



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Determinación de los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de Potabilización de Agua ubicada en Rudio perteneciente a la Parroquia Baños

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Química

Autoras:

Rosa Jeannela Aguilar Ramírez

CI:0707003364

rositajr13@gmail.com

Pamela Martina Zúñiga Delgado

CI:0105701270

martinazunigad.1996@gmail.com

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa. Mgt

CI: 0104044474

Cuenca, Ecuador

29-enero-2021



Resumen:

Es importante brindar agua apta para consumo humano a la comunidad, por ello y debido al aumento de la población en la parroquia Baños, la dirección de la Junta Administradora de Agua Potable Baños decidió construir una nueva planta de tratamiento con el fin de ayudar al abastecimiento del líquido vital a la comunidad, el cual deberá cumplir con los parámetros de calidad establecidos por la norma INEN 1108: 2020, por lo que en la presente investigación se determinan los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de Potabilización de agua ubicada en el sector de Rudio perteneciente a la Parroquia Baños.

Para conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua cruda se realizaron diferentes análisis como: pruebas de color, turbiedad, sólidos disueltos, pH, coliformes fecales, coliformes totales entre otros, además de la determinación de los parámetros mencionado y cloro residual en el agua tratada, en el laboratorio de la planta, y por consiguiente determinar los parámetros óptimos para el proceso mediante pruebas de trazadores, pruebas de jarras, optimización de retrolavado y sedimentadores en la planta de tratamiento de agua.

Todos estos análisis, cálculos y pruebas piloto ayudaron a definir el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable ya que los resultados obtenidos en las pruebas realizadas demostraron el cumplimiento de los requisitos de la norma INEN 1108: 2020, asimismo proporcionar a los operadores de la planta, una capacitación para puedan ejecutar sus actividades laborales correctamente y el proceso de potabilización se encuentre bajo condiciones de operación.

Palabras claves: Potabilización. Análisis. Agua. Calidad. Tratamiento.



Abstract:

It is important to provide water suitable for human consumption to the community, therefore and due to the increase in the population in the Baños parish, the direction of the Baños Potable Water Administration Board decided to build a new treatment plant in order to help supply of the vital liquid to the community, which must comply with the quality parameters established by the INEN 1108: 2020 standard, so in this investigation the optimal operating parameters for the start-up of the Water Treatment Plant are determined. water located in the Rudio sector belonging to the Baños Parish.

To know the physicochemical and microbiological characteristics of raw water, different analyzes were carried out such as: color tests, turbidity, dissolved solids, pH, fecal coliforms, total coliforms among others, in addition to the determination of the mentioned parameters and residual chlorine in the treated water, in the laboratory of the plant and therefore determine the optimal parameters for the process by means of tracer tests, jar tests, optimization of backwashing and settlers in the treatment plant of water.

All these analyzes, calculations and pilot tests helped define the correct operation of the drinking water treatment plant since the results obtained in the tests carried out demonstrated compliance with the requirements of the INEN 1108: 2020 standard, as well as providing the operators of the plant, training so that they can perform their work activities correctly and the purification process is under operating conditions.

Keywords: Purification. Analysis. Water. Quality. Treatment.



Índice del Trabajo

AGRADECIMIENTO	14
DEDICATORIA	15
JUSTIFICACION	16
OBJETIVOS	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
CAPÍTULO I	18
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. Agua para consumo humano	18
1.2. Parámetros físicos del agua	18
1.2.1. Acidez	18
1.2.2. Alcalinidad	19
1.2.3. Color	19
1.2.4. Conductividad	20
1.2.5. Dureza	20
1.2.6. Potencial hidrógeno	20
1.2.7. Sólidos totales disueltos	21
1.2.8. Turbidez	21
1.3. Parámetros químicos del agua	21
1.3.1. Cobre	21
1.3.2. Cloro residual	22
1.3.3. Cromo	22
1.3.4. Fósforo	23
1.3.5. Hierro	23
1.3.6. Nitratos y nitritos	23
1.3.7. Nitrógeno amoniacal	24
1.3.8. Sulfatos	24
1.3.9. Zinc	24
1.4. Parámetros microbiológicos del agua	25
1.4.1. Coliformes fecales y totales	25
1.5. Proceso de potabilización	25
1.5.1. Captación	25



1.5.2.	Coagulación- Mezcla Rápida	26
1.5.3.	Floculación	27
1.5.4.	Sedimentación	28
1.5.5.	Filtración	28
1.5.5.1.	Retrolavado	29
1.5.6.	Desinfección	29
1.5.7.	Almacenamiento de agua tratada	29
CAPÍTULO II		30
2.	METODOLOGÍA	30
2.1.	Generalidades de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Rudio	30
2.2.	Medición de parámetros de calidad de agua	36
2.2.1.	Muestreo	36
2.2.2.	Parámetros Físicos	37
2.2.3.	Parámetros Químicos	45
2.2.4.	Parámetros Microbiológicos	58
2.3.	Determinación de parámetros operacionales	59
2.3.1	Determinación de Caudal de entrada a la planta	60
2.3.1.1	Vertederos rectangulares	60
2.3.2	Determinación de fugas en el proceso de potabilización (Aforo)	60
2.3.3	Prueba de trazadores	61
2.3.4	Prueba de Jarras	63
2.3.4.1	Determinación de parámetros y Programación en equipo	66
2.3.4.1.1	Intensidad de la mezcla	66
2.3.5	Determinación de los caudales de dosificación	69
2.3.6	Cloración al punto de ruptura	70
2.4	Mantenimiento general de la planta	73
2.4.1	Lineamientos de limpieza general de la planta	73
2.4.2.	Retrolavado	74
2.4.2.1	Determinación de tiempo de retrolavado	75
CAPÍTULO III		77
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
3.1.	Análisis de agua cruda	77



3.1	Determinación de caudal	78
3.2	Determinación de fugas en el proceso de potabilización (Aforo)	79
3.3	Resultados de prueba de trazadores	80
3.4	Resultados de prueba de Jarras	84
3.5	Determinación de los caudales de dosificación	88
3.6	Tiempo de Retrolavado	89
3.7	Cloración al punto de ruptura	90
3.8	Análisis de calidad del agua (Parámetros físico- químicos y microbiológicos)	92
CAPÍTULO IV		94
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		94
4.1	Conclusiones	94
4.2	Recomendaciones	95
BIBLIOGRAFÍA		96
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL COAGULANTE (SULFATO DE ALUMINIO)		106
ANEXO 3: TABLAS DE PRUEBAS DE TRAZADORES		109
ANEXO 4: DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE PRUEBAS DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO.		117
ANEXO 5: DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE PRUEBAS DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE POLÍMERO		119
ANEXO 6: DATOS DE ENSAYO DE DEMANDA DE CLORO		121
ANEXO 7: MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE POTABILIZACION DE RUDIO		122



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Medidas para determinación de pérdida de carga.....	67
Tabla 2 Tabla de relación Temperatura & $\sqrt{(\gamma/\mu)}$	67
Tabla 5 Fugas en la planta de Rudio.....	79
Tabla 6 Tiempos de retención de trazadores.....	84
Tabla 7 Pérdida de carga en las unidades de floculación.....	84
Tabla 8 Interpolación para la determinación de $\sqrt{(\gamma/\mu)}$ a 9°C	84
Tabla 9 Datos para la determinación del gradiente de velocidad	85
Tabla 10 Tiempo y gradiente de velocidad para cada unidad de tratamiento	85
Tabla 11 Dosificación de regulante de pH.....	86
Tabla 12 Aforo de tanque de regulante de pH.....	88
Tabla 13 Aforo de tanque de Sulfato de Aluminio	88
Tabla 14 Aforo de tanque de Polímero	89
Tabla 15 Datos de Cloro Residual	91
Tabla 16 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua cruda, de reservorio, y de red y límites permitidos por la norma.	92
Tabla 17 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Floculación	109
Tabla 18 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Sedimentación	110
Tabla 19 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Sedimentación con intervalos más cortos de tiempo	112
Tabla 20 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Filtración	113
Tabla 21 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidad de Cloración.....	114
Tabla 22 Datos obtenidos de prueba trazadores al ingreso del reservorio.....	115
Tabla 23 Datos obtenidos en los ensayos de pruebas de jarras para determinación dosis óptima de sulfato de aluminio.....	117
Tabla 24 Datos obtenidos en los ensayos de pruebas de jarras para determinación dosis óptima de polímero.....	119
Tabla 25 Datos promedio de ensayos Demanda de Cloro	121
Tabla 1 Nomenclatura de válvulas compuerta.....	125
Tabla 2 Nomenclatura de válvulas mariposa	126
Tabla 3 Nomenclatura de compuertas	127
Tabla 4 Tabla de inspección preliminar en la captación.	131
Tabla 5 Tabla de inspección preliminar en la coagulación	133
Tabla 6 Tabla de inspección preliminar en la floculación.....	137
Tabla 7 Tabla de inspección preliminar en la sedimentación.....	140
Tabla 8 Tabla de inspección preliminar en la filtración.....	142
Tabla 9 Tabla de inspección preliminar en la desinfección	145
Tabla 10 Tabla de inspección preliminar en la unidad de almacenamiento	147



Tabla 11 Caudal en el vertedero de mezcla rápida 154
Tabla 12 Caudal en el vertedero a la salida de cada filtro 154
Tabla 13 Caudal en el vertedero de ingreso a la cámara de contacto con cloro .. 154
Tabla 14 Caudal en el vertedero de salida de la cámara de contacto con cloro... 154

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Ubicación de la Planta Potabilizadora de Rudio. 30
Imagen 2 Ríos pertenecientes a la parroquia Baños 31
Imagen 3 Captación en el rio Minas 32
Imagen 4 Unidad de recepción 32
Imagen 5 Resalto Hidráulico y Vertedero rectangular 33
Imagen 6 Canaletas de Parshall 34
Imagen 7 Decantadores..... 34
Imagen 8 Filtros rápidos 35
Imagen 9 Filtro rápido de grava, arena y antracita..... 35
Imagen 10 Tanque de Cloro Gas 35
Imagen 11 Cámara de contacto. 35
Imagen 12 Unidad de almacenamiento de agua tratada 36
Imagen 13 Toma de muestras a la entrada de la planta..... 37
Imagen 14 Equipo para determinación de Alcalinidad 38
Imagen 15 Equipo para la determinación de color 39
Imagen 16 Conductímetro 40
Imagen 17 Dureza 42
Imagen 18 Potenciómetro 43
Imagen 19 Equipo para la determinación de Sólido totales disueltos. 44
Imagen 20 Turbidímetro. 45
Imagen 21 Equipo para determinación de cobre..... 46
Imagen 22 Equipo para la determinación de Cromo. 48
Imagen 23 Equipo para determinación de fósforo. 49
Imagen 24 Equipo para determinación de Hierro..... 50
Imagen 25 Equipo para determinación de Nitratos..... 52
Imagen 26 Equipo para determinación de nitritos..... 53
Imagen 27 Equipo para la determinación de Nitrógeno Amoniacal 55
Imagen 28 Equipo para determinación de sulfatos 56
Imagen 29 Reactivos para la determinación de Zinc..... 58
Imagen 30 Equipo para determinación de Coliformes totales y fecales 59
Imagen 31 Medición de vertedero..... 60
Imagen 32 Toma de fugas en las tuberías..... 61



Imagen 33 Toma de muestras para análisis de trazadores.....	63
Imagen 34 Equipo de jarras	66
Imagen 35 Gradiente de velocidad vs. RPM para jarras cuadradas de 2 litros, usando agitador Phipps & Bird.	68
Imagen 36 Tanque de dosificación de regulante de pH	69
Imagen 37 Tanque de dosificación de Sulfato de Aluminio	69
Imagen 38 Tanque dosificador de polímero	69
Imagen 39 Muestreo en casas	72
Imagen 40 Equipo para la determinación de cloro residual.....	72
Imagen 41 Limpieza de unidades de tratamiento.	74
Imagen 42 Retrolavado de filtros	75
Imagen 43 Puntos de muestreo	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Prueba de trazador en Primera Mezcla Lenta	81
Gráfico 2 Prueba de Trazadores en Segunda Mezcla Lenta	81
Gráfico 3 Prueba de trazador en Unidad de Sedimentación	82
Gráfico 4 Prueba de trazador en la Unidad de Filtración	82
Gráfico 5 Prueba de trazador en Cámara de contacto de Cloro Gas.....	83
Gráfico 6 Prueba de trazador para el tiempo en contacto en la cámara de cloración	83
Gráfico 7 Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio	87
Gráfico 8 Tiempo de retrolavado.....	89
Gráfico 9 Demanda de Cloro.....	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Determinación de caudal en vertedero rectangular.....	27
Ecuación 2 Determinación de alcalinidad en unidades de CaCO_3	38
Ecuación 3 Determinación de Dureza en unidades de CaCO_3	41
Ecuación 4 Cálculo de alícuota	64
Ecuación 5 Gradiente de Velocidad.	66
Ecuación 6 Pérdida de carga del floculador	67
Ecuación 7 Determinación de número de muestras	72



Cláusula de Propiedad Intelectual

Rosa Jeannela Aguilar Ramírez autor/a del trabajo de titulación "Determinación de los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de Potabilización de Agua ubicada en Rudío perteneciente a la parroquia Baños", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 29 de enero del 2021


Rosa Jeannela Aguilar Ramírez

C.I: 0707003364



Cláusula de Propiedad Intelectual

Pamela Martina Zúñiga Delgado autor/a del trabajo de titulación "Determinación de los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de Potabilización de Agua ubicada en Rudio perteneciente a la Parroquia Baños", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 29 de enero del 2021

Pamela Martina Zúñiga Delgado

C.I: 0105701270



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Rosa Jeannela Aguilar Ramírez en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de Potabilización de Agua ubicada en Rudio perteneciente a la parroquia Baños", 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, 29 de enero del 2021.

Rosa Jeannela Aguilar Ramírez

C.I: 070700364



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Pamela Martina Zúñiga Delgado en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de Potabilización de Agua ubicada en Rudío perteneciente a la Parroquia Baños", 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, 29 de enero del 2021

Pamela Martina Zúñiga Delgado

C.I: 0105701270



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por guiarnos con sabiduría, fortaleza y amor, por ser el pilar fundamental en cada una de las metas que nos planteamos a lo largo de la vida, así como a nuestros padres y familiares por su apoyo y motivación día a día.

De manera muy especial, queremos agradecer a nuestra directora de tesis, Ingeniera Sonia Astudillo Ochoa, por su confianza, apoyo incondicional, paciencia, por brindarnos sus conocimientos y experiencia científica, lo que nos ha permitido reforzar conocimientos y desarrollar este proyecto con éxito.

De igual manera queremos agradecer a la Junta Administradora de Agua Potable de Baños, a través de su Jefe de Plantas, Doctor Segundo Chica, por abrirnos las puertas en la planta de tratamiento de agua potable, aportarnos sus conocimientos y a todos quienes lo conforman, por su acogida y ayuda para la elaboración de nuestro trabajo de titulación, a todos ustedes gracias.



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos principalmente a nuestros padres, por sus sabios consejos, amor incondicional, acompañarnos, ayudarnos y motivarnos a seguir adelante a lo largo de estos años, sin ellos la realización de este trabajo no hubiese sido posible. A nuestros hermanos por siempre estar al pendiente de nosotras y contribuir de una u otra forma para continuar con el cumplimiento de nuestras metas.



JUSTIFICACION

Debido al aumento de la población en la parroquia Baños y ante la importancia de brindar agua apta para consumo humano a todos los sectores altos de esta comunidad, que no han podido ser abastecidos anteriormente debido a que las cotas residenciales son más altas que la cota de la Planta de Tratamiento de Cochapamba, la dirección de la Junta Administradora de Agua Potable Baños decidió construir una nueva planta de tratamiento que toma el nombre de “Planta Potabilizadora de Rudio”, ubicada en el sector del mismo nombre, a una distancia de 7 km de la planta principal, cuya captación procedente del río Minas, que está a una distancia de 6,2 km de la nueva Planta de Tratamiento, en una zona de constantes precipitaciones.

Por tanto, en la presente investigación se desea establecer los parámetros óptimos de operación para así poner en marcha esta nueva planta, de manera que el agua que aquí se potabilice sea de buena calidad, es decir, que cumpla con los parámetros de la Norma INEN 1108- 2020 ya que para considerarse un agua de consumo humano y poder permitir su empleo sin proveer daños al consumidor, se requiere la ausencia de microorganismos nocivos para la salud y de residuos que afecten propiedades como color, turbiedad, olor, sabor, etc.



OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar los parámetros óptimos de operación para la puesta en marcha de la Planta de potabilización de agua ubicada en Rudio perteneciente a la Parroquia Baños.

Objetivos específicos

- Establecer los parámetros de operación óptimos para los procesos de potabilización en la planta de tratamiento de agua.
- Realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua de captación y agua de distribución.
- Establecer los lineamientos para el mantenimiento de los equipos de coagulación y floculación.
- Elaborar los procedimientos de operación de la planta.



CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua para consumo humano

El término agua para consumo humano es atribuible según la Norma Ecuatoriana INEN 1108 sexta edición, como agua utilizada para beber, preparar y cocinar alimentos u otros usos domésticos, independiente del origen y suministro, con características físicas, químicas y microbiológicas que garanticen su inocuidad y aceptabilidad para el consumo humano, por tal motivo dicha agua necesita haber pasado por un proceso de potabilización en la cual se han retirado dichas sustancias y microorganismos que pudiesen generar daños en la salud (INEN 1108, 2020).

Para llevar a cabo el proceso de potabilización del agua, se emplean una amplia variedad de tecnologías como procesos químicos y mecánicos de diferente complejidad dependiendo de la fuente de origen; para un agua superficial, es decir, proveniente de un río o de un lago, ya sea natural o artificial, el tratamiento suele consistir en una precipitación de impurezas con floculantes, coagulantes, filtración, sedimentación y desinfección con cloro (Orellana, 2005).

1.2. Parámetros físicos del agua

1.2.1. Acidez

La acidez se refiere a la presencia de sustancias que como producto de su disociación genera iones hidronio provenientes de ácidos fuertes, débiles y de fuerza media, también se debe a la presencia de ciertos cationes metálicos como hierro, aluminio y además el dióxido de carbono, provenientes de aguas residuales industriales y volcanes (Severiche Sierra et al., 2013).

La determinación de este parámetro se realiza en función de la presencia de ácidos minerales y sales provenientes de ácidos fuertes o bases débiles. El consumo de agua con valores de acidez fuera de los límites establecidos ocasiona desbalance en el organismo, desmineralización, estrés celular provocando problemas



gastrointestinales, así también corrosión en las redes de distribución (Severiche Sierra et al., 2013).

1.2.2. Alcalinidad

Los iones hidroxilo (OH⁻) generados por la presencia de sustancias hidrolizables como bases fuertes e hidróxidos de metales alcalinotérreos le confieren el carácter alcalino al agua, al igual que carbonatos y fosfatos, lo cual no permite su consumo, así también, bajos valores de alcalinidad hacen que el agua sea sensible a la contaminación, sin embargo, desempeña un papel importante en la productividad de fuentes de agua ya que sirve de reserva de CO₂, compuesto necesario para la fotosíntesis y disponibilidad de Carbono en el agua, para procesos de evaluación de coagulación y ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón (Cepeda De Vargas, 2004).

1.2.3. Color

El color es la impresión ocular producida por los materiales que se encuentran en solución o en suspensión en el agua, debido a la presencia de iones metálicos como hierro (Fe) y manganeso (Mn), o factores externos que contaminan el agua. Dependiendo de las partículas que el agua tiene en suspensión, el color puede denominarse color verdadero o color aparente, siendo el primero el color que tiene el agua después de haber eliminado la turbiedad por filtración, mientras que el color aparente es aquel que incluye las partículas en suspensión y las que están en la solución (Borbolla-Sala et al., 2003).

No existe relación directa entre color y grado de contaminación del agua, la determinación de este parámetro no debe realizarse en un tiempo mayor a setenta y dos horas después de haber recolectado y mantenido la muestra a 4°C y en la obscuridad ya que algunas de las sustancias coloreadas se degradan con el tiempo, la temperatura y la luz. El color se expresa en unidades de Platino-Cobalto expresadas como Pt-Co; el límite máximo permisible es de 15 Pt-Co (Barrenechea, 2020 & INEN 1108, 2020).



1.2.4. Conductividad

La conductividad es una medida de la capacidad que tiene una solución para conducir corriente eléctrica, sus unidades son siemens por metro (S/m), esta medida está relacionada con la concentración de sales en disolución, ya que la solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo tanto, la conductividad varía en función de la temperatura, este parámetro depende de la concentración de iones y su valencia, provenientes de ácidos y sales presentes en la fuente de captación (Solís-Castro et al., 2018).

1.2.5. Dureza

La dureza del agua es causada por iones metálicos divalentes que pueden ser de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), estroncio (Sr^{2+}), hierro (Fe^{2+}) y aniones como bicarbonato (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-) y silicatos. La dureza total puede ser equivalente alcalinidad del agua por la presencia de bicarbonatos de calcio y magnesio, llamada dureza carbonatada, la dureza no carbonatada causada por nitratos, sulfatos y cloruros de calcio y magnesio, se define como la diferencia entre la dureza total y la alcalinidad (Soto, 2010).

1.2.6. Potencial hidrógeno

El potencial hidrógeno (pH) es uno de los parámetros más importantes de determinar en el proceso de potabilización del agua ya que afecta en procesos intermedios como: coagulación, desinfección, procesos biológicos, además de la corrosión en las redes de distribución. Determinar la concentración del ion hidrógeno sirve como indicador de acidez o alcalinidad, sin que esto quiera decir que mide la acidez o alcalinidad del agua, el valor obtenido de este parámetro depende del tipo y concentración de sustancias disueltas en la muestra (Cepeda De Vargas, 2004).

La medida del pH debe hacerse a seis horas de tomada la muestra siempre y cuando haya sido conservada a 4°C y en la oscuridad, el rango establecido en la norma INEN 1108 está entre 6,5 y 8 en unidades de pH (INEN 1108, 2020).



1.2.7. Sólidos totales disueltos

El contenido de sólidos disueltos totales en el agua procede de fuentes naturales, aguas residuales y aguas residuales industriales, estos sólidos de tamaño menor a 2 micrones, comprenden las sales inorgánicas de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y cantidades pequeñas de materia orgánica, no pueden ser removidos por un filtro tradicional, por lo que son un buen indicador de la calidad del agua, ya que proporciona a el agua una apariencia turbia y disminuye su sabor; estudios demuestran que pueden causar irritación gastrointestinal, además de interferir con equipos de tratamiento en las plantas de potabilización de agua (Sigler & Bauder, 2015).

1.2.8. Turbidez

La turbidez es una impresión ocular producida por los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua, estos pueden ser: limo, arcillas, residuos orgánicos o industriales, es decir, partículas de diferentes tamaños, que influyen en la transparencia del líquido, por lo que es considerado como un buen indicador de calidad del agua, por ello a menor turbidez mejor calidad (Medidor, 2016).

La fase de remoción de la turbidez se realiza con el fin de eliminar bacterias, virus, parásitos y partículas coloidales, además de disminuir la cantidad de cloro a utilizar en la etapa de desinfección, es por esto que se considera indispensable en el proceso de potabilización del agua (Olivero Verbel et al., 2013). Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 2020, la turbidez se establece en un valor límite permitido de 5 NTU.

1.3. Parámetros químicos del agua

1.3.1. Cobre

La corrosión de las cañerías en las viviendas, la erosión de depósitos naturales y el percolado de conservantes de madera, son las principales causas para la presencia de cobre en el agua, causando así un sabor metálico, manchas de color azul verdoso en los artefactos de plomería y otras superficies que entran en contacto con



el agua pueden indicar que existe corrosión o de que el cobre está siendo liberado dentro del agua (Díaz de Alba, 2007).

Según la Norma Técnica Ecuatoriana 1108, 2020 concentraciones elevadas de cobre en el agua de consumo humano ocasionan problemas renales, hepáticos y gastrointestinales, por tanto, el límite permitido es de 2 mg/l.

1.3.2. Cloro residual

El cloro libre o residual es la concentración de cloro en forma de gas cloro disuelto, ácido hipocloroso, e iones de hipoclorito, cuya cantidad de cloro puede inactivar los microorganismos patógenos presentes en el agua. La medición de cloro libre en el agua es muy importante para el monitoreo de contenido de cloro en el agua por el efecto desinfectante, la medición de este parámetro puede darse mediante pruebas colorimétricas, es decir, con sistemas automatizados que requieren muestras y reactivos específicos que pueden causar un desarrollo de color en la muestra, y por pruebas amperométricas que también utilizan sistemas automatizados con un resistente sensor de cloro que compensa automáticamente el pH (Mort, 2020).

Según la norma INEN 1108,2020, de agua potable para consumo humano, los valores máximos permitidos de cloro residual oscilan entre 0,3 a 1,5 mg/l.

La suma del cloro combinado y cloro libre representa el cloro total, en donde el cloro combinado es aquel que reacciona con otros compuestos como el amoníaco y aminas orgánicas que contienen nitrógeno en el agua, por ello no está disponible en el proceso de desinfección del agua. De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana el cloro libre residual está en un rango aceptable de 0,3 a 1,5 mg/L (INEN 1108, 2020).

1.3.3. Cromo

Efluentes industriales y erosión de depósitos naturales son los causantes de cromo en el agua, puede estar presente en estado de oxidación estable por la reducción Cr^{+6} a Cr^{+3} debido a la presencia de materia orgánica, sin embargo, concentraciones



elevadas el Cr^{+6} es considerado un contaminante por su carácter cancerígeno siendo esto la razón principal para su determinación (Guevara, 2010).

Se ha demostrado experimentalmente que la remoción del cromo trivalente puede ser efectiva mediante la coagulación con sulfato férrico, la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 sexta edición indica que el límite permisible de cromo es de 0,05mg/L (INEN 1108, 2020).

1.3.4. Fósforo

En el agua la presencia de fósforo está relacionada con los depósitos y rocas fosfóricas, que desprenden fósforo en forma de ortofosfato mediante la erosión de la tierra, por contaminación orgánica y diversas actividades humanas como el uso de fertilizantes y detergentes. El contenido elevado de fósforo en el agua modifica las características organolépticas y afecta al proceso de coagulación-floculación (MVOTMA-DINAMA, 2019).

Las consecuencias de elevadas concentraciones de fósforo en el agua están relacionadas con enfermedades neurodegenerativas y el cáncer, pudiendo causar también daño renal y osteoporosis (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

1.3.5. Hierro

El hierro es un elemento común en la superficie de la tierra, cuando el agua se filtra por el suelo puede disolver este mineral, afectando así a la turbiedad y al color, además puede formar depósitos en redes de distribución causando obstrucciones; al estar presente en el agua de uso humano puede provocar manchas rojizos-cafés en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto. Mediante métodos de remoción de turbidez en las plantas potabilizadoras, se puede disminuir la concentración de este elemento en el agua (Vargas, 2004).

1.3.6. Nitratos y nitritos

Los nitritos y nitratos son compuestos que están presentes en el agua de forma natural por la degradación del nitrógeno que es uno de los nutrientes más



importantes para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Los nitratos son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion, por lo que es muy usado en fertilizantes orgánicos, en tanto que los nitritos también solubles en agua y que se transforman naturalmente a partir de los nitratos por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en el agua (Cepeda De Vargas, 2004).

Según la norma INEN 1108,2020, de agua potable para consumo humano, los valores máximos permitidos de nitratos son de 50 mg/L mientras que de nitritos es de 3mg/L. La elevada concentración de nitritos y nitratos puede significar los usos excesivos de fertilizantes además de contaminación por acumulación de heces fecales (Borbolla-Sala et al., 2003)

1.3.7. Nitrógeno amoniacal

La presencia de nitrógeno amoniacal en aguas superficiales se da por la degradación del nitrógeno orgánico, presente en la materia orgánica, proveniente de la naturaleza, aguas residuales y domésticas; disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto en el agua ya que este es consumido por degradación bacteriana para oxidar el nitrógeno amoniacal en nitritos y posteriormente en nitratos, afectando así la calidad del agua (Sardiñas Peña & Pérez Cabrera, 2004).

1.3.8. Sulfatos

La presencia de sulfatos en el agua puede deberse a diferentes factores como que el agua atraviesa terrenos ricos en yeso, uso de fertilizantes agrícolas, o bien por contaminación con aguas residuales de industrias, contenidos superiores a 300 mg/L pueden ser perjudiciales para el sistema gastrointestinal de los niños, así también sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante para los consumidores (Graniel Castro et al., 2009).

1.3.9. Zinc

En aguas superficiales la presencia de Zinc acontece generalmente por el contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce, procesos mineros, drenaje de mina, aguas residuales domésticas e industriales; se ha demostrado que el zinc



no tiene efectos perjudiciales sobre la salud, pero sí varía considerablemente el sabor del agua (Vargas, 2004).

1.4. Parámetros microbiológicos del agua

1.4.1. Coliformes fecales y totales

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran en plantas, animales y en los humanos, la presencia de estas bacterias da un indicio que el agua puede estar contaminada, por lo que es indispensable determinar tanto coliformes totales como fecales (Ramos-Ortega et al., 2008).

Los coliformes totales se clasifican como bacterias Gram negativas, y se pueden determinar por hidrólisis de la lactosa, utilizando medios cromogénicos como el Agar; los resultados obtenidos no son indicadores de contaminación fecal, solamente la presencia de organismos del grupo coliforme y otras bacterias no fecales dando a conocer así la calidad sanitaria del agua y de su proceso de tratamiento (Larrea-Murrell et al., 2013).

Los coliformes fecales o también denominados coliformes termotolerantes, soportan temperaturas de hasta 45 ° C, siendo esta la principal diferencia con otros grupos de coliformes. La E. Coli es la bacteria más representativa en esta clasificación, su presencia indica contaminación fecal de origen humano o animal (Larrea-Murrell et al., 2013).

1.5. Proceso de potabilización

1.5.1. Captación

Las aguas superficiales provenientes de ríos son vulnerables a contaminación con materia orgánica e inorgánica, es por ello que la captación para su potabilización se realiza por medio de tomas de agua y es conducida hasta las plantas potabilizadoras por medio de tuberías (Andrés, 2019)

Según De Vargas (2004), las partículas presentes en el agua que alteran la turbiedad y el color, se encuentran en estado coloidal de un tamaño entre 1 y 1000 mili micrómetros que no sedimentan de forma natural, siendo esta la razón por la



que es necesario la utilización de un proceso de coagulación y floculación para que puedan sedimentar en menor tiempo ya que aumentan su tamaño y por lo tanto su densidad, pudiendo así eliminarlas de la masa de agua.

Para obtener mejores resultados en el proceso de potabilización, se determinan algunos parámetros en el agua cruda previa a la dosificación de coagulante y floculante, como pH, turbidez, color y temperatura, en algunos casos será necesario modificar su pH, utilizando compuestos alcalinos como carbonatos o hidróxidos asegurando así que el pH del agua a tratar sea alcalino (Galvis, 2014).

1.5.2. Coagulación- Mezcla Rápida

El objetivo de la Coagulación en el proceso de potabilización de agua es de anular las cargas eléctricas de las partículas en suspensión o en estado coloidal, permitiendo así que se unan entre sí formando flóculos, al dosificar coagulante, el cual es un producto químico que provoca la desestabilización y aglutinación de los sólidos en suspensión ya que pueden producir hidróxidos gelatinosos no solubles y absorber las impurezas, lo que permite la remoción de la turbidez y también producen iones trivalentes de cargas eléctricas positivas, que neutralizan las cargas eléctricas de los coloides permitiendo la remoción del color, generalmente se utiliza como coagulante el Sulfato de Aluminio (Al_2O_3), por su capacidad de formar precipitados con las partículas del agua que se encuentran en suspensión, así también es de fácil adquisición y de bajo costo. Se requiere determinar la dosis óptima de Sulfato de Aluminio ya que un exceso de este evita la remoción de la turbidez (Barajas & León, 2015).

Para que la reacción de coagulación se genere en toda la masa líquida se requiere de una mezcla rápida la cual se origina mediante resaltos hidráulicos que generan puntos de mucha turbulencia, permitiendo que la adición de coagulante sea instantánea, este proceso depende de la concentración del coagulante, pH, temperatura, cantidad y tamaño de partículas coloidales (El CEPIS, 2002).



Las unidades de tratamiento normalmente utilizadas en la mezcla rápida pueden ser mecánicas o hidráulicas, dependiendo del tipo de energía utilizada para producir la agitación, el sistema más utilizado en plantas potabilizadoras es el resalto hidráulico con vertedero rectangular, el cual es una estructura de tipo pared que tiene una abertura a través de la cual fluye un líquido, generando un fenómeno de caída libre, el caudal puede ser medido y controlado, de acuerdo a la Ecuación 1 donde Q es el caudal del vertedero en (l/s), b es el ancho del vertedero (m) y h es la altura hasta la que se encuentra el agua(m) (Salazar y Cedillo, 2017).

Para continuar con el proceso de coagulación se requiere un periodo de mezcla lenta para que el material gelatinoso se aglomere en partículas mayores conocidas como flóculos los cuales se pueden decantar con mayor rapidez, de modo que las reacciones se den en las condiciones óptimas hasta comenzar el proceso de floculación (Salazar y Cedillo, 2017).

$$Q = 1898 * b * h^{1,5}$$

*Ecuación 1 Determinación de caudal en vertedero rectangular.
Fuente: Salazar y Cedillo, 2017*

1.5.3. Floculación

El objetivo de la floculación es el de aumentar el tamaño flóculos ya que una vez neutralizadas las cargas de los coloides, se da el contacto entre partículas mediante una mezcla lenta, además de disminuir el tiempo de aglomeración de estos, disminuyendo el tiempo de sedimentación de las partículas, al dosificar compuesto denominado floculante que pueden ser polímeros orgánicos de alto peso molecular, como LIPESA 1560 PWG, este polímero catiónico se aplica en bajas concentraciones, posee alta densidad y permite un reordenamiento en la conformación del polímero al absorber las partículas genera flóculos de gran tamaño, en las unidades de floculación hidráulica de flujo vertical con canales en forma de serpentín conocida como Canaletas de Parshall, en la cual se reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla, además de disminuir su presión al subir y bajar el flujo a través de las pantallas de cemento colocadas de manera vertical de cada unidad (Cepeda De Vargas, 2004).



1.5.4. Sedimentación

La sedimentación es un proceso de separación de sólidos en suspensión presentes en un líquido, en este caso el agua, por efecto de la fuerza de gravedad de estas, por lo que su peso específico será mayor al del líquido, de esta forma se podrá obtener un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. (Martin, Salcedo and Font, 2011).

La velocidad de la sedimentación está determinada por diferentes propiedades del sólido y del líquido tales como el diámetro del flóculo, la gravedad, la densidad de la partícula y del fluido, la temperatura, así también características hidráulicas de los sedimentadores como la turbulencia y la variación de la velocidad; es por esto que las unidades de sedimentación no pueden generalizarse en un modelo matemático así que se realizan diferentes procedimientos experimentales de laboratorio como la prueba de jarras para lograr predecir la eficiencia del proceso y los posibles problemas que pudiesen encontrarse (De Vargas, 2004).

1.5.5. Filtración

El proceso de filtración consiste en hacer pasar el agua tratada a través de lechos de materiales granulares, para separar las partículas más pequeñas suspendidas en el agua, esta etapa se realiza para la purificación del agua, estos filtros pueden ser abiertos o cerrados. (Academies, 2007)

La filtración por medios granulares es una de las operaciones más importantes y comúnmente utilizadas en el tratamiento de agua potable, los mas comunes son arena, grava y antracita, donde quedan retenidas partículas de tamaño de 1mm hasta coloides inferiores a 10^{-3} mm, es decir aquellas partículas que no sedimentaron, por lo cual se consideran a la sedimentación y filtración procesos complementarios, posterior a la filtración el agua no debe tener una turbiedad mayor de 5 NTU y color de 15 UC, según la norma INEN 1108, 2020. Ya que las partículas retenidas en el lecho obstruyen el paso del flujo, se requieren un retrolavado periódicamente (Chulluncuy Camacho, 2011).



1.5.5.1. Retrolavado

La saturación de un filtro se da por las partículas retenidas en el medio filtrante, ocasionando una baja calidad del agua filtrada por lo que es necesario realizar una limpieza denominada retrolavado, la cual es una operación muy importante para asegurar la calidad del agua filtrada y la vida útil del filtro. El retrolavado depende de diferentes factores como diámetro, geometría, densidad y porosidad de la partícula, velocidad y temperatura del agua de retrolavado, para que el porcentaje de expansión sea el adecuado, con un tiempo aconsejable de 7 a 8 minutos, de modo que se genere una limpieza eficiente. Existen diferentes técnicas de retrolavado, como el lavado con flujo ascendente solo donde el agua ingresa con una velocidad suficiente para que se dé la correcta expansión del lecho (Freire et al., 2014)

1.5.6. Desinfección

El objetivo de la desinfección es garantizar la calidad del agua, mediante la eliminación de microorganismos presentes en ella, asegurando así que sea inocua para la salud del consumidor. El agente de desinfección más utilizado en el proceso de potabilización del agua por su disponibilidad en el mercado en diferentes presentaciones, fácil dosificación y bajo costo es el cloro, ya que desinfecta, previene y destruye olores. Sin embargo, presenta algunas desventajas como su alta corrosividad y la facilidad que tiene para alterar el sabor del agua. Para el manejo y almacenamiento se requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores (El CEPIS, 2002).

1.5.7. Almacenamiento de agua tratada

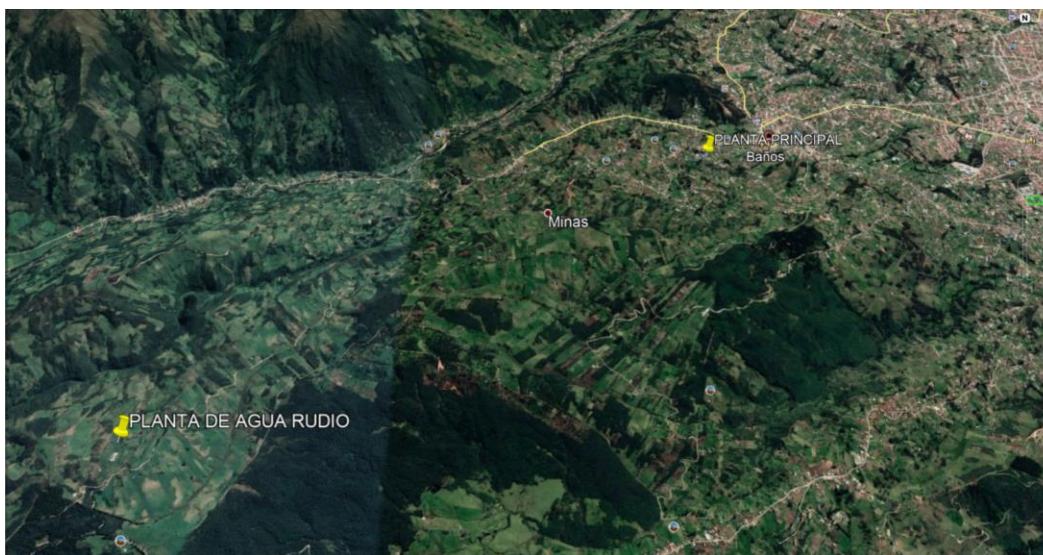
El agua desinfectada se debe almacenar en depósitos protegidos, bien conservados y limpios, para evitar la contaminación del agua, el tanque de almacenamiento debe mantener las presiones adecuadas en la red de distribución, los cuales pueden ser de forma cuadrada, rectangular o redonda, elevado o enterrado de acuerdo con el diseño general de la planta (Koutoudjian, 2019)& (INEN 1680, 2014).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Generalidades de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Rudio

La Planta Potabilizadora de Rudio se encuentra ubicada en la parroquia Baños, específicamente en el sector Rudio, zona de clima templado con temperaturas promedio de 14°C, por estar situada a 710314.00 m E 9673491.00 m S, a 3262.16 msnm, en las estribaciones de la cordillera del Cajas, parte de este territorio está dentro de las declaratorias de Bosques y Vegetación protectoras del río Paute conocidos como Yanuncay y Sunsún-Yanasacha, ya que aquí podemos encontrar especies endémicas, páramos y bosques nativos, además de fauna propia de la zona como, por ejemplo, zorros, raposos, conejos, añas, venados de cola blanca y una gran variedad de aves como pavas de monte, perdices, gavilanes, mirlos, gorriones, etc. Además, existe una gran cantidad de lagunas que dan origen a riachuelos de cuya unión en la altura del río Soldados nace el río Yanuncay, también podemos encontrar los ríos Zhucay y Minas, el primero es utilizado principalmente para la ganadería, mientras que el segundo es utilizado por la Junta Administradora de Agua Potable como zona de captación para las diferentes plantas potabilizadoras (Minchalo, 2013).



*Imagen 1 Ubicación de la Planta Potabilizadora de Rudio.
Fuente: (Google Earth, 2020.)*

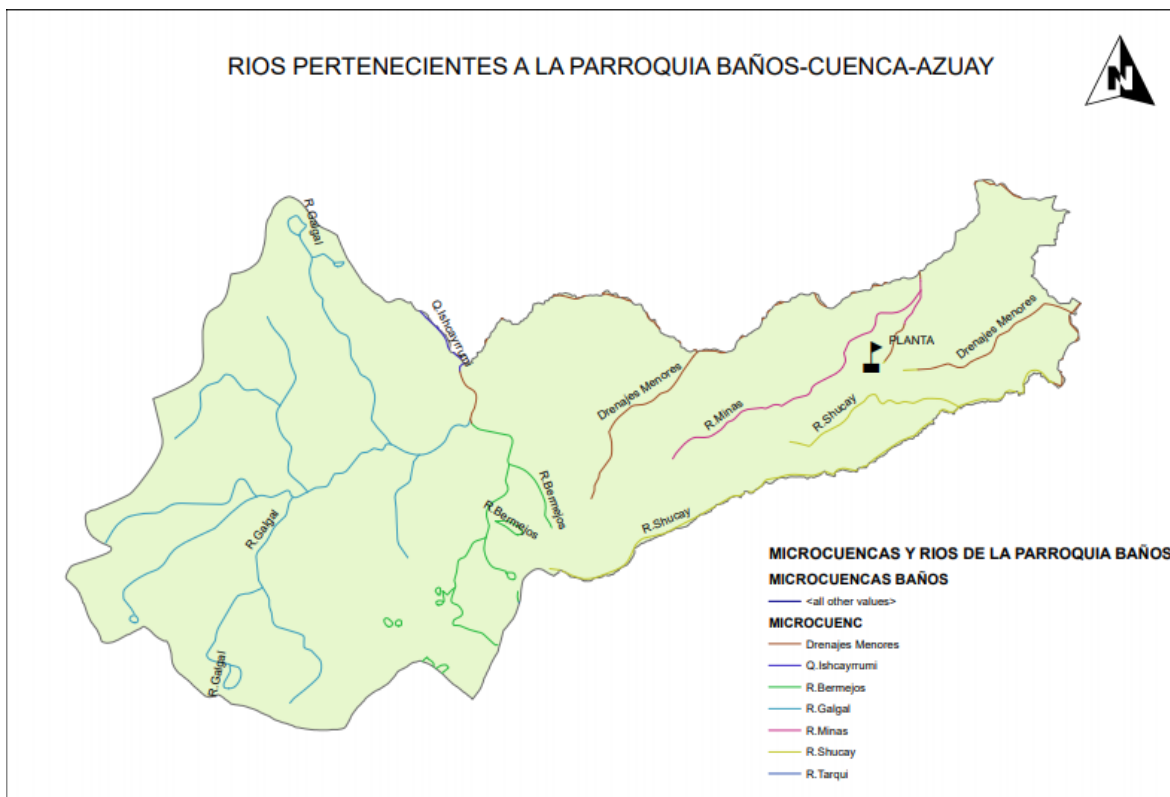


Imagen 2 Ríos pertenecientes a la parroquia Baños
Fuente: Elaboración-Autor

La captación de la Planta Potabilizadora de Rudío se realiza en el río Minas, por ser una zona de alta pluviosidad, con un caudal hídrico aguas abajo es de 52 l/s, para permitir el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y no afectar las necesidades de agua para riego y consumo humano, se establece la conservación de un caudal ecológico de un 20% referente al caudal hídrico, el sistema de captación se ubica a 6.2 km de distancia de la planta de tratamiento, el agua es conducida a la planta mediante tuberías de PVC de 160 mm, en el ingreso a la planta también existe un sistema de regulación mediante válvulas de acuerdo con el flujo de agua cruda que se desea tratar, cabe mencionar que la capacidad máxima de la planta de tratamiento es de 33 l/s sin embargo, de acuerdo con los requerimientos dados por los administradores de la planta, actualmente se trabaja con 22.02 l/s, por lo cual todos los ensayos están basados a este caudal (Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Baños, 2020).



*Imagen 3 Captación en el río Minas
Fuente: Elaboración-Autor*

Para la entrada del agua cruda, la planta cuenta con una unidad de recepción de flujo ascendente, donde el caudal se regula mediante una válvula de compuerta, además consta de un sistema de flauta para la eventual dosificación de regulante de pH, el cual es una mezcla de carbonatos alcalinos, hidróxido de calcio y generador de sodio, preparado al 1% en un tanque cilíndrico de 450 litros de capacidad. En esta unidad se puede desviar el ingreso de agua cruda, cuando las unidades de coagulación-floculación requieren limpieza.



*Imagen 4 Unidad de recepción
Fuente: Elaboración- Autor*

Consta de un vertedero rectangular con resalto hidráulico que generan puntos de mucha turbulencia, por tener un flujo supercrítico cuyo número de Froude es de 16 (Junta Administradora de Agua Potable de la & parroquia Baños, 2020).

La medición de caudal de ingreso se realiza en el vertedero rectangular, en función de la altura que alcanza el agua, que se mide mediante una regla instalada en el vertedero y con la aplicación de la ecuación (ec.1) se determina el caudal de ingreso a la planta, además consta de un sistema de flauta para la dosificación del coagulante, con capacidad de dos tanques cilíndrico de 450 litros cada uno, el producto químico usado en el tratamiento de agua en la planta de estudio es el sulfato de aluminio sólido libre de hierro, cuya ficha técnica se presenta en el Anexo 1.



Imagen 5 Resalto Hidráulico y Vertedero rectangular
Fuente: Elaboración-Autor

La planta consta de un tanque de floculación hidráulica de flujo vertical con columnas de Parshall, donde se da la dosificación del floculante catiónico LIPESA 1560 PWG, cuya ficha técnica se encuentran en el Anexo 2, es preparado en dos tanques cilíndricos de 450 litros de capacidad cada uno.



Imagen 6 Canaletas de Parshall

Fuente: Elaboración-Autor

En la planta de estudio el proceso de sedimentación se realiza en dos decantadores de flujo ascendente que constan de un sistema de placas ABS con una inclinación de 60° , la salida de agua decantada se la realiza por tubos perforados de acero laminado de 15 mm de diámetro, ubicados en la parte superior de cada sedimentador.



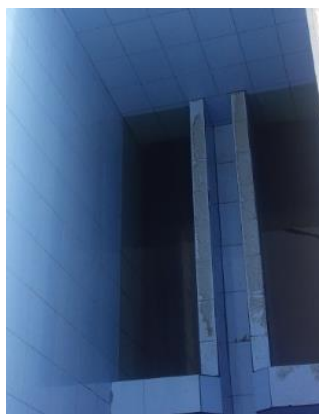
Imagen 7 Decantadores

Fuente: Elaboración-Autor

El proceso de filtración se da en 4 filtros rápidos rectangulares abiertos con lecho filtrante de grava, arena y antracita.



*Imagen 8 Filtros rápidos
Fuente: Elaboración-Autor*



*Imagen 9 Filtro rápido de grava, arena y antracita
Fuente: Elaboración-Autor*

El proceso de cloración se realiza en la cámara de contacto donde se dosifica cloro gas en la masa de agua y después de un tiempo de mezcla pasa al tanque de almacenamiento final, a través de un vertedero rectangular.



*Imagen 10 Tanque de Cloro Gas
Fuente: Elaboración-Autor*



*Imagen 11 Cámara de contacto.
Fuente: Elaboración-Autor*

Finalmente, el agua tratada es almacenada en una unidad de 14 m x14 m con una capacidad de 500 m³, y la distribución del agua potable se realiza a través de una tubería de PVC de 200 mm de diámetro.



*Imagen 12 Unidad de almacenamiento de agua tratada
Fuente: Elaboración-Autor*

2.2. Medición de parámetros de calidad de agua

2.2.1. Muestreo

El muestreo se realizó los días lunes y miércoles por dos semanas en estación seca, en cada muestreo se tomaron cuatro muestras mediante un muestreo puntual no probabilístico de conveniencia a lo largo del río Minas, es decir, los puntos de muestreo fueron determinados de acuerdo a la facilidad de acceso, debido que es una zona peligrosa de relieve irregular de acuerdo a las definiciones establecidas por la norma INEN 2176 - 2013.

Para evitar la contaminación de las muestras, estas fueron tomadas lo más alejado posible de la orilla del río y a 20 cm de profundidad según lo establecido por la norma INEN 1105 - 1983, almacenadas en recipientes de polietileno estériles, rotulados debidamente, y conservadas a temperatura de 4 °C, para el análisis de parámetros físicos y químicos como indica la norma INEN 2176-2013, además para el análisis microbiológico las muestras fueron recolectadas en recipientes estériles y almacenadas a menos 10°C, según lo dispuesto por la norma INEN-ISO 19458-2014.

Las muestras fueron transportadas al laboratorio en un ambiente fresco y protegidas de la luz como lo indica la norma 2169-2013, para su análisis inmediato.



*Imagen 13 Toma de muestras a la entrada de la planta.
Fuente: Elaboración-Autor*

2.2.2. Parámetros Físicos

Alcalinidad

Fundamento

Se obtiene una medida convencional de la alcalinidad total (AT) del agua por medio de la valoración hasta el punto final del rojo de metilo (naranja de metilo) (pH 4,5). Se determinan también el bicarbonato equivalente, el carbonato y la concentración de hidróxido del agua (INEN 9963-1-1, 2014)

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Bureta
- Erlenmeyer
- Pipetas volumétricas
- Indicador naranja de metilo

Procedimiento:

1. Medir 10 cm³ de agua y colocar en el Erlenmeyer
2. Adicionar 3 gotas de indicador

3. Titular frente a $H_2(SO_4)$ 0,02 N, hasta viraje de color amarillo a color naranja ladrillo.
4. Determinar los mg/l de Alcalinidad de la muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad Total en } \frac{mg}{l} \text{ como } CaCO_3 = \frac{cm^3 \text{ de ácido} * N * EqCaCO_3 * 1000}{\text{Volumen de muestra}}$$

Ecuación 2 Determinación de alcalinidad en unidades de $CaCO_3$
Fuente: (INEN 9963-1, 2014)

5. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 14 Equipo para determinación de Alcalinidad
Fuente: Elaboración-Autor

Color

Fundamento

Se basa en la comparación con patrones platino - cobalto y los resultados se expresan como unidades de Color UC (INEN 7887, 2013)

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR 900-Programa color 420 nm)

- Celda para muestra
- Patrones para color de 0 UC

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo.
2. Insertar el patrón de 0 UC en porta celda y presionar el botón SELECCIONAR y esperar que aparezca en la pantalla el valor de medición.
3. Llenar la celda con la muestra de agua y tapanla.
4. Introducir la celda en el equipo y cerrar la tapa de este.
5. Presionar SELECCIONAR y realizar la lectura del color de la muestra.
6. Interpretar los datos de acuerdo a los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



*Imagen 15 Equipo para la determinación de color
Fuente: Elaboración-Autor*

Conductividad**Fundamento**

La medida de conductividad se basa en la generación de una diferencia de voltaje entre dos electrodos sumergidos en agua, la caída en el voltaje debida a la resistencia del agua es utilizada para calcular la conductividad por centímetro (Hach España, 2013)

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Recipientes para toma de muestra
- Conductímetro (HACH SENSION S5)
- Pisseta

Procedimiento:

1. Limpiar el electrodo con agua destilada.
2. Introducir el electrodo del conductímetro en la muestra de agua y agitar el electrodo suavemente.
3. Mantener presionado el botón LEER hasta que el equipo muestre el valor de la conductividad de la muestra ($\mu\text{S}/\text{cm}$), una vez que este se estabilice.
4. Anotar la lectura y analizar el resultado.



*Imagen 16 Conductímetro
Fuente: Elaboración-Autor*

Dureza

Fundamento

Es una medida de los iones metálicos polivalentes, los principales iones son el calcio y magnesio, entre otros. Se mide con EDTA que forma un quelato complejo soluble con ciertos metales como el Calcio y magnesio, se añade el indicador NET toma un



color rojo, al añadir EDTA los iones calcio y magnesio forman un complejo estable, y cuando todo el metal está dentro del complejo, la solución cambia a azul. Se expresa como una cantidad equivalente de CaCO₃ (INEN 974-1, 2016)

Materiales y reactivos

1. Muestra de agua
2. Bureta de
3. Erlenmeyer
4. Pipeta volumétrica de
5. Solución buffer pH 10
6. Indicador negro de ericromo T (NET)
7. Solución estándar de EDTA 0,02 N
8. Solución inhibidora de sulfuro de sodio 3-4%

Procedimiento:

1. Medir 100 ml de muestra y colocarla en un Erlenmeyer.
2. Añadir 0,5 cm³ de Hidróxido de Amonio
3. Añadir 2 o 4 cm³ de indicador.
4. Añadir 1 cm³ de solución inhibidora.
5. Mediante agitación añadir desde una bureta EDTA hasta obtener un cambio de coloración de rojo vino a uno azul.
6. Determinar los mg/l de Dureza de la muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$Dureza\ Total\ en\ \frac{mg}{l}\ como\ CaCO_3 = \frac{cm^3\ de\ EDTA * N * EqCaCO_3 * 1000}{Volumen\ de\ muestra}$$

Ecuación 3 Determinación de Dureza en unidades de CaCO₃
Fuente:(INEN 974, 2016)

7. Interpretar los datos de acuerdo a los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 17 Dureza
Fuente Elaboración- Autor

pH

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 (INEN 10523, 2014).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- pH-metro (HACH sension1)

Procedimiento

1. Colocar la muestra de agua en un vaso recolector
2. Introducir el electrodo del pH-metro en el vaso con la muestra
3. Agitar suavemente y leer el valor donde se detenga la aguja indicadora
4. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



*Imagen 18 Potenciómetro
Fuente: Elaboración-Autor*

Sólidos totales disueltos

Fundamento

Los SDT en el agua comprenden iones de Na, K, Cl, Mg, Nitritos, Cloruros, compuestos inorgánicos, entre otros (Hach España, 2013).

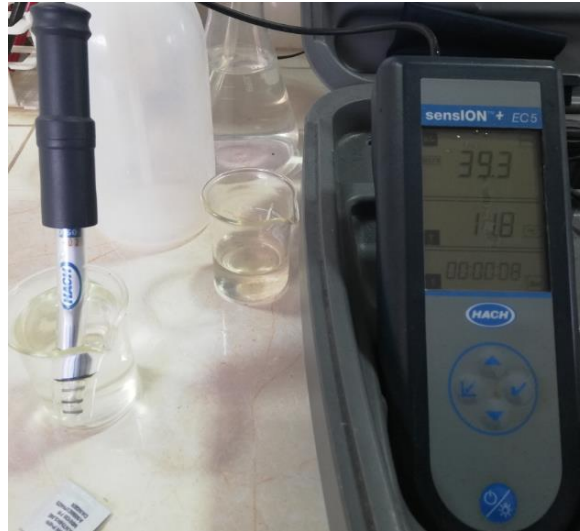
Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Recipientes para toma de muestra
- Conductímetro (HACH SENSION S5)
- Pisseta

Procedimiento:

1. Limpiar el electrodo con agua destilada.
2. Introducir el electrodo del conductímetro en la muestra de agua y agitar el electrodo suavemente.
3. Mantener presionado el botón LEER hasta que el equipo muestre el valor de la conductividad de la muestra (mg/l), una vez que este se estabilice.

4. Anotar la lectura y analizar el resultado.



*Imagen 19 Equipo para la determinación de Sólido totales disueltos.
Fuente: Elaboración-Autor*

Turbidez

Fundamento

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 (HACH, 2020). Se emplea el método nefelométrico. Unidad de medida: (NTU) Unidad nefelométrica de turbidez (INEN 7027, 2013).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo Turbidímetro (HACH 2100N)
- Celda para lectura de la muestra

Procedimiento

1. Calibrar el equipo
2. Llenar la celda con la muestra de agua y tapparla.

3. Introducir la celda en el equipo y cerrar la tapa del mismo
4. Presionar ENTER y realizar la lectura del color de la muestra.
5. Interpretar los datos de acuerdo a los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



*Imagen 20 Turbidímetro.
Fuente: Elaboración-Autor*

2.2.3. Parámetros Químicos

Con las muestras tomadas anteriormente se va a proceder a realizar los siguientes análisis.

Cobre

Fundamento

El cobre de la muestra reaccione con la sal del ácido bicinónico contenido en Cu Ver 1 Copper Reagent Powder Pillow para formar un complejo de color purpura en proporción de la concentración de cromo (HACH, 2020).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Reactivo HACH
- Celda de blanco (agua destilada)

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de cobre y pulsar SELECCIONAR
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml la celda
4. Colocar en la celda Cu Ver 1 Copper Reagent Powder Pillow
5. Llenar con el blanco hasta 10 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
6. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, esperar 30 minutos y presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de cobre de la muestra.
7. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



*Imagen 21 Equipo para determinación de cobre
Fuente: Elaboración-Autor*

Cromo**Fundamento**

El cromo trivalente en la muestra se oxida a cromo hexavalente, por el ion hipobromito, en condiciones alcalinas, la muestra se acidifica. El contenido total de cromo está determinado por 1,5-difenilcarbohidrazina (HACH, 2020).



Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Celda de blanco (agua destilada)
- Reactivo HACH

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de cromo (15) y pulsar SELECCIONAR
3. Llenar con la muestra de agua hasta 25 ml la celda
4. Colocar en la celda Chromium 1 Reagent Powder Pillow, invertir para que se mezcle.
5. Calentar la muestra a baño maría por 5 minutos
6. Enfriar la muestra hasta que llegue a 25°C.
7. Añadir a la muestra Chromium 2 Reagent Powder Pillow y mezclar
8. Agregar Acid Powder Pillow, invertir para mezclar
9. Añadir Chroma Ver3 Chromium 1 Reagent Powder Pillow, agitar hasta obtener color morado
10. Llenar con el blanco hasta 25 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
11. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, esperar 5 minutos y presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de cromo de la muestra en mg/l.
12. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 22 Equipo para la determinación de Cromo.
Fuente: Elaboración-Autor

Fósforo

Fundamento

El orto fosfato reacciona con el molibdato en medio ácido para producir un complejo fosfomolibdato. El ácido ascórbico reduce este complejo dando un intenso color azul molibdeno (HACH, 2020).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Celda de blanco (agua destilada)
- Reactivo HACH

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de fósforo y pulsar SELECCIONAR
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml la celda

4. Colocar en la celda Phos Ver 3 Phosphate Powder Pillow agitar por 15 segundos, esperar 2 minutos para reaccionar, obteniendo un color azul intenso.
5. Llenar con el blanco hasta 10 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
6. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de fósforo de la muestra en mg/l.
7. Interpretar los datos de acuerdo a los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 23 Equipo para determinación de fósforo.
Fuente: Elaboración-Autor

Hierro

Fundamento

El Ferro Ver Iron Powder Pillow reacciona con todo el hierro soluble y la mayoría de las formas insolubles de hierro presentes en la muestra para producir soluciones de hierro ferroso. Este reacciona con el indicador de 1,10-fenantrolina en el reactivo, para formar un color naranja en proporción a la concentración de hierro (HACH, 2020).

Materiales y equipos

- Muestra de agua

- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Celda de blanco (agua destilada)
- Reactivo HACH

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de hierro y pulsar ENTER
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml la celda
4. Colocar en la celda Ferro Ver Iron Powder Pillow invertir continuamente hasta obtener un color naranja.
5. Llenar con el blanco hasta 10 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
6. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de Hierro de la muestra en mg/l.
7. Interpretar los datos de acuerdo a los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



*Imagen 24 Equipo para determinación de Hierro.
Fuente: Elaboración-Autor*



Nitratos

Fundamento

El cadmio metálico reduce los nitratos presentes en la muestra a nitritos. El ion nitrito reacciona en un medio ácido con el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia que se acopla al ácido gentísico, para formar un complejo de color ámbar (HACH, 2020).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Celda de blanco (agua destilada)
- Reactivo HACH

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de nitratos y pulsar SELECCIONAR
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml la celda
4. Colocar en la celda Nitra Ver 4 Nitrate Powder Pillow, invertir continuamente y esperar un minuto de reacción, y dejar en 5 minutos en reposo.
5. Llenar con el blanco hasta 10 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
6. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de Nitratos de la muestra en mg/l.
7. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 25 Equipo para determinación de Nitratos.
Fuente: Elaboración-Autor

Nitritos

Fundamento

El nitrito de la muestra reacciona con el ácido sulfanílico, para formar una sal de diazonio intermedia. Este se combina con el ácido cronotrópico para formar un complejo de color rosado, directamente proporcional a la cantidad de nitritos presentes (HACH, 2020).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Celda de blanco (agua destilada)
- Reactivo HACH

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de nitritos y pulsar SELECCIONAR
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml la celda

4. Colocar en la celda Nitri Ver 3 Nitrite Powder Pillow, invertir continuamente y esperar 20 minutos para que se produzca la reacción.
5. Llenar con el blanco hasta 10 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
6. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de Nitritos de la muestra en mg/l.
7. Interpretar los datos de acuerdo a los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 26 Equipo para determinación de nitritos.
Fuente: Elaboración-Autor

Nitrógeno Amoniacal

Fundamento

Los compuestos de amoníaco se combinan con el cloro para formar monocloramina la cual reacciona con salicilato y forma 5-aminosalicilato, el cual se oxida en presencia de un catalizador de nitroprusiato sódico formando un compuesto de color azul enmascarado por el color amarillo del exceso de reactivo presente para dar una solución final de color verde. Los resultados del ensayo se miden en 655nm (HACH, 2008).



Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR2800)
- Celda para muestra
- Reactivo HACH
- Celda de blanco
- Cilindro graduado

Procedimiento

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de Nitrógeno Amoniacal y pulsar INICIO
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml un cilindro graduado A
4. Llenar con agua destilada hasta 10 ml un cilindro graduado para el blanco
5. Colocar en la Ammonia Salicylate Reagent 1 en ambos cilindros e invertir continuamente, esperar 3 minutos para que reaccione.
6. Colocar en la Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillow 2 en ambos cilindros e invertir continuamente, esperar 15 minutos para que reaccione.
7. Llenar la celda del blanco e introducirla en el equipo y elegir la opción CERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
8. Retirar el blanco y colocar la celda con la muestra del cilindro graduado A en el equipo, presionar MEDICIÓN y realizar la lectura de Nitrógeno Amoniacal de la muestra en mg/l.
9. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 27 Equipo para la determinación de Nitrógeno Amoniacal
Fuente: Elaboración- Autor

Sulfatos

Fundamento

Los iones de sulfato en la muestra reaccionan con el barrio en el Sulfa Ver 4 Sulfate Reagent Powder Pillow para formar sulfato de bario soluble, la cantidad de turbidez formada es proporcional a la cantidad de sulfato, el reactivo Sulfa Ver 4 contiene además un agente estabilizador para mantener el precipitado en suspensión (HACH, 2020).

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR900)
- Celda para muestra
- Celda de blanco (agua destilada)
- Reactivo HACH

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de sulfatos y pulsar SELECCIONAR
3. Llenar con la muestra de agua hasta 10 ml la celda
4. Colocar en la celda Sulfa Ver 4 Sulfate Reagent Powder Pillow invertir continuamente, esperar 5 minutos para que reaccione

5. Llenar con el blanco hasta 10 ml la celda, introducir la celda en el equipo y elegir la opción ZERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
6. Retirar el blanco y colocar la muestra en el equipo, presionar SELECCIONAR y realizar la lectura de sulfato de la muestra en mg/l.
7. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 28 Equipo para determinación de sulfatos
Fuente: Elaboración-Autor

Zinc

Fundamento

El zinc y otros metales de la muestra forman complejos con cianuro. La adición de ciclohexano provoca una liberación selectiva de zinc, este reacciona con el indicador de Zinc para formar una especie de color azul que está enmascarado por el color marrón del indicador de exceso (HACH, 2008).

La intensidad del color azul es proporcional a la cantidad de zinc presente. Los resultados de la prueba se miden a 620 nm.

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Equipo (HACH DR 2800)



- Celda para muestra
- Reactivo HACH
- Celda de blanco
- Cilindro Graduado
- Ciclohexano

Procedimiento

1. Calibrar el equipo
2. Elegir el programa para determinación de Zinc y pulsar INICIO
3. Llenar con la muestra de agua hasta 25 ml un cilindro graduado A
4. Colocar en la Zinco Ver 5 Reagent Powder Pillow invertir continuamente, esperar 30 segundos para que reaccione
5. Separar 10 ml en otro cilindro graduado B y colocar 0,5 ml de Ciclohexano y homogeneizar por 30 segundos y dejar en reposo por 3 minutos para que reaccione.
6. Llenar la celda del blanco con la muestra del cilindro graduado A, introducir la celda en el equipo y elegir la opción CERO obteniendo así una lectura de 0 mg/l.
7. Retirar el blanco y colocar la celda con la muestra del cilindro graduado B en el equipo, presionar MEDICIÓN y realizar la lectura de Zinc de la muestra en mg/l.
8. Interpretar los datos de acuerdo con los límites de calidad establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana 1108 de Requisitos de Calidad de Agua.



Imagen 29 Reactivos para la determinación de Zinc.
Fuente: Elaboración-Autor

2.2.4. Parámetros Microbiológicos

Coliformes Totales y fecales

Fundamento

Los coliformes presentes en la muestra de agua se determinan por filtración de un volumen determinado de agua a través de filtros de membrana, generalmente de celulosa que retienen los coliformes totales y fecales, posteriormente se incuban las membranas vueltas hacia arriba en un medio selectivo (Cerezo Álvarez, 2016)

Materiales y equipos

- Muestra de agua
- Estufa MEMMERT
- Equipo de filtración de membrana (3 puertos)
- Micro Filtro MINISART (0,2 μm)
- Seis Lámparas de alcohol
- Medio de cultivo CHROMOCULT NPS
- Bomba de vacío
- Caja Petri
- Filtro de membrana Nitrocelulosa

- Pinza

Procedimiento:

1. Encender las lámparas de alcohol alrededor del equipo de filtración, para mantener un ambiente estéril.
2. Colocar el Filtro de membrana de Nitrocelulosa en el equipo de filtración
3. Colocar sobre el filtro de membrana 10 ml de muestra, filtrada por el microfiltro con porosidad de 0,2 μm .
4. Asegurar el equipo de filtración y encender la bomba de vacío, cuando termine de filtrarse el agua, romper el vacío.
5. Retirar con la ayuda de una pinza esterilizada los filtros de membrana y colocar correctamente sobre el medio de cultivo en la caja Petri.
6. Llevar la caja Petri a la estufa por 24 horas a 35 °C.
7. Dejar enfriar y realizar la determinación de unidades formadoras de colonia de Coliformes Totales de coloración magenta y Coliformes Fecales de coloración azulada.



*Imagen 30 Equipo para determinación de Coliformes totales y fecales
Fuente: Elaboración- Autor*

2.3. Determinación de parámetros operacionales

Una vez determinados los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua cruda, se procede a la optimización de los parámetros operacionales para la puesta en marcha de la planta Rudio.

2.3.1 Determinación de Caudal de entrada a la planta

2.3.1.1 Vertederos rectangulares

Fundamento:

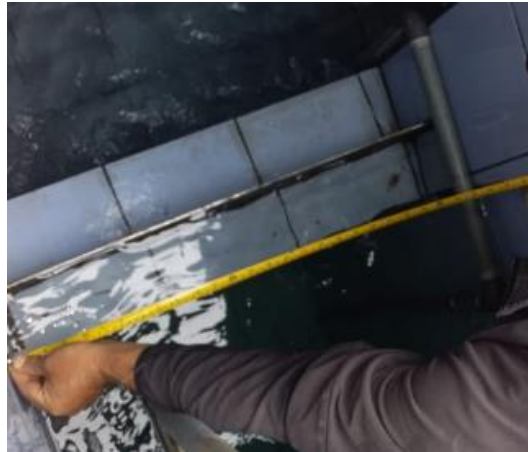
La determinación del caudal en un vertedero rectangular se basa en la medida desde el plano horizontal del vertedero hasta el nivel de agua que se denomina (h), y la medida de la base del mismo definido como (b), además de un factor de corrección para obtener el caudal en litros/segundo (Salazar & Cedillo, 2017).

Materiales y equipos:

- Regla

Procedimiento:

1. Con ayuda de la regla medir tanto la base que es ancho del vertedero.
2. Medir la altura que alcanza el agua en el vertedero.
3. Aplicar la Ecuación 1.



*Imagen 31 Medición de vertedero
Fuente: Elaboración-Autor*

2.3.2 Determinación de fugas en el proceso de potabilización (Aforo)

Fundamento

Las fugas en un sistema provocan caídas de presión, disminuye la producción en la planta, aumentan también el desgaste de las tuberías y el gasto por concepto de

mantenimiento de los mismos además de sobre desinfección (Madrid Celi & Valle Vega, 2015).

Materiales y equipos

- Probeta de 1000ml
- Baldes
- Cronómetro

Procedimiento:

1. Colocar un balde limpio y vacío en donde se localice la fuga y por un tiempo determinado recoger el agua
2. Medir con una probeta el volumen exacto de la fuga
3. Interpretar los datos comparando los l/s de fuga con los l/s del caudal de entrada para así determinar el porcentaje de fuga que se tiene
4. Comparar los resultados obtenidos con el caudal de entrada al reservorio mediante la Ecuación 1.



*Imagen 32 Toma de fugas en las tuberías.
Fuente: Elaboración-Autor*

2.3.3 Prueba de trazadores ***Fundamento***

Para realizar esta prueba se va a aplicar el método de trazadores o aforo químico, el cual ha sido empleado ampliamente para determinar parámetros hidráulicos,



siendo uno de ellos el tiempo de desplazamiento de la masa de agua dentro de las diferentes unidades de tratamiento.

La metodología para realizar trazadores consiste en medir la fluctuación de la concentración de una sustancia agregada a la corriente en un punto de muestreo determinado, ya que esta cambia uniformemente conforme se desplaza; en donde el tiempo en que el instrumento detecta la mayor concentración de la sustancia, será el tiempo en que se demora el agua en llegar a dicho punto (Hidalgo Tamayo, 2017).

Las sustancias para utilizar como trazadores deben cumplir algunas características como el de ser fácilmente solubles, tener una concentración en el agua baja, no deberá reaccionar químicamente ni absorber otras sustancias que estén en el agua, deberá ser fácilmente detectables y de un costo accesible. La sustancia que cumple estas características y la utilizada para la realización de esta tesis es el cloruro de sodio o sal común y para detectar su concentración se necesita de un conductímetro, que permitirá estimar rápidamente el tiempo de residencia del trazador, ya que la conductividad indica la capacidad del agua de conducir energía eléctrica y se debe a la cantidad de sales en el agua, debido que a mayor cantidad de sales mayor capacidad de conducir energía (Rueda & Chitiva, 2016).

Materiales y equipos:

- Agua Cruda
- Sal en grano
- Recipientes para toma de muestra
- Cronómetro
- Conductímetro (HACH)

Procedimiento:

1. Se debe diluir sal en un recipiente, la cantidad de sal va a depender del volumen de agua presente en cada unidad, de modo que la masa de agua se sature, y así obtener una mejor gráfica.

2. Se suministra la dilución del trazador, a la entrada de la unidad en evaluación, aguas arriba del punto de muestreo determinado, de modo que se mezcla instantáneamente con la masa de agua del afluente.
3. Registrar la conductividad inicial del flujo de agua.
4. Realizar la lectura de conductividad cada determinado tiempo (1min) y registrar el paso de la solución del trazador hasta que su concentración empiece a descender (ppm).
5. Analizar los resultados mediante una gráfica donde se representen en las abscisas el tiempo (min), y en las ordenadas la conductividad del agua (ppm).

Debido a que se necesita programar el equipo de jarras con mayor exactitud, el tiempo de residencia del trazador en las unidades de floculación y sedimentación, se determinó con intervalos más cortos de tiempo.



Imagen 33 Toma de muestras para análisis de trazadores.
Fuente: Elaboración-Autor

2.3.4 Prueba de Jarras

Fundamento

En la prueba de jarras, se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a escala laboratorio, se emplea una serie de jarras con paletas de agitación, con la posibilidad de variar la velocidad de agitación, que permite obtener agua de buena calidad con la decantación de flóculos formados con diferentes dosis de coagulante variando así el parámetro de turbidez y color (Romero et al., 2007).



Para los ensayos de pruebas de jarras se tomaron 25 muestras, durante 4 meses, la técnica usada para el muestreo, manejo y conservación de las muestras fue basada en las normas INEN 2176, 2169 y 1105 para garantizarla fiabilidad de los análisis.

Materiales y equipos:

1. Equipo de jarras PHIPPS & BIRD (PB-900)
2. Agua cruda
3. Regulante de pH (Mezcla de carbonatos, hidróxidos de calcio y generador de sodio de pH =12,8)
4. Coagulante (Sulfato de aluminio pH=3,5)
5. Floculante (Poliacrilamida)
6. Turbidímetro HACH 2100N
7. Potenciómetro HACH SENSION 1
8. Colorímetro HAH DR 900

Procedimiento:

1. Se inicia la prueba de jarras, midiendo los parámetros de pH, la turbidez, el color en el agua cruda.
2. De acuerdo al rango óptimo de pH para la aplicación de coagulante se puede aplicar o no regulante de pH.
3. Colocar dos litros de la muestra a trabajar en cada una de las jarras.
4. Definir las diferentes dosis del coagulante a analizar, con el fin de establecer cuál es la dosificación de cada jarra, utilizando la siguiente fórmula.

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

*Ecuación 4 Cálculo de alícuota
Fuente: (Rodríguez, 2017)*

Donde:

V_1 = volumen de alícuota a determinar en ml

V_2 = volumen de cada jarra en ml

C_2 = Concentración de solución requerida en mg/l



C_1 = Concentración de solución que se parte en mg/l

5. Programar el equipo, iniciar el programa secuencial y adicionar el coagulante.
6. Después del tiempo establecido colocar el floculante.
7. Al terminarse el proceso, extraer una muestra del agua clarificada mediante la ayuda de las llaves que existen en cada jarra
8. Medir los parámetros del paso 1 al agua tratada y analizar los resultados.

Para realizar las pruebas de jarras se partió de una concentración de Sulfato de Aluminio de 2 %, polímero 0,02% y regulante de pH de 1%, la preparación de las soluciones se detalla a continuación.

a) Sulfato de Aluminio Solución al 2%

- 1) Pesar 2g de Sulfato de Aluminio
- 2) Disolver con agua destilada
- 3) Aforrar a 100ml, agitar y se dejar reposar unos 5 minutos antes de utilizarla.

Esta solución se prepara diariamente, la que es utilizada en las pruebas de jarra; la solución residual se desecha.

b) Solución de Polímero al 0.02%

- 1) Se pesa en la balanza analítica 0,02 gr de la muestra de polímero
- 2) Colocar en un vaso con agua y agitar hasta obtener una solución uniforme; aforrar a 100ml. con agua.

El tiempo de conservación de esta solución es no más de una semana.

c) Solución de Regulante de pH al 1%

- 1) Pesar 1g de la mezcla.
- 2) Disolver con agua destilada
- 3) Aforrar a 100ml, agitar y se dejar reposar unos 5 minutos antes de utilizarla.

Esta solución se prepara diariamente, la que es utilizada en las pruebas de jarra; la solución residual se desecha.



Imagen 34 Equipo de jarras
Fuente: Elaboración-Autor

2.3.4.1 Determinación de parámetros y Programación en equipo

Para realizar las pruebas de jarras es necesario determinar algunos parámetros de operación los cuales permiten simular las condiciones de la planta en el equipo.

2.3.4.1.1 Intensidad de la mezcla

Para determinar la intensidad de la mezcla se debe calcular el gradiente de velocidad (s^{-1}) mediante la siguiente ecuación

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{H}{T_R}}$$

Ecuación 5 Gradiente de Velocidad.
Fuente:(Izquierdo, 2015)

Donde:

G= gradiente de velocidad en s^{-1}

T_R = tiempo de mezcla en s

H= pérdida de carga en m

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ = peso específico del agua Kg/m^3 / coeficiente de viscosidad $Kg s/m^2$

a. Determinación de pérdida de carga

Para la determinación de la pérdida de carga se midió desde el fondo de cada floculador hasta donde estaba el nivel de agua mediante un flexómetro.

**Procedimiento**

- Medir con una regla desde el fondo del floculador hasta el nivel que alcanza el agua en la parte inicial (h_1) y final (h_2) de cada unidad de floculación.
- Determinar la pérdida de carga con la siguiente ecuación.

$$H = \text{altura } h_2 - \text{altura } h_1$$

*Ecuación 6 Pérdida de carga del floculador
Fuente: (Izquierdo, 2015)*

Tabla 1 Medidas para determinación de pérdida de carga

Medidas para determinar pérdida de carga		
Unidad	Tramo 1 h_1 (cm)	Tramo 2 h_2 (cm)
Unidad 1	50	66
Unidad 2	55.5	64.8
Unidad 3	49.8	61

Fuente: Elaboración-Autor

b. Determinación de $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ según la temperatura del agua

Mediante la Tabla 3 obtenemos el valor de $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ en función de la temperatura del agua, usando de ser necesario interpolación.

Tabla 2 Tabla de relación Temperatura & $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$

Temperatura a (° C)	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ (1/m.s)
0	2337
4	2502
10	2737
15	2920
17	2998

20	3115
25	3267

c. Determinación del tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla en cada una de las unidades de floculación se determinó mediante trazadores en el punto 2.3.2.

Después de haber obtenido los datos necesarios, se determina el gradiente de velocidad en s^{-1} con la Ecuación 5, debido a que el gradiente debe estar expresado en revoluciones por minuto (rpm) para poder ingresarlo en el equipo de jarras, se debería utilizar la gráfica de la Imagen 34, para obtener dicha relación.

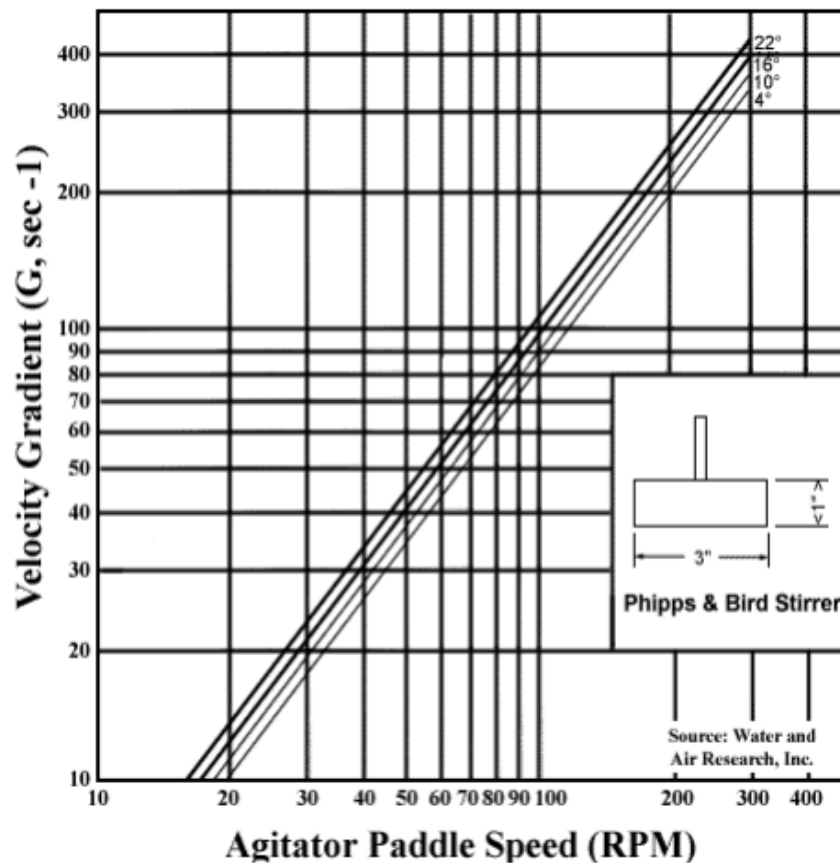


Imagen 35 Gradiente de velocidad vs. RPM para jarras cuadradas de 2 litros, usando agitador Phipps & Bird.
Fuente: (Lastra Bravo, 2010)

2.3.5 Determinación de los caudales de dosificación

Fundamento

El sistema roscable de dosificación ayuda a controlar fácilmente el caudal de salida de acuerdo con el número de vueltas que se le dará al tubo PVC colocado en el dosificador a manera de llave.

Materiales y equipos

- Probeta de 1000ml
- Recipiente
- Cronómetro

Procedimiento:

1. Regular el número de vueltas con el que se empieza la determinación del caudal y esperar a que este se estabilice.
2. Colocar un recipiente limpio y vacío en la salida del tanque de dosificación, por un tiempo determinado controlado con un cronómetro.
3. Medir con una probeta el volumen exacto.
4. Utilizar la Ecuación 5 para determinar el número de vueltas correspondiente a cada dosificación, procedente de la prueba de jarras



Imagen 36 Tanque de dosificación de regulante de pH
Fuente: Elaboración-Autor



Imagen 37 Tanque de dosificación de Sulfato de Aluminio
Fuente: Elaboración-Autor



Imagen 38 Tanque dosificador de polímero
Fuente: Elaboración-Au

2.3.6 Cloración al punto de ruptura

Fundamento

Al disolver cloro en agua ocurre una reacción de hidrólisis donde se genera ácido hipocloroso siendo este el agente desinfectante que inactiva microorganismos patógenos presentes en el agua, el exceso de cloro puede alterar el olor y sabor del agua, por lo que es necesario determinar la demanda de cloro basado en la dosificación de cloro y el cloro residual presente en el reservorio de la planta, para conseguir una curva en donde el punto más bajo de esta corresponde al punto de ruptura que representa la dosis óptima de cloro (El CEPIS, 2002)

Materiales

- Masa de agua
- Cámara de contacto
- Dosificador de Cloro Gas

Procedimiento

1. Realizar los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración en la masa de agua.
2. Regular la dosificación de cloro
3. Esperar el tiempo de contacto
4. Determinar mediante colorimetría el cloro residual en el agua tratada, mediante el procedimiento del cloro residual anteriormente mencionado.

Cloro residual

Fundamento

Para comprobar que la demanda de cloro es la óptima se realiza la determinación de Cloro Residual en la red de distribución. Donde el indicador N, Ndietyl-p-fenilendiamina (DPD) reacciona con el cloro en medio acuoso, que se encuentra como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito (cloro libre), formando un complejo



de color magenta (rosa) dando una señal colorimétrica positiva proporcional a la concentración de cloro (HACH, 2005).

Materiales y equipos

- Muestra de agua de grifo
- Colorímetro
- Celdas
- Piseta
- Reactivo HACH

Procedimiento

1. Retirar cualquier objeto (tubos, pedazos de tela, adaptadores, etc.) que se encuentre en el grifo y posteriormente limpiar con agua destilada.
2. Abrir el grifo a su máxima capacidad para realizar una purga de 3 a 5 minutos.
3. Lavar la celda dos veces con el agua analizar y desechar, la tercera y cuarta recolección llenarán hasta la marca de 10 ml la celda, una será el blanco y la otra la muestra analizar.
5. Pulsar la tecla POWER para encender el medidor.
6. Colocar el blanco en el soporte porta celdas, con la marca del diamante mirando hacia el teclado y tapar el instrumento.
7. Pulsar la tecla ZERO.
8. Añadir a la celda de análisis el contenido de un sobre de reactivo de cloro libre DPD en polvo.
9. Poner la tapa y agitar con cuidado durante 20 segundos.
10. Limpiar bien el exterior de la celda.

11. Colocar la tapa del instrumento sobre el compartimento para tapan la celda y pulsar la tecla READ/ENTER.

Los resultados se obtienen en ppm de cloro (Cl₂).



Imagen 39 Muestreo en casas
Fuente: Elaboración-Autor



Imagen 40 Equipo para la determinación de cloro residual
Fuente: Elaboración-Auto

El número de muestras para los análisis de cloro residual se determinó a partir de la Ecuación 7, tomando en cuenta que el número de usuarios de la planta de tratamiento de Rudio, al momento del muestreo es de 87 (N), el nivel de confianza deseado es del 95% ($Z^2 = 1,96$), siendo el error aceptable (E^2) del 5% y la varianza (σ^2) de 0,5.

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N - 1) * E^2 + Z^2 * \sigma^2}$$

Ecuación 7 Determinación de número de muestras
Fuente:(Vivas & Notz, 2013)



2.4 Mantenimiento general de la planta

2.4.1 Lineamientos de limpieza general de la planta

Fundamento

La limpieza de las unidades de tratamiento se debe realizar periódicamente, de forma manual empleando abundante agua, de ser necesario se puede utilizar un agente desinfectante de grado alimenticio, para evitar la contaminación de los cuerpos de agua (MONTENEGRO BENALCÁZAR, 2017)

Materiales

- Agente desinfectante
- Agua
- Manguera
- Escoba

Procedimiento

1. Desviar el ingreso de agua a la unidad a limpiar.
2. Abrir la válvula de desagüe para vaciar la unidad a limpiar.
3. Preparar una solución del agente desinfectante acorde a lo establecido en su ficha técnica.
4. Limpiar con el cepillo, escoba, solución desinfectante todas las superficies de la unidad de tratamiento.
5. Lavar con agua a presión toda la unidad de tratamiento eliminando así residuos sólidos y el desinfectante usado.
6. Abrir las válvulas de ingreso para cada unidad de tratamiento.



Imagen 41 Limpieza de unidades de tratamiento.
Fuente: Elaboración-Autor

2.4.2. Retrolavado

Fundamento

Para realizar el retrolavado se debe ingresar agua al filtro en contracorriente de modo que las partículas que saturan el medio filtrante se puedan remover, esta limpieza se realiza de manera individual en un tiempo de operación que oscila de 8 a 15 minutos por filtro (El CEPIS, 2002).

Materiales

- Agua
- Válvulas
- Filtros

Procedimiento

1. Cerrar la válvula de ingreso a la cámara de cloración.
2. Abrir la válvula de limpieza de retrolavado de los filtros para vaciar la unidad de filtración.
3. Abrir la válvula de agua de retrolavado para el ingreso del agua y así realizar el retrolavado del filtro.

4. El proceso de limpieza dura 15 minutos.
5. Cerrar la válvula de agua de retrolavado para terminar con el proceso de retrolavado.
6. Cerrar la válvula de limpieza de retrolavado y abrir la válvula para el ingreso a la cámara de cloración.



*Imagen 42 Retrolavado de filtros
Fuente: Elaboración-Autor*

2.4.2.1 Determinación de tiempo de retrolavado

Fundamento

La metodología para determinar el tiempo de retrolavado consiste en medir la fluctuación de la turbidez en un punto de muestreo determinado, ya que esta cambia uniformemente conforme se desplaza y se limpia el medio filtrante; en donde el tiempo en que el instrumento detecta la turbidez igual o menor a la inicial, será el tiempo en que el filtro estará fuera de funcionamiento (El CEPIS, 2002).

Materiales

- Agua
- Turbidímetro
- Recolector de muestra



- Cronometro

Procedimiento

1. Empezar el procedimiento para retrolavado
2. Tomar una muestra de agua y medir la turbidez de este cada 1 minuto hasta que el valor de la turbidez sea igual o menor a la inicial.
3. Realizar una curva con los datos obtenido.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Análisis de agua cruda

Resultados de muestras de cuatro ubicaciones diferentes a lo largo del río Minas, como se presenta en la Imagen 42.



Imagen 43 Puntos de muestreo

Fuente: Elaboración Autor

Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de muestras de la captación (promedio)

Pruebas FQ	Muestra 1 Captación	Muestra 2 a 1 km de la captación	Muestra 3 a 3.3 km de la captación	Muestra 4 a 5 km de la captación
pH	7,48	7,57	7,17	7,13
Color (Pt-Co)	1,00	1,00	1,00	1,00
Turbidez (NTU)	1,00	1,00	1,00	1,00
Sales disueltas totales (ppm)	22,88	21,33	21,48	20,83
Conductividad (u S/cm)	39,13	35,28	34,88	34,80
Dureza total (ppm CaCO ₃)	29,38	28,76	28,44	25,19
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	20,00	20,00	22,50	27,50
Fe (ppm)	ND	0,01	0,05	0,01
Cu(ppm)	0,03	0,04	0,03	0,02
P (ppm)	0,60	0,71	0,23	0,75
Nitratos (ppm)	0,48	ND	0,08	0,15
Sulfatos (ppm)	0,50	0,50	ND	0,25
Cromo (ppm)	ND	ND	ND	ND
Nitrógeno amoniacal (ppm)	ND	0,02	0,02	0,02
Nitritos (ppm)	ND	ND	ND	ND
Zn (ppm)	0,06	0,05	0,06	0,06
Coliformes totales (UFC/10 ml)	0,07	0,06	0,07	0,24
Coliformes fecales (UFC/10 ml)	0,05	0,05	0,05	0,12

ND: No detectable

Fuente: Elaboración-Autor



La Tabla 3 presenta el promedio de los resultados obtenidos en los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras recolectadas a lo largo del río Minas, ya que el coeficiente de varianza en los resultados de los análisis de los diferentes días en que se tomaron las muestras, no es representativo.

Estos datos indican que el agua a tratar posee buenas características, sin embargo, se requiere el proceso de potabilización, ya que diferentes autores recomiendan se realice el proceso de potabilización cuando se presentan valores de turbidez mayores o iguales a 1 NTU, asimismo es necesario la eliminación de diferentes trazas de compuestos químicos, y microorganismos presentes en el agua como son los coliformes totales y fecales (Baños, 2018) & (ACCIONA S.A, 2020).

3.1 Determinación de caudal

El caudal de captación es 25 l/s, en la Tabla 4 se presentan los datos de la determinación del caudal de ingreso a la planta, en función de la altura que alcanza el agua en el vertedero, el caudal de trabajo de la planta por especificaciones de la administración es de 22,02 l/s, es decir, que el agua alcanza una altura de 6,50 cm en el vertedero.

Tabla 4 Caudal de ingreso a Mezcla Rápida con base de 70 cm

Caudal de ingreso a Mezcla Rápida	
h (cm)	Q (l/s)
2,00	3,76
2,50	5,25
3,00	6,90
3,50	8,70
4,00	10,63
4,50	12,68
5,00	14,85
5,50	17,14



6,00	19,53
6,50	22,02
7,00	24,61
7,50	27,29
8,00	30,06
8,50	32,92
9,00	35,87

Fuente: Elaboración-Autor

3.2 Determinación de fugas en el proceso de potabilización (Aforo)

Posterior a la inspección en el proceso de potabilización, se encontraron fugas en las tuberías para desfogue de los equipos de sedimentación y filtración, por cual se realizó su determinación (ver procedimiento 2.3.2), los datos obtenidos se presentan en la tabla 5.

Tabla 3 Fugas en la planta de Rudío

Fugas de planta de Rudío					
	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Q (ml/s)	Q (l/s)	Porcentaje de pérdida
Sedimentador 1	44000	15	2933,33	2,93	25,07%
Sedimentador 2	38870	15	2591,33	2,59	
Filtro 1	43660	41	1064,87	1,06	5,17%
Filtro 2	680	300	2,27	0,00227	
Filtro 3	21333	300	71,11	0,071	
Filtro 4	0	0	0	0	
Total				6,6532	30,20%

Fuente: Elaboración-Autor



Comparación

Altura de rebosadero rectangular 0,057 m

Base del rebosadero 0,6 m

$$Q = 1898 * 0,6 * 0,057^{1,5}$$

$$Q = 15,5 \text{ l/s}$$

$$\mathbf{22,02-15,5= 6,52 \text{ l/s}}$$

Se obtuvo un total de pérdidas de 6,65 l/s, este resultado fue verificado al comparar el caudal de ingreso de agua cruda de 22,02 l/s y el caudal de agua tratada al tanque de reservorio, siendo de 30,20% la pérdida total en todo el proceso de potabilización. Es importante indicar que al tener este valor alto en fugas se procedió a realizar una inspección en las unidades que presentaron fugas, y se determinó que las fugas se dan debido a que las llaves no están bien calibradas, en función de ello se llegó a tomar los correctivos necesarios, realizando señalización en las llaves con la finalidad de que los operarios puedan llegar hasta los topes identificados, con lo cual se consiguió que ya no existan fugas en el sistema, permitiendo así que el caudal de ingreso al área de cloración sea el mismo que el caudal de ingreso a la planta.

3.3 Resultados de prueba de trazadores

A continuación, se muestran las gráficas de los resultados obtenidos en las pruebas de trazadores cuyo procedimiento se detalló en el ítem 2.3.3.

El tiempo de retención del trazador en la primera unidad de floculación es de 15 minutos con 30 segundos, como se observa en el Gráfico 1, en esta unidad se da una primera mezcla lenta donde el coagulante desestabiliza las partículas en suspensión de la masa de agua.

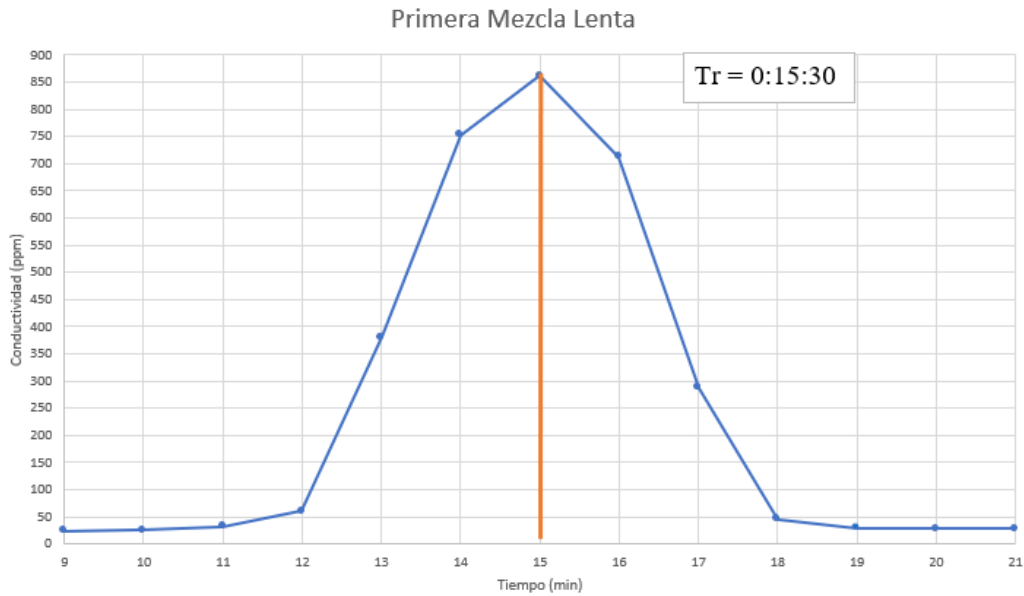


Gráfico 1 Prueba de trazador en Primera Mezcla Lenta
Fuente: Elaboración-Autor

Al culminar la primera mezcla lenta se da la dosificación del polímero y para que se dé un correcto proceso de floculación se necesita una segunda mezcla lenta, siendo el tiempo de retención determinado de 32 minutos con 10 segundos, presentado en la siguiente gráfica.

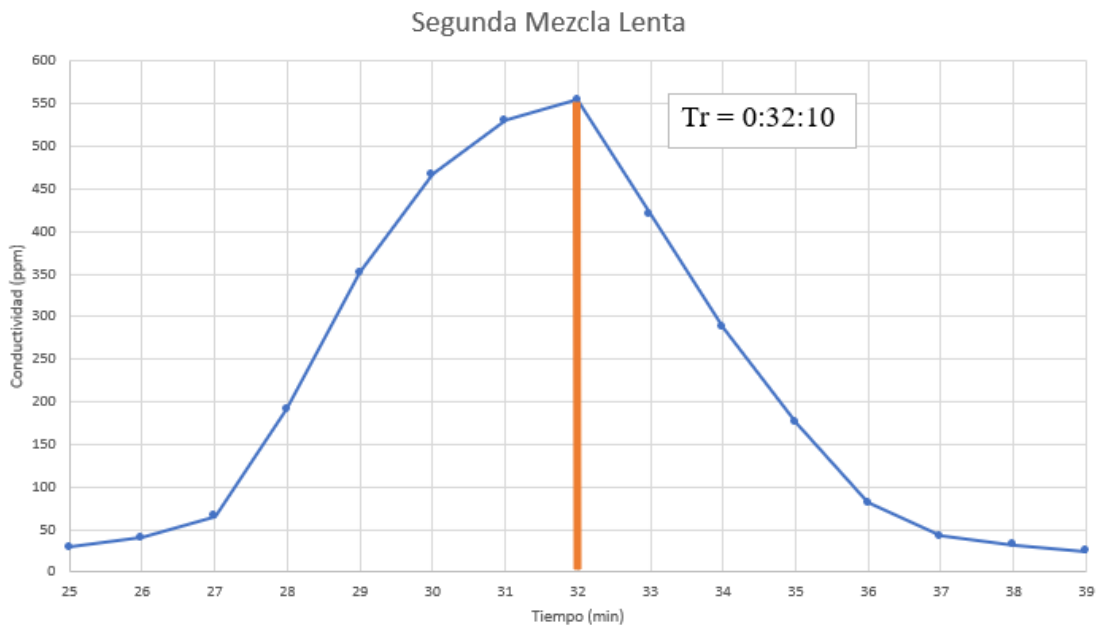


Gráfico 2 Prueba de Trazadores en Segunda Mezcla Lenta
Fuente: Elaboración-Autor

En la siguiente gráfica se muestra el tiempo de retención de la Unidad de Sedimentación general de los 2 sedimentadores presentes en la planta.

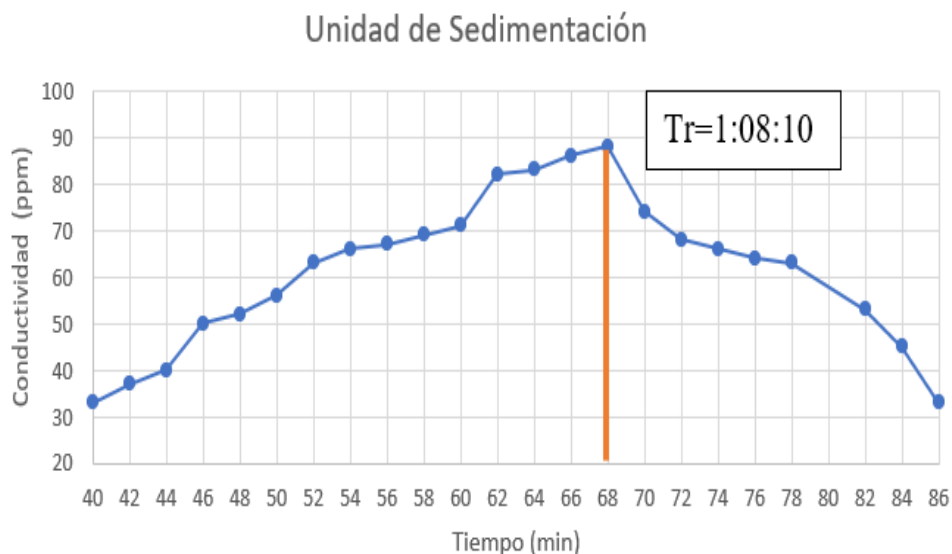


Gráfico 3 Prueba de trazador en Unidad de Sedimentación
Fuente: Elaboración-Autor

El Gráfico 4 representa el tiempo de retención común en las 4 Unidades de Filtración.

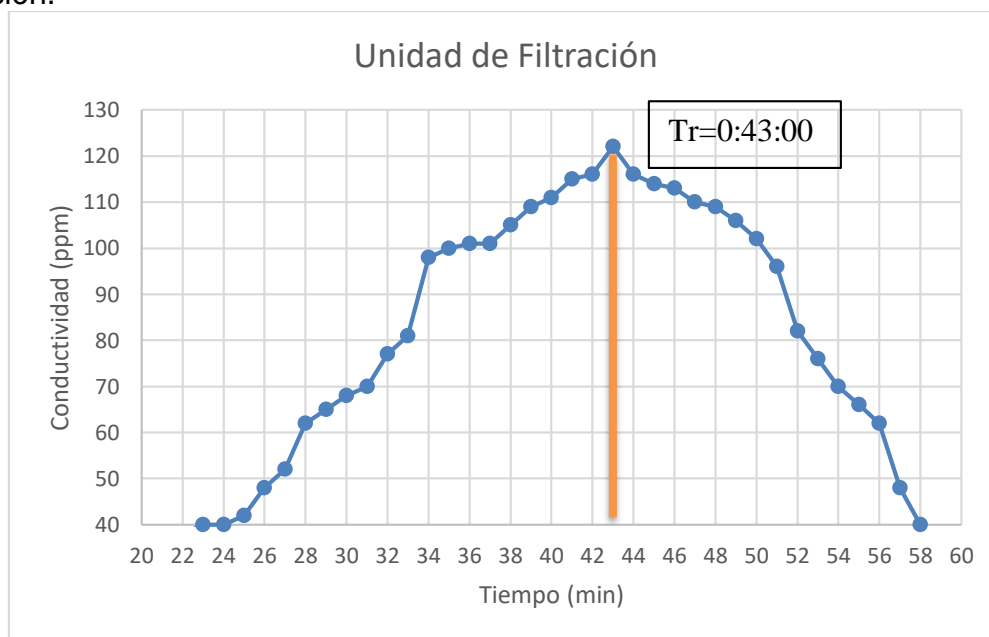


Gráfico 4 Prueba de trazador en la Unidad de Filtración
Fuente: Elaboración-Autor

El tiempo de retención obtenido desde la salida de los filtros hasta la Cámara de contacto de cloro corresponde al punto más alto en la curva, siendo este de 32 minutos como se observa en el Gráfico 5.

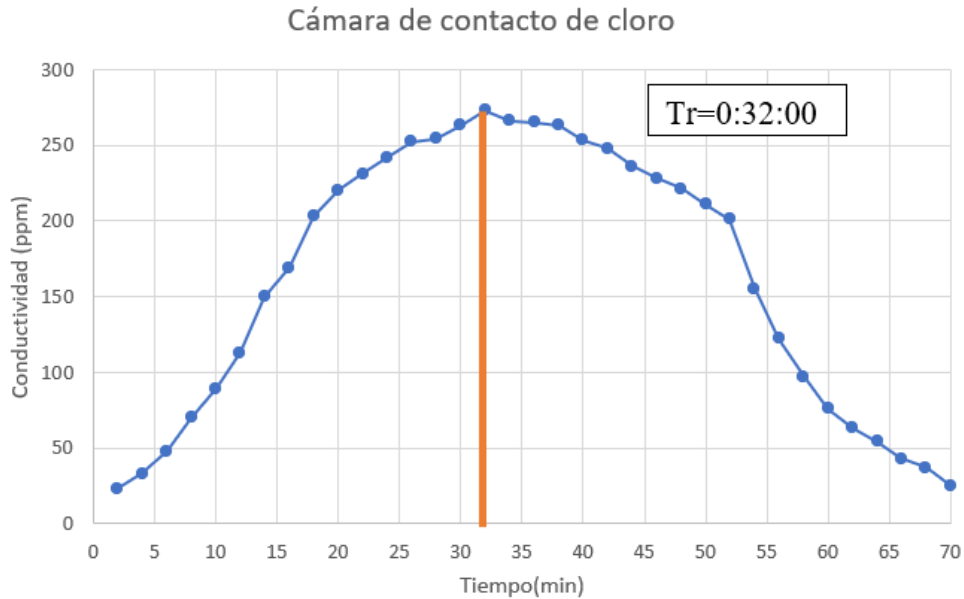


Gráfico 5 Prueba de trazador en Cámara de contacto de Cloro Gas
Fuente: Elaboración-Autor

El tiempo de retención en la cámara de contacto hasta llegar al tanque de almacenamiento es de 20 minutos como lo muestra el Gráfico 6.

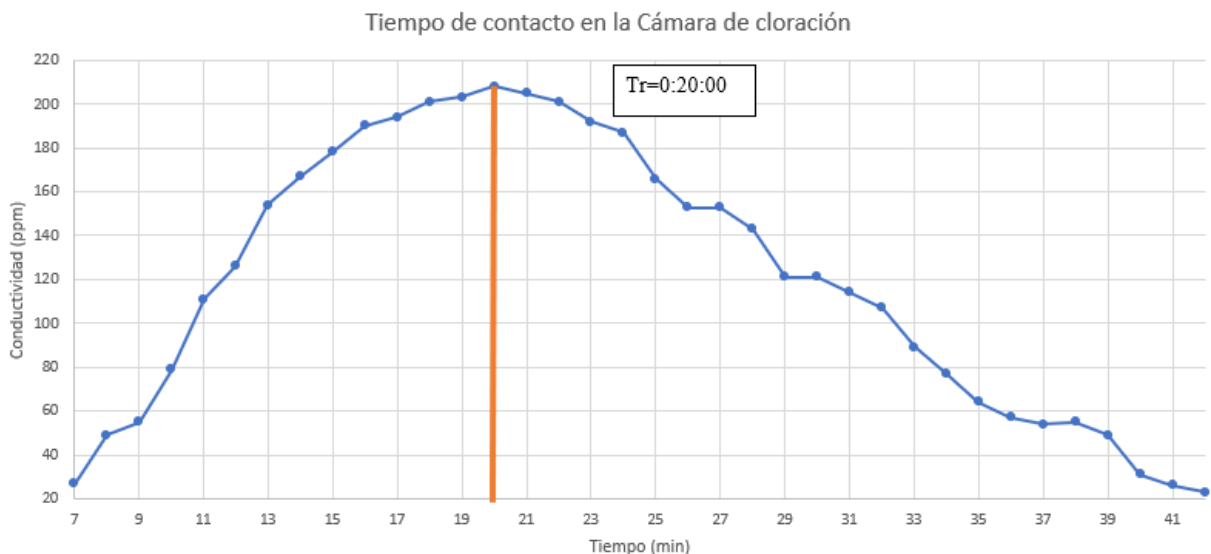


Gráfico 6 Prueba de trazador para el tiempo en contacto en la cámara de cloración
Fuente: Elaboración-Autor

Al trabajar con un caudal de ingreso de 22,02 l/s se obtuvieron los tiempos de retención (Tr) en cada unidad de tratamiento, que corresponden al valor de conductividad más alto, es decir, el punto más alto de la campana en cada gráfica.



Para la programación del tiempo de mezcla en el equipo de jarras fue necesario realizar la toma de muestras en intervalos más cortos de tiempo de 10 y 5 segundos, los datos obtenidos se presentan en el Anexo 3, siendo la Tabla 4 el resumen de los tiempos de retención obtenidos.

Tabla 4 Tiempos de retención de trazadores

Tiempos de retención				
	Mezcla Rápida	Mezcla lenta 1	Mezcla lenta 2	Sedimentación
Tr (hh:mm:ss)	0:0:30	0:15:30	0:32:10	1:08:10

Fuente: Elaboración-Autor

3.4 Resultados de prueba de Jarras Pérdida de carga

Tabla 5 Pérdida de carga en las unidades de floculación

Pérdida de carga de las unidades de Floculación		
Unidad	Pérdida de Carga H (cm)	Pérdida de Carga H (m)
Unidad 1	16	0.16
Unidad 2	9.3	0.093
Unidad 3	11.2	0.112

Fuente: Elaboración-Autor

Determinación de $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ según la temperatura del agua

La temperatura obtenida en el laboratorio fue de 9 °C por lo que se realizó la siguiente interpolación.

Tabla 6 Interpolación para la determinación de $\sqrt{\gamma/\mu}$ a 9°C

Temperatura (° C)	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ (1/m*s)
4	2502
9	X= 2697.83
10	2737

Fuente: Elaboración-Autor



Determinación del tiempo de mezcla

Tabla 7 Datos para la determinación del gradiente de velocidad

Datos para la determinación del gradiente de velocidad				
Unidad	H (m)	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ (1/m. s)	Tr (s)	G (s ⁻¹)
Unidad 1	0.16	2697.83	930	35.38
Unidad 2	0.093	2697.83	930	26.97
Unidad 3	0.112	2697.83	1000	28.55

Fuente: Elaboración-Autor

De acuerdo con el resalto hidráulico de la planta en estudio, según De Vargas (2004) el gradiente óptimo es de 700 a 1200 s⁻¹ por lo que se trabajó con el máximo de revoluciones del equipo, ya que el gradiente debe estar expresado en revoluciones por minuto (rpm), los valores ingresados al equipo son los siguientes.

Tabla 8 Tiempo y gradiente de velocidad para cada unidad de tratamiento

Tiempo y gradiente de velocidad para cada unidad de tratamiento				
	Mezcla Rápida	Mezcla lenta 1	Mezcla lenta 2	Sedimentación
Tr (hh:mm:ss)	0:0:30	0:15:30	0:32:10	1:08:10
G (rpm)	300	50	39	0

Fuente: Elaboración-Autor

Dosis óptima de regulante

Al tomar muestras de agua de la unidad de recepción con diferentes valores de parámetros de control, se realizaron diversas pruebas de jarras, con lo cual se generó una tabla de dosificación.



Tabla 9 Dosificación de regulante de pH

Dosificación de regulante de pH		
Turbidez (NTU)	Dosis (mg/l)	Cantidad a dosificar (ml/15 s)
25-35	10	495
35-45	15	742
45-60	20	990
60-80	25	1238
80-100	30	1485

Fuente: Elaboración-Autor

Cuando el agua cruda presenta un color mayor a 100 Pt-Co o una turbidez mayor a 20 NTU, se requiere la dosificación de regulante de pH, sin embargo, estos datos no se presentan con frecuencia en la planta de tratamiento de Rudio.

Dosis óptima de coagulante

Al tomar muestras de agua de la unidad de recepción con diferentes turbiedades, se realizaron diversas pruebas de jarras, con los datos obtenidos se procedió a graficar la Curva de Dosificación (ver Gráfico 7), que relaciona la turbidez (NTU) con la concentración de Sulfato de Aluminio (mg/l).

Los resultados de cada ensayo se presentan en el Anexo 4.

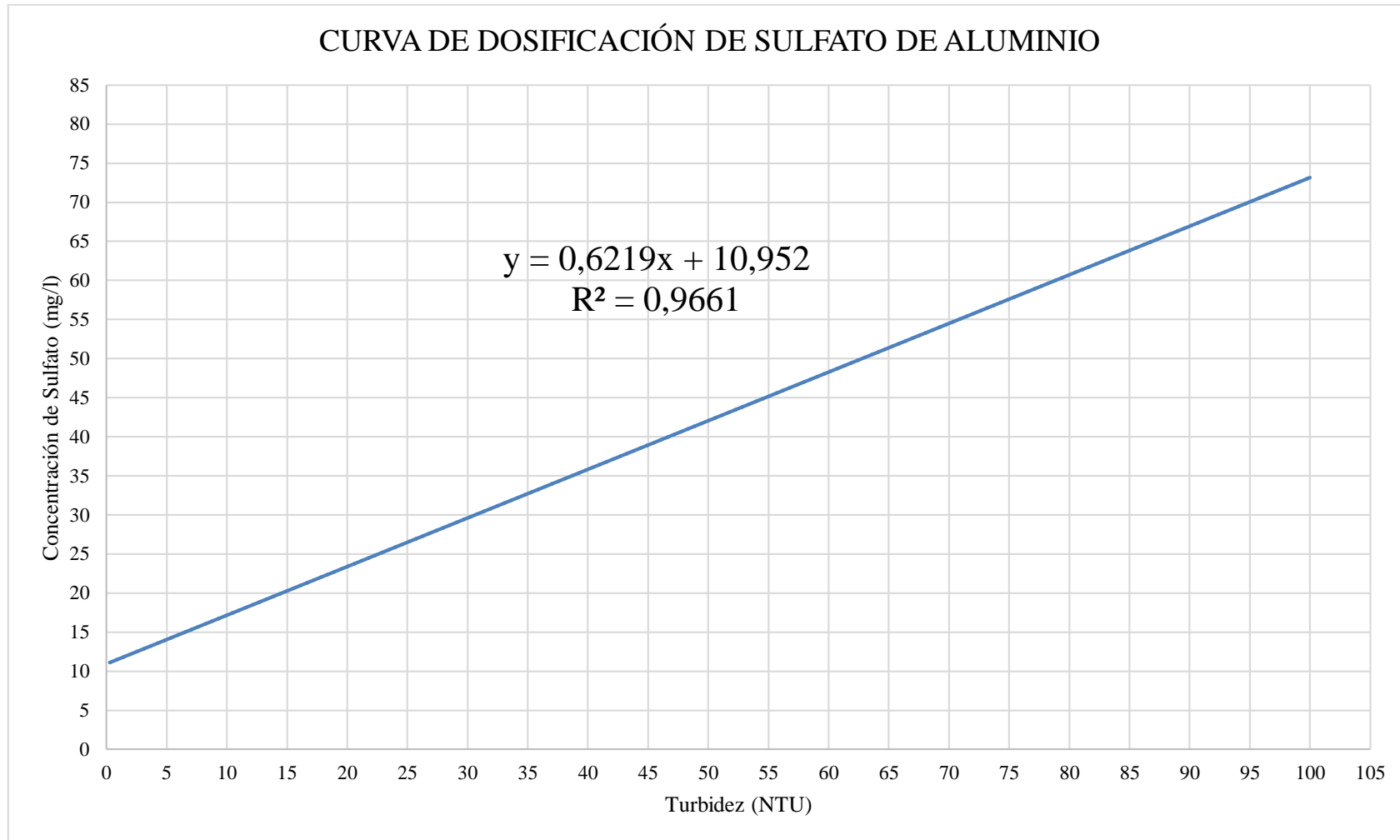


Gráfico 7 Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio
Fuente: Elaboración- Autor

Dosis óptima de floculante

Con la dosis óptima de coagulante para los diferentes valores de turbidez de cada muestra, se realizó la determinación de la dosis óptima de floculante, siendo este **0,16 mg/l**, dato obtenido mediante el proceso del ítem (2.3.4.) Este valor se encuentra dentro del rango establecido en la ficha técnica Anexo 2 de 0,02 a 1mg/l para el tratamiento de agua potable, y el valor determinado se encuentra dentro de este rango. Los resultados de cada ensayo se presentan en el Anexo 5.

3.5 Determinación de los caudales de dosificación

A continuación, se detallan las tablas de calibración para los equipos de dosificación para un caudal de 22,02 l/s.

Tabla 10 Aforo de tanque de regulante de pH

Aforo de tanque de regulante de pH		
Dosis (mg/L)	Cantidad a dosificar (ml/15 s)	# Vueltas Q=22,02l/s
10	330	3 ¼
15	495	5 ¼
20	660	6 ¼
25	825	8 ¼

Fuente: Elaboración-Autor

Tabla 11 Aforo de tanque de Sulfato de Aluminio

Aforo de tanque de Sulfato de Aluminio			
Turbidez (NTU)	Dosis (mg/L)	Cantidad a dosificar (ml/15 s)	# Vueltas Q=22,02l/s
0 – 1	12	199	1 ¾
1.1 – 4	14	232	2 ¼
4.1 – 8	16	265	3 ¼
8.1 -15	20	330	3 ¾
15.1- 25	24	397	4 ¼
25.1 - 35	26	430	5 ¼
35.1 - 45	30	496	5 ¾

45.1 - 60	36	594	6 ² / ₄
60.1- 80	56	924	7 ² / ₄
80.1- 100	80	1322	10 ¹ / ₄

Fuente: Elaboración-Autor

Tabla 12 Aforo de tanque de Polímero

Aforo de tanque de Polímero		
Dosis (mg/L)	Cantidad a dosificar (ml/15 s)	# VUELTAS
0,16	264	8 ¹ / ₂

Fuente: Elaboración-Autor

3.6 Tiempo de Retrolavado

Con los datos obtenidos en el ensayo para determinar el tiempo de retrolavado se generó la siguiente curva (Gráfico 8) donde la turbidez en el filtro inicia con un valor de 0,45 NTU, con un tiempo de 8 minutos llega a su valor de turbidez más alto (37,1 NTU) y al cabo de 15 minutos registra un valor menor a la inicial de 0,18 NTU, demostrando que el proceso de retrolavado se realizó correctamente con una duración de 15 minutos.

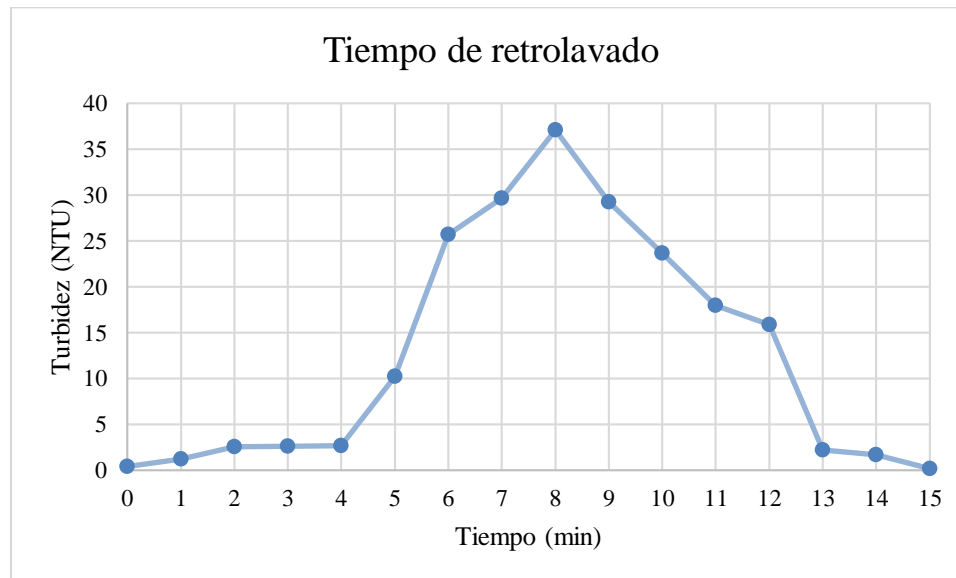


Gráfico 8 Tiempo de retrolavado

Fuente: Elaboración-Autor

3.7 Cloración al punto de ruptura

Para completar el proceso de potabilización del agua fue necesario determinar la dosis óptima de cloro gaseoso, en un caudal de 22,02 l/s y con un tiempo de contacto de 20 min, determinando cloro residual, dosificando diferentes cantidades de cloro gas. Con estos datos se obtuvo gráfica de Demanda de Cloro donde el punto de ruptura es de 2 (lb/in²) /Día, siendo esta la cantidad óptima para la dosificación de cloro, ya que la cantidad de cloro residual en el tanque de almacenamiento esta alrededor de 0,68 y 1,2 siendo lo recomendado para que la cantidad de cloro en la red de distribución cumpla con los establecido en la norma INEN 1108-2020 que es de 0,3 a 1,5 mg/l, ya que este elemento químico tiende a volatilizarse.

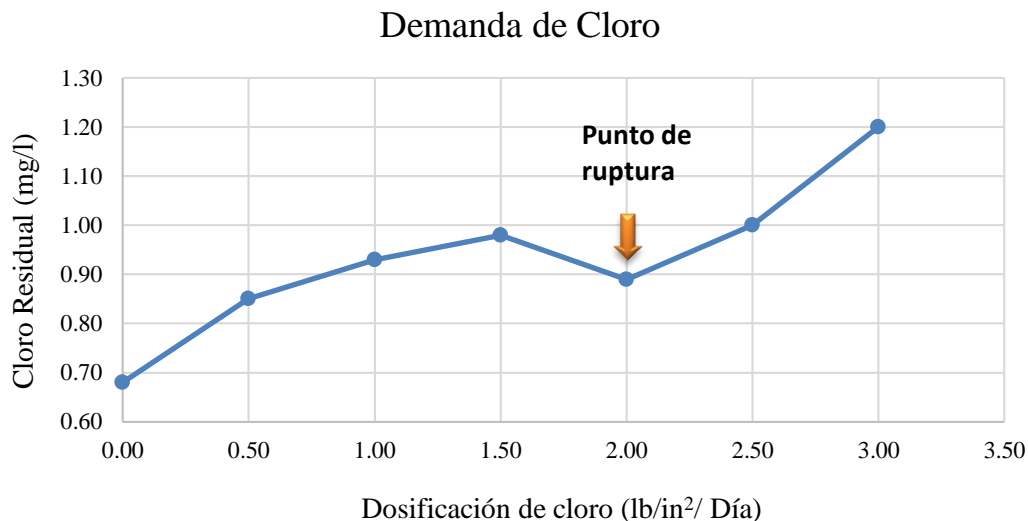


Gráfico 9 Demanda de Cloro
Fuente: Elaboración-Autor

Para comprobar que la demanda de cloro determinada en el Grafico 9 es la óptima se realizó la determinación de Cloro Residual en la red de distribución, el número de muestras obtenido mediante la Ecuación 7 se presenta a continuación.

$$n = \frac{87 * 0,5 * 1,96}{(87 - 1) * 0,05 + 1,96 * 0,5}$$

$$n = 14,37 \approx 15 \text{ muestras}$$



Se obtuvieron los siguientes datos Tabla 13, cuyos resultados están dentro del rango establecido en la Norma INEN 1108 2020, indicando así que la dosificación realizada es la correcta para el caudal de trabajo, ya que se puede visualizar que el valor de cloro residual en el punto más alejado de la planta es de 0,44 mg/l, cumpliendo así con la norma.

Tabla 13 Datos de Cloro Residual

#	FECHA	HORA	DISTANCIA DE LA PLANTA	CL/ppm
Primer día de muestreo				
1	25/8/2020	9:10	3,5 km	0,76
2	25/8/2020	9:20	4,5 km	0,68
3	25/8/2020	9:54	5,4 km	0,56
4	25/8/2020	10:02	3,1 km	0,82
5	25/8/2020	10:16	4,2 km	0,6
Segundo día de muestreo				
6	27/8/2020	8:40	8 km	0,44
7	27/8/2020	9:00	3,3 km	0,81
8	27/8/2020	9:08	4,6 km	0,72
9	27/8/2020	9:50	5,6 km	0,65
10	27/8/2020	10:06	6,8 km	0,59
Tercer día de muestreo				
11	29/8/2020	9:12	8 km	0,61



12	29/8/2020	9:00	3,5 km	0,72
13	29/8/2020	9:42	4,2 km	0,65
14	29/8/2020	10:10	5,1 km	0,6
15	29/8/2020	10:29	3,5 km	0,74

Fuente: Elaboración-Autor

3.8 Análisis de calidad del agua (Parámetros físico- químicos y microbiológicos)

Los resultados que se presentan a continuación son de muestras tomadas en unidad de ingreso de agua cruda, unidad de almacenamiento y punto de red, verificando así que la dosificación determinada en las pruebas anteriores permite obtener agua de calidad, cuyos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma INEN 1108, 2020.

Tabla 14 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua cruda, de reservorio, y de red y límites permitidos por la norma.

Pruebas FQ	LIMITE PERMITIDO NORMA 1108	AGUA CRUDA	AGUA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO	AGUA DE RED
pH	6,5-8	7,38	7,09	6,76
Color (Pt-Co)	15	2,67	0,00	0,00
Turbidez (NTU)	5	1,2	0,21	0,21
Sales disueltas totales (ppm)	-	20,67	23,50	23,33
Conductividad (u S/cm)	-	32,60	35,00	36,4
Dureza total (ppm CaCO ₃)	-	31,67	28,33	25,83
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	-	12,33	12,33	12,33
Fe (ppm)	-	0,02	0,02	0,02
Cu(ppm)	2	0,04	0,04	0,04
P (ppm)	-	2,01	0,45	0,38
Nitratos (ppm)	50	0,27	0,20	0,20
Sulfatos (ppm)	-	3,00	ND	ND
Cromo (ppm)	-	0,03	0,02	0,01



Nitrógeno amoniacal (ppm)	-	0,02	0,02	0,02
Nitritos (ppm)	3	0,00	ND	ND
Zn (ppm)	-	0,05	0,01	0,01
Coliformes totales (UFC/10 ml)	-	0,18	0	0
Coliformes fecales (UFC/10 ml)	<1 UFC	0,08	0	0

ND: No detectable

UFC: Unidades formadoras de colonias

Fuente: Elaboración-Autor

Los análisis realizados muestran que los parámetros del agua cruda son bastante buenos, el valor obtenido de turbidez se encuentra dentro del rango establecido por la norma INEN 1108-2020, sin embargo, la OMS (Organización Mundial para la Salud) recomienda que el valor de turbidez ideal del agua para consumo humano debe estar por debajo de 1 NTU, lo que conlleva a una baja dosificación en los procesos de coagulación, floculación; además la presencia de coliformes fecales y totales prueban que se requiere el proceso de cloración para su eliminación y con ello el cumplimiento de la norma INEN 1108. Cabe recalcar que, al encontrarse la captación en una zona de alta pluviosidad, los parámetros de color, pH y turbidez aumentan drásticamente, por lo que se necesita una alta dosificación.



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En cuanto a lo abordado con anterioridad y cumpliendo con el objetivo general, se pudo determinar los parámetros óptimos de operación de la planta de potabilización de agua de Rudio a través de la caracterización del agua cruda, y posteriormente una serie de ensayos como trazadores, prueba de jarras, aforo de tanques de dosificación, determinación de caudales, obteniendo un tiempo operación en el proceso de coagulación de 15 minutos 30 segundos, en el proceso de floculación de 32 minutos 10 segundos, en la sedimentación de 1 hora 8 minutos 10 segundos, en la filtración de 43 minutos, desinfección y almacenamiento de 52 minutos, para un caudal de entrada de 22,02 l/s.

Para obtener óptimos resultados en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se obtuvo una curva para la dosificación de Sulfato de Aluminio Tipo A en función de la Turbidez del agua cruda, además una dosificación de polímero de 0,16 mg/l para cualquier valor de turbidez del agua cruda y caudal de ingreso, permitiendo que el proceso de sedimentación se lleve a cabo de una manera eficiente. Cuando los valores de color en el agua cruda sean mayores a 100 Pt- Co se requiere una dosificación de 10 mg/l de regulante de pH, para evitar incumplimientos en la Norma INEN 1108 2020, específicamente en el parámetro de pH del agua tratada y prevenir de la corrosión de tuberías.

La excelente calidad físico-química y microbiológica del agua de entrada a la planta, no requiere un proceso drástico de desinfección, por lo que la demanda de cloro determinada de 2 lb/in²/Dia evita la formación de trihalometanos ya que según Bracho et al., 2009, estos compuestos se forman por un exceso de cloro en la masa de agua, asimismo, la determinación de Cloro residual en la red de distribución verificó que la demanda de cloro determinada es la idónea ya que los resultados obtenidos cumplen con lo establecido por la norma INEN 1108-2020.



Al realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua cruda y agua tratada se pudo comprobar que la implementación de los resultados obtenidos en los ensayos de optimización de procesos, permite la potabilización óptima del agua ya que se observa una disminución de la concentración en varios parámetros, cumpliendo así con lo dispuesto por la norma de Calidad de Agua para consumo humano, dando respuesta al segundo objetivo.

Con la finalidad de cumplir los objetivos tres y cuatro se realizó el Manual de Operación y Mantenimiento de Planta de Potabilizadora De Agua “Rudio”, estableciendo los lineamientos para un correcto mantenimiento en todas las unidades de tratamiento, además del retrolavado de los filtros en el cual se determinó el tiempo óptimo de 15 minutos para regenerar el medio filtrante.

4.2 Recomendaciones

- Realizar una capacitación para los operadores de la planta, de manera que todos conozcan y ejecuten de manera correcta los procesos de mantenimiento y operación, establecidos en el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Rudio.
- Utilizar los equipos de protección personal adecuados en la manipulación de los químicos y en la limpieza de unidades de tratamiento.
- Mejorar el sistema de dosificación de los productos químicos, para evitar administrar dosis erróneas, que alteren el proceso de potabilización.
- Cuando se requiera desviar la planta se recomienda esperar un tiempo de 43 minutos antes de cerrar la dosificación de cloro, de modo que toda la masa de agua que queda a la salida de la etapa de filtración pueda ser clorada.
- Disminuir los intervalos de tiempo entre cada limpieza y mantenimiento de las unidades de tratamiento, para evitar que se acumulen gran cantidad de residuos, que puedan disminuir la calidad final del agua.



BIBLIOGRAFÍA

Academies, N. (2007, septiembre 1). *Safe Drinking Water Is Essential* [Text].

Reports from the National Academies; National Academies.

<https://www.koshland-science->

[museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html](https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html)

ACCIONA S.A. (2020). *Potabilización del agua* [BUSINESS AS UNUSUAL].

ACCIONA. <https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/>

Andrés, C. J. M. (2019). *Potabilización del agua*. Editorial Elearning, S.L.

Baños, A. (2018). *¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?*

Higiene Ambiental. [https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-](https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable)

[nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable](https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable)

Barajas, C., & León, A. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE*

SULFATO DE ALUMINIO (Al₂(SO₄)₃ 18H₂O) EN EL PROCESO DE

COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL.

[UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS].

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2>

[015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Barrenchea, A. (2020). *Coagulación.*

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>

Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017).

Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como



indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, 30(4), 27.

Borbolla-Sala, M. E., Cruz-Vázquez, L. de la, Piña-Gutiérrez, O. E., Fuente - Gutiérrez, J. del C. de la, & Garrido-Pérez, S. M. G. (2003). Calidad del agua en Tabasco. *Salud en Tabasco*, 9(1), 170-177.

Bracho, N., Castillo, J., Vargas, L., & Morales, R. (2009). Formación de trihalometanos durante el proceso de desinfección en la potabilización de agua. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 32(3), 231-237.

Cerezo Álvarez, M. del R. (2016). "VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DETECCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN MUESTRAS DE AGUA POTABLE UTILIZANDO CALDO M - ENDO." [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96957/D-CD88474.pdf>

Chulluncuy Camacho, N. C. (2011, junio 16). *Tratamiento de agua para consumo humano*. 29, 153-170.

Díaz de Alba, M. (2007). *DETERMINACIÓN DE SUBTRAZAS DE COBRE EN AGUAS, PREVIA PRECONCENTRACIÓN CON DISCOS DE SDB MODIFICADOS* [Maestría, Universidad de Cadiz]. <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/17203/Trabajo%20Fin%20De%20M%C3%A1ster%20Margarita%20D%C3%ADaz%20de%20Alba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



El CEPIS. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua.*

CETESB.

[http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf)

Freire, W., Silva, F., & Gaona, D. (2014). AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE RETRO-LAVADOS DE LOS FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA LOS PROCESOS DE FILTRADO Y RETRO-LAVADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE “LAGO AGRIO”. *Proyecto de Ingeniería en Electromecánica.*

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8869/1/AC-ESPEL-EMI-0264.pdf>

Grael Castro, E., Pacheco Medina, A., & Coronado Peraza, V. (2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. *13, 1, 49-58.*

Guevara, D. (2010). *BIORREMOCIÓN DE CROMO (CROMO TOTAL Y CROMO VI) EN AGUA SINTÉTICA POR DOS INÓCULOS BACTERIANOS NATIVOS COMPUESTOS, A ESCALA DE LABORATORIO [ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO].* <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2611/1/T-ESPE-030039.pdf>



- HACH. (2005). *POCKET Colorimeter*. <https://es.hach.com/pocket-colorimeter-ii-test-kit-colorimetrico-para-analisis-de-cloro-y-ph/product-downloads?id=25116663276>
- HACH. (2008). *Hach Portable Spectrophotometer DR 2800*. Manualsbrain.com. <https://manualsbrain.com/es/manuals/789614/>
- HACH. (2020). *Colorímetro DR900*. <https://latam.hach.com/colorimetros/colorimetro-dr900/family-downloads?productCategoryId=54617006119>
- Hach España. (2013). *Medidor de conductividad portátil Sension+ EC5*. <https://es.hach.com/medidor-de-conductividad-portatil-sension-ec5/product-downloads?id=24930083884>
- Hidalgo, L. (2017). *Guía practica para aforar en canales y cauces naturales, utilizando instrumentación básica de bajo costo*. Escuela Politécnica Nacional.
- IDROVO, C. (2009). *OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UCHUPUCUN [UNIVERSIDAD DE CUENCA]*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>
- INEN 974. (2016). *AGUA POTABLE. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL POR TITULACIÓN CON EDTA*. Servicio Ecuatoriano de Normalización. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_974-1.pdf
- INEN 1105. (1983). *AGUAS. MUESTREO PARA EXÁMEN MICROBIOLÓGICO*. <https://es.slideshare.net/egrandam/nte-inen-1105-1983>



INEN 1108. (2020). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS*. Servicio Ecuatoriano de Normalización.

INEN 1680. (2014). *SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE. REQUISITOS*.

<https://colegioarquitectosecuador.files.wordpress.com/2013/08/pnte-inen-1680.pdf>

INEN 2169. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS*. Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria.

<http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf>

INEN 2176. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO*.

INEN 7027. (2013). *CALIDAD DE AGUA – DETERMINACION DE TURBIEDAD. (IDT)*.

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_7027.pdf

INEN, 7887. (2013). *CALIDAD DE AGUA- EXAMEN Y DETERMINACIÓN DE COLOR (IDT)*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN 9963-1. (2014). *CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD. PARTE 1: DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD TOTAL Y COMPUESTA (ISO 9963-1:1994, IDT)*.

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_9963-1.pdf



INEN 10523. (2014). *CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACIÓN DEL PH (ISO 10523:2008,* IDT).

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_10523_extracto.pdf

INEN 19458. (2014). *CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO (ISO 19458:2006,* IDT).

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_19458extracto.pdf

Izquierdo, M. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO APLICADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA “EL DESCANSO” [UNIVERSIDAD DE CUENCA].*

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23008>

Junta Administradora de Agua Potable de la & parroquia Baños. (2020). *Calidad del Agua.* <http://juntabanos.org/calidad.html>

Koutoudjian, J. M. (2019). *Operación de Plantas Potabilizadoras.* AIDIS.

Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N.

M., & Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 44(3), 24-34.*

Lastra Bravo, T. E. (2010). *ESTUDIO DE LA FLOCULACIÓN CON ENERGÍA CINÉTICA EN UN REACTOR TUBULAR.* Escuela Politécnica Nacional.



- Madrid Celi, M. A., & Valle Vega, L. A. (2015). *Determinación de pérdidas por fugas en tuberías de aire comprimido mediante la técnica de ultrasonido pasivo en el laboratorio de mantenimiento predictivo de la Facultad de Mecánica*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4207>
- Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). *MECÁNICA DE FLUIDOS*.
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/11/tema5_operaciones%20separacion.pdf
- Medidor. (2016, octubre 29). *Turbidez* | [MedidordePH.com].
<https://medidordeph.com/blog/2016/08/turbidez/>
- Minchalo, M. (2013). *ANÁLISIS DE LA CONCEPCIÓN DEL BUEN VIVIR EN EL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA BAÑOS*. [UNIVERSIDAD DE CUENCA].
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20829/1/TESIS.pdf>
- MONTENEGRO BENALCÁZAR, V. E. (2017). *REDISEÑO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS (EP-PETROECUADOR), CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6629/1/236T0260.PDF>
- Mort, S. (2020, febrero 21). *Diferencia entre el cloro libre y el cloro total*.
<https://es.mort-sure.com/blog/difference-between-free-chlorine-and-total-chlorine/>



MVOTMA-DINAMA. (2019). *INDICADORES AMBIENTALES | Concentración de Fósforo Total (PT).*

https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-fosforo-total/

Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. E. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica.* 8(1), 19-27.

OMS. (2019). *OMS | Agua, saneamiento e higiene.*
https://www.who.int/water_sanitation_health/es/

Orellana, J. (2005). TRATAMIENTO DE LAS AGUAS. *Ingeniería Sanitaria*, 6(UTN-FRRO), 123.

Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilardy Q, S., & Saavedra-Díaz, L. (2008). *ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (COLIFORMES TOTALES Y FECALES) EN LA BAHÍA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO.* 13(3). <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>

Rodríguez, I. A., Silva, R. M. P., & Reyes, A. M. (2010). Determinación De Sulfato Por El Método Turbidimétrico En Aguas Y Aguas Residuales. Validación Del Método. *Revista Cubana de Química*, XXII(3), 39-44.

Rodriguez, R. (2017). *Fundamento de Química Genral (Primera).* UPSE.
https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4271/1/Fundamentos%20de%20Quimica%20General_Disoluciones%2C%20propiedades%20coligativas%20y%20gases%20ideales.pdf



Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Pérez, Z. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua.

Revista INGENIERÍA UC, 14(3), 16-23.

Rueda, O., & Chitiva, M. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN CANALES ABIERTOS.*

[UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS].

[http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3367/1/RuedaUrue%C3%](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3367/1/RuedaUrue%C3%B1aOscarFernando2016.pdf)

[B1aOscarFernando2016.pdf](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3367/1/RuedaUrue%C3%B1aOscarFernando2016.pdf)

Salazar, E., & Cedillo, M. (2017). *Validación Computacional de Vertederos Rectangulares y Triangulares Para Generar Un Modelo Nuevo Triangular*

Asimétrico que Facilitaría la Medición de las Cargas en Estructuras

Hidráulicas [Maestría, Universidad Politecnica Salesiana].

[https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15009/1/UPS-](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15009/1/UPS-CT007408.pdf)

[CT007408.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15009/1/UPS-CT007408.pdf)

Sardiñas Peña, O., & Pérez Cabrera, A. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato.

Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 42(2), 0-0.

Severiche Sierra, C. A., Castillo Bertel, M. E., & Acevedo Barrios, R. L. (2013).

Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros

Fisicoquímicos Básicos en Aguas. Fundación Universitaria Andaluza Inca

Garcilaso. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

Sigler, A., & Bauder, J. (2015). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales.*

Educación del agua de Pozo, Montana.



- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L., Mora-Alvarado, D., Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Soto, F. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2), 167-177.
- Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. 04). Organización Panamericana de la Salud. <https://www.virtualpro.co/download/tratamiento-de-aguas-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion-rapida-manual-i-teoria.pdf>
- Vivas, L., & Notz, A. (2013). *Número de muestras requeridas para estimar la población de Oebalus insularis Stal en el cultivo de arroz (Oriza sativa L.) en Calabozo, estado Guárico, Venezuela*. <http://www.bioline.org.br/pdf?cg13007>



ANEXO 2: FICHA TECNICA DEL FLOCULANTE (POLÍMERO LIPESA 1560)

LIPESA 1560 PWG

FLOCULANTE CATIONICO

- **Desarrollado especialmente para la clarificación de sistemas potables**
- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos e inorgánicos
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un amplio rango de pH: de 1 a 13
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo- beneficio. Trabaja a dosis muy bajas

Usos Principales

LIPESA 1560 PWG ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la clarificación de agua en el tratamiento de agua potable, en procesos de deshidratación mecánica de lodos provenientes de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente de orgánicos. LIPESA 1560 PWG, actúa de forma rápida y efectiva en la clarificación de agua, mejorando la turbidez e incrementando el peso de los lodos tratados.

El floculante **LIPESA 1560 PWG**, tiene aprobación NSF-ANSI Stándar 60 Drinking Water Treatment Chemicals, para el tratamiento de clarificación de sistemas potables.

Descripción General

LIPESA 1560 PWG es un polímero sólido de alto peso molecular, de carga catiónica media, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Densidad:	0,65-0.78 gr /cm ³
Solubilidad:	0.5% en agua
Viscosidad:	1040 cps a 5.0 g/l 340 cps a 2.5 g/l 130 cps a 1.0 g/l

Dosis:

La dosis de LIPESA 1560 PWG varía de acuerdo al proceso y efluente a tratar.

Las dosis que generalmente se aplican son:

- Clarificación agua potable 0.02 – 1 mg /litro
- Deshidratación mecánica de lodos 5 – 150 g / m³
- Espesamiento y clarificación general 0,02 – 30 g / m³

En todo momento el Representante Técnico de LIPESA, le asesorará en el establecimiento de la dosis mas adecuada para un sistema en particular.



Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1560 PWG, se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadora de acero dulce o de cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego a 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1560 PWG, es de 45 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente forma:

- Agregar el polímero lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente por 10 o 15 minutos.
- Dejar en reposo durante unos 15 minutos
- Finalmente agitar por 10 -15 minutos.

Despacho y almacenamiento

LIPESA 1560 PWG, se despacha en sacos de 25 kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco y seco. Mantener los envases cerrados, para evitar la hidratación. No almacenar por más de doce meses.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1560 PWG no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico evite el contacto con la piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con abundante agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente con un médico.

FGMOO8 REV-2F.REV: 16.09.09

**ANEXO 3: TABLAS DE PRUEBAS DE TRAZADORES***Tabla 15 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Floculación*

Trazadores en Unidades de Floculación					
Piscina 1		Piscina 2		Piscina 3	
Tiempo (min)	Conductividad (ppm)	Tiempo (min)	Conductividad (ppm)	Tiempo (min)	Conductividad (ppm)
5	24	23	27	39	23
6	26	24	27	40	24
7	25	25	29	41	30
8	25	26	40	42	52
9	24	27	65	43	111
10	26	28	191	44	183
11	32	29	351	45	282
12	60	30	467	46	338
13	381	31	530	47	390
14	753	32	554	48	404
15	861	33	420	49	393
16	712	34	287	50	338
17	287	35	175	51	276
18	46	36	81	52	196
19	30	37	42	53	156
20	28	38	32	54	70
21	28	39	24	55	49



22	26	40	24	56	36
23	25	41	23	57	29
24	25	42	23	58	26

Fuente: Elaboración -Autor

Tabla 16 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Sedimentación

Trazadores Sedimentadores	
Tiempo (min)	Conductivida d (ppm)
26	25
28	26
30	28
32	31
34	32
36	32
38	33
40	33
42	37
44	40
46	50
48	52
50	56
52	63



54	66
56	67
58	69
60	71
62	82
64	83
66	86
68	88
70	74
72	68
74	66
76	64
78	63
82	53
84	45
86	33
88	33
90	23
91	23

Fuente: Elaboración -Autor



Tabla 17 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Sedimentación con intervalos más cortos de tiempo

Trazadores Sedimentadores	
Tiempo	Conductividad (ppm)
Inicia	65
65'00"	69
65'10"	70
65'20"	71
65'30"	72
65'40"	73
65'50"	72
66'00"	74
66'10"	73
66'20"	73
66'30"	73
66'40"	75
66'50"	76
67'00"	77
67'10"	78
67'20"	79
67'30"	80
67'40"	80
67'50"	80
68'00"	83
68'10"	88
68'20"	85
68'30"	79
68'40"	77
68'50"	75
69'00"	75

Fuente: Elaboración -Autor



Tabla 18 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidades de Filtración

Trazadores en Filtros							
Filtro 1		Filtro 2		Filtro 3		Filtro 4	
Tiempo (min)	Conductividad (ppm)	Tiempo (min)	Conductividad (ppm)	Tiempo (min)	Conductividad (ppm)	Tiempo (min)	Conductividad (ppm)
0	42	0	37	0	31	0	39
20	43	20	37	20	47	20	59
21	44	21	38	21	65	21	87
22	55	22	38	22	69	22	96
23	67	23	40	23	89	23	108
24	72	24	40	24	98	24	123
25	78	25	42	25	104	25	132
26	86	26	48	26	112	26	146
27	96	27	52	27	125	27	158
28	111	28	62	28	127	28	166
29	121	29	65	29	135	29	172
30	123	30	68	30	139	30	187
31	127	31	70	31	141	31	192
32	135	32	77	32	141	32	192
33	144	33	81	33	143	33	192
34	154	34	98	34	148	34	192
35	166	35	100	35	150	35	192
36	169	36	101	36	150	36	192
37	171	37	101	37	150	37	192
38	173	38	105	38	150	38	193
39	177	39	109	39	152	39	193
40	177	40	111	40	155	40	197
41	180	41	115	41	159	41	198
42	194	42	116	42	160	42	201
43	220	43	122	43	165	43	213
44	219	44	116	44	163	44	212
45	219	45	114	45	163	45	212
46	210	46	113	46	161	46	210
47	201	47	110	47	161	47	210
48	199	48	109	48	156	48	197
49	197	49	106	49	149	49	194
50	194	50	102	50	132	50	174

Fuente: Elaboración -Autor



Tabla 19 Datos obtenidos de prueba trazadores en Unidad de Cloración

Trazadores en Unidad Cloración	
Tiempo (min)	Conductividad (ppm)
2	23
4	33
6	48
8	70
10	89
12	113
14	150
16	169
18	203
20	220
22	231
24	242
26	252
28	254
30	263
32	273
34	266
36	265
38	263
40	253
42	248
44	236
46	228
48	221
50	211
52	201
54	155
56	122
58	97
60	76
62	63
64	54



66	43
68	37
70	25
72	24
74	24

Fuente: Elaboración -Autor

Tabla 20 Datos obtenidos de prueba trazadores al ingreso del reservorio

Trazadores al ingreso del Reservorio	
Tiempo (min)	Conductividad (ppm)
4	23
5	25
6	27
7	27
8	49
9	55
10	79
11	111
12	126
13	154
14	167
15	178
16	190
17	194
18	201
19	203
20	208
21	205
22	201
23	192
24	187
25	166
26	153
27	153
28	143
29	121
30	121



31	114
32	107
33	89
34	77
35	64
36	57
37	54
38	55
39	49
40	31
41	26
42	23

Fuente: Elaboración -Autor



ANEXO 4: DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE PRUEBAS DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO.

Tabla 21 Datos obtenidos en los ensayos de pruebas de jarras para determinación dosis óptima de sulfato de aluminio.

DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE PRUEBAS DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO						
Ensayo con turbidez baja						
		Turbidez	Color	pH		
Análisis (Datos iniciales)		0,297	9	7,4		
JARRA	1	2	3	4	5	6
Sulfato (mg/l)	6	8	10	12	14	16
Regulante	-	-	-	-	-	-
Sulfato (cm3)	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
Polímero (cm3)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Tiempo colocar polímero (min)	10	10	10	10	10	10
Turbidez Final	0,645	0,487	0,298	0,237	0,327	0,387
pH Final	7,03	6,96	6,88	6,81	6,76	6,69
Color Final	0	0	0	0	0	0
Ensayo con turbidez media						
		Turbidez	Color	pH		
Análisis (Datos iniciales)		13,4	100	7,34		
JARRA	1	2	3	4	5	6
Sulfato (mg/l)	5	10	15	20	25	30
Regulante	-	-	-	-	-	-
Sulfato (cm3)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Polímero (cm3)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Tiempo colocar polímero (min)	10	10	10	10	10	10
Turbidez Final	0,46	0,3	0,424	0,224	0,328	0,908
pH Final	7.06	6.88	6,69	6,57	6,44	6,24
Color Final	0	0	0	0	0	16



Ensayo con turbidez alta						
		Turbidez	Color	pH		
Análisis (Datos iniciales)		35	140	6,89		
JARRA	1	2	3	4	5	6
Sulfato (mg/l)	20	25	30	35	40	45
Regulante	15	15	15	15	15	15
Sulfato (cm3)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Polímero (cm3)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Regulante (cm3)	3	3	3	3	3	3
Tiempo colocar polimero (min)	10	10	10	10	10	10
Turbidez Final	0,833	0,635	0,62	0,94	1,75	2,03
pH Final	6,91	6,81	6,72	6,66	6,58	6,55
Color Final	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración -Autor



ANEXO 5: DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE PRUEBAS DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE POLÍMERO

Tabla 22 Datos obtenidos en los ensayos de pruebas de jarras para determinación dosis óptima de polímero

DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE PRUEBAS DE JARRAS PARA DETERMINACIÓN DOSIS ÓPTIMA DE POLÍMERO						
Ensayo con turbidez baja						
		Turbidez	Color	pH		
	Análisis (Datos iniciales)	0,523	2	7,55		
JARRA	1	2	3	4	5	6
Sulfato (mg/l)	12	12	12	12	12	12
Regulante	-	-	-	-	-	-
Sulfato (cm3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Polímero (cm3)	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Tiempo colocar polímero (min)	10	10	10	10	10	10
Turbidez Final	0,176	0,219	0,227	0,151	0,195	0,189
pH Final	6,91	6,77	6,76	6,66	6,59	6,52
Color Final	0	0	0	0	0	0
Ensayo con turbidez media						
		Turbidez	Color	pH		
	Análisis (Datos iniciales)	12,9	80	7,28		
JARRA	1	2	3	4	5	6
Sulfato (mg/l)	20	20	20	20	20	20
Regulante	-	-	-	-	-	-
Sulfato (cm3)	2	2	2	2	2	2
Polímero (cm3)	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Tiempo colocar polímero (min)	10	10	10	10	10	10
Turbidez Final	0,9	0,274	0,265	0,127	0,258	0,539
pH Final	7.19	6,48	6,48	6,56	6,47	6.50
Color Final	0	0	0	0	0	0



Ensayo con turbidez alta						
		turbidez	color	pH		
Análisis (Datos iniciales)		109	908	6,54		
JARRA	1	2	3	4	5	6
Sulfato (mg/l)	80	80	80	80	80	80
Regulante	15	15	15	15	15	15
Sulfato (cm3)	8	8	8	8	8	8
Polímero (cm3)	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Tiempo colocar polímero (min)	3	3	3	3	3	3
Turbidez Final	10	10	10	10	10	10
pH Final	0,887	0,864	0,823	0,423	0,502	0,812
Color Final	6,68	6,74	6,67	6,69	6,59	6,59
	15	16	17	14	12	16

Fuente: Elaboración -Autor



ANEXO 6: DATOS DE ENSAYO DE DEMANDA DE CLORO

Tabla 23 Datos promedio de ensayos Demanda de Cloro

Dosificación de Cloro (lb/in2/ Día)	Cloro Residual (mg/l)
0,00	0,68
0,50	0,85
1,00	0,93
1,50	0,98
2,00	0,89
2,50	1,00
3,00	1,29

Fuente: Elaboración -Autor



ANEXO 7: MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE POTABILIZACION DE RUDIO



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTA
PERTENECIENTE A LA PLANTA DE POTABILIZADORA DE AGUA
“RUDIO”**



AUTORES:

ROSA JEANNELA AGUILAR RAMÍREZ

PAMELA MARTINA ZUÑIGA DELGADO

DIRECTOR(A):

ING. SONIA MARGOTH ASTUDILLO OCHOA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS: INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSIDAD DE CUENCA

CUENCA

2020



1. PRESENTACIÓN DEL MANUAL

En el presente documento se pone a disposición la información técnica más importante acerca del funcionamiento y mantenimiento de Planta de Potabilización de Agua Rudio, desde la zona de captación hasta el tanque de almacenamiento.

2. OBJETIVO

- Optimizar y facilitar el uso y mantenimiento de las diferentes unidades de tratamiento y equipos en Planta de Potabilización de Agua Rudio.

3. ALCANCE

Este manual se aplica para Planta de Potabilización de Agua Rudio ubicada en el sector del mismo nombre, perteneciente a la Junta Administradora de Agua Potable Baños (JAAP Baños), de la ciudad de Cuenca, parroquia “Baños”, desde la captación: río Minas en el sector Zhiñan, hasta el tanque de almacenamiento.

4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

- **Agua Potable:** Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano (INEN, 2020).
- **Agua cruda:** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas (INEN, 2020).
- **Capacidad máxima:** Máximo volumen de producción que puede obtenerse durante un periodo de tiempo determinado (Wolters Kluwer, 2020).
- **Calidad del agua:** Medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies, necesidad humana o propósito (Chang Gómez, 2016).
- **Coagulante:** Reactivo químico que se adiciona al agua para lograr la formación de medios más grandes, que sedimentan rápidamente (COGOLLO FLÓREZ, 2009).



- **Coloides:** Dispersión de moléculas pequeñas que forman agregados (Lozano, 2005).
- **Desinfección:** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública (INEN, 2020).
- **Dosis óptima:** Produce el efecto deseado administrada de manera precisa dando lugar a una rápida reacción (Bedoya & Girarldo, 2012).
- **Filtro:** Equipo constituido de material granular para remover partículas en suspensión (Vargas, 2004).
- **Limpieza:** Acción y efecto de eliminar suciedad de una superficie mediante métodos físicos o químicos (Aguilar, 2017).
- **Potabilización:** Conjunto de tratamientos que permiten que el agua sea apta para el consumo humano y pueda beberse con garantía de calidad (Gobierno de Aragón, 2019).

5. NOMENCLATURA

Tabla 24 Nomenclatura de válvulas compuerta

Nomenclatura	Descripción	Diámetro (mm)
C1	Ingreso a mezcla rápida	250
C2	Desagüe limpieza mezcla rápida	200
C3	By pass de mezcla rápida a filtros	200
C4	Desagüe limpieza del floculador	150
C5	Desagüe limpieza del floculador	150
C6	Desagüe limpieza del floculador	150
C7	Desagüe limpieza de filtros	150
C8	Desagüe limpieza de filtros	150
C9	Desagüe limpieza de filtros	150
C10	Desagüe limpieza de filtros	150
C11	Desagüe limpieza de cloración	150



C12	Desagüe limpieza de cloración	150
C13	Desagüe limpieza tanque reserva	200
C14	Ingreso al tanque reserva	200
C15	Salida del tanque de reserva	200
C16	Ingreso a la fosa séptica	110
C17	By pass hacia el alcantarillado ext.	110

Fuente: Elaboración -JAAP Baños

Tabla 25 Nomenclatura de válvulas mariposa

Nomenclatura	Descripción	Diámetro (mm)
M1	Desagüe canal agua floculada	150
M2	Limpieza de tolvas decantador	200
M3	Limpieza de tolvas decantador	200
M4	Limpieza de retro lavado filtros	150
M5	Limpieza de retro lavado filtros	150
M6	Limpieza de retro lavado filtros	150
M7	Limpieza de retro lavado filtros	150
M8	Ingreso a filtros	150
M9	Ingreso a filtros	150
M10	Ingreso a filtros	150
M11	Ingreso a filtros	150
M12	Ingreso a Cámara de cloración	150
M13	Ingreso a Cámara de cloración	150
M14	Ingreso a Cámara de cloración	150
M15	Ingreso a Cámara de cloración	150
M16	Retro lavado de filtros	150
M17	Retro lavado de filtros	150
M18	Retro lavado de filtros	150
M19	Retro lavado de filtros	150

Fuente: Elaboración -JAAP Baños

Tabla 26 Nomenclatura de compuertas

Nomenclatura	Descripción	Dimensiones
H1	Compuerta ingreso al floculador	500x500
H2	Compuerta salida del floculador	800x800
H3	Compuerta ingreso decantador	800x800

Fuente: Elaboración -JAAP Baños

6. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La Junta Administradora de Agua Potable de Baños, es una organización comunitaria, encargada de procesar y gestionar el servicio de agua potable, que tiene como área de influencia a los sectores de Baños, Narancay, Huizhil, Misicata, Santa Marianita, Unión, Cdla. Turística y otros.

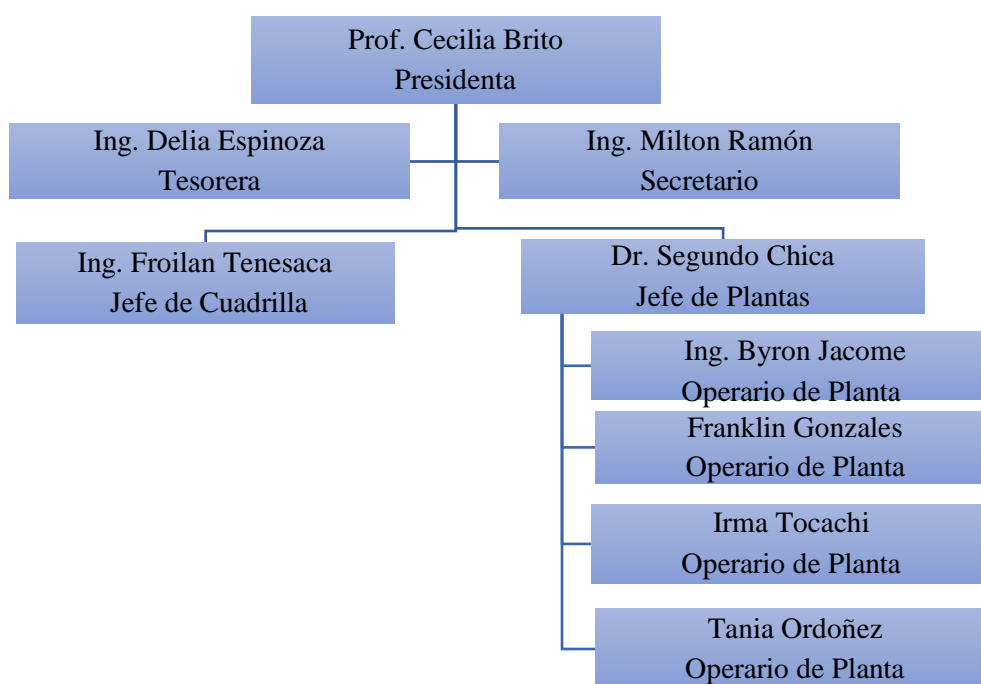


Gráfico 1 Organigrama.

Fuente: Elaboración -Autor

7. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA

La planta potabilizadora de Rudio es una planta de tratamiento de agua potable convencional de hormigón armado, diseñada para procesar hasta un caudal de 33 l/s procedente del río Minas a través de una conducción de 6,2 km, está ubicada en el sector de Rudio a 7 km de distancia desde la plaza central de Baños.



La red de distribución de este nuevo proyecto se va a dividir en tres grandes ramales: el primer ramal distribuye el agua desde la planta de tratamiento hasta el sector de Barabon, el segundo ramal distribuye el agua desde la planta de tratamiento hasta el sector de Guadalupano alto y el tercer ramal distribuye el agua desde la planta de tratamiento hasta el sector de Minas.

8. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

El agua a tratar ingresa a la unidad de mezcla rápida, en donde por medio de un vertedero rectangular se producirá un resalto hidráulico, mezclando el agua cruda con sulfato de aluminio generando un proceso de coagulación de lodos.

El agua mezclada ingresa al floculador, el cual tiene como función permitir una circulación lenta, con un tiempo de circulación del agua desde el ingreso hasta la salida del floculador, tiempo y velocidades óptimas para permitir que se formen flóculos con peso y volumen.

El agua floculada ingresa a un canal inferior central, el cual se encarga de distribuir el agua a dos cámaras laterales por medio tubos de 2", en estas cámaras el agua tiene un flujo ascendente, en donde los flóculos con mayor peso descenderán al fondo de cada cámara y los flóculos livianos que aún flotan en el agua, serán retenidos por un conjunto de placas inclinadas a 60 grados, las cuales tienen el nombre de placas ABS.

El agua que sobrepasa las placas ABS es recolectada en un canal superior central mediante tuberías horizontales de 200mm.

El agua decantada es transportada a cada uno de los cuatro filtros a través de tubería de 150mm, en donde el agua ingresa de forma descendente pasando por una serie de filtros: antracita, arena, grava y por último las vigas californianas (vigas en V perforadas), filtros encargados de retener cualquier tipo de bacteria aún existente en el agua. El agua filtrada llega a una cámara común por medio de cuatro tuberías de 150 mm correspondiente a la salida de cada filtro.

El agua filtrada ingresa a la cámara de cloración en donde se mezcla con una dosificación de cloro en un vertedero de acero inoxidable ubicado al ingreso de

la cámara, posteriormente el agua clorada realiza una circulación a través de varias pantallas, permitiendo una correcta cloración.

El agua clorada ingresa a un tanque de reserva con capacidad de 500m³, el mismo que permite el almacenamiento y la distribución del agua potable a la red de distribución a través de una tubería de PVC de 200mm.

9. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

La planta de tratamiento posee los procesos convencionales de potabilización, por lo cual está conformada por las siguientes unidades, en donde cada una de ellas cumple una determinada función en el proceso de potabilización del agua.

- Captación
- Unidad de mezcla rápida
- Floculador horizontal
- Decantador laminar
- Filtro rápido descendente
- Cámara de cloración
- Tanque de reserva



*Imagen 1 Vista general de la planta potabilizadora de Rudío.
Fuente: Elaboración-Autor*

9.1. CAPTACIÓN E INGRESO A LA PLANTA

Las aguas superficiales provenientes de ríos, son vulnerables a contaminación con materia orgánica e inorgánica, es por ello que la captación para su potabilización se realiza por medio de tomas de agua y es conducida hasta las plantas potabilizadoras por medio de tuberías (Andrés, 2019)

- **OBJETIVO**

Captar la cantidad necesaria de agua del río Minas para su posterior potabilización.

- **DESCRIPCIÓN**

La captación procedente del río Minas ubicado en el sector Rudio, aquí el caudal puede ser regulado manualmente por medio de compuertas; el agua es conducida a la planta mediante tuberías de PVC de 160mm, en el ingreso a la planta también existe un sistema de regulación mediante válvulas de acuerdo al flujo de agua cruda que se desea tratar. Para la entrada del agua cruda, la planta cuenta con una unidad de recepción de flujo ascendente, donde el caudal se regula mediante una válvula de compuerta (C1).



*Imagen 2 Captación río Minas.
Fuente: Elaboración-Autor*

**- INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 27 Tabla de inspección preliminar en la captación.

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Revisión de la rejilla.	El operador deberá revisar el óptimo estado de la rejilla en la entrada de la captación, es decir, que este libre de escombros y basura, que puedan causar obstrucciones	Cuadrillero de la planta
2	Verificar el estado de la fuente de abastecimiento.	El operador deberá verificar que exista suficiente cantidad de agua para que se capte el caudal necesario para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable.	Operador de la planta

Fuente: Elaboración -Autor



- **OPERACIÓN**

- ◆ Cada 6 horas tomar lectura del caudal de entrada a la planta potabilizadora.
- ◆ Revisar variaciones de caudal y cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua de ingreso a la planta.
- ◆ Informar al Jefe de Planta cualquier anomalía y registrarla en REGISTRO CDA.

- **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

- ◆ Limpiar las rejillas retirando hojas, troncos o cualquier residuo presente.
- ◆ Abrir o cerrar la válvula de compuerta (C1), según el caudal de agua que se necesite.
- ◆ Verificar el funcionamiento de las válvulas y lubricarlas, de ser necesario.
- ◆ Tener en cuenta los cambios en el caudal de entrada a la planta y en los parámetros del agua cruda, especialmente la turbidez.
- ◆ Desviar el ingreso de agua a la planta mediante la válvula de compuerta (C2) cuando el agua esté muy turbia o tenga mucha suciedad y reportar al jefe de plantas sobre esta situación.
- ◆ Mantener despejada el área adyacente a la tubería, para facilitar la inspección.
- ◆ Detectar y eliminar conexiones no autorizadas

9.2. COAGULACIÓN (MEZCLA RÁPIDA)

El proceso de coagulación consiste en añadir al agua determinado producto químico con propiedades coagulantes, para neutralizar la carga eléctrica de los coloides, agrupándolos y formando así un precipitado denominado flóculo, este proceso se lleva a cabo en cámaras de mezcla rápida, posteriormente para ser removidos con facilidad en los procesos de sedimentación y filtración (El CEPIS, 2002).

- **OBJETIVO**

Neutralizar la carga eléctrica de los coloides de modo que las partículas que se encuentran en suspensión o solución pueden ser removidas por sedimentación y filtración.

- **DESCRIPCIÓN**

El sistema de coagulación de la Planta de Rudio consta de un sistema de mezcla rápida mediante un vertedero rectangular con resalto hidráulico, la dosificación se realiza mediante un sistema de flauta que distribuyen el coagulante de manera uniforme a través de todo el largo del vertedero de mezcla rápida.



*Imagen 3 Vertedero rectangular
Fuente: Elaboración-Autor*

- **INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 28 Tabla de inspección preliminar en la coagulación

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Verificar existencia de coagulante	El operador deberá verificar que exista suficiente sulfato de aluminio preparado, que cumpla con los estándares de calidad para operar	Operador de la planta



2	Comprobar estado óptimo de equipo de dosificación	El operador deberá comprobar y asegurar que no existan obstrucciones en el sistema de dosificación, ni disminución en el flujo de dosificación.	Operador de la planta.
---	---	---	------------------------

Fuente: Elaboración -Autor

- **OPERACIÓN**

- ◆ Medir cada 6 horas los parámetros de caudal, turbiedad, color y pH del agua cruda, y colocar en el REGISTRO COP.
- ◆ Registrar cada 6 horas la dosis óptima de sulfato de aluminio aplicada en función a los parámetros ya determinados.
- ◆ Controlar visualmente cada 2 horas la correcta formación del flóculo antes de la dosificación del floculante.
- ◆ Verificar visualmente que existe la suficiente agitación en la estructura y la aplicación del coagulante sobre toda la masa de agua.
- ◆ Retirar con el equipo de limpia piscinas la espuma.

- **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

- ◆ Disminuir el caudal de ingreso a la planta cerrando media vuelta la válvula de compuerta C1.
- ◆ Abrir en su totalidad válvula de compuerta C2 y dejar que la unidad vacíe por completo.
- ◆ Limpiar con escoba y agente desinfectante el piso y las paredes de la unidad
- ◆ Retirar la suciedad y el agente desinfectante mediante agua a presión.
- ◆ Desfogar agua de limpieza a través de desagüe, y posterior cerrar válvula de compuerta C2.



- ◆ Abrir totalmente la válvula de compuerta C1.

9.3. REGULANTE DE PH

Según INEN 1108, 2020 el rango óptimo de pH en el agua potable es de 6,5 a 8.

Cuando el agua es demasiado ácida, es decir pH menor a 6,5, puede causar un problema para el organismo e influir en su sabor, por ello es necesario contar con un sistema regulador de pH, esto se requiere cuando el agua cruda presenta un color mayor a 100 Pt-Co o una turbidez mayor a 20 NTU, sin embargo, estos datos no se presentan con frecuencia en la planta de tratamiento de Rudio.

El químico utilizado es una mezcla de carbonatos, hidróxidos de calcio y generador de sodio al ingreso del agua cruda, para mantener en un pH alcalino, debido a que los químicos que se dosifican en los procesos de coagulación y floculación pueden alterar el pH,

- **PREPARACIÓN**

- ◆ Pesar 4,5 Kg de Regulante.
- ◆ Prender el agitador eléctrico 1 por 30 min.
- ◆ Añadir poco a poco el Regulante mientras se va llenando el tanque.
- ◆ Llenar el tanque hasta la marca indicada (450 L)

- **MANEJO DEL REGULANTE DE PH**

- ◆ Diariamente observar el estado del regulante almacenado
- ◆ Utilizar regulante de pH de acuerdo al orden de llegada.
- ◆ El operador de planta debe utilizar los elementos de protección personal para la preparación del regulante de pH.

9.3.1. SULFATO DE ALUMINIO

En la etapa de coagulación es necesario desestabilizar las partículas coloidales para lo cual se agrega un agente coagulante, generalmente se utiliza el Sulfato de Aluminio (Al_2O_3), por capacidad de formar precipitados con las partículas del agua que se encuentran en suspensión, así también es de fácil adquisición y de bajo costo. Se requiere determinar la dosis óptima de Sulfato de Aluminio ya que un exceso de este evita la remoción de la turbidez (Barajas & León, 2015).



Para obtener la dosis optima de Sulfato de Aluminio se realizan pruebas de jarras, dichos resultados se representan en una curva de dosificación que se presenta en el Anexo 1.

- **PREPARACIÓN**

- ◆ Pesar 9 Kg de $(SO_4)_3 Al_2$
- ◆ Prender el agitador eléctrico por 30 min
- ◆ Añadir poco a poco el $(SO_4)_3 Al_2$ mientras se va llenando el tanque
- ◆ Llenar el tanque hasta la marca indicada (450 L)

- **MANEJO DEL SULFATO DE ALUMINIO**

- ◆ Diariamente observar el estado del sulfato de aluminio almacenado
- ◆ Utilizar el sulfato de aluminio de acuerdo al orden de llegada.
- ◆ El operador de planta debe utilizar los elementos de protección personal para la preparación del sulfato de aluminio.

9.4. FLOCULACIÓN

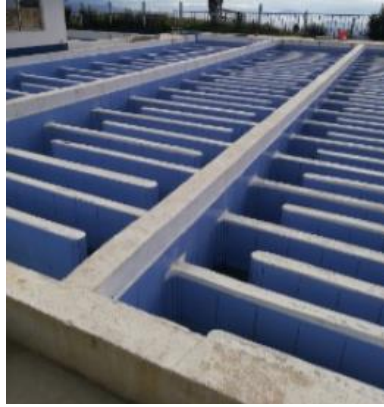
Luego de la etapa de coagulación, continúa con la formación y el crecimiento de los *flóculos* por medio de la aglomeración de los mismos para su aumento de tamaño. Para esto se le somete a una agitación lenta en las unidades de floculación, después de la mezcla rápida se distribuye el agua para cada módulo. Para la remoción de lodos que se acumulan en el fondo del floculador, se la realiza por medio de una tubería ubicada al fondo de la unidad, con orificios que recolectan el lodo, esto evita la obstrucción para el paso del agua (Vargas, 2004).

- **OBJETIVO**

Realizar una agitación suave y moderada para formar los *flóculos* pesados para una buena sedimentación

- **DESCRIPCIÓN**

La planta de tratamiento posee tres floculadores de flujo vertical, en donde se coloca el floculante mediante un sistema de dosificación flauta.



*Imagen 4 Unidades de floculación
Fuente: Elaboración-Autor*

- **INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 29 Tabla de inspección preliminar en la floculación

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Verificar existencia de floculante	El operador deberá verificar que exista suficiente polímero preparado, que cumpla con los estándares de calidad para operar	Operador de la planta
2	Comprobar estado óptimo de equipo de dosificación	El operador deberá comprobar y asegurar que no existan obstrucciones en el sistema de dosificación, ni disminución en el flujo de dosificación.	Operador de la planta.

Fuente: Elaboración -Autor



- **OPERACIÓN**

- ◆ Verificar la aplicación del coagulante en el sistema de mezcla rápida.
- ◆ Mantener el caudal de diseño constantemente con el fin de garantizar un flóculo adecuado.
- ◆ Inspección visual del agua floculada para controlar el tamaño del flóculo.
- ◆ Informar si existen daños en la estructura o cualquier anomalía presentada y registrarla en REGISTRO CDA.

- **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

- ◆ Abrir la válvula de compuerta C3 para desviar el agua hacia la unidad de filtración.
- ◆ Cerrar ingreso y salida a la unidad de floculación H1 y H2 respectivamente.
- ◆ Abrir los desagües de cada floculador C4, C5 y C6.
- ◆ Limpiar con escoba y agente desinfectante el piso, paredes y pantallas del floculador.
- ◆ Desfogar el agua de limpieza a través de sus respectivos desagües y cerrar las válvulas.
- ◆ Abrir el ingreso y salida a la unidad de floculación H1 y H2 respectivamente.
- ◆ Cerrar la válvula de compuerta C3.

9.4.1. POLÍMERO LIPESA 1560 PWG

El objetivo de la etapa de floculación es de aglomerar las partículas coloidales desestabilizadas en la etapa de coagulación, es decir, incrementar en el tamaño del floculo para que se pueda dar una sedimentación más rápida en menor tiempo, para lo cual se coloca el polímero orgánico de alto peso molecular LIPESA 1560 PWG, este polímero catiónico se aplica en bajas concentraciones, la dosis óptima obtenida mediante el ensayo de prueba de jarras es de 0,16mg/l (Romero et al., 2007)

- **PREPARACIÓN**

- ◆ Pesar 90 g de Polímero
- ◆ Prender el agitador eléctrico por 30 min

- ◆ Añadir poco a poco el Polímero mientras se va llenando el tanque
- ◆ Llenar el tanque hasta la marca indicada (450 L)
- **MANEJO DEL POLIMERO**
- ◆ Diariamente observar el estado del polímero almacenado
- ◆ Utilizar el polímero de acuerdo al orden de llegada.
- ◆ El operador de planta debe utilizar los elementos de protección personal para la preparación del Polímero.

9.5. SEDIMENTACIÓN

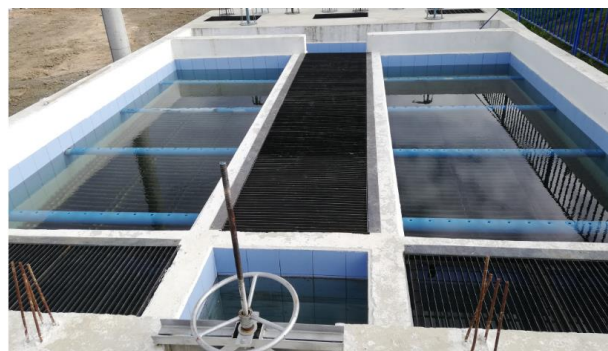
La sedimentación es un proceso de separación de sólidos en suspensión presentes en un líquido, en este caso el agua, por efecto de la fuerza de gravedad de estas, por lo que su peso específico será mayor al del líquido, de esta forma se podrá obtener un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Martín et al., 2011).

- **OBJETIVO**

Remover los flóculos formados en el proceso de coagulación-floculación.

- **DESCRIPCIÓN**

En la planta el proceso de sedimentación se realiza en dos decantadores de flujo ascendente que constan de un sistema de placas ABS con una inclinación de 60°, la salida de agua decantada se la realiza por tubos perforados de acero laminado de 15mm de diámetro, ubicados en la parte superior de cada sedimentador.



*Imagen 5 Unidades de sedimentación
Fuente: Elaboración-Autor*

**- INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 30 Tabla de inspección preliminar en la sedimentación

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Verificar sedimentadores	El operador de la Planta deberá verificar permanentemente el funcionamiento de los sedimentadores.	Operador de la planta

Fuente: Elaboración -Autor

- OPERACIÓN

- ◆ Verificar el correcto funcionamiento de las unidades de coagulación y floculación.
- ◆ Inspeccionar daños en la estructura, informarlos y colocarlos en el REGISTRO CDA.
- ◆ Revisar que las dos unidades mantengan el mismo nivel de agua.

- ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

- ◆ Realizar el mantenimiento cada 15 días de la siguiente manera.
- ◆ Abrir la válvula de compuerta C3.
- ◆ Cerrar compuerta H3
- ◆ Abrir válvulas de mariposa M1, M2 y M3.
- ◆ Limpiar con escoba y agente desinfectante el piso y paredes del decantador.
- ◆ Limpiar la parte inferior de las placas ABS desde las tolvas.
- ◆ Limpiar la parte superior de las placas ABS sin apoyarse en ellas.
- ◆ Cerrar las válvulas de mariposa M1, M2 y M3
- ◆ Cerrar válvula de compuerta C3.

Cuando hay acumulación excesiva de flóculos en las tolvas de limpieza del decantador, no se necesita una limpieza completa de la unidad, solamente la purga.



- ◆ Abrir las válvulas mariposa M2 y M3 de manera rápida por 3 minutos.
- ◆ Pasado ese tiempo cerrar M2 y M3.

Cuando se realiza la limpieza de manera conjunta de las dos unidades debido a que se restringe el acceso de agua hacia ellas, permitiendo el paso directo del agua cruda a los filtros a través del by pass.

- ◆ Abrir la válvula de compuerta C3 para desviar el ingreso de agua hacia los filtros.
- ◆ Cerrar la compuerta H1 para evitar el ingreso de agua y abrir las válvulas de compuerta C4, C5 y C6 para vaciar las unidades de floculación
- ◆ Limpiar con escoba el piso, paredes y pantallas del floculador.
- ◆ Desfogar el agua de limpieza a través de sus respectivos desagües.
- ◆ Abrir la válvula de mariposa M1 para retirar el agua de limpieza
- ◆ Cerrar las compuertas H2 y H3.
- ◆ Abrir las válvulas de mariposa M2 y M3 para vaciar la tolva
- ◆ Limpiar con escoba piso y paredes del decantador.
- ◆ Limpiar la parte inferior de las placas ABS desde las tolvas.
- ◆ Limpiar la parte superior de las placas ABS sin apoyarse en ellas.
- ◆ Cerrar las válvulas de mariposa M2 y M3
- ◆ Abrir las compuertas H1, H2 y H3
- ◆ Cerrar las válvulas mariposa C4, C5, C6 y finalmente C3.

9.6. FILTRACIÓN

El proceso de filtración consiste en hacer pasar el agua tratada a través de lechos de materiales granulares, para separar las partículas más pequeñas suspendidas en el agua, esta etapa se realiza para la purificación del agua, estos filtros pueden ser abiertos o cerrados (Academias, 2007).

- **OBJETIVO**

Remover las impurezas que no fueron eliminadas en el proceso de sedimentación, mediante cuatro filtros.

- **DESCRIPCIÓN**

El proceso de filtración se lleva a cabo en 4 filtros rápidos rectangulares abiertos con lecho filtrante de grava, arena y antracita.



*Imagen 6 Filtros rápidos
Fuente: Elaboración-Autor*

- **INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 31 Tabla de inspección preliminar en la filtración

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Verificar las válvulas de entrada y salida de la unidad de filtración	El operador de la planta debe verificar el correcto funcionamiento de las válvulas, para evitar posibles fugas.	Operador de la planta

Fuente: Elaboración -Autor

- **OPERACIÓN**

- ◆ Monitorear la calidad del agua a la salida de los filtros, mediante la determinación de la turbiedad, cada 24 horas, y registrar en REGISTRO COP.
- ◆ Mantener el nivel de agua adecuado en todas las unidades de filtración.
- ◆ Realizar el lavado de los filtros cada 24 horas o cuando sea necesario, y registrar en REGISTRO CLD.
- ◆ Informar al Jefe de Planta cuando se detecten daños o anomalías en el proceso y registrar en REGISTRO CDA.



- **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

La limpieza de los filtros se realiza de manera individual mediante un proceso llamado retro lavado, con un tiempo de duración de 8 minutos por cada filtro.

Para filtro 1:

- ◆ Cerrar la válvula de mariposa M12.
- ◆ Abrir la válvula de limpieza M4 para vaciar la unidad de filtración.
- ◆ Abrir la válvula mariposa M16 para el ingreso del agua y así realizar el retrolavado del filtro.
- ◆ El proceso de limpieza dura 8 minutos.
- ◆ Cerrar M16 para terminar con el proceso de retrolavado.
- ◆ Cerrar M4 y abrir M12.

Para filtro 2:

- ◆ Cerrar la válvula de mariposa M13.
- ◆ Abrir la válvula de limpieza M5 para vaciar la unidad de filtración.
- ◆ Abrir la válvula mariposa M17 para el ingreso del agua y así realizar el retrolavado del filtro.
- ◆ El proceso de limpieza dura 8 minutos.
- ◆ Cerrar M17 para terminar con el proceso de retrolavado.
- ◆ Cerrar M5 y abrir M13.

Para filtro 3:

- ◆ Cerrar la válvula de mariposa M14.
- ◆ Abrir la válvula de limpieza M6 para vaciar la unidad de filtración.
- ◆ Abrir la válvula mariposa M18 para el ingreso del agua y así realizar el retrolavado del filtro.
- ◆ El proceso de limpieza dura 8 minutos.
- ◆ Cerrar M18 para terminar con el proceso de retrolavado.
- ◆ Cerrar M6 y abrir M14.



Para filtro 4:

- ◆ Cerrar la válvula de mariposa M15.
- ◆ Abrir la válvula de limpieza M7 para vaciar la unidad de filtración.
- ◆ Abrir la válvula mariposa M 19 para el ingreso del agua y así realizar el retrolavado del filtro.
- ◆ El proceso de limpieza dura 8 minutos.
- ◆ Cerrar M19 para terminar con el proceso de retrolavado.
- ◆ Cerrar M7 y abrir M15.

9.7. DESINFECCIÓN

El objetivo de la desinfección es garantizar la calidad del agua, mediante la eliminación de microorganismos presentes en ella, asegurando así que sea inocua para la salud del consumidor. El agente de desinfección más utilizado en el proceso de potabilización del agua por su disponibilidad en el mercado en diferentes presentaciones, fácil dosificación y bajo costo es el cloro, ya que desinfecta, previene y destruye olores. Sin embargo, presenta algunas desventajas como su alta corrosividad y la facilidad que tiene para alterar el sabor del agua. Para el manejo y almacenamiento se requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores (El CEPIS, 2002).

- **OBJETIVO**

Eliminar agentes patógenos que no han sido removidos en los procesos previos de potabilización y que son nocivos para la salud de los consumidores.

- **DESCRIPCIÓN**

El proceso de cloración se realiza en la cámara de contacto donde se dosifica cloro gas en la masa de agua y después de un tiempo de mezcla de 20 minutos pasa al tanque de almacenamiento final, a través de un vertedero rectangular.



*Imagen 7 Cámara de contacto
Fuente: Elaboración-Autor*

- **INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 32 Tabla de inspección preliminar en la desinfección

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Verificar que exista cloro gas suficiente para realizar el proceso de desinfección	El operador de la planta debe verificar visualmente mediante la lectura de la presión la existencia de cloro gas suficiente para realizar el proceso de desinfección.	Operador de la planta
2	Verificar el caudal de trabajo	El operador de la planta debe realizar la lectura del caudal de trabajo para poder realizar la dosificación de cloro gas	Operador de la planta



3	Verificar las válvulas de entrada y salida de la unidad de desinfección	El operador de la planta debe verificar el correcto funcionamiento de las válvulas	Operador de la planta
---	---	--	-----------------------

Fuente: Elaboración -Autor

- **OPERACIÓN**

- ◆ Inspeccionar que no se den fugas de cloro.
- ◆ Registrar la cantidad de cloro suministrado y la concentración de cloro residual en el tanque de almacenamiento en el REGISTRO CCG.
- ◆ Determinar y registrar la cantidad de cloro consumido cada 24 horas.
- ◆ Inspección visual para identificar que no exista presencia de material extraño, fugas o daños en los tanques de almacenamiento y colocar en el REGISTRO CDA.

9.8. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El agua desinfectada se debe almacenar en depósitos protegidos, bien conservados y limpios, para evitar la contaminación del agua, el tanque de almacenamiento debe mantener las presiones adecuadas en la red de distribución, los cuales pueden ser de forma cuadrada, rectangular o redonda, elevado o enterrado de acuerdo al diseño general de la planta (Koutoudjian, 2019).

- **DESCRIPCIÓN**

Finalmente, el agua tratada es almacenada en una unidad de 14m x 14m con una capacidad de 500 m³, y la distribución del agua potable se realiza a través de una tubería de PVC de 200mm.



*Imagen 8 Unidad de almacenamiento de agua tratada
Fuente: Elaboración-Autor*

- **INSPECCIÓN PRELIMINAR**

Tabla 33 Tabla de inspección preliminar en la unidad de almacenamiento

ETAPAS	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	Verificar el nivel de agua en el tanque de almacenamiento.	El operador de la planta debe verificar que el nivel de agua presente en el tanque de almacenamiento no sea menor a los 4 escalones.	Operador de la planta
2	Verificar las válvulas de entrada y salida de la unidad de almacenamiento	El operador de la planta debe verificar el correcto funcionamiento de las válvulas para evitar fugas.	Operador de la planta

Fuente: Elaboración -Autor

- **OPERACIÓN**

- ◆ Determinar los parámetros de turbiedad, color, pH y cloro residual del agua tratada y registrar en REGISTRO COP cada 6 horas y ajustar la dosificación de regulante de pH, coagulante, floculante y cloro gas en función de los parámetros obtenidos.

- ◆ Determinar los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua tratada y registrar en REGISTRO ADL dos veces a la semana.
- ◆ Verificar y registrar cada hora el nivel del tanque de almacenamiento en el REGISTRO DE COP.

- **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

Se restringirá el ingreso de agua clorada al tanque de reserva, mientras que todas las unidades restantes seguirán llenas de agua.

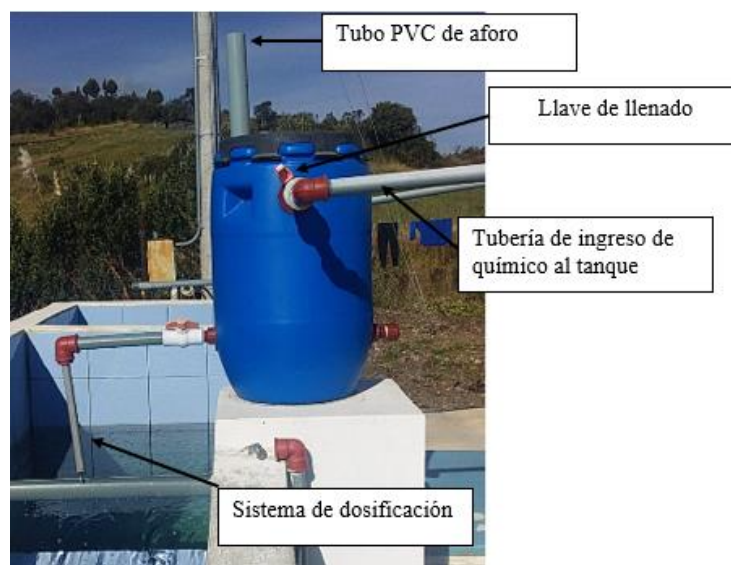
- ◆ Cerrar C14 para evitar el ingreso del agua al tanque de reserva y abrir C13 para realizar la limpieza de la unidad.
- ◆ Limpiar los sólidos recogidos en el canal de limpieza y desfogarlos por el alcantarillado mediante la válvula C17.
- ◆ Cerrar la válvula C13 terminando el proceso de limpieza y abrir C14.

10. DOSIFICADORES

10.1. DOSIFICADOR DE REGULANTE DE PH, SULFATO DE ALUMINIO Y POLÍMERO

10.1.1. ESPECIFICACIONES

Tanques de PVC con una capacidad de 60 litros, que tiene con un sistema de flauta para la dosificación, un tubo PVC permite el aforo del tanque.



*Imagen 9 Tanque de dosificación de químicos
Fuente: Elaboración-Autor*



10.1.2. OPERACIÓN

- ◆ Abrir la llave de paso de los tanques de preparación de químicos.
- ◆ Abrir la llave dosificadora.
- ◆ Con el tubo PVC de aforo dar las vueltas necesarias según el Anexo 2 de acuerdo a los parámetros del agua de ingreso.
- ◆ Verificar que el químico se dosifique uniformemente a toda la masa de agua.

10.1.3. MANTENIMIENTO

- ◆ Cerrar la llave de paso de los tanques de preparación de químicos.
- ◆ Retirar el tubo PVC de aforo.
- ◆ Limpiar con esponja las paredes del tanque el tubo PVC y el sistema de flauta.
- ◆ Enjuagar con agua limpia el tanque y cada una de las partes retiradas.
- ◆ Volver a colocar todas las piezas retiradas.
- ◆ Abrir la llave de paso de los tanques de preparación de químicos.

10.2. DOSIFICADOR DE CLORO

Para completar el proceso de potabilización del agua fue necesario determinar la dosis óptima de cloro gaseoso, en un caudal de 22,02 l/s y con un tiempo de contacto de 32 min, determinando cloro residual, dosificando diferentes cantidades de cloro gas. Con estos datos se obtuvo gráfica de Demanda de Cloro (Anexo 3) donde el punto de ruptura es de 2 lb/Día, siendo esta la cantidad óptima para la dosificación de cloro.

10.2.1. ESPECIFICACIONES

La unidad dosificadora de cloro gas con capacidad de 68 kg, cuenta con un regulador de presión con rotámetro en escala de libras/día y gramos/hora, además de un difusor para descarga en el tanque, una manguera 3/8 para gas cloro y una llave para cilindro de cloro.



Imagen 10 Dosificador de cloro gas
Fuente: Elaboración-Autor

10.2.2. OPERACIÓN

- ◆ Determinar el caudal de agua que ingresa a la planta.
- ◆ Abrir la válvula de dosificación.
- ◆ Verificar que no existan obstrucciones ni fugas en la cámara de contacto.



11. BIBLIOGRAFIA

Academies, N. (2007, septiembre 1). *Safe Drinking Water Is Essential* [Text].

Reports from the National Academies; National Academies.

<https://www.koshland-science->

[museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html](https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html)

Aguilar, J. (2017). *Protocolo de limpieza, desinfección y esterilización del material, equipamiento y sanitarios*. Málaga.

<http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/esteril.pdf>

Andrés, C. J. M. (2019). *Potabilización del agua*. Editorial Elearning, S.L.

Barajas, C., & León, A. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO (Al₂(SO₄)₃ 18H₂O) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL*. [UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS].

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bedoya, D., & Girardo, M. (2012). *DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VILLA SANTANA* [Universidad Tecnológica de Pereira].

[http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622H565.p
df](http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622H565.pdf)



Chang Gómez, J. (2016). *Calidad del Agua*. 1, 72.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf>

COGOLLO FLÓREZ, J. M. (2009). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *Ingeniero de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia*.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/25636/39133>

EL CEPIS. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. CETESB.

[http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf)

Gobierno de Aragón. (2019). *¿Cómo se potabiliza el agua?*. Aragon.

<https://www.aragon.es/-/como-se-potabiliza-el-agua->

INEN 1108, 2020. *Agua Para Consumo Humano Requisitos*. [online] Google Docs.

Available at: <https://drive.google.com/file/d/18RCGwTBz2lsWBbOayg_kMmDDjY1r98wa/view>

Koutoudjian, J. M. (2019). *Operación de Plantas Potabilizadoras*. AIDIS.

Lozano, A. (2005). Coloides. *Col. Anest*, 33:115.

Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). *MECÁNICA DE FLUIDOS*.

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/11/tema5_operaciones%20separacion.pdf



Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Pérez, Z. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. *Revista INGENIERÍA UC*, 14(3), 16-23.

Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. 04).

Organización Panamericana de la Salud.

<https://www.virtualpro.co/download/tratamiento-de-aguas-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion-rapida-manual-i-teoria.pdf>

Wolters Kluwer. (2020). *Capacidad de producción*. GIOCONDA.

https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4sIAAAAAAAAAEAMtMSbF1jTAAASmjU0NztlLUouLM_DxblwMDS0ND A1OQQGZapUt-ckhIQaptWmJOcSoAJzJqdTUAAAA=WKE

**12. ANEXOS****ANEXO 1. Caudales de ingreso a unidades de potabilización***Tabla 34 Caudal en el vertedero de mezcla rápida*

Caudal de ingreso a Mezcla Rápida	
ha (cm)	Q (l/s)
2,00	3,76
2,50	5,25
3,00	6,90
3,50	8,70
4,00	10,63
4,50	12,68
5,00	14,85
5,50	17,14
6,00	19,53
6,50	22,02
7,00	24,61
7,50	27,29
8,00	30,06
8,50	32,92
9,00	35,87

Tabla 35 Caudal en el vertedero a la salida de cada filtro

Caudal por Filtro	
ha (cm)	Q (l/s)
2,00	3,22
2,50	4,50
3,00	5,92
3,50	7,46
4,00	9,11
4,50	10,87
5,00	12,73
5,50	14,69
6,00	16,74
6,50	18,87
7,00	21,09

Tabla 36 Caudal en el vertedero de ingreso a la cámara de contacto con cloro

Caudal ingreso Cámara de cloros	
ha (cm)	Q (l/s)
2,00	4,56
2,50	6,38
3,00	8,38
3,50	10,56
4,00	12,91
4,50	15,40
5,00	18,04
5,50	20,81
6,00	23,71
6,50	26,74
7,00	29,88
7,50	33,14
8,00	36,50

Tabla 37 Caudal en el vertedero de salida de la cámara de contacto con cloro

Caudal salida Cámara de cloros	
ha (cm)	Q (l/s)
2,00	4,29
2,50	6,00
3,00	7,89
3,50	9,94
4,00	12,15
4,50	14,49
5,00	16,98
5,50	19,59
6,00	22,32
6,50	25,16
7,00	28,12
7,50	31,19
8,00	34,36
8,50	37,63



ANEXO 2: Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio

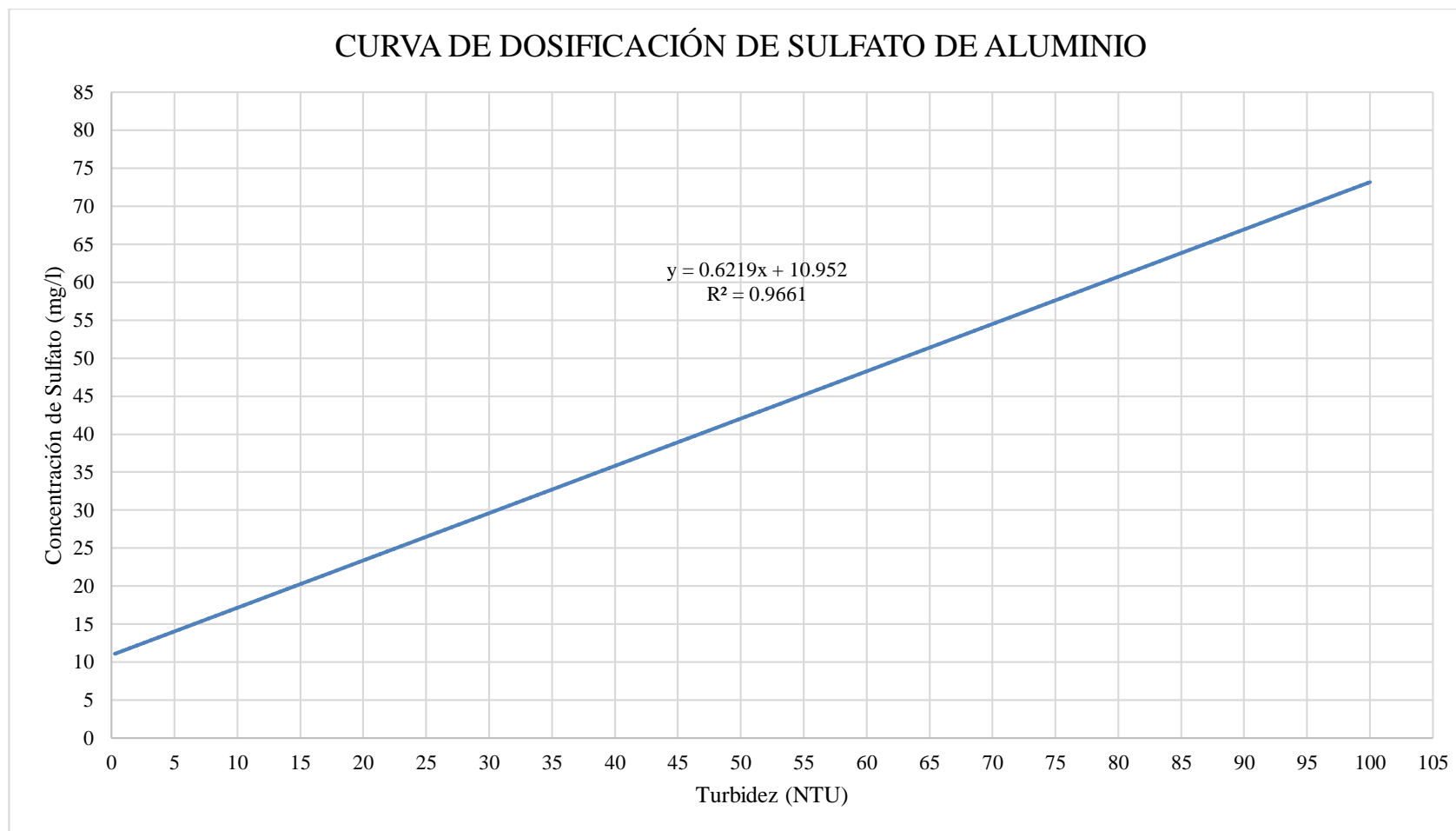


Gráfico 2 Curva de dosificación de Sulfato de Aluminio

Fuente: Elaboración-Autor

**ANEXO3. Aforo de tanques de dosificación**

A continuación, se detallan las tablas de calibración para los equipos de dosificación para un caudal de 22,02 l/s.

Tabla 15 Aforo de tanque de regulante de pH

Aforo de tanque de regulante de pH		
Dosis (mg/L)	Cantidad a dosificar (ml/15 s)	# Vueltas
10	330	3 ¼
15	495	5 ¼
20	660	6 ¼
25	825	8 ¼

Fuente: Elaboración-Autor

Tabla 16 Aforo de tanque de Sulfato de Aluminio

Aforo de tanque de Sulfato de Aluminio			
Turbidez (NTU)	Dosis (mg/L)	Cantidad a dosificar (ml/15 s)	# Vueltas Q= 22,02l/s
0 – 1	12	199	1 ¾
1.1 – 4	14	232	2 ¼
4.1 – 8	16	265	3 ¼
8.1 -15	20	330	3 ¾
15.1- 25	24	397	4 ¼
25.1 – 35	26	430	5 ¼
35.1 – 45	30	496	5 ¾
45.1 – 60	36	594	6 ¼
60.1- 80	56	924	7 ¼
80.1- 100	80	1322	10 ¼

Fuente: Elaboración-Autor

Tabla 17 Aforo de tanque de Polímero

Aforo de tanque de Polímero		
Dosis (mg/L)	Cantidad a dosificar (ml/15 se)	# VUELTAS
0,16	264	8 ½

Fuente: Elaboración-Autor

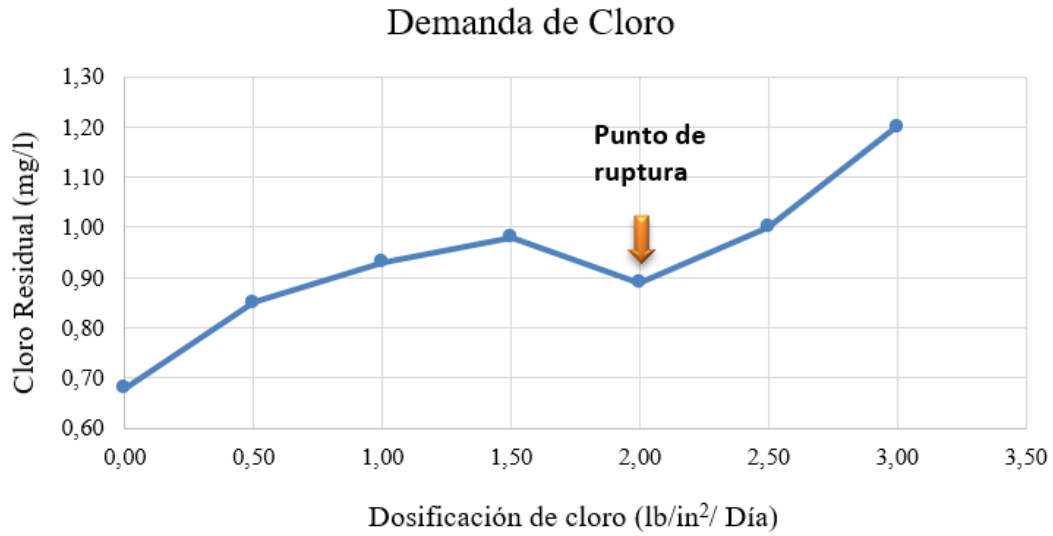
ANEXO 4. Demanda de Cloro

Gráfico 3 Demanda de Cloro
Fuente: Elaboración-Autor

**ANEXO 5. Volúmenes de tanque de reserva***Tabla 18 Volumen del tanque en función a la altura del agua*

VOLÚMENES DEL TANQUE DE RESERVA					
ha (cm)	V (m3)	ha (cm)	V (m3)	ha (cm)	V (m3)
1	1,96	38	74,48	75	147,00
2	3,92	39	76,44	76	148,96
3	5,88	40	78,40	77	150,92
4	7,84	41	80,36	78	152,88
5	9,80	42	82,32	79	154,84
6	11,76	43	84,28	80	156,80
7	13,72	44	86,24	81	158,76
8	15,68	45	88,20	82	160,72
9	17,64	46	90,16	83	162,68
10	19,60	47	92,12	84	164,64
11	21,56	48	94,08	85	166,60
12	23,52	49	96,04	86	168,56
13	25,48	50	98,00	87	170,52
14	27,44	51	99,96	88	172,48
15	29,40	52	101,92	89	174,44
16	31,36	53	103,88	90	176,40
17	33,32	54	105,84	91	178,36
18	35,28	55	107,80	92	180,32
19	37,24	56	109,76	93	182,28
20	39,20	57	111,72	94	184,24
21	41,16	58	113,68	95	186,20
22	43,12	59	115,64	96	188,16
23	45,08	60	117,60	97	190,12
24	47,04	61	119,56	98	192,08
25	49,00	62	121,52	99	194,04
26	50,96	63	123,48	100	196,00
27	52,92	64	125,44	101	197,96
28	54,88	65	127,40	102	199,92
29	56,84	66	129,36	103	201,88
30	58,80	67	131,32	104	203,84
31	60,76	68	133,28	105	205,80
32	62,72	69	135,24	106	207,76
33	64,68	70	137,20	107	209,72
34	66,64	71	139,16	108	211,68
35	68,60	72	141,12	109	213,64
36	70,56	73	143,08	110	215,60
37	72,52	74	145,04	111	217,56



JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BAÑOS

PLANTA RUDIO



REGISTRO CLD: Registro de labores diarias

Nombre	Hora de Ingreso	Caudal	Estado de trabajo de la Planta Tratamiento		Hora de salida	Inicio lavado de filtros	Terminado lavado de filtros	Agua Gastada	OBSERVACIONES
			Trabajo Normal	Desviada		Hora	Hora		
			Trabajo Normal	Desviada					
						Escalones	Escalones		
			cm	cm					
			Trabajo Normal	Desviada					
						Escalones	Escalones		
			cm	cm					

Rosa Jeannela Aguilar Ramírez
 Pamela Martina Zúñiga Delgado



JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BAÑOS

PLANTA RUDIO

REGISTRO COP: Control de operaciones de la planta



Observaciones	Operator	m3 agua tratada	T agua tratada °C	T agua cruda °C	Nivel tanque escalones	Caudal l/s	Presion cloro (lb)	Cloro reservorio	# vueltas polímero	# vueltas sulfato	Color tanque	Color agua cruda	pH H ₂ O tanque	pH H ₂ O cruda	Turbidez tanque	Turbidez agua cruda	Hora	Fecha	

Rosa Jeannela Aguilar Ramírez
Pamela Martina Zúñiga Delgado



**JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO BAÑOS**



PLANTA RUDIO

REGISTRO ADL: Análisis de laboratorio

Fecha:

Hora:

Presión de cloro:

Caudal:

Escalón:

Pruebas FQ	CRUDA	RESERVORIO	RED
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH			
Color			
Turbiedad			
Sales disueltas totales (ppm)			
Temperatura (°C)			
Conductividad (uS/cm)			
Dureza Total (ppm CaCO ₃)			
Alcalinidad Total (ppm CaCO ₃)			
Cloro libre (mg/l)			
Cloro total (mg/l)			
Hierro (Fe) (ppm)			
Cobre (Cu) (ppm)			
Fosfatos (PO ₄) (ppm)			
Nitratos (NO ₃) (ppm)			
Sulfatos (SO ₄) (ppm)			
Cromo (Cr) (ppm)			
Nitritos (NO ₂) (ppm)			
Coliformes totales (UFC/10 ml)			
Coliformes fecales			

Responsable:

Observaciones:

.....

.....

.....

