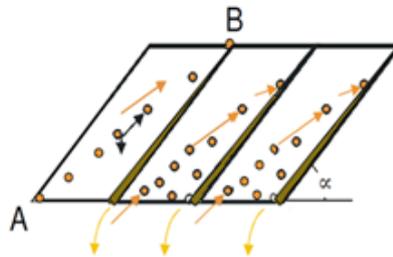
La recolección del agua se da mediante 3 tubos perforados (tipo flauta) de PVC de diámetro de 160 mm con una separación de los orificios de 10 cm cada uno. Están en la

parte superior del sedimentador para desembocar en un canal lateral de recogida. (Unidad de Tratamiento Gualaceo, 2010)



*Ilustración 18. Sedimentador 1 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)
Fuente: EMAPAS-G-EP*

El agua floculada se distribuye entre las placas colocadas paralelas entre sí, con un ángulo de 60° y una distancia de 5 cm entre cada una, deslizándose los lodos hacia el fondo del tanque, evitando la acumulación de los mismos en las placas.



*Figura 12. Caída de flocs hacia el colector de lodos en el sedimentador laminar
Fuente: (Gonzalez, 2019)*

Los lodos son colectados a un canal común para luego ser eliminados del proceso.



*Ilustración 19. Tubería colectora de lodos del proceso de sedimentación.
Fuente: Autor*

2.6. Filtración

Para el proceso de filtración se disponen de 5 filtros rápidos de tasa declinante variable, con medio filtrante de arena y antracita, con un lavado mutuo (lavado de un filtro con el caudal producido por los filtros restantes), con una dimensión de 2,30 m largo, 2,31 m ancho y una profundidad de cada estrato: grava 0,56 m, arena 0,3 m, la antracita 0,5 m y fondos falsos 0,5 m., la velocidad de lavado de los filtros es de $0,755 \text{ m}^3/\text{min}$.



*Ilustración 20. Filtros Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)
Fuente: Autor*

2.7.Desinfección

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) cuenta con una cámara de contacto común de cloración cuyas dimensiones son: de 2 m de largo, 1 m de ancho y de profundidad de 5 m, en esta se agrega cloro gas en una concentración de 1.5 ppm hasta 2 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos, con un caudal de diseño de $Q_d=65$ l/s.



*Ilustración 21. Cámara de Cloración Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)
Fuente: Autor*



*Ilustración 22. Distribución de tanques de cloro gas
Fuente: Autor*

2.8.Almacenamiento de Agua tratada

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) cuenta con dos tanques de forma cilíndrica con una capacidad de 1000 m³ ubicado en Capzha y 500m³ en la Comunidad de Parculoma.



Ilustración 23. Tanque de Reserva ubicado en Parculoma con una capacidad de 500 m³.

Fuente: Autor

2.9. Laboratorio de control de calidad

La planta de agua potable Gualaceo cuenta con un laboratorio de control de calidad del agua potable en cual se realizan análisis de parámetros como:

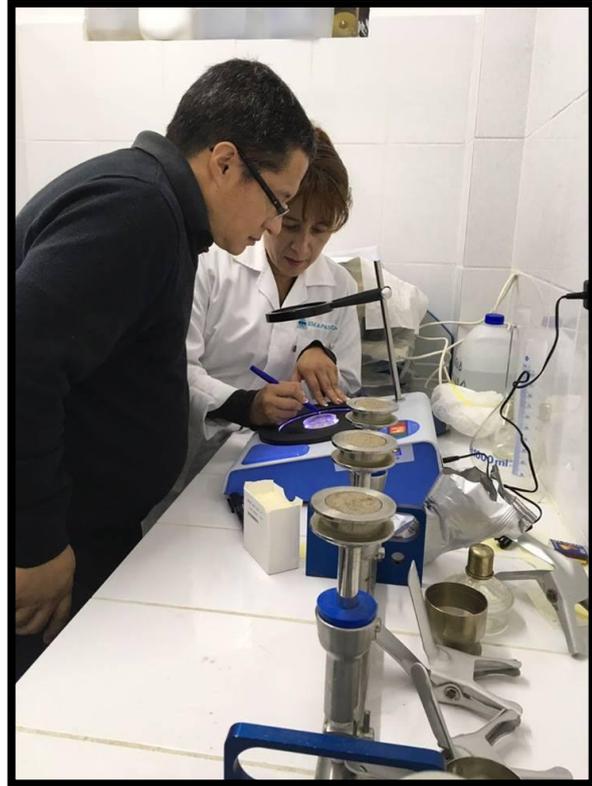
Análisis físicos: color, turbiedad, pH, sólidos totales disueltos para mantener en condiciones adecuadas de operación la planta de tratamiento.

Análisis químicos: alcalinidad, cloro residual, dureza, hierro, cloruros, nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros, aluminio, manganeso y arsénico.

Análisis bacteriológicos: coliformes totales y fecales.



*Ilustración 24. Laboratorio de control de calidad de parámetros fisicoquímicos.
Fuente: Autor*



*Ilustración 25. Laboratorio de control bacteriológico de parámetros Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)
Fuente: EMAPAS-G-EP*

Capítulo III

3. Metodología Experimental

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) no tiene definida una dosis óptima de coagulante, sin embargo el operador agrega la cantidad de coagulante de forma visual y metódica (análisis físico del color).

Para esto primero se realizó una evaluación in situ de los procesos de potabilización para el diagnóstico de la situación de la planta, mientras que el análisis de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de control de calidad.

Los métodos utilizados para el análisis fueron según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., métodos normalizados para el análisis de Agua Potable y Residual, así como los métodos HACH proporcionados por el equipo y en cumplimiento con la Norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos. También se contó con el apoyo del jefe de planta y los operadores, para la supervisión y muestreo del agua en la planta de tratamiento.

El proceso experimental se va a desarrollar mediante el siguiente esquema:

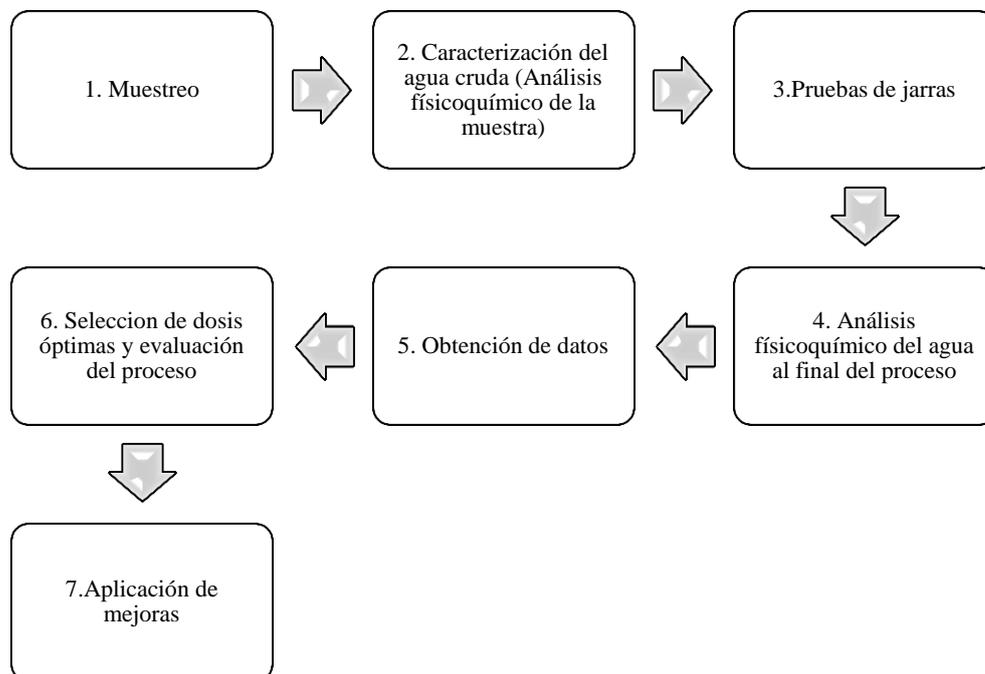


Figura 13. Diagrama de proceso experimental

Fuente: Autor



3.1.Muestreo.

Para obtener una muestra representativa se tomó como referencia la norma NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.

Las muestras fueron tomadas durante un periodo de 6 meses, especialmente en días lluviosos para tener variaciones de turbiedad y color dependiendo de las condiciones climáticas.

Procedimiento para toma de muestras:

- a) Los envases que se utilizaron fueron 4 bidones de 20 litros de capacidad, que fueron lavados antes de recolectar cada muestra.
- b) Para la recolección de la muestra se homogenizó el recipiente 3 veces con un poco de agua cruda, para luego ser llenado y transportado hacia el laboratorio.
- c) Se etiquetó con la fecha y hora de la toma de muestra debido a que en algunas ocasiones hubo variabilidad a lo largo del día por las condiciones climáticas de la zona.

3.2.Determinación de parámetros físico- químicos de agua cruda

En la determinación de los parámetros físico – químicos se utilizó el equipo colorimétrico Hach 2800, el Turbidímetro Hach 2100 P y el Potenciómetro Cole Palmer con sus reactivos y materiales necesarios para su determinación, en cumplimiento de acuerdo a lo que indica la Norma INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos.

Los análisis que se realizaron fueron: color, turbiedad y pH. Para realizar estos análisis, se usaron fichas de métodos estandarizados para la medición de parámetros físico-químicos del agua, adjuntos en el anexo 4. En total se procesaron 16 muestras de agua cruda

3.2.1. Equipos, Materiales y Reactivos

Equipos

- a) **Turbidímetro.** - el equipo que se utilizó es un equipo Hach 2100 P.
- b) **Espectrofotómetro.** - la planta cuenta con un colorímetro Hach 2800 con celdas de 10 ml para su análisis.
- c) **Medidor de pH.** - se utilizó el equipo Potenciómetro Cole Palmer
- d) **Balanza analítica.** - de marca Sartorius



e) Cronómetro

f) Equipo de pruebas de jarras. - para los ensayos se cuenta con un equipo de marca Phipps & Bird Stirrer, el mismo que tiene las siguientes características:

- Dos tipos de reguladores uno de alta velocidad y otro de baja llegando de 0 a 400 rpm.
- Un agitador mecánico de paletas
- Seis vasos de 2 litros de capacidad de forma rectangular
- Un iluminador para cada uno de los vasos de análisis.

Materiales

- a) 6 Matraz de Erlenmeyer de 250 ml.
- b) 6 Vasos de precipitación de 250 ml.
- c) 1 probeta graduada de 100 ml.
- d) 1 espátula.
- e) 5 litros de agua destilada.
- f) 6 Jeringas de 5 ml.
- g) 6 Jeringas de 10 ml.
- h) 6 Jeringas de 50 ml.
- i) 6 envases plásticos de 1 litro
- j) 6 Lunas de reloj
- k) 6 Varillas de vidrio
- l) 6 Pipetas de 5ml
- m) 6 Pipetas 10 ml
- n) 1 Matraz de Erlenmeyer de 1000 ml

Reactivos

- a) Agua destilada
- b) Coagulante Tipo B sólido
- c) Carbonato de Sodio
- d) Cal – P24

3.3. Condiciones de Operación para el Proceso de Coagulación - Floculación

En condiciones de operación el proceso de coagulación- floculación trabaja de la siguiente manera para el ensayo de prueba de jarras en la tabla 5. (Muñoz, 2005)



Tabla 5. Condiciones de diseño para la operación en cada una de las etapas

Etapa	Rpm	Tiempo de retención
Mezcla rápida	250	1 minuto
Mezcla lenta 1	60	20 minutos
Mezcla lenta 2 y 3	32	15 minutos
Sedimentación	0	20 minutos

Fuente: Autor

3.4. Dosificación de Coagulante

En la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Gualaceo PTAP-G, se utiliza como coagulante Sulfato de Aluminio tipo B, que tiene por fórmula molecular $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$, en estado sólido de nombre comercial Alumbre. Para facilitar los procedimientos se utilizó una solución de concentración al 2%.

Para los primeros 3 análisis se tomó en un Erlenmeyer 250 ml de la solución de coagulante, del tanque de dosificación de vía húmeda, para verificar su funcionamiento.

3.5. Preparación de Coagulante en la Planta de Tratamiento y en el Laboratorio para los Ensayos de Pruebas de Jarras

Planta de tratamiento

Para la preparación de la solución al 2% se utiliza como reactivo el coagulante Sulfato de Aluminio tipo B, con nombre comercial alumbre, este viene en polvo, empacado en sacos de polipropileno con bolsa interior de polietileno con un contenido de 50 kg, para su preparación se considera un volumen total de $4 m^3$ y se adiciona 80 kg de soluto para obtener la concentración deseada con agitación constante para una correcta homogenización de la solución.

Cálculo de la Dosificación en ppm de Sulfato de Aluminio para cada una de las Jarras

Sabiendo que la concentración es al 2%, por lo tanto, tendremos que están diluidas:

En un 1 Litro \rightarrow 20.000 mg de Sulfato de Aluminio

Entonces, partiendo de esta solución se puede utilizar en cada prueba una dosis de sulfato de aluminio tipo B según la siguiente ecuación:

$$V_i \times C_i = V_f \times C_f$$

(Ecuación 1)



$V_i = \text{volumen a dosificar de sulfato de aluminio}$

$C_i = \text{concentración inicial de sulfato de aluminio}$

$V_f = \text{volumen de agua cruda a ser analizada}$

$C_f = \text{concentración que se necesita de sulfato de aluminio}$

- **Laboratorio**

Para la preparación a nivel del laboratorio se procede de la siguiente manera:

Procedimiento:

- i. Lavar y homogenizar el material de vidrio a utilizar
- ii. Pesar 20 gramos de Sulfato de Aluminio tipo B en una luna de reloj
- iii. Colocar la muestra en un vaso de precipitación con la ayuda de la espátula
- iv. Disolver con 100 ml de agua destilada
- v. Trasladar la solución a un balón de aforo de 1000 ml y completar con agua destilada hasta la línea de aforo
- vi. Tapar y homogenizar varias veces
- vii. Dejar reposar por unos minutos

- **Cálculos:**

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \frac{m}{V} = \frac{\text{masa del soluto (g)}}{\text{volumen de la solución (L)}} \times 100$$

(Ecuación 2)

Entonces tenemos que:

$$\% \frac{m}{V} = \frac{20 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} \times 100 = 2 \%$$

(Ecuación 3)

3.6. Ensayos de Jarras y obtención de dosis óptima de coagulante

- **Consideraciones para los ensayos de prueba de jarras**



La prueba de jarras es la técnica más usada para determinar la dosis adecuada de químicos a dosificar para la potabilización del agua, la unidad está compuesta de agitadores de paletas acoplados para operar a una misma velocidad, previamente seleccionada que generalmente están entre 0 a 300 rpm, con jarras rectangulares de 1 a 2 litros de policarbonato transparente, simulando el proceso de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. En los ensayos experimentales se establecieron los siguientes aspectos:

- pH
- Dosis de alcalinizante
- Dosis de coagulante
- Tiempo de duración y gradientes de velocidad de mezcla rápida
- Análisis de laboratorio

La prueba de jarras es una simulación del proceso, entonces es necesario mantener las condiciones operacionales de la planta de tratamiento como son: resalto hidráulico, tiempo de mezcla rápida y lenta, punto de aplicación de reactivos y dosificación de químicos.

En la mezcla rápida se genera turbulencia para que el líquido se mantengan en movimiento para ponerse en contacto con los químicos, en primer lugar con el alcalinizante y luego con el coagulante, de tal manera que se puedan neutralizar y desestabilizar las cargas para que las partículas se aglomeren en un corto periodo de tiempo.

El periodo de mezcla lenta no excede de los 15 minutos, para una floculación más eficiente, tiempo suficiente para que se precipiten por gravedad durante el tiempo de reposo.

Procedimiento:

- i. Preparar la solución de Sulfato de Aluminio al 2% y colocar en las jeringas las concentraciones, usarse según la Ecuación 1.
- ii. Para el análisis se necesitan 12 litros de muestra
- iii. Una vez tomada la muestra, homogenizarla para que los precipitados vuelvan a estar en suspensión.



- iv. Tomar una muestra de 250 ml en un Erlenmeyer para el análisis de las condiciones iniciales de turbiedad, color y pH.
- v. Anotar las condiciones iniciales en la tabla de contenidos y resultados previamente elaborada.
- vi. Homogenizar con la muestra cada uno de los recipientes.
- vii. Colocar 2 litros de muestra en cada uno de los seis recipientes.
- viii. Bajar una a una las paletas agitadoras y ajustarlas para que no se suelten.
- ix. Encender la lámpara para cada una de las jarras.
- x. Colocar al frente de cada recipiente la jeringa con su respectiva concentración de sulfato para el análisis. Por ejemplo: 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l y así sucesivamente.
- xi. Encender el equipo, ajustar al primer gradiente de velocidad (250 rpm) durante el tiempo de retención de la mezcla rápida (1 minuto), con la ayuda de un operador añadir el coagulante, procurando que sea de manera simultánea y rápida.
- xii. Luego ajustar el equipo a 60 rpm por un periodo de 20 minutos para simular la etapa 1 del Floculador.
- xiii. Transcurrido este tiempo se debe ajustar el equipo a 32 rpm por 15 minutos para la etapa 2 de la mezcla lenta.
- xiv. Terminada la etapa 3 del floculador, continuar con el proceso de sedimentación, ajustar el equipo a 0 rpm por un periodo de 20 minutos.
- xv. Concluida la sedimentación se procede a retirar las paletas agitadoras, con mucha precaución.
- xvi. Con una jeringa o una pipeta succionar aproximadamente 100 ml del sobrenadante para el análisis de los parámetros en las condiciones finales de trabajo y depositar en los vasos de precipitación.
- xvii. Realizar las lecturas de color, pH y turbiedad de cada una de las muestras obtenidas.
- xviii. Anotar, comparar y verificar la dosis óptima de coagulante en cada ensayo, que es aquella que posee los valores de color y turbiedad más bajos.



3.7. Evaluación de proceso

Para la evaluación del proceso se aplicaron 3 características en las pruebas de jarras:

1. Característica de los flóculos.- tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, densa, liviana y difusa, guiados por el índice de Willcombs.
2. Calidad de sobrenadante.- si es turbio, semiturbio, transparencia, turbiedad, color y pH. (Muñoz M. I., 2005)
3. Dosis óptima.- se seleccionó aquella dosis en donde el valor del color y turbiedad fueran más bajos y se encuentren dentro del rango establecido.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados y tabulados relacionando las condiciones iniciales y finales de la turbiedad, color y pH con las dosis óptimas de coagulante resultantes.

3.8. Análisis de resultados método estadístico

El método de análisis que se utilizó fue comparativo, relacionando los datos obtenidos entre las condiciones iniciales de agua cruda que ingresa a la planta y finales luego del ensayo de prueba de jarras y los análisis fisicoquímicos de las muestras. Con los resultados obtenidos se construyeron tablas de relación entre los parámetros de turbiedad, color y pH, de acuerdo con las dosis de sulfato de aluminio adicionadas en orden cronológico.

Se determinaron los porcentajes de remoción de turbiedad y color de los ensayos con dosis óptimas.

Los datos finales sirvieron para la construcción de la curva de dosificación de sulfato de aluminio tipo B.

3.9. Proceso para el aforado del tanque de dosificación de vía húmeda

Para una adecuada dosificación de coagulante es necesario conocer el caudal de salida del tanque dosificador, dependiendo del número de vueltas que dé el sistema roscado para la apertura libre de la solución de coagulante. Para la determinación se realizaron 3 mediciones de cada uno de los caudales encontrados. Por medio del siguiente proceso:

- I. Llenar completamente el tanque dosificador, con la rosca hasta su punto de cierre completo.
- II. Colocar la probeta graduada vacía de 100 ml o 1000 ml en la parte de salida del líquido.
- III. Con la ayuda de un operador, abrir el sistema de la rosca y completar una vuelta.



- IV. Cronometrar el tiempo de llenado de la probeta
- V. Anotar, comparar y verificar el procedimiento.
- VI. Repetir los pasos 2, 3 y 4 para los siguientes números de vueltas

Para obtener el caudal de salida del tanque dosificador se aplicó la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

(Ecuación 4)

En dónde;

Q = caudal

V = Volumen

t = tiempo de llenado



*Ilustración 26. Mediciones de caudal para el aforado del tanque de dosificador de Sulfato de Aluminio
Fuente: Autor*



Capítulo IV

4. Datos Experimentales

4.1. Datos de parámetros físico- químicos de diagnóstico del proceso de floculación-coagulación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo PTAP-G.

Proveer de agua potable a una población involucra una serie de operaciones que permiten garantizar que el servicio sea constante y que la calidad del agua sea la adecuada para los consumidores. Es por ello que se realizó la caracterización del agua cruda, cuyos resultados obtenidos se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Caracterización del agua cruda, sedimentada y tratada

Parámetro Físico-químico	Unidad	Resultados			Valor máx. permitido
		Cruda	Sedimentada	Tratada	
Olor	...	No objetable	No objetable	No objetable	No objetable
Sabor	...	No objetable	No objetable	No objetable	No objetable
Color aparente	U. Escl. Pt-Co	68	60	16	15
Turbiedad	N.T.U.	7,15	6,19	3,62	5
pH	...	6,54	6,63	6,59	6,5-8,5
S.T.D.	Us	28	67,1	45,1	1000
Conductividad	mg/l	40,5	96,6	64,9	1000
Alcalinidad	mg/l	30	32	30	300
Dureza total	mg/l	30	30	24	300
Dureza cálcica	mg/l	18	10	16	300
Dureza magnésica	mg/l	12	20	8	200
Cloro residual	mg/l	0	0	1,1	0,3-1,5
Hierro Fe +++	mg/l	0,37	0,35	0,21	0,3
Nitratos NO ₃ -	mg/l	1,5	2,1	1,7	10
Nitritos NO ₂ -	mg/l	0,009	0,010	0,005	0
Sulfatos SO ₄ =	mg/l	4	5	5	200
Cloruros	mg/l	0,4	0,5	0,2	250
Aluminio Al +++	mg/l	0,192	0,185	0,172	0,2
Manganeso Mn	mg/l	0,038	0,033	0,018	0,1

Fuente: Autor

Tabla 7. Valores de análisis de coliformes totales y fecales.

Análisis bacteriológico					
Coliformes totales	U.F.C/100 ml	38	16	Ausencia	<1
Coliformes fecales	U.F.C/100 ml	6	3	Ausencia	<1

Fuente: Autor

Para el ensayo de prueba de jarras se utilizó el equipo marca Phipps & Bird Stirrer, que puede operar hasta 400 revoluciones por minuto, con una capacidad de 2 litros cada jarra, elaboradas en cristal refractario y con un iluminador de flocs localizado en la base del equipo.



Ilustración 27. Equipo de prueba de jarras – Laboratorio de Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G)

Fuente: Autor

Se seleccionaron valores representativos del agua cruda que ingresa a la planta en las diferentes épocas del año. El reactivo principal para el uso es el sulfato de aluminio Tipo B en concentraciones al 2% y dosificados en mg/l en cada una de las jarras. Como alcalinizante una mezcla de cal/carbonato de sodio al 1%, dosificado de igual manera en mg/l. Las características del sulfato de aluminio y alcalinizante se encuentran en los anexos 1, 2 y 3. Se realizaron un total de 16 ensayos distribuidos en la siguiente manera:

Tabla 8. Ensayos realizados durante el periodo de análisis.

Mes	No. ensayos realizados
Marzo	1
Abril	3
Mayo	5
Agosto	7

Fuente: Autor



4.2. Prueba de Jarras mes de marzo y abril

La tabla 9 muestra los ensayos realizados en el mes de marzo y abril, con sus respectivos valores de color, pH y turbiedad iniciales.

En los meses de abril y mayo se analizaron cuatro muestras que fueron recogidas por los operadores de la planta de tratamiento.

Para cada uno de los ensayos se utilizó Sulfato de aluminio al 2% como coagulante y Cal/Carbonato de sodio al 1%.

Tabla 9. Caracterización del agua cruda para ensayo de prueba de jarras en el mes de marzo y abril

No. Ensayo	Fecha	Color Inicial (UPC)	Turbiedad inicial (NTU)	pH	Coagulante	Alcalinizante
1	15-mar-18	735	94	6,86	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
2	13-abr-18	106	18	7,8	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
3	16-abr-18	34	8	6,85	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
4	21-abr-18	2396	592	6,64	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato

Fuente: Elaborado por el autor

Los resultados obtenidos de las pruebas de jarras se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de color después aplicación de coagulante ensayos realizados en el mes de marzo y abril.

No. ensayo	Color inicial (U.P.Co)	Dosis de coagulante (mg/l)						Color final (U.P.Co)						Dosis óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
1	735	35	45	55	65	75	85	751	66	0,11	29	15	77	55
2	106	5	10	15	20	25	30	92	69	15	8	22	42	20
3	34	5	6	7	8	9	10	34	20	14	11	13	10	10
4	2396	15	30	45	60	75	90	1355	1198	1103	7	2	5	75

Fuente: Elaborado por el autor



De igual manera se realizó el análisis de la turbiedad en cada una de las jarras de los ensayos, estos valores están representados en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de turbiedad final con su dosis optima de coagulante en los meses de marzo y abril.

No. ensayo	Turbiedad inicial (NTU)	Dosis de coagulante (mg/l)						Turbiedad final (NTU)						Dosis óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
1	94	35	45	55	65	75	85	106	4,05	3,73	3,9	5,97	8,29	55
2	18	5	10	15	20	25	30	16	12	1	3	4	7	15
3	8	5	6	7	8	9	10	8	5	3	2	4	3	8
4	592	15	30	45	60	75	90	132	125	119	2,4	1,9	1,5	90

Fuente: Elaborado por el autor

Los resultados de la tabla 12 representan los valores obtenidos de pH final, tomando en consideración que el proceso de cloración puede incrementar la acidez. Manteniendo el rango de pH hasta lo indicado por la norma de límite inferior de 6,5 y límite superior de 8,5, valores que también son utilizados para mejorar el proceso de coagulación y facilitar la aglomeración de partículas.

Tabla 12. Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de marzo y abril.

No. ensayo	pH inicial	Dosis de alcalinizante (mg/l)						pH final						pH optimo
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
1	6,86	10	20	30	40	50	60	6,35	6,29	6,82	6,57	6,47	6,14	6,82
2	7,8	5	10	15	20	25	30	7,05	7,05	7,06	7,08	7,05	7,04	7,08
3	6,85	3	4	5	6	7	8	6,72	6,7	6,73	6,75	6,79	6,62	6,79
4	6,64	10	15	25	30	35	45	6,85	6,11	6,56	6,79	6,1	6,86	6,86

Fuente: Elaborado por el autor

Se analizó la cantidad de sulfatos y aluminio de las muestras 2 y 4, cumpliendo dentro del rango permitido por Norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos.



Tabla 13. Análisis químicos de Sulfatos de los meses de marzo y abril

No. Ensayo	Dosis Coagulante (mg/l)						Sulfatos (mg/l)					
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6
2	5	10	15	20	25	30	27	28	33	21	26	30
4	15	30	45	60	75	90	7	11	12	15	16	17

Fuente: Autor

La tabla 14 presenta los valores del análisis químico de aluminio, de cada una de las jarras de las muestras de los ensayos 2 y 4 respectivamente, con el objetivo de estudiar el comportamiento de las dosis aplicadas. Y se pudo determinar que para los ensayos solo cumplen las jarras 1, 2 y 3, para las demás salen fuera del rango permitido por la norma.

Tabla 14. Resultados de análisis de aluminio

No. Ensayo	Dosis Coagulante (mg/l)						Aluminio mg/l					
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6
2	5	10	15	20	25	30	0,143	0,137	0,148	0,398	0,405	0,481
4	15	30	45	60	75	90	0,128	0,153	0,171	0,182	0,211	0,241

Fuente: Autor

En la tabla 15 se presentan las dosis óptimas de coagulante y alcalinizante con los respectivos valores de mejor remoción de color y turbiedad, que serán utilizados para la curva de dosificación de sulfato de aluminio.

Tabla 15. Datos de turbiedad, color y pH finales en los meses de marzo y abril.

No. Ensayo	Dosis óptima Sulfato (mg/l)	Dosis óptima cal/carbonato de sodio (mg/l)	Color final (U.P.Co)	Turbiedad final (NTU)	pH
1	55	30	0,11	3,73	6,82
2	15	20	8	1	7,08
3	8	7	10	2	6,79
4	90	45	2	1,5	6,86

Fuente: Autor

Discusión de resultados:

En los ensayos 1,2 y 4 realizados se lograron resultados óptimos para el color y la turbiedad dentro de los rangos permitidos. Mientras que en el ensayo 3 en la remoción



de color su dosis óptima fue de 10 mg/l y en la turbiedad de 8 mg/l esto puede ser debido a que en algunas ocasiones se necesitan mayores cantidades de coagulante para remover color (arcillas o ácidos húmicos) que para remover turbiedad (fitoplancton o limo).

En el análisis de sulfatos fueron efectivos y dentro del rango permitido por la norma, por debajo de 200 mg/l de $SO_4^{=}$, mientras que para el aluminio este tiene variaciones para el ensayo 2, solo cumple en las tres primeras jarras con un color inicial de 106 UPC y turbiedad 18 NTU, con dosis aplicadas de 5 mg/l, 10 mg/l y 15 mg/l. Para el ensayo 4 de color inicial 2396 UPC y turbiedad 592 NTU, no cumplen las jarras 5 y 6 porque salen fuera del rango permitido de 0,200 m/l de Al^{+3} .



4.3. Prueba de Jarras mes de mayo

La tabla 16 se muestra las condiciones iniciales de los ensayos realizados en el mes de mayo, con sus respectivos valores de color, pH y turbiedad.

Como coagulante se utilizó Sulfato de aluminio al 2% y Cal/Carbonato de sodio al 1% para cada uno de los ensayos. En este mes se reemplazó el tanque de dosificación de vía húmeda por uno nuevo para mejorar la dosificación de coagulante.

Tabla 16. Caracterización del agua cruda para ensayo de prueba de jarras en el mes mayo.

No. Ensayo	Fecha	Color Inicial (U.P.Co)	Turbiedad inicial (NTU)	pH	Coagulante	Alcalinizante
5	08-may-18	113	20	7,34	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
6	21-may-18	347	42,9	6,83	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
7	24-may-18	1331	250	7,61	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
8	25-may-18	2471	544	6,88	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
9	25-may-18	597	179	6,98	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato

Fuente: Autor

La tabla 17 presenta los valores de la dosis de coagulante aplicado, el color final de cada jarra y la dosis de óptima de coagulante.

Tabla 17. Resultados de color después aplicación de coagulante ensayos realizados en el mes de mayo.

No. ensayo	Color inicial (U.P.Co)	Dosis de coagulante (mg/l)						Color final (U.P.Co)						Dosis óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
5	113	5	15	20	25	30	35	101	100	2	111	103	97	20
6	347	15	20	25	30	35	40	279	294	284	383	334	318	15
7	1331	15	25	35	45	55	65	806	656	554	339	118	68	65
8	2471	20	30	40	50	60	70	2107	62	47	84	31	52	60
9	597	30	40	50	60	70	80	727	702	10	108	259	181	50

Fuente: Autor



La tabla 18 muestra los valores de la dosis de coagulante aplicado, la turbiedad obtenida al final del análisis de prueba de jarras y la dosis de óptima de coagulante.

Tabla 18. Resultados de turbiedad final con su dosis optima de coagulante en el mes de agosto.

No. ensayo	Turbiedad inicial (NTU)	Dosis de coagulante (mg/l)						Turbiedad final (NTU)						Dosis óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
5	20	5	15	20	25	30	35	20	19	4	20	19	18	20
6	42,9	15	20	25	30	35	40	45,4	42,4	47,2	42,3	39,9	39,4	40
7	250	15	25	35	45	55	65	96,6	76,3	54,5	25,5	8,01	7,46	65
8	544	20	30	40	50	60	70	367	117	46,5	15,3	6,74	7,33	60
9	179	30	40	50	60	70	80	122,5	84	2,07	10,8	26,4	19,9	50

Fuente: Autor

Los resultados presentados en la tabla 19 corresponden al de pH inicial de cada muestra, la dosis de alcalinizante adicionado más el coagulante para mantener un pH adecuado para que se realice el proceso de remoción de partículas con mayor efectividad.

Tabla 19. Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de mayo.

No. ensayo	pH inicial	Dosis de alcalinizante (mg/l)						pH final						pH óptimo
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
5	7,34	2,5	5	7,5	10	12,5	15	6,5	6,71	7,11	6,68	6,43	6,47	7,11
6	6,83	9	12	15	21	24	27	6,8	6,8	6,79	6,81	6,81	6,86	6,86
7	7,61	30	30	30	30	30	30	7,5	7,18	6,83	6,44	6,65	6,79	7,5
8	6,88	30	30	30	30	30	30	6,91	6,36	6,67	6,78	6,11	6,10	6,91
9	6,98	10	20	30	40	50	60	6,88	6,89	6,83	6,81	6,73	6,7	6,89

Fuente: Autor

La tabla 20 expone los valores del análisis químico de sulfatos y aluminio de las jarras con el valor de mejor remoción de turbiedad, con el propósito de comprobar si se encuentran



dentro de los límites permitidos por la Norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos.

Tabla 20. Análisis químicos de sulfatos y aluminio de los mejores ensayos del mes de mayo.

No. ensayo	Sulfatos (mg/l)	Aluminio (mg/l)
5	20	0,18
6	40	0,225
7	65	0,249
8	60	0,291
9	50	0,215

Fuente: Autor

En la tabla 21 se presentan las dosis óptimas de coagulante, alcalinizante y pH con los respectivos valores de mejor remoción de color y turbiedad finales del mes de mayo.

Tabla 21. Datos de turbiedad, color y pH finales en el mes de mayo.

No. Ensayo	Dosis óptima Sulfato (mg/l)	Dosis óptima cal/carbonato de sodio (mg/l)	Color final (U.P.Co)	Turbiedad final (NTU)	pH
5	20	10	2	4	7,11
6	40	27	279	39,4	6,86
7	65	30	68	7,46	7,5
8	60	30	31	6,74	6,91
9	50	20	10	2,07	6,89

Fuente: Autor

Discusión de resultados:

Los ensayos 6, 7 y 8 realizadas en el mes mayo, en cuanto a la turbiedad y color salen del rango permitido por la Norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos, lo que puede deberse a la falta de coagulante para lograr una mejor remoción, o que en épocas de lluvias la calidad del agua cruda desde la fuente se ve afectada en sus características reflejadas en el color y turbiedad, sin embargo se debe considerar que en el proceso de filtración muchas de estas partículas serán eliminadas.



4.4. Prueba de Jarras mes de agosto

En el mes de agosto se realizaron un total de 7 ensayos, con lluvias constantes a lo largo del día, provocaron variaciones en cada uno de los ensayos realizados. Los operadores monitorearon constantemente la dosificación de tanque de vía húmeda, a fin de mantener una dosis adecuada debido a la variación de las condiciones que presentaba el agua al ingreso de la planta.

Se tomaron como referencia los resultados obtenidos en los meses anteriores para mejorar la dosificación en cuanto a coagulante y alcalinizante, facilitando la aglomeración, precipitación y eliminación de las partículas presentes en el agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento

La tabla 22 presenta las condiciones iniciales del agua cruda de las muestras analizadas destinadas al ensayo de prueba de jarras.

Tabla 22. Caracterización del agua cruda para ensayo de prueba de jarras en el mes de agosto.

No. Ensayo	Fecha	Color Inicial (UPC)	Turbiedad inicial (NTU)	pH	Coagulante	Alcalinizante
10	14-ago-18	41	4,11	6,91	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
11	14-ago-18	67	4,51	6,84	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
12	16-ago-18	160	20,7	6,91	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
13	16-ago-18	333	39	6,89	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
14	16-ago-18	341	59	6,86	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
15	17-ago-18	435	52,6	6,82	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato
16	17-ago-18	563	65,5	6,92	Sulfato de aluminio	Cal/ Carbonato

Fuente: Autor



La tabla 23 contiene los valores de dosis aplicadas de coagulante, el color obtenido en cada una de las jarras y la dosis óptima final del ensayo.

Tabla 23. Resultados de color final realizados en el mes de agosto.

No. ensayo	Color inicial (U.P.Co)	Dosis de coagulante (mg/l)						Color final (U.P.Co)						Dosis óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
10	41	1	2	3	4	5	6	33	62	41	9	24	3	6
11	67	4	6	8	10	12	14	30	98	67	81	103	87	4
12	160	5	10	15	20	30	35	11	3	5	1	6,8	8	20
13	333	20	25	30	35	40	45	15	4	5	3	1	9	40
14	341	15	25	35	45	55	65	133	152	124	0,2	37	163	45
15	435	30	35	40	45	50	55	368	203	163	27	35	42	45
16	563	40	45	50	55	60	65	17	13	9	160	220	230	50

Fuente: Autor

La Tabla 24 presenta los valores de turbiedad final en cada una de las jarras y su dosis óptima.

Tabla 24. Resultados de turbiedad final con su dosis optima de coagulante en el mes de agosto.

No. ensayo	Turbiedad inicial (NTU)	Dosis de coagulante (mg/l)						Turbiedad final (NTU)						Dosis óptima mg/l
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
10	4,11	1	2	3	4	5	6	3,92	5,41	5,59	2,53	1,69	2,11	5
11	4,51	4	6	8	10	12	14	4,41	10,5	10,8	13,4	17,2	16,1	4
12	20,7	5	10	15	20	30	35	3,7	3,1	3,3	2,9	4,8	3	20
13	39	20	25	30	35	40	45	1,84	1,91	1,81	1,96	1,82	13,9	40
14	59	15	25	35	45	55	65	15,9	15,5	15,2	0,92	5,36	22,1	45
15	52,6	30	35	40	45	50	55	40,6	17,6	15,5	4,92	18,1	23,9	45
16	65,5	40	45	50	55	60	65	3,07	3,06	0,9	18,4	25,2	25,4	50

Fuente: Autor

Los resultados de la tabla 25 corresponden a la dosis adicionada de alcalinizante, el pH obtenido en cada jarra y con el valor óptimo al final del proceso, con el que se logra la mayor remoción de partículas.



Tabla 25. Resultados del pH final después del tratamiento con el ensayo de jarras en el mes de agosto.

No. ensayo	pH inicial	Dosis de alcalinizante (mg/l)						pH final						pH óptimo
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
10	6,91	1	2	3	4	5	6	6,71	6,66	6,69	6,79	6,68	6,74	6,79
11	6,84	2	3	4	5	6	7	6,6	6,85	6,64	6,53	6,79	6,87	6,87
12	6,91	15	20	25	30	35	40	6,78	6,16	6,21	6,05	5,94	6,72	6,78
13	6,89	20	20	20	20	20	20	6,69	6,74	6,75	6,75	6,84	5,07	6,84
14	6,86	20	20	20	20	20	20	6,83	6,84	6,83	6,84	6,79	6,86	6,84
15	6,82	25	25	25	25	25	25	6,77	6,7	6,82	6,82	6,72	6,48	6,82
16	6,92	25	25	25	25	25	25	6,79	6,8	6,81	6,79	6,72	6,53	6,81

Fuente: Autor

En la Tabla 26 se da a conocer los valores de dosis optima de coagulante y alcalinizante con los mejores valores de remoción de color, turbiedad y pH.

Tabla 26. Datos de turbiedad, color y pH finales en el mes de agosto.

No. Ensayo	Dosis óptima coagulante (mg/l)	Dosis óptima cal/carbonato de sodio (mg/l)	Color final (U.P.Co)	Turbiedad final (NTU)	pH final
10	5	4	9	1,69	6,79
11	4	7	30	4,41	6,87
12	20	15	1	2,9	6,78
13	40	20	1	1,82	6,84
14	45	20	0,2	0,92	6,84
15	45	25	27	4,92	6,82
16	50	25	9	0,9	6,81

Fuente: Autor

Se pudo constatar también que los valores de sulfatos y aluminio mejoraron considerablemente en este mes con las dosis óptimas obtenidas, la tabla 27 presenta los resultados de los análisis.

Tabla 27. Resultados del análisis químico de sulfatos y aluminio de ensayos finales del mes de agosto.

No.	Sulfatos	Aluminio
-----	----------	----------



ensayo	(mg/l)	(mg/l)
12	2	0,01
13	3	0,017
14	6	0,09
15	7	0,100
16	4	0,028

Fuente: Autor

Discusión de resultados:

Las muestras analizadas en el mes de agosto en su mayoría reflejan resultados óptimos en los parámetros que se estudian, situados dentro del rango permitido de la Norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos. A excepción del ensayo 11 ya que el color con un valor de 30 (U.P.Co) sale del límite permitido pero en cuanto a la turbiedad están dentro del rango, podría considerarse un valor aceptable pudiendo ser reducido en el proceso de filtración.

La dosis de alcalinizante aplicada mejoró el proceso de coagulación-floculación, para la remoción de partículas presentes en el agua manteniéndose en un valor de 6,78 a 6,84 para pH.

Finalmente los resultados de los análisis químicos de sulfatos y aluminio fueron satisfactorios al mantenerse por debajo del límite de la Norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Agua Potable. Requisitos.



4.5. Parámetros iniciales y finales con dosis óptimas de coagulante

En la tabla 24 se presenta el resumen de todos los ensayos realizados con sus respectivos valores de parámetros iniciales y finales con la dosis óptima de coagulante.

Tabla 28. Valores de parámetros iniciales y finales con dosis óptimas

No. Ensayo	Turbiedad (NTU)		Color final (U.P.Co)		pH		Dosis óptima Sulfato (mg/l)	Dosis óptima cal/carbonato de sodio (mg/l)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final		
1	94	3,73	735	0,11	6,86	6,82	55	30
2	18	1	106	8	7,8	7,08	15	20
3	8	2	34	10	6,85	6,79	8	7
4	592	1,5	2396	2	6,64	8,44	90	45
5	20	4	113	2	7,34	7,11	20	10
6	42,9	39,4	347	279	6,83	6,86	40	27
7	250	7,46	1331	68	7,61	7,5	65	30
8	544	6,74	2471	31	6,88	6,91	60	30
9	179	2,07	597	10	6,98	6,89	50	20
10	4,11	1,69	41	9	6,91	6,79	5	4
11	4,51	4,41	67	30	6,84	6,87	4	7
12	20,7	2,9	160	1	6,91	6,78	20	15
13	39	1,82	333	1	6,89	6,84	40	20
14	59	0,92	341	0,2	6,86	6,84	45	20
15	52,6	4,92	435	27	6,82	6,82	45	25
16	65,5	0,9	563	9	6,92	6,81	50	25

Fuente: Autor



Capítulo V

5. Análisis de Resultados

5.1. Evaluación de la situación inicial de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) por medio de la caracterización de las muestras de agua cruda

En la evaluación de la calidad del agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento al ser de origen superficial presenta un color de 68 U.P.Co y una turbiedad de 7,15 NTU valores que son relativamente bajos, no tiene gran cantidad sales disueltas, viéndose reflejado en la conductividad con un valor de 40,5 μ s, también podemos afirmar que se trata de agua blanda al no superar los 75 mg/l de CaCO_3 , de dureza total de 30 mg/l de CaCO_3 , y baja alcalinidad. En cuanto al pH tiene un valor de 6,54 de carácter ácido, razón por la cual se puede utilizar un alcalinizante para facilitar el proceso de coagulación.

Como siguiente paso en el proceso de sedimentación al analizar el color y la turbiedad del agua aún conservaban valores ligeramente altos de 60 U.P.Co y 16 NTU respectivamente, mismos que son aceptables debido a la presencia de partículas suspendidas. Mientras que en el agua tratada se pudo constatar un valor de turbiedad de 3,62 NTU, sin embargo el color fue de 16 U.P.Co que se encuentra fuera del rango permitido por la Norma NTE INEN 1108:2014.Quinta revisión. Agua Potable requisitos.

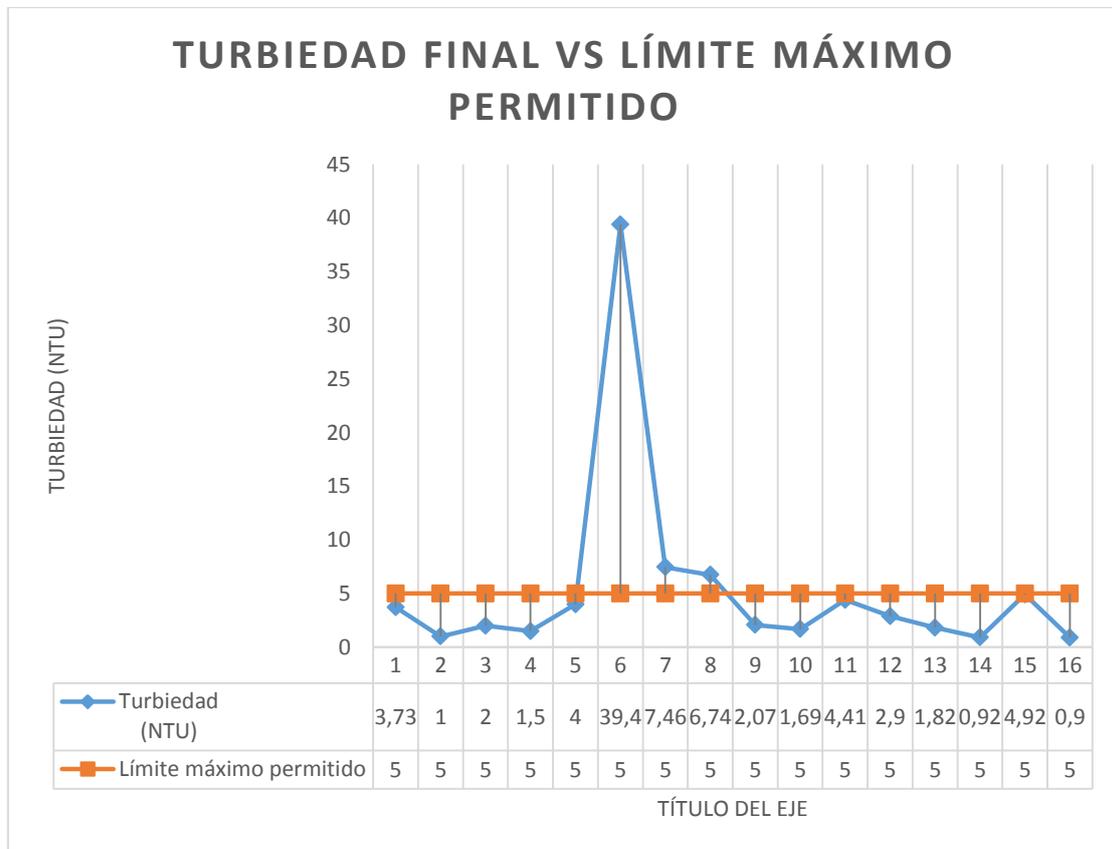
Una de las razones del color en el agua puede deberse a la dosificación inadecuada de coagulante, debido a que el tanque de dosificación de vía húmeda requiere un monitoreo constante al no tener un sistema automatizado para la agitación, favoreciendo la precipitación de sulfato de aluminio, pudiendo existir variaciones en la cantidad que se esté adicionando al agua, provocando que el proceso se vuelva ineficiente.

De esta manera se pretende optimizan los procesos y obtener la máxima eficiencia de remoción de partículas no deseadas. La adecuada dosificación de coagulante que permitirá la remoción de las partículas que confieren color y turbiedad al agua.

5.2.Relación de resultados frente a los límites máximos permitidos

Los resultados obtenidos en la turbiedad en su mayoría se encuentran dentro del límite máximo permitido por la Norma NTE INEN 1108:2014.Quinta Revisión. A excepción de los ensayos 6, 7 y 8. También se pudo observar que los flóculos formados fueron abundantes pero pequeños (Ilustración 25), y permanecieron suspendidos en el agua, evitando su eliminación, proporcionando color y turbiedad.

Figura 14.Turbiedad final de ensayos realizados comparados con el límite máximo permitido.



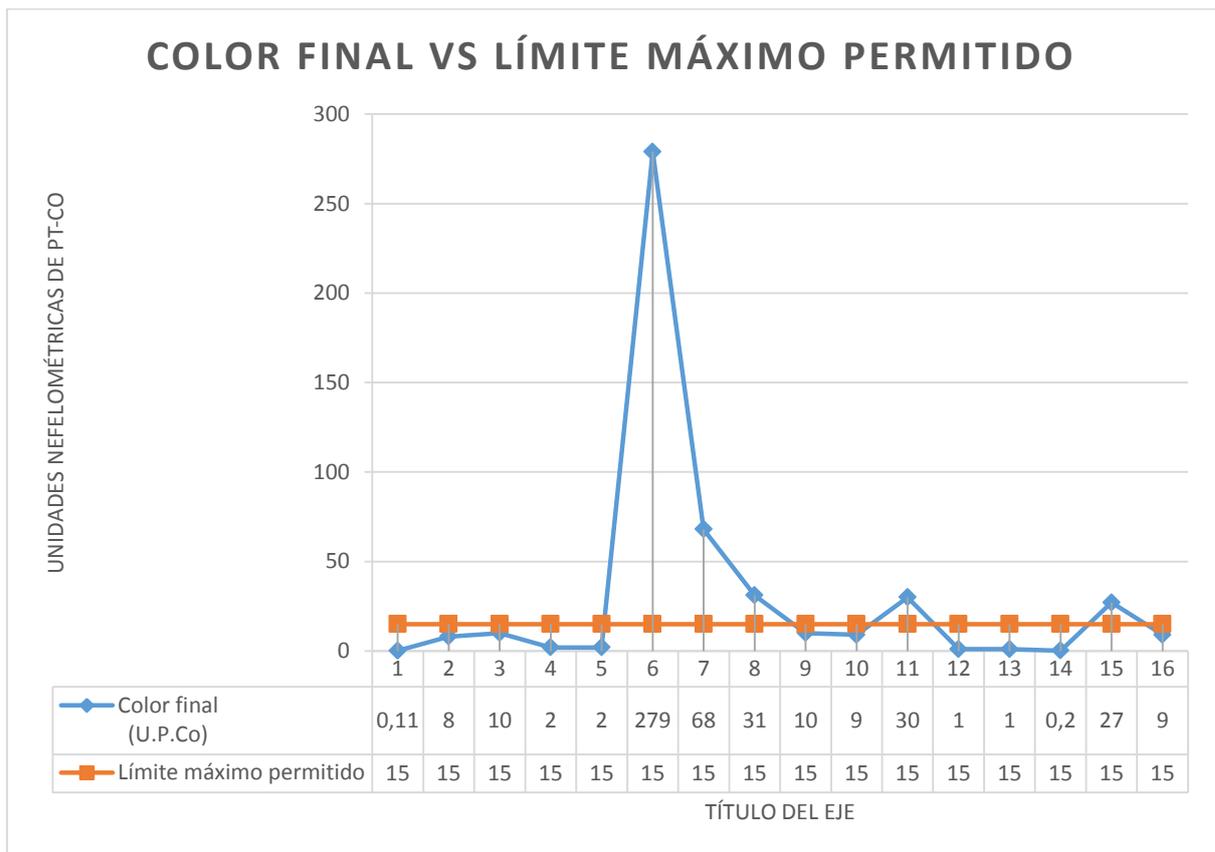
Fuente: Autor



Ilustración 28. Flóculos formados en rangos superiores a 7,11 unidades de pH
Fuente: Autor

En cuanto al color en la figura 15 se puede apreciar un comportamiento similar a la turbiedad, ocasionado por material suspendida en el agua.

Figura 15. Resultados de color final comparados con el límite máximo permitido por la norma INEN 1108:2014.



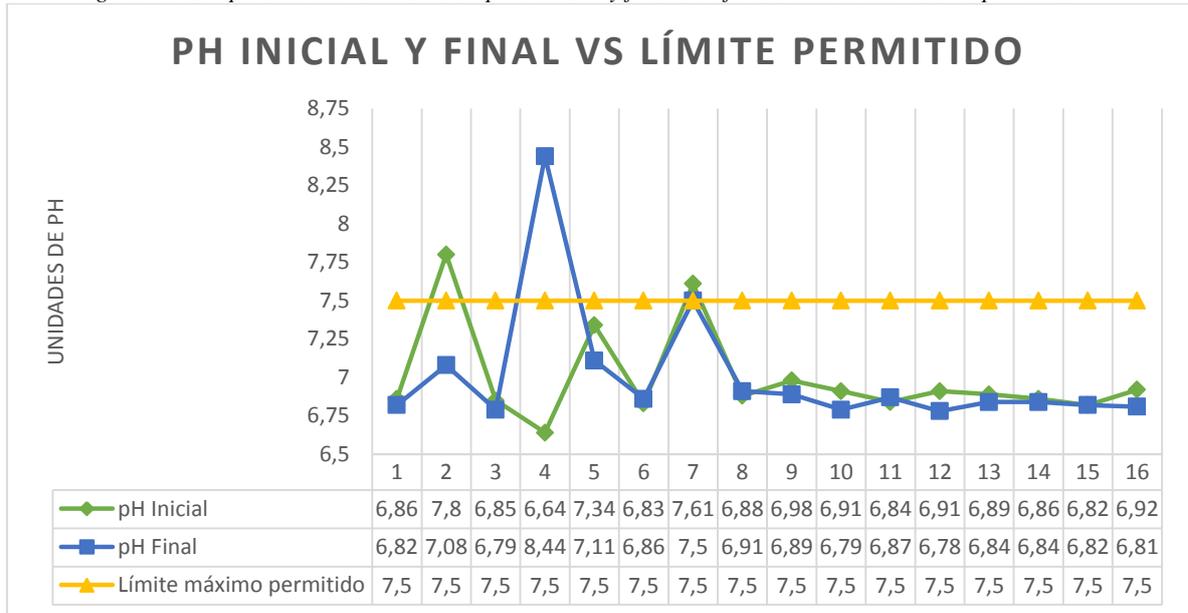
Fuente: Autor

En cuanto al pH presentado en la figura 16, podemos afirmar que lo ideal es mantenerlos hasta valores cercanos a la neutralidad (pH 7), ya que en defecto los valores superiores de pH reaccionan con las bases (bicarbonatos) formando hidróxidos

metálicos, saturando las cargas del complejo coloide-coagulante de forma acelerada, sin generar una doble capa de iones que permite la formación de flocs por adsorción entre sí, para precipitar por su alto peso.

Según el estudio realizado los mejores resultados se encuentra en rangos de pH de 6,8 a 6,96 unidades; los flocs se forman con mayor rapidez, son de gran tamaño y su precipitación es un periodo de tiempo muy corto como se puede apreciar en la Ilustración 26 correspondiente al ensayo 15 realizado en el mes de agosto.

Figura 16. Comparación de resultados de pH iniciales y finales en función del límite máximo permitido



Fuente: Autor

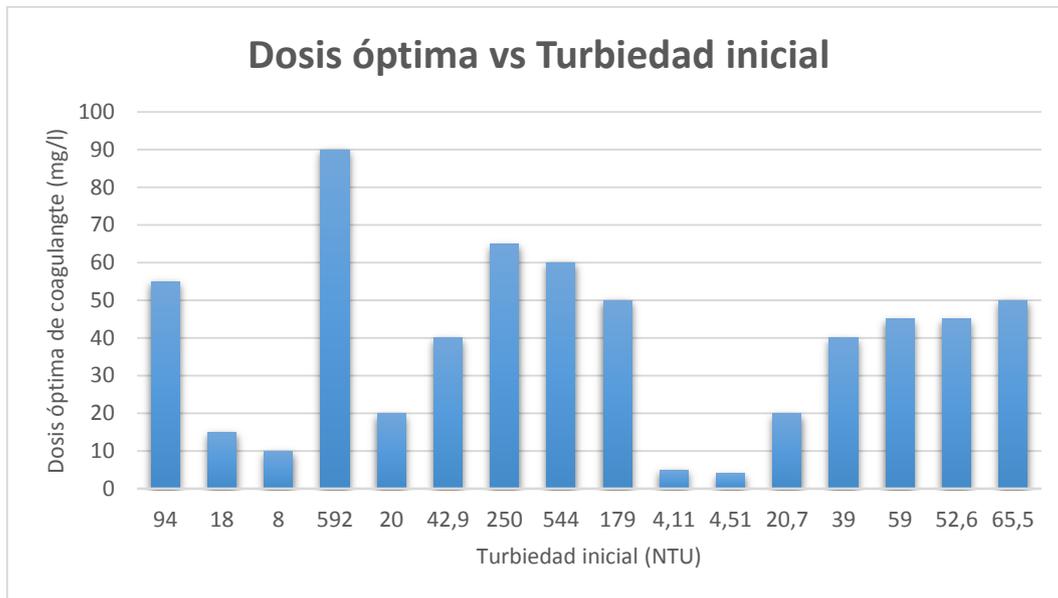


Ilustración 29. Ensayo de jarras No. 15 correspondiente al mes de agosto.

Fuente: Autor

5.3. Relación de la dosis de coagulante y turbiedad inicial de ensayos

Figura 17. Relación de la dosis óptima de coagulante con la turbiedad inicial.



Fuente: Autor

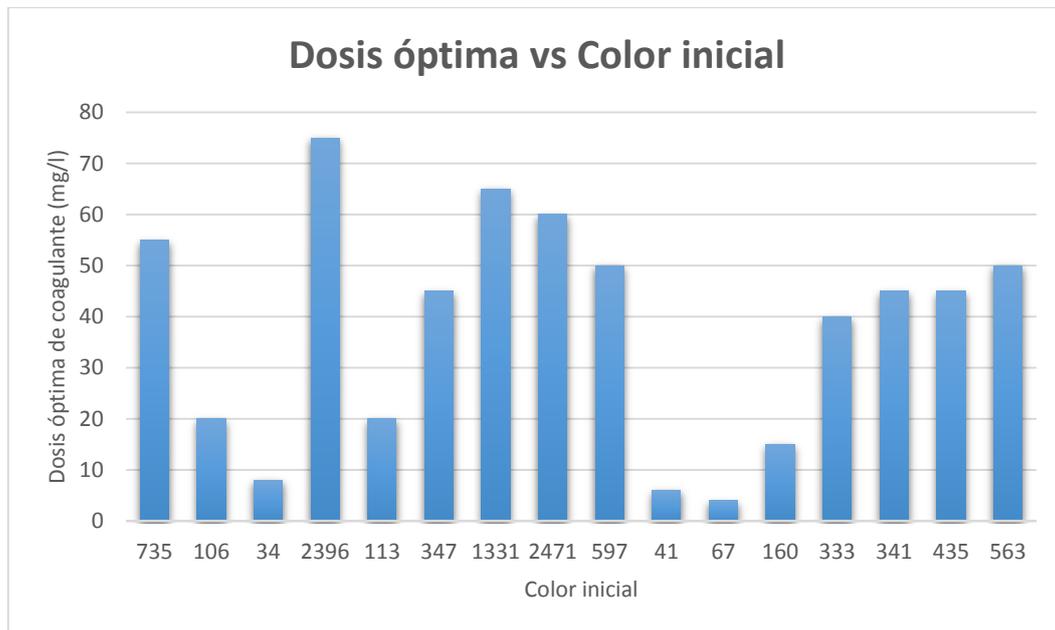
Se puede observar en el ensayo 8 que tiene un valor de turbiedad de 8 NTU se requiere dosis optima de 10 mg/l, mientras que en el ensayo 16 con turbiedad 65,5 NTU se necesita una dosis optima de 50 mg/l.

Se debe considerar que en valores de turbiedad bajas la remoción no es la adecuada por la falta de partículas para el choque entre ellas. Haciendo necesario el uso de poli electrolitos como ayudantes de coagulación, reduciendo el gasto de coagulante

En los ensayos finales del 13 al 16 se logra que sigan un mismo comportamiento, reduciendo la cantidad de coagulante y mejorando el proceso de coagulación en la remoción de color y turbiedad.

5.4. Relación de la dosis de coagulante y color inicial de ensayos

Figura 18. Relación de dosis óptima y color inicial



Fuente: Autor

En el momento de la experimentación se constató que el agua se comporta de maneras diversas. El tratamiento que se dé al agua dependerá de las características que posea al entrar en la planta de tratamiento, datos que son obtenidos mediante el análisis físico-químico, debido a que la lluvia puede arrastrar diferentes tipos de componentes como son esporas, polvo, polen o partículas de polvo o material orgánico. En los ensayos 2 y 4 los valores de dosificación fueron de 20 mg/l y 75 mg/l respectivamente, pero al tener una turbiedad fuera de los rangos permitidos, estos ensayos fueron descartados.

5.5. Porcentajes de remoción de color y turbiedad con sulfato de Aluminio tipo B

A continuación se presentan los porcentajes de remoción tanto para turbiedad y color, de las dosis óptimas obtenidas que están dentro de los rangos permitidos por la normativa vigente, con el uso de sulfato de aluminio tipo B. Mediante la aplicación de la siguiente ecuación. (Castrillón Bedoya & Giraldo, 2012)

$$\% \text{ Remocion de turbiedad} = \frac{\text{Turbiedad inicial} - \text{Turbiedad final}}{\text{Turbiedad inicial}} \times 100$$

(Ecuación 5)



Tabla 29. Resultados de porcentaje de remoción de turbiedad

Turbiedad (NTU)		Porcentaje de remoción de turbiedad (%)
Inicial	Final	
94	3,73	96
18	1	94
8	2	75
592	1,5	99
20	4	80
250	7,46	97
544	6,74	99
179	2,07	99
4,11	1,69	59
20,7	2,9	86
39	1,82	95
59	0,92	98
52,6	4,92	91
65,5	0,9	99

Fuente: Autor

El porcentaje de remoción de la turbiedad expuesta en la tabla 29, se encuentran por encima del 59%, demostrando que el sulfato de aluminio tipo B es práctico para la remoción de partículas.

De igual manera se aplicó la siguiente ecuación, para el cálculo de la remoción de color de los ensayos con la dosis óptima seleccionada.

$$\% \text{ Remocion de Color} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color final}}{\text{Color inicial}} \times 100$$

(Ecuación 6)

Los datos se presentan en la tabla 30, descrita a continuación:



Tabla 30. Porcentajes de remoción de color con sulfato de aluminio tipo B.

Color final (U.P.Co)		Porcentaje de remoción de color (%)
Inicial	Final	
735	0,11	99
106	8	92
34	10	71
2396	2	99
113	2	98
1331	68	95
2471	31	99
597	10	98
41	9	78
160	1	99
333	1	100
341	0,2	100
435	27	94
563	9	98

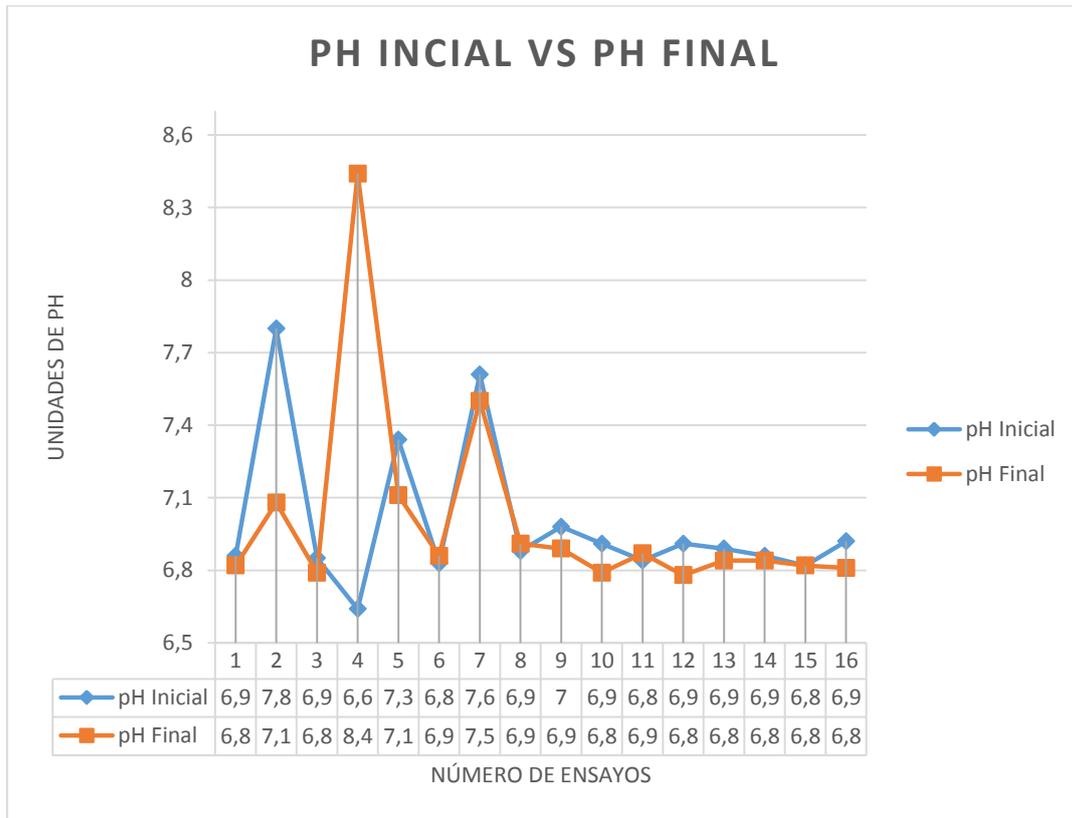
Fuente: Autor

En la remoción del color los valores descritos son mayores que la turbiedad, situados por encima del 71%. Valores que permiten mantener el color y turbiedad dentro de la exigencia de la normativa vigente.

5.6.Comportamiento de pH inicial y final

Por la acidez del agua cruda, se adicionó alcalinizante (cal/carbonato de sodio al 1%), esta alcalinidad es importante para el proceso de coagulación química, favoreciendo la eliminación por barrido de las partículas por la formación de precipitados de hidróxidos insolubles.

Figura 19. Relación de pH inicial y final.

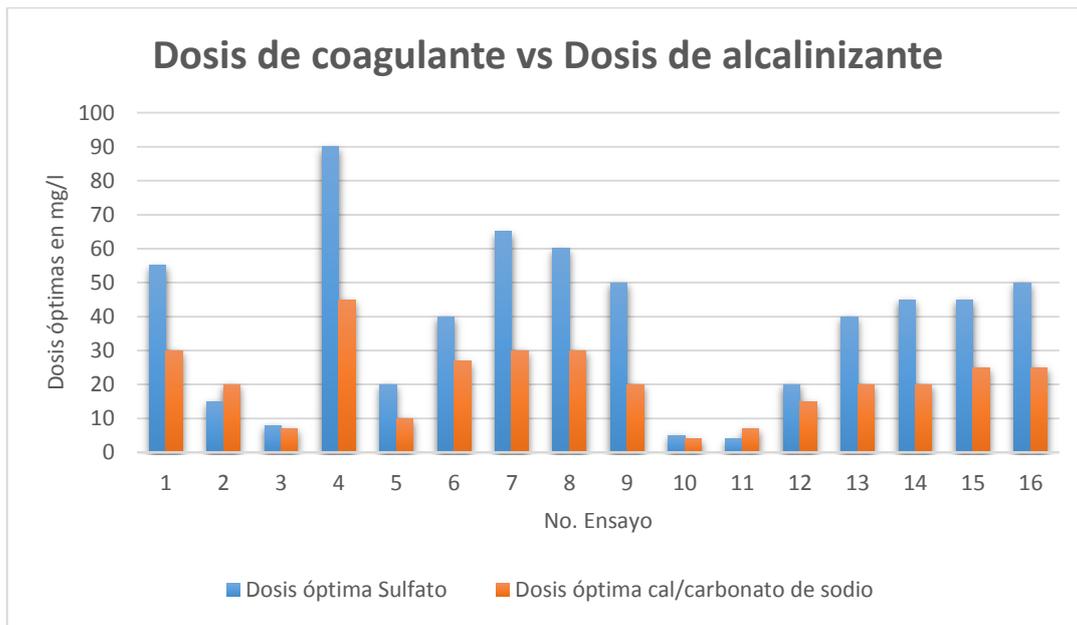


Fuente: Autor

Los iones hidronio (H^+) generados reaccionan con la alcalinidad que esta tiene, y la alcalinidad adicionada actúa como tampón (buffer) para mantener el pH. Facilitando que la acción del coagulante (sulfato de aluminio tipo B) sea el efectivo, en los rango de valores de 6,74 a 6,84 de unidades de pH. La cantidad de calcio y magnesio, presente en el agua tratada expresada como dureza no afecta al consumidor.

Se consideró importante la relación de coagulante, obteniendo el siguiente comportamiento.

Figura 20. Relación de dosis de coagulante y dosis de alcalinizante.



Fuente: Autor

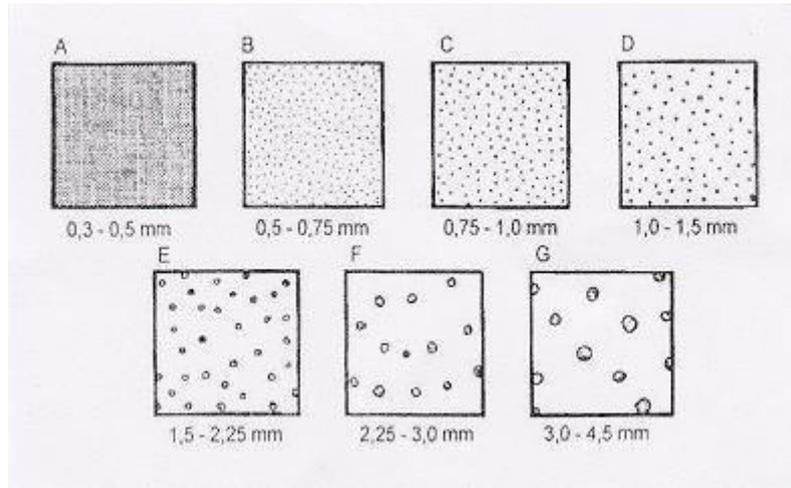
Las concentraciones altas de sulfatos puede conceder al agua una capacidad corrosiva, reaccionando con los metales en solución causando que estos se mantengan solubles y formar óxidos e hidróxidos. Con la concentración de cal/carbonato de sodio al 1%, se puede observar en la gráfica que en una relación 2:1 es efectivo su rendimiento como buffer sin agregar turbiedad al agua tratada.

5.7. Observaciones de Formación de Flóculos

En los ensayos realizados se pudo observar la variabilidad de los flocs formados en algunos casos fueron pequeños y débiles, no precipitaban o sobrenadaban cuando la turbiedad era baja. Y en sentido contrario en condiciones de alta turbiedad y color favoreciendo en su presentación, tamaño y tiempo de precipitación. Por la presencia principalmente de sílice, arcilla y limo.

Dependiendo del diametro de los flocs que pueden estar desde menos 0,001 mm hasta 5 mm, por las condiciones que de la mezcla rapida y la floculación, tanto por el gradiente de velocidad como del tiempo de retencion.

Figura 21. Índice de Willcombs para determinar el tamaño del floculo.



Fuente: (Flores D. B., 2013)

Para las dosis óptimas de coagulante se escogió la que produzca el floculo más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que permita ver el agua más cristalina entre las partículas coaguladas.



Ilustración 30. Presentación de flocs en ensayos realizados

Fuente: Autor

Los floculos generados en los ensayos de pruebas de jarras, tuvieron diferencias de tamaño, donde los floculos de mayor tamaño fueron los de la dosis adecuada para la turbiedad, color y pH, manteniéndose en los Índices 4 a 8.



Tabla 31. Índice de Willcombs

Número de Índice	Descripción
0	Flóculo Coloidal
2	Visible, Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador entrenado
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8	Bueno. Flóculo que se deposita pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina

Fuente: (Rivas, 2015)

5.8. Obtención de la curva de Dosificación:

Para la obtención de la curva de dosificación, se empleó la información obtenida de las pruebas de jarras, y cada ensayo fue analizado y ordenado, se emplearon métodos matemáticos relacionando la turbiedad inicial (NTU) con la dosis de Sulfato de Aluminio Tipo B.

Se logró optimizar la dosificación de Sulfato de Aluminio, en relación con la turbiedad, viéndose reflejada en parámetros físico-químicos dentro de la normativa aplicable, y también en la optimización del consumo de Sulfato de Aluminio para el proceso de coagulación-floculación, lo que implica un ahorro para la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G).

La ecuación obtenida tras realizar la regresión matemática empleada es:

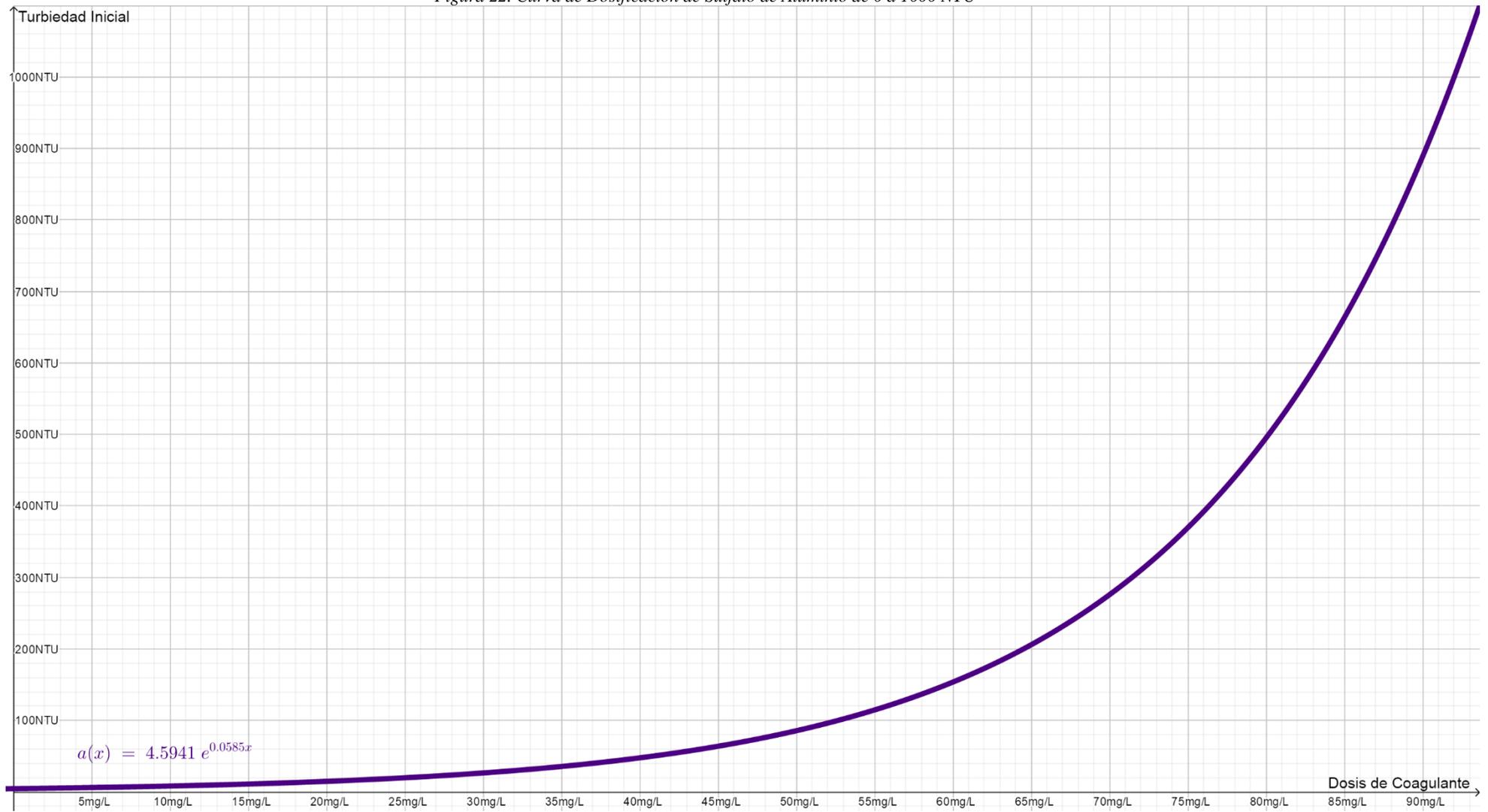
$$y = 4.5941e^{0.0585x}$$

(Ecuación 7)

El valor de “y” corresponde a la turbiedad con la que ingresa el agua cruda a la planta de tratamiento mientras que el valor de x corresponde a la dosis que se debe adicionar a la mezcla rápida. Considerando que el pH está ajustado con el alcalinizante dentro de un rango de 6,5 a 8,0 para facilitar el proceso de coagulación.



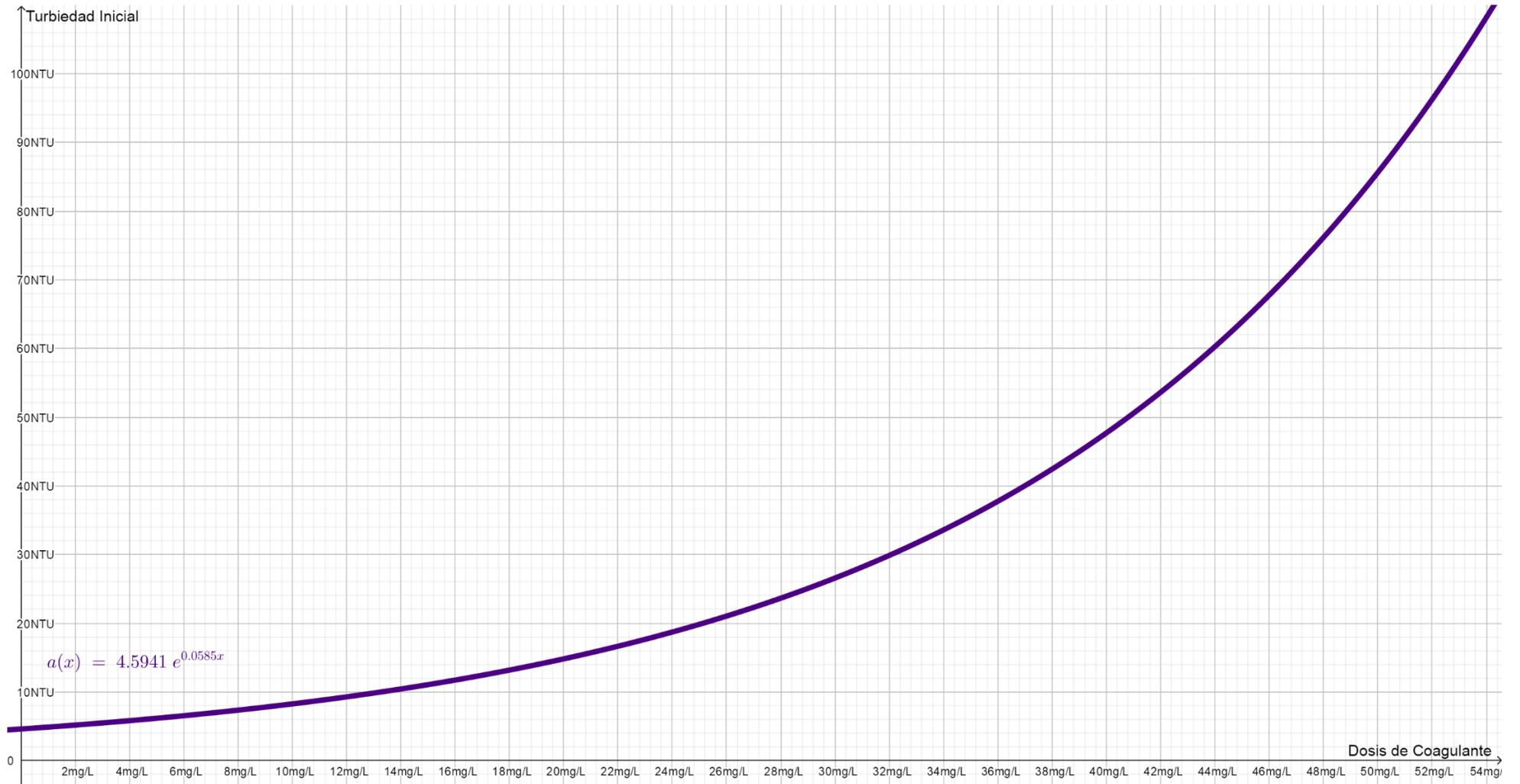
Figura 22. Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio de 0 a 1000 NTU



Fuente: Autor



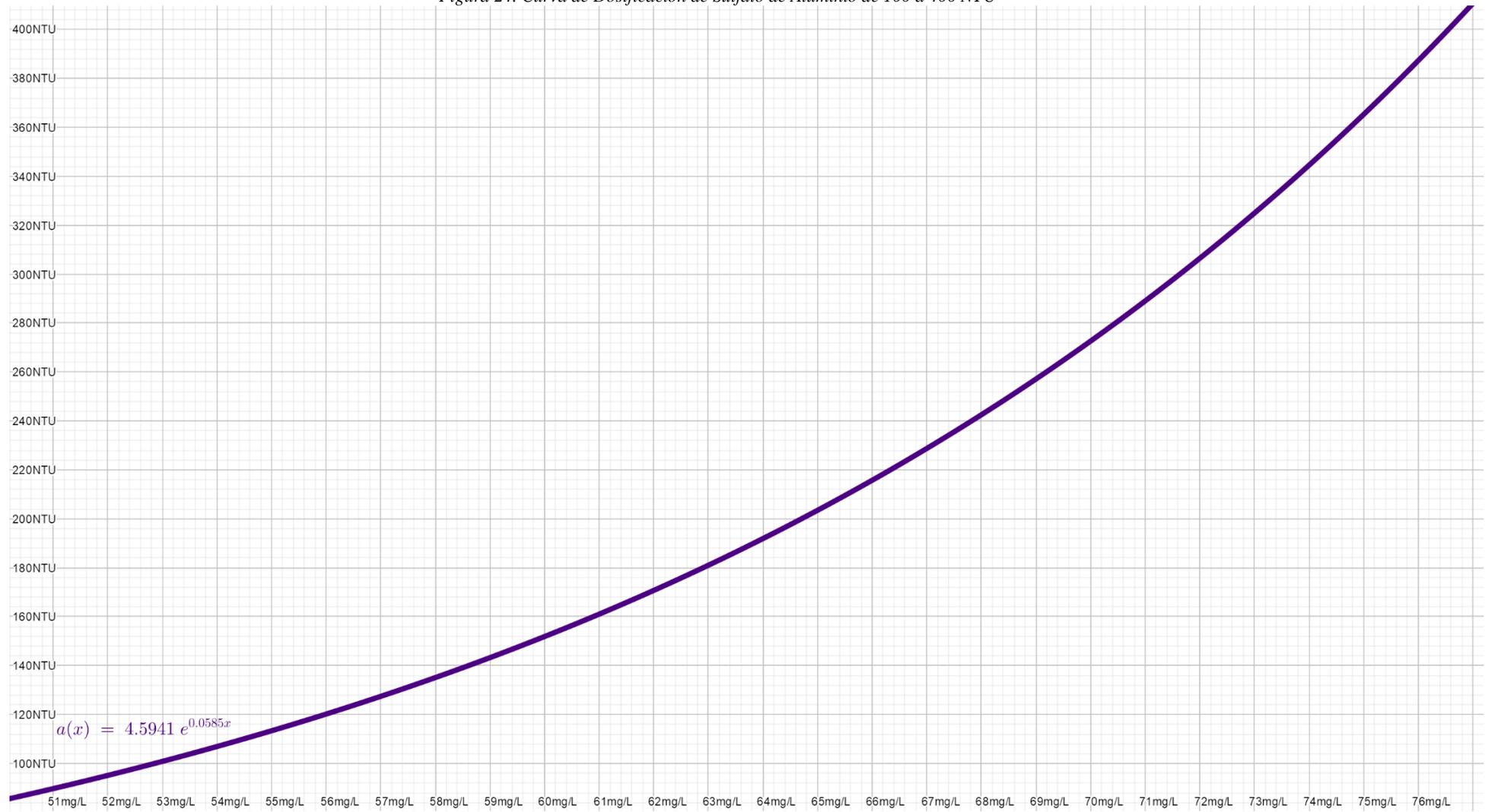
Figura 23. Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio de 5 a 100 NTU



Fuente: Autor



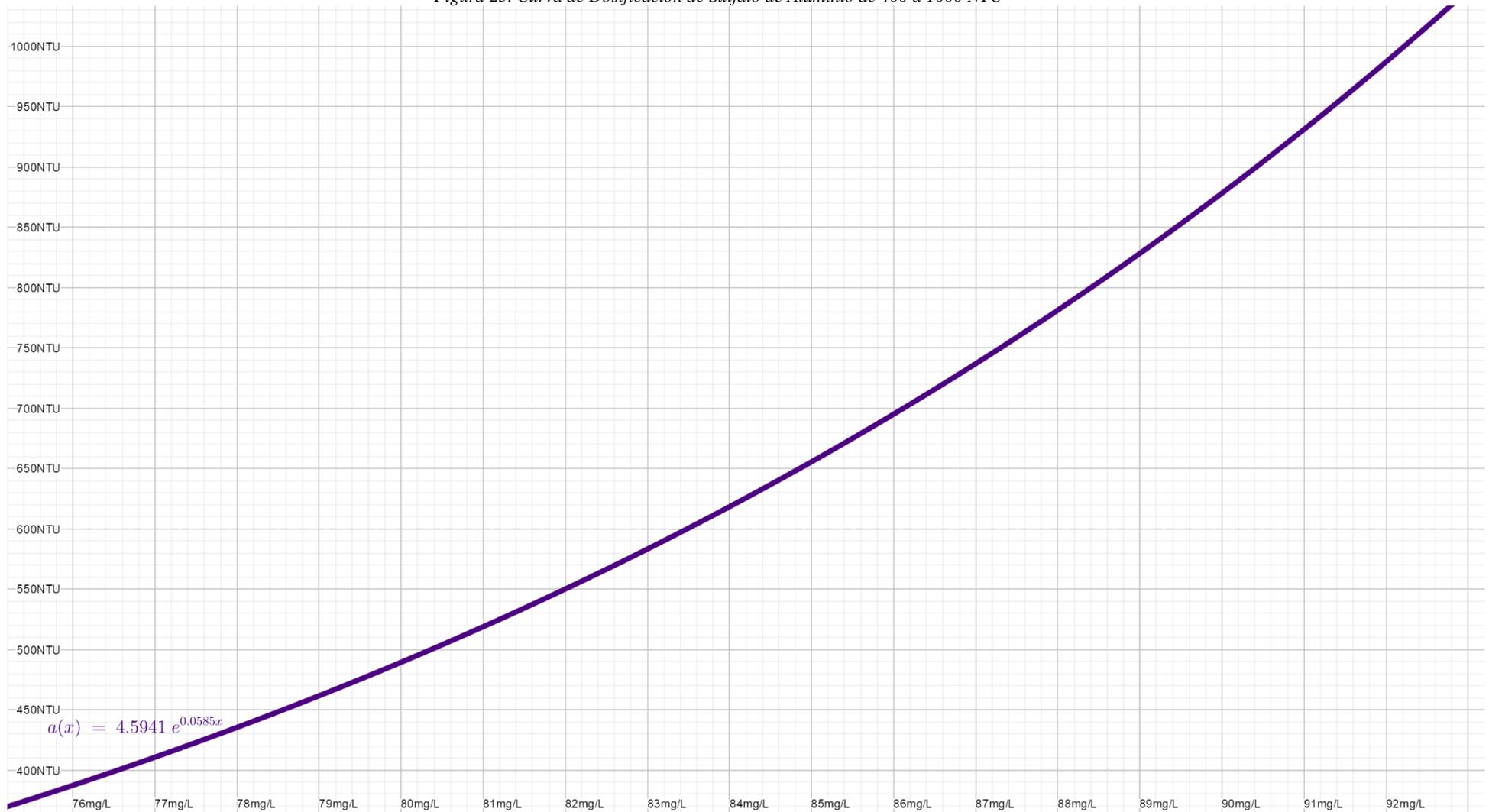
Figura 24. Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio de 100 a 400 NTU



Fuente: Autor



Figura 25. Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio de 400 a 1000 NTU



Fuente: Autor



5.9. Dosificación de Sulfato de Aluminio en función del caudal de ingreso a la Planta de Tratamiento Gualaceo.

Tabla 32. Tabla de Dosificación de Sulfato de Aluminio en función del caudal

DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO																		
DOSIS	5mg/L	10mg/L	15mg/L	20mg/L	25mg/L	30mg/L	35mg/L	40mg/L	45mg/L	50mg/L	55mg/L	60mg/L	65mg/L	70mg/L	75mg/L	80mg/L	85mg/L	90mg/L
CAUDAL	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s
0,5	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14
1,7	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46
4,3	0,06	0,13	0,19	0,26	0,32	0,39	0,45	0,52	0,58	0,65	0,71	0,77	0,84	0,90	0,97	1,03	1,10	1,16
7	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53	0,63	0,74	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,37	1,47	1,58	1,68	1,79	1,89
9,5	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14	1,28	1,43	1,57	1,71	1,85	2,00	2,14	2,28	2,42	2,57
11,5	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,55	1,73	1,90	2,07	2,24	2,42	2,59	2,76	2,93	3,11
14	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	2,10	2,31	2,52	2,73	2,94	3,15	3,36	3,57	3,78
16,9	0,25	0,51	0,76	1,01	1,27	1,52	1,77	2,03	2,28	2,54	2,79	3,04	3,30	3,55	3,80	4,06	4,31	4,56
20	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30	3,60	3,90	4,20	4,50	4,80	5,10	5,40
24,7	0,37	0,74	1,11	1,48	1,85	2,22	2,59	2,96	3,33	3,71	4,08	4,45	4,82	5,19	5,56	5,93	6,30	6,67
31,3	0,47	0,94	1,41	1,88	2,35	2,82	3,29	3,76	4,23	4,70	5,16	5,63	6,10	6,57	7,04	7,51	7,98	8,45
38,9	0,58	1,17	1,75	2,33	2,92	3,50	4,08	4,67	5,25	5,84	6,42	7,00	7,59	8,17	8,75	9,34	9,92	10,50
47,6	0,71	1,43	2,14	2,86	3,57	4,28	5,00	5,71	6,43	7,14	7,85	8,57	9,28	10,00	10,71	11,42	12,14	12,85
57,2	0,86	1,72	2,57	3,43	4,29	5,15	6,01	6,86	7,72	8,58	9,44	10,30	11,15	12,01	12,87	13,73	14,59	15,44
68	1,02	2,04	3,06	4,08	5,10	6,12	7,14	8,16	9,18	10,20	11,22	12,24	13,26	14,28	15,30	16,32	17,34	18,36
79,9	1,20	2,40	3,60	4,79	5,99	7,19	8,39	9,59	10,79	11,99	13,18	14,38	15,58	16,78	17,98	19,18	20,37	21,57

Fuente: Autor



5.10. Aforado del tanque de dosificación de vía húmeda para coagulante.

Mediante la tabla 32 los operadores de la planta de tratamiento, podrán dosificar de manera adecuada en función del caudal el coagulante por el número de vueltas que tiene el sistema de apertura libre, para el paso de la solución de Sulfato de Aluminio Tipo B.

Tabla 33. Aforado de tanque de dosificación de vía húmeda para Sulfato de Aluminio tipo B

CAUDAL DE DOSIFICACIÓN			
No. vueltas	L/s	No. vueltas	L/s
1	0,03	17	5,08
1 ½	0,04	17 ½	5,28
2	0,05	18	5,49
2 ½	0,07	18 ½	5,71
3	0,09	19	5,88
3 ½	0,15	19 ½	5,95
4	0,21	20	6,06
4 ½	0,22	20 ½	6,12
5	0,30	21	6,21
5 ½	0,43	21 ½	6,30
6	0,56	22	6,37
6 ½	0,71	22 ½	6,43
7	0,86	23	6,49
7 ½	1,10	23 ½	6,58
8	1,21	24	6,67
8 ½	1,32	24 ½	6,76
9	1,46	25	6,85
9 ½	1,39	25 ½	6,89
10	2,28	26	6,90
10 ½	2,47	26 ½	7,12
11	2,65	27	7,35
11 ½	2,91	27 ½	7,51
12	3,16	28	7,65
12 ½	3,22	28 ½	7,67
13	3,27	29	7,69
13 ½	3,41	29 ½	7,72
14	3,55	30	7,75
14 ½	3,77	30 ½	7,91
15	3,98	31	8,06
15 ½	4,30	31 ½	8,23
16	4,59	32	8,40
16 ½	4,80	32 ½	9,00

Fuente: Autor



Capítulo VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- La dosis óptima de coagulante es uno de los factores más importantes para que el proceso de coagulación –floculación, si la dosis no es la adecuada los procesos se tornan lentos e ineficientes, mediante la curva de dosificación de coagulante permite que se adicione la cantidad exacta de sulfato de aluminio, optimizando el proceso.
- La dosificación de Sulfato de Aluminio llevada a cabo por los operadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G), a través del tranque de dosificación de vía húmeda, conlleva varios intentos hasta lograr obtener una cantidad adecuada de coagulante, generando que el proceso sea complejo, esto tras realizar los análisis físico-químicos que permiten determinar sus condiciones de ingreso y salida para comprobar que la dosis aplicada es la correcta, y que se encuentren dentro de los valores aceptados por la norma NTE INEN 1108:2014. Quinta revisión. Requisitos. Agua potable. Puesto que se puede estar agregando por defecto o en exceso.
- Además de eso se determinó que el Sulfato de Aluminio Tipo B empleado para la floculación-coagulación es efectivo para la remoción de partículas coloidales presentes en el agua cruda de origen superficial, con la ayuda de una solución de cal/carbonato de sodio al 1%, para que el proceso sea más efectivo, para un rango de pH de 6,5 a 6,9 unidades.
- Con la ayuda de la Tabla de Caudales o de aforado el operador puede dosificar de manera adecuada la cantidad de coagulante necesaria en función del caudal con que se trabaje no necesariamente en un caudal fijo de 57,2 L/s, ya que la planta no contaba con dichas tablas.
- Se obtuvo la curva de dosificación de Sulfato de Aluminio en relación a la turbiedad, pues esta varía ampliamente entre cada estación del año. El sistema de filtración de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Gualaceo (PTAP-G) es bastante efectivo, por lo que el color se ve reducido drásticamente como se muestra en el análisis físico-químico donde el color del agua cruda es de 68 U.P.Co, para la cruda 60 U.P.Co y la tratada de 16 U.P.Co, con un porcentaje de remoción de partículas 76,5%. A pesar que en el proceso de sedimentación aún conserva un valor de turbiedad alto.



6.2.Recomendaciones

- Se recomienda instalar una válvula de boya o flotar, para mantener lleno el taque de dosificación de vía húmeda, pues es el único lugar en el que se homogeniza la solución de Sulfato de Aluminio con el agua es en el cuarto de preparación de químicos, pero en el tanque dosificador se produce la precipitación de la solución y obstruir la rosca que permite el paso libre de la solución. Al no ser un proceso automatizado el de dosificación de soluciones tanto de coagulante y alcalinizante, conlleva a errores y mayor control de los procesos o generar costos adicionales, es así que se recomienda el uso de equipo que provea una adecuada homogenización y carga constante.
- La dosificación del Sulfato de Aluminio se realiza en un único punto mediante un tubo PVC de 1 pulgada de diámetro, para mayor efectividad de la adición del Sulfato de Aluminio, se recomienda dar mantenimiento constante a la tubería tipo flautín para lograr mayor contacto con la masa de agua, ya que pueden haber impurezas obstruyan los orificios y afecten su funcionamiento.



Bibliografía

(s.f.).

Acosta, R. S. (2008). *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos*. Córdoba: Brujas.

Acosta, Y. L. (02 de 2006). *Sistemas de Inforación Cientifica Redalyc* . Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>

Alejandro, B. T. (2009). *Potabilización del Agua. Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá: National Park Plitvice.

Amirtharajah, A. (1989). The mechanisms of coagulation. *Seminario Nacional sobre Coagulacion y Filtracion directa*.

Annderson Guarizo Franco, P. N. (2008). *Química General Práctica*. Quindío: Elizcom.

Brière, F. G., & Pizarro, H. (2005). *Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagues y de Agua Lluvia*. Canada : Andrée Laprise.

Campos, J. C. (Diciembre de 2001). *Universidad Autonoma de Nuevo León*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/6476/1/1080113414.PDF>

Cardenas, Y. A. (Lima de abril de 2000). *Sedapal* . Obtenido de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Castrillón Bedoya, D., & Giraldo, M. d. (2012). Obtenido de <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622H565.pdf>

COANDES. (1994). *Mejoramiento y ampliacion del sistema de agua potable para la ciudad de Gualaceo*. Gualaceo: Coandes Cia. Ltda.

Conagua. (2014). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coyoacán: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro45.pdf>.

Flores, M. I. (2015). *Dspace*. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Documents/TESIS/TESIS%201.pdf>

Gomella, C., & Guerrée, H. (1977). *Tratamiento de aguas para abastecimiento público* . Barcelona : Editores Técnicos Asociados S.A.

INEC, I. N. (2014). *Fascículo Provincia del Azuay*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf>

INEN. (01 de 2014). *Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, Quinta revision*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/egrandam/nte-inen-1108-2014>



- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (23 de 02 de 2013). *Normalizacion* . Obtenido de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/KCA/12092014/nte_inen_iso_6333extracto.pdf
- Kamagate, B. (2008). *ResearchGate*. Obtenido de Coagulation-Flocculation Treatment of a Tropical Surface Water with Alum for Dissolved Organic Matter (DOM) Removal: Influence of Alum Dose and pH Adjustment: https://www.researchgate.net/publication/267245282_Coagulation-Flocculation_Treatment_of_a_Tropical_Surface_Water_with_Alum_for_Dissolved_Organic_Matter_DOM_Removal_Influence_of_Alum_Dose_and_pH_Adjustment?fbclid=IwAR3oxOuoSAF7Mj-2b_O5OXAYiHI-jcfS6HupnRqr
- Kemmer, F., & McCallion, J. (2001). *MANUAL DEL AGUA Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones TOMO III*. México: THE NALCO WATER HANDBOOK.
- Lozada, P. T. (Julio de 2014). *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf>
- M. I. Municipalidad de Gualaceo. (2011). Datos Geográficos. *Gualaceo*, 65.
- Mellado, J. R., & Galvin, R. M. (1999). *Fisicoquímica de Aguas*. Madrid: Díaz de Santos.
- Muñoz. (2005). *Manual de Control y Operaciones Planta de Tratamiento*. Cuenca: Muñoz.
- Muñoz, M. I. (2005). *Revista CENIC Cienicas Químicas, Vol 36, No. Especial, 2005*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511037.pdf>
- Naciones Unidas. (22 de marzo de 2005). *UN*. Obtenido de <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>
- Navarro, I. N. (11 de septiembre de 2015). *Ingeniería y Servicios Ambientales*. Obtenido de <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>
- Organización Panamericana de la Salud. (1985). *Guías para la calidad del agua potable Vol 3*. Organización Panamericana de la Salud.
- Peña, C. R. (1995). *Operacion y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Bogota: Santafé de Bogota, Universidad Distrital.
- Pujos, A. C. (2013). *Dspace Epoch*. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/3108/1/96T00227.pdf>
- Quím. Ada Barrenechea Mantel, I. L. (20 de Septiembre de 2018). *Ingeniero Ambiental*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf>



- Raymond D. Letterman. (2002). *CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA*. España: Mc Graw Hill.
- Rivas, W. A. (2013). *Calidad Fisicoquímica del agua métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Bogotá: Universidad piloto de Colombia .
- Rivas, W. A. (2015). *Potabilización del Agua*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Rojas, J. A. (2002). *Purificación del Agua*. Bogotá: Litoesfera Ltda.
- Romero, J. A. (2005). *Calidad de agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. A. (2005). *Calidad de agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Unidad de Tratamiento Gualaceo. (2010). *MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO*. Gualaceo: Unidad de Tratamiento Gualaceo.
- Vargas, I. L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: CEPIS.
- Yurani Cruz Rojas, M. N. (2015). *Biblioteca digital Universidad del Valle* . Obtenido de iblotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9019/1/3754-0505715.pdf
- Zabala, K. A. (2014). *Biblioteca digital Universidad del Valle*. Obtenido de <http://biblotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7650/1/7720-0446364.pdf>



ANEXOS

ANEXO No. 1 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS

ANEXO No. 2 FICHA TÉCNICA DE CAL

ANEXO No. 3 FICHA TÉCNICA DE SULFATO DE ALUMINIO

ANEXO No. 4 FICHA TÉCNICA DE CARBONATO SÓDICO

ANEXO No. 5 FICHA TÉCNICA DE CLORO GAS



	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-03 Medición del pH del agua	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico		
DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se debe seguir para medir el pH de las muestras de agua cruda, agua sedimentada, agua tratada.		
<p>Fundamento: Se determina electrónicamente con un electrodo en un sistema acuoso es la medida del equilibrio ácido-base alcanzada por diversas sustancias disueltas y en las aguas naturales está controlado por el equilibrio anhídrido carbónico - bicarbonato. El pH, de la mayoría de aguas naturales está entre 6,5 y 8,5 puede alterarse durante el tratamiento de agua así la cloración, floculación, tiende a disminuir el pH.</p> <p>Equipo: Potenciómetro Cole Palmer Vasos de precipitación y/o Erlenmeyer</p> <p>Procedimiento: Lavar el material con agua destilada</p> <p>Colocar la muestra de agua en un vaso de precipitación y/o Erlenmeyer con la cantidad suficiente de la misma. Sumergir el electrodo de pH en el vaso de la muestra de agua. Agitar suavemente Esperar unos 20-30 segundos hasta que la lectura del pH se estabilice. Leer el valor del pH donde se estabilice. Proseguir la lectura del agua cruda, agua sedimentada, agua tratada. Anotar los valores obtenidos en el registro</p> <p>Resultados: El valor obtenido corresponde a los pH presentes en la muestra de agua analizada.</p> <p>Acciones correctivas: Cuando obtenga un valor de pH dudoso, se deberá repetir la prueba.</p>		



	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página: 1/2
	PROCEDIMIENTO No. C-05 Medición de la Turbidez	Versión: 1
		Fecha:
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben seguir para analizar la turbidez del Agua.

Fundamento:

La turbiedad del agua se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como: arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. Se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersa por una suspensión patrón de referencia bajo condiciones definidas, con la intensidad de luz dispersa por la muestra. La relación entre la intensidad de la luz dispersada y la turbiedad es directa. Se emplea el método nefelométrico.

Unidad de medida: (NTU) Unidad nefelométrica de turbidez.

Materiales / Equipos:

Turbidímetro Cole Palmer
Celda para la lectura de la muestra

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada
Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.
Encender el equipo
Presionar el botón [Power] hasta observar en la pantalla [0.00]
Colocar en la celda 10ml con la muestra, hasta la línea requerida.
Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales
Use la celda limpia interiormente y exteriormente
Introducir la celda en el porta celdas
Cerrar la tapa
Pulsar [Read]
Registrar el valor de la turbiedad que aparece en la pantalla luego de haber pulsado [Read]
Repita el procedimiento desde el paso 4, con la celda de agua tratada, seguidamente agua sedimentada, y por ultimo agua cruda.
Leer el valor obtenido
Anotar los valores obtenidos en el registro

Resultados:
El valor obtenido corresponde a turbidez presentes en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de turbiedad dudosa, se deberá repetir la prueba.



	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-06 Medición del color del agua	Versión: 1
		Fecha:
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben seguir para analizar el color del Agua.

Fundamento:

El método de determinación se basa en la comparación con patrones platino - cobalto y los resultados se expresan como unidades de Color UC.

Materiales / Equipos:

Espectrofotómetro Hach 2800
Celdas de 10 ml
Papel toalla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada
Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada
Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.
Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir el Color en el agua [#120] y presione [Enter]
Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa
Presione cero y espere que en la pantalla obtenga [0]
Retire la celda con el agua destilada
Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de agua tratada
Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.
Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa
Presione [Medición]
Leer el valor obtenido
Anotar los valores obtenidos en el registro
Desechar la muestra con agua y lavar la celda

Resultados:

El valor obtenido corresponde al color presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de color dudoso, se deberá repetir la prueba.



	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-07 Medición de Sólidos Totales Disueltos y Conductividad	Versión: 1
		Fecha:
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico
DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben seguir para analizar los sólidos disueltos del Agua (STD) y la conductividad través de la constante que es 1,44 para obtener en microsiemens.		
<p>Fundamento: La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105° C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales, puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales.</p> <p>Materiales / Equipos: Myron L Agua destilada Papel toalla</p> <p>Procedimiento: Para Sólidos disueltos totales (S.D.T.): Coloque directamente la muestra en el equipo, homogenizar 2 veces y desechar la muestra; la tercera muestra analice Encienda el equipo Proceda a la lectura Leer el valor obtenido [ppm de NaCl] Anotar los valores obtenidos en el registro Lavar el equipo con agua destilada Secar</p> <p>Conductividad El valor obtenido de solidos disueltos se multiplica por el factor 1.44 para darnos como resultado el valor en micro siemens.</p> <p>Resultados: El valor obtenido en la pantalla del equipo corresponde a Sólidos Disueltos Totales de la muestra analizada.</p> <p>Acciones correctivas: Cuando obtenga un valor de Sólidos Disueltos Totales dudoso, se deberá repetir la prueba.</p>		

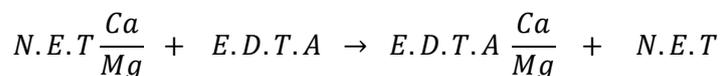


	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-08 Medición de la Dureza total	Versión: 1
		Fecha:
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben seguir para analizar la Dureza Total del Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda.

Fundamento:

El EDTA forma un quelato complejo soluble con ciertos metales como el Calcio y Magnesio, se añade indicador N.E.T. (negro de ericromo) toma un color rojo y/o magenta por la formación del complejo coloreado, esto sucede cuando el pH es 10, al añadir EDTA los iones calcio y magnesio forman un complejo estable, al atraer los metales alcalino térreos de Calcio y Magnesio y cuando todo el metal está dentro del complejo, la solución cambia a azul por que el N.E.T. esta libre y el otro complejo es incoloro.



ROSADO/ROJO

AZUL

Reactivos:

- EDTA 0.02N
- Solución Buffer para dureza pH 10.1
- Indicador - Negro de Ericromo

Materiales / Equipos:

- Bureta
- Erlenmeyer de 250 cm³
- Pipetas volumétricas y/o probeta
- Espátula

Procedimiento:

- Lavar el material a utilizarse para la determinación de la dureza total.
- Medir 100 ml de muestra de agua en una probeta
- Colocar la muestra de agua en un Erlenmeyer
- Añadir 1 ml de Buffer y agitar
- Añadir la cantidad adecuada de indicador *NET*
- Preparar la bureta con la solución de EDTA 0.02 N hasta el límite superior
- Titular la muestra de agua colocada en el Erlenmeyer hasta obtener la coloración azul claro
- Multiplicar el número de ml gastados de Solución de EDTA 0,02 N por 10 para obtener los mg/L de dureza total como CaCO₃ (DT).
- Registramos el valor obtenido en la ficha de registro correspondiente
- Desechar la muestra y proceder a lavar todo el material ocupado para la determinación de la dureza total.

Cálculo:

$$Dureza\ Total \left(\frac{mg}{l} CaCO_3 \right) = \frac{Volumen\ consumido \times N \times k \times EqCaCO_3 \times 1000}{Volumen\ de\ muestra}$$

En donde:

N: Normalidad del EDTA 0.02 N

k: Constante del EDTA

EqCaCO₃: 100 Eq

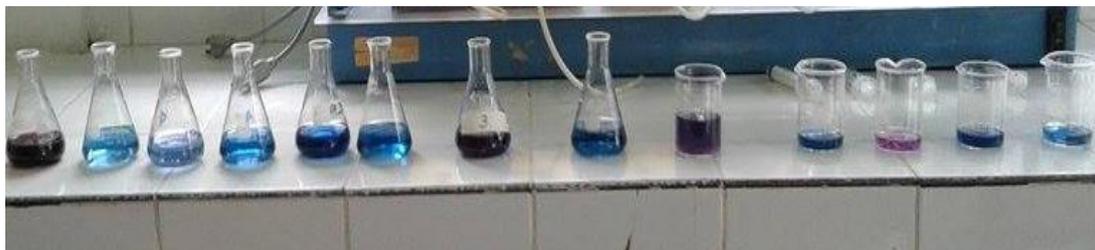
Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de la dureza total en mg/L como CaCO₃ presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor dureza total dudoso, se deberá repetir la prueba.

ANEXOS:



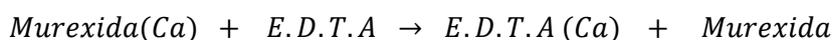


	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-09 Medición de Dureza cálcica	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben seguir para analizar la Dureza Cálcica del Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda.

Fundamento:

El calcio es determinado directamente con EDTA, cuando el pH es elevado, el magnesio precipita como hidróxido y el indicador usado – murexida, se combina solo con el calcio.



ROSADO

PÚRPURA / MORADO

Reactivos:

Solución de EDTA 0.02N
Indicador – Murexida
Hidróxido de Potasio

Materiales / Equipos:

Bureta
Erlenmeyer de 250 cm³
Pipetas volumétricas y/o probeta
Espátula

Procedimiento:

Lavar el material a utilizarse para la determinación de la dureza cálcica
Medir 100 ml de muestra de agua en una probeta
Colocar la muestra de agua en un Erlenmeyer
Añadir 1 ml de Buffer y agitar
Añadir la cantidad adecuada de indicador
Medir 100 ml de muestra de agua y colocar en el Erlenmeyer
Añadir 1 ml de Hidróxido de Potasio
Añadir la cantidad adecuada de indicador **MUREXIDA**
Preparar la bureta con la solución de EDTA 0.02 N hasta el límite superior
Titular la muestra de agua colocada en el Erlenmeyer hasta obtener la coloración púrpura o morada
Multiplicar el número de ml gastados de Solución de EDTA 0,02 N por 9,8 para obtener los mg/L de dureza total como CaCO₃ (DT).
Registramos el valor obtenido en la ficha de registro correspondiente
Desechar la muestra y proceder a lavar todo el material ocupado para la determinación de la dureza cálcica

Cálculo:

$$Dureza\ Cálcica\ \left(\frac{mg}{l}\ CaCO_3\right) = \frac{Volumen\ consumido \times N \times k \times EqCaCO_3 \times 1000}{Volumen\ de\ muestra}$$

En donde:

N: Normalidad del EDTA 0.02 N

k: Constante del EDTA

EqCaCO₃: 100 Eq

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de la dureza Cálctica en mg/L como $CaCO_3$ presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor dureza cálcica dudoso, se deberá repetir la prueba.

ANEXOS:

El valor de DUREZA MAGNÉSICA, se deberá obtener por medio de la resta de la dureza Total menos la dureza Cálctica, según la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza Magnésica} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{CaCO}_3 \right) = \text{Dureza Total} - \text{Dureza Cálctica}$$



	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-10 Alcalinidad	Versión: 1
		Fecha:
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben seguir para determinar alcalinidad del Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda

Fundamento:

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y es la suma de todas las bases titulables. Por lo general se debe fundamentalmente a su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, aunque otras sales o bases también contribuyen a la alcalinidad. Su valor puede variar significativamente con el pH del punto final.

Para cuantificar la alcalinidad se usa un ácido valorado (H₂SO₄, HCl 0.02 N) y dos indicadores como la fenolftaleína (P) y naranja de Metilo (M). Con el indicador P titulamos los iones OH⁻ y/o la mitad de CO₃⁼ y con el M titulamos la otra mitad de CO₃⁼ y los bicarbonatos naturales.

Interpretación:

P= Alcalinidad de Fenolftaleína

T= Alcalinidad Total

Resultados de la Titulación	Alcalinidad OH ⁻	Alcalinidad CO ₃ ⁼	Alcalinidad CO ₃ ⁼
P = 0	0	0	T
P < 1/2 T	0	2P	T - 2P
P = 1/2 T	0	2P	0
P > 1/2 T	2P - T	2(T - P)	0
P = T	T	0	0

Reactivos:

Ácido sulfúrico 0.02N

Indicador - Naranja de Metilo

Materiales / Equipos:

Bureta

Erlenmeyer de 250 cm³

Pipetas volumétricas y/o probeta

Procedimiento:

Lavar el material a utilizarse para la determinación de la Alcalinidad

Medir 100 ml de muestra de agua en una probeta

Colocar la muestra de agua en un Erlenmeyer

Añadir la cantidad adecuada de indicador 5-8 gotas de Naranja de Metilo

Preparar la bureta con la solución de Ácido Sulfúrico 0.02 N hasta el límite superior

Titular la muestra de agua colocada en el Erlenmeyer hasta obtener la coloración anaranjada

Multiplicar el número de ml gastados de Solución de Ácido Sulfúrico por 1.3 para obtener los mg/L

Registramos el valor obtenido en la ficha de registro correspondiente

Desechar la muestra y proceder a lavar todo el material ocupado para la determinación de la dureza cálcica

Cálculos:

$$\text{Alcalinidad total } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{CaCO}_3\right) = \frac{\text{Volumen consumido} \times N \times k \times \text{EqCaCO}_3 \times 1000}{\text{Volumen de muestra}}$$

En donde:

N: Normalidad del Ácido sulfúrico**k:** Constante del Ácido Sulfúrico**EqCaCO₃:** 100 Eq**Resultados:**

El valor obtenido corresponde al valor de Alcalinidad en mg/L como CaCO₃ presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor alcalinidad dudoso, se deberá repetir la prueba.

ANEXOS:

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-11 Análisis de Sulfatos	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar sulfatos usando el espectrofotómetro Hach Dr/2800, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda.

Fundamento:

Los sulfatos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y son relativamente abundantes en las aguas duras. El ion sulfato precipita en medio ácido con cloruro de bario formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad.

Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones.

Reactivos:

1 sobre de Sulfate 4 Reagent Powder Pillow

Materiales / Equipos:

Espectrofotómetro Hach 2800

Blanco (agua destilada)

Tubos de ensayo

Pipeta y/o jeringuilla

Celdas de 10 ml

Papel toalla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada

Acondicionamiento de la muestra;

En un tubo de ensayo colocar 10 ml de la muestra

Coloque una cantidad del sobre de Sulfaver 4 en el tubo de ensayo con la muestra. (Véase Figura No.1)



Agitar hasta disolución total de la sal adicionada

Nota: Un tiempo de reacción de 5 minutos comenzará. “Una turbidez blanca se desarrollará si hay presencia de sulfato en la muestra”

Luego;

Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir el Sulfatos [#680] y presione [Enter]

Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa

Presione cero y esperara que en la pantalla obtenga [0.00 mg/L SO₄⁻²]

Retire la celda con el agua destilada

Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.



Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa

Presione [*Medición*]

Leer el valor obtenido

Anotar los valores obtenidos en el registro

Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Sulfatos presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de sulfatos dudoso, se deberá repetir la prueba.

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-12 Análisis de Nitratos	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar Nitratos usando el espectrofotómetro Hach Dr/2000, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda.

Fundamento:

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos. El nitrato (NO_3^-) se reduce, casi en su totalidad, cuantitativamente a nitrito (NO_2^-) en presencia de cadmio (Cd). Este método consiste en el uso de cadmio granulado tratado con sulfato de cobre ($CuSO_4$) y empacado en una columna de vidrio. El NO_2^- producido es determinado por diazotación con sulfanil amida y acoplamiento con Dihidro Cloruro de N-(1- Naftol)-Etileno Tiamina, para formar un compuesto altamente coloreado que se mide colorimétricamente.

Reactivos:

1 sobre de Nitra Ver 5 Nitrate Reagent Powder Pillow

Materiales / Equipos:

Espectrofotómetro Hach 2800

Blanco (agua destilada)

Tubos de ensayo

Pipeta y/o jeringuilla

Celdas de 10 ml

Papel toalla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada

Acondicionamiento de la muestra;

En un tubo de ensayo colocar 10 ml de la muestra

Coloque una cantidad del sobre de NitraVer 5 en el tubo de ensayo con la muestra. (Véase Figura No.1)



Agitar hasta disolución total de la sal adicionada

Nota: Un tiempo de reacción de un minuto comenzará. “Es importante agitar vigorosamente la celda, el tiempo y la técnica de agitación influyen para que se desarrolle el color “

Esperar 5 minutos hasta reacción total

Nota: Comenzará un tiempo de reacción de cinco minutos. “Un color ámbar se desarrollará si el nitrógeno del nitrato está presente”

Luego;

Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada

Limpia y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir el Nitratos [#355] y presione [Enter]

Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa

Presione cero y esperara que en la pantalla obtenga [0,00 mg/L N^-]

Retire la celda con el agua destilada



Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa

Presione [*Medición*]

Leer el valor obtenido

Anotar los valores obtenidos en el registro

Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Nitratos presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de nitratos dudoso, se deberá repetir la prueba.

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-13 Análisis de Nitritos	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar Nitritos usando el espectrofotómetro Hach Dr/2800, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda

Fundamento:

La presencia de nitritos en aguas es un indicador de calidad de las mismas y por este motivo es necesario poder cuantificarlo. Para ello existen una serie de técnicas de análisis. El nitrito (NO_2^-) se determina por la formación de un colorante azo púrpura rojizo producido a pH 2,0 - 2,5 por acoplamiento de sulfanilamida diazotizada con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (diclorhidrato de NED)

Reactivos:

1 sobre de NitriVer 3 Nitrite Reagent Powder Pillow

Materiales / Equipos:

Espectrofotómetro Hach 2800

Blanco (agua destilada)

Tubos de ensayo

Pipeta y/o jeringuilla

Gradilla

Celdas de 10 ml

Papel toalla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada

Acondicionamiento de la muestra;

En un tubo de ensayo colocar 10 ml de la muestra

Coloque una cantidad del sobre de NitriVer 3 en el tubo de ensayo con la muestra. (Véase Figura No.1)



Agitar hasta disolución total de la sal adicionada

Nota: Un tiempo de reacción de 15 minutos comenzará. “Un color rosa se desarrollará si hay presencia de nitritos “

Luego;

Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir Nitritos [#371] y presione [Enter]

Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa

Presione cero y esperara que en la pantalla obtenga [0.000 mg/L NO_2^-]

Retire la celda con el agua destilada

Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa

Presione [Medición]

Leer el valor obtenido



Anotar los valores obtenidos en el registro
Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Nitritos presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de Nitritos dudoso, se deberá repetir la prueba.

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-14 Análisis de Hierro	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar hierro usando el espectrofotómetro Hach Dr/2800, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda

Fundamento:

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. El hierro que es disuelto en las aguas subterráneas se reduce a su forma hierro II, ésta forma es soluble y normalmente no causa ningún problema por sí misma. El hierro II se oxida a formas de hierro III que son hidróxidos insolubles en agua. Estos son compuestos rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación, entre otros. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua.

Reactivos:

1 sobre de FerroVer (Iron Reagent Powder Pillow)

Materiales / Equipos:

Espectrofotómetro Hach 2800

Blanco (agua destilada)

Tubos de ensayo

Gradilla

Pipeta y/o jeringuilla

Celdas de 10 ml

Papel toalla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada

Acondicionamiento de la muestra;

En un tubo de ensayo colocar 10 ml de la muestra

Coloque una cantidad del sobre de FerroVer en el tubo de ensayo con la muestra. (Véase Figura No.1)



Agitar hasta disolución total de la sal adicionada

Nota: Un tiempo de reacción de 3 minutos comenzará. “Un color anaranjado se formará si hay presencia de hierro “

Luego;

Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir Hierro [#265] y presione [Enter]

Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa

Presione cero y esperara que en la pantalla obtenga [0.00 mg/L Fe]

Retire la celda con el agua destilada

Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa



Presione [*Medición*]

Leer el valor obtenido

Anotar los valores obtenidos en el registro

Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Hierro presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de Hierro dudoso, se deberá repetir la prueba.



	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-15 Análisis de Manganeso	Versión: 1
		Fecha:
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico
DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar Manganeso usando el espectrofotómetro Hach Dr/2800, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda		
<p>Fundamento: El método es aplicable para la determinación de manganeso concentraciones entre 0,01 mg/l y 5 mg/l. Concentraciones de manganeso por encima de 5 mg/l, podrá ser determinada previa dilución de la muestra. Adición de una solución formaldoxima a una porción de ensayo y medición de la espectrometría del complejo de color naranja-rojo a una longitud de onda de aproximadamente 450 nm. Si manganeso suspendido o vinculado orgánicamente está presente, se requiere tratamiento previo para convertir manganeso a forma capaz de reaccionar con formaldoxima. El complejo formaldoxima manganeso es estable entre valores de pH de 9,5 y 10,5, y la intensidad del color producido es proporcional a la cantidad presente de manganeso. La relación entre la concentración y la absorbancia es lineal hasta una concentración de 5 mg/l. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)</p> <p>Reactivos: 1 sobre de Ácido Ascórbico Cianuro alcalino gotero Indicador PAN solución a 0.1% gotero</p> <p>Materiales / Equipos: Espectrofotómetro Hach 2800 Blanco (agua destilada) Tubos de ensayo Pipeta y/o jeringuilla Gradilla Celdas de 10 ml Papel toalla</p> <p>Procedimiento: Lavar el material con agua destilada <i>Acondicionamiento de la muestra;</i> En un tubo de ensayo colocar 25 ml de la muestra Coloque 1 sobre de Ácido Ascórbico Agitar hasta disolución total de la sal adicionada Nota: Un tiempo de reacción de 2 minutos comenzará. “Un color anaranjado se formará si hay presencia de hierro “ <i>Luego;</i> Adicionar 10 gotas de Alcalinizante esperar a un tiempo de la reacción; luego, Adicionar 5 gotas de indicador, esperar otros 10 min; y luego; Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales. Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir Manganeso [#290] y presione [Inicio] Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa Presione cero y esperara que en la pantalla obtenga [0.00 mg/L Mn] Retire la celda con el agua destilada Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra</p>		



Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa

Presione [*Medición*]

Leer el valor obtenido

Anotar los valores obtenidos en el registro

Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Sulfatos presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de sulfatos dudoso, se deberá repetir la prueba.

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-16 Análisis de Aluminio	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar Aluminio usando el espectrofotómetro Hach Dr/2000, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda

Fundamento:

El aluminio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y se encuentra en minerales, rocas y arcillas. Es frecuente la utilización de sales de aluminio en el tratamiento del agua como coagulantes para reducir el color, la turbidez, y el contenido de materia orgánica y de microorganismos. Este uso puede incrementar la concentración de aluminio en el agua tratada; una concentración residual alta puede conferir al agua color y turbidez no deseables. La concentración de aluminio que da lugar a estos problemas es, en gran medida, función de varios parámetros de calidad del agua y factores relativos al funcionamiento de la planta de tratamiento del agua. La contribución del agua de consumo a la exposición total por vía oral al aluminio suele ser menor que el 5% de la ingesta total. El grado de absorción del aluminio es función de varios parámetros, como el tipo de sal de aluminio administrada, el pH (que influye en la especiación y solubilidad del aluminio), la biodisponibilidad y factores nutricionales del aluminio.

La intensidad del color depende de la concentración de aluminio, el pH, el tiempo de reacción, la temperatura y la concentración de otros iones en la muestra.

Reactivos:

- 1 sobre de AluVer (Aluminum Reagent Powder Pillow)
- 1 sobre de Ácido Ascórbico
- 1 sobre de Bleaching Reagent Powder Pillow

Materiales / Equipos:

- Espectrofotómetro Hach 2800
- Probeta de 100 ml
- Blanco (agua destilada)
- Erlenmeyer
- Celdas de 10 ml
- Papel toalla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada

Acondicionamiento de la muestra;

Medir en la probeta 50 ml de la muestra

Colocar en un Erlenmeyer la muestra

Añadir el contenido de un sobre de ácido ascórbico y agitar hasta disolver,



Esperar un tiempo de reacción de 5 minutos

Luego, añadir el contenido de un sobre de AluVer (Aluminum Reagent Powder Pillow, agitar hasta disolver



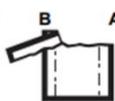
Nota: “Un color rojo-naranja se desarrolla si hay presencia de aluminio.”

Esperar un tiempo de reacción de 3 minutos

Con la ayuda de una pipeta y/o jeringuilla retirar 25 ml del sobrenadante y colocar en un Erlenmeyer

Añadir el contenido de un sobre de Bleaching 3 Reagent Powder Pillow

1. Rasgar



2. Empujar



3. Verter



Agitar hasta disolución total de la sal adicionada

Nota: Un tiempo de reacción de 15 minutos comenzará.

Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir el Aluminio [#10] y presione [Inicio]

Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa

Presione cero y espere que en la pantalla obtenga [0,000 mg/L Al³⁺]

Retire la celda con el agua destilada

Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa

Presione [Medición]

Leer el valor obtenido

Anotar los valores obtenidos en el registro

Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Sulfatos presente en la muestra de agua analizada.

Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de sulfatos dudoso, se deberá repetir la prueba.

	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	Página:
	PROCEDIMIENTO No. C-17 Análisis de Cloruros	Versión: 1
Elaborado por: Rebeca Guncay	Revisado por: Dra. Fabiola Matute Jefe de Planta	Fecha:
		Aprobado por: Ing. César Torres Director Técnico

DESCRIPCIÓN: Este procedimiento describe los pasos que se deben usar para analizar Cloruros usando el espectrofotómetro Hach Dr/2800, para Agua Tratada, Agua Sedimentada, Agua Cruda

Fundamento:

El ion cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural, debido a su elevado contenido puede dañar las conducciones y estructuras metálicas. Habitualmente el agua de uso doméstico tiene más contenido de cloruros que el agua potable.

Reactivos

Mercurio Tiocianato 2ml
Cloruro Férrico 1ml

Materiales / Equipos:

Jeringuilla de 10 ml y/o Pipeta volumétrica
Contenido de un sobre de DPD Chloride 2
Tubos de ensayo
Gradilla

Procedimiento:

Lavar el material con agua destilada

Acondicionamiento de la muestra;

En un tubo de ensayo colocar 10 ml de la muestra

Coloque una cantidad del sobre de DPD Chloride 2 en el tubo de ensayo con la muestra. (Véase Figura No.1)



Agitar hasta disolución total de la sal adicionada

Colocar en la celda 10ml de Agua Destilada

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Elegir el número de programa en el espectrofotómetro para medir el Cloruros [#70] y presione [Enter]

Introducir la celda con agua destilada (Blanco) en el compartimiento del colorímetro y cerrar la tapa

Presione cero y esperara que en la pantalla obtenga [0,0 mg/L Cl –]

Retire la celda con el agua destilada

Llene otra celda con la muestra a analizar hasta la línea de 10ml de muestra

Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegurarse de que la celda esté libre de humedad y huellas digitales.

Introducir la celda con la muestra en el compartimiento del espectrofotómetro y cerrar la tapa

Presione [Medición]

Leer el valor obtenido

Anotar los valores obtenidos en el registro

Desechar la muestra con agua y lavar la celda.

Resultados:

El valor obtenido corresponde al valor de Sulfatos presente en la muestra de agua analizada.



Acciones correctivas:

Cuando obtenga un valor de sulfatos dudoso, se deberá repetir la prueba.