ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROPUESTA DE POTABILIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA PEDERNALES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

STALIN DAVID MERIZALDE PROAÑO
merizaldesd@gmail.com

DIRECTOR: ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR, Ph.D.
ana.balarezo@epn.edu.ec

Septiembre 2017

DECLARACIÓN

Yo, Stalin David Merizalde Proaño, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

STALIN DAVID MERIZALDE PROAÑO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Stalin David Merizalde Proaño, bajo mi supervisión.

ANA LUCÍA BALAREZO Ph.D.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a mis padres por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de mi carrera, ya que, gracias a su esfuerzo, dedicación y sus consejos me han brindado todo lo necesario para progresar en mi formación profesional. Además, un sincero agradecimiento a mis hermanos: Whiny, Paúl y Crys, espero que este logro obtenido sirva de ejemplo para que nunca dejen de soñar y que con mucha dedicación se puede llegar lejos.

A mi tía Margarita, que ha sido un soporte fundamental en toda mi vida; sus ánimos, apoyo constante y su alegría, han dejado en mí una huella imborrable que me permite día a día seguir esforzándome en todo lo que hago.

A mi amiga incondicional y compañera de vida, Clau, infinitas gracias por todo lo que has hecho por mí, no solo a lo largo de toda mi carrera sino también en mi vida, con tus palabras de aliento y tu espíritu de superación te has convertido en mi inspiración y motivación para seguir adelante.

Un agradecimiento infinito a todos los profesores y profesoras que han sido parte de mi formación profesional, en especial a mi tutora Ing. Ana Lucía Balarezo Ph.D. por ser parte de mi proceso de titulación, gracias por brindarme su tiempo, esfuerzo y enorme paciencia.

La vida de un estudiante no sería la misma sin los amigos, a ustedes: Diego, Jonathan, Juanita y Adry, gracias por todo lo compartido a lo largo de este tiempo de conocernos, esperando que después de nuestra vida universitaria seamos los mismos buenos amigos que hemos sido hasta ahora.

Por último, quiero extender un agradecimiento particular para todas las personas que conforman la EPMAPA – PED, gracias por su ayuda y apoyo incondicional para el presente proyecto de titulación, sin ustedes esto no se habría logrado.

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación y toda mi vida académica está dedicado a mis padres, ellos han sido mi razón de seguir adelante en todos los aspectos de mi vida, los partícipes de mi formación profesional y los que sentaron las bases morales de mi desarrollo como persona.

A mis hermanos y familia en general, que de una forma u otra me apoyaron en todo momento en mi carrera universitaria.

Dios bendiga a cada uno de ustedes.

CONTENIDO

DECLARACIÓN ..... **II**

CERTIFICACIÓN ..... **III**

AGRADECIMIENTO ..... **IV**

DEDICATORIA ..... **IV**

CONTENIDO ..... **VI**

LISTA DE TABLAS ..... **X**

LISTA DE FIGURAS ..... **XII**

LISTA DE ANEXOS ..... **XIV**

RESUMEN ..... **XV**

ABSTRACT ..... **XVI**

PRESENTACIÓN ..... **XVII**

CAPÍTULO 1 ..... **1**

GENERALIDADES **1**

1.1. INTRODUCCIÓN **1**

1.2. JUSTIFICACIÓN **2**

1.3. OBJETIVOS **3**

1.3.1. OBJETIVO GENERAL 3

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

CAPÍTULO 2 ..... **5**

MARCO TEÓRICO **5**

2.1. POTABILIZACIÓN DEL AGUA 5
2.1.1. INTRODUCCIÓN A LA POTABILIZACIÓN 5
2.1.2. TIPOS DE PLANTAS DE POTABILIZACIÓN 5

2.2. MICROPROCESOS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA 7
2.2.1. CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA 8
2.2.2. PROCESO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN 9
2.2.3. PROCESO DE SEDIMENTACIÓN 12
2.2.4. PROCESO DE FILTRACIÓN 12
2.2.5. PROCESO DE DESINFECCIÓN 15

2.3. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108: AGUA POTABLE - REQUISITOS 16

2.4. PRUEBAS DE TRATABILIDAD 17
2.4.1. PROCEDIMIENTOS NORMALIZADOS DE ANÁLISIS PARA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA 18
2.4.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS QUÍMICOS USADOS PARA LAS PRUEBAS DE JARRAS 18

CAPÍTULO 3 20

METODOLOGÍA 20

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PARROQUIA PEDERNALES 20
3.1.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS 22
3.1.3. HIDROGRAFÍA 27
3.1.4. POBLACIÓN 28

3.2. MUESTREO DEL AGUA CRUDA 31
3.2.1. PUNTO DE MUESTREO 31
3.2.2. TIPOS DE RECIPIENTES PARA MUESTREO 32
3.2.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MUESTREO 33

3.3. ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA CRUDA 34
3.3.1. PARÁMETROS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA CRUDA 34
3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS A TRATARSE 35

3.4. DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMAS 36
3.4.1. DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE..... 36
3.4.2. DOSIS ÓPTIMA DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN 38

3.5. OPTIMIZACIÓN PRÁCTICA DE LOS GRADIENTES DE VELOCIDAD..... 39
3.5.1. TIEMPO ÓPTIMO DE COAGULACIÓN (MEZCLA RÁPIDA)..... 39
3.5.2. GRADIENTE ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA) 40

3.6. OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN 41
3.6.1. SEDIMENTACIÓN 41
3.6.2. FILTRACIÓN..... 42

3.7. DEMANDA DE CLORO (DESINFECCIÓN) 43

CAPÍTULO 4 45

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45

4.1. CALIDAD DEL AGUA CRUDA 45

4.2. PRUEBA DE JARRAS 46
4.2.1. ANÁLISIS DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE..... 46
4.2.2. ANÁLISIS DE TIEMPOS DE MEZCLA RÁPIDA 48
4.2.3. ANÁLISIS DE MEZCLA LENTA..... 49
4.2.4. ANALISIS DE OPTIMIZACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN 51
4.2.5. ANÁLISIS DE FILTRACIÓN..... 52
4.2.6. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DESINFECCIÓN 54

4.3. RESULTADOS FINALES..... 55

CAPÍTULO 5 56

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 56

5.1. CONCLUSIONES 56

5.2. RECOMENDACIONES..... 57

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **59**

ANEXOS **65**

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1. TIPOS DE AGUA CRUDA 8

TABLA 2.2. INDICE DE WILLCOMB 10

TABLA 2.3 CLASIFICACIÓN DE FILTROS RÁPIDOS 13

TABLA 2.4. TRATAMIENTOS PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA 16

TABLA 2.5. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE AGUA POTABLE 17

TABLA 2.6. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS 18

TABLA 2.7. QUÍMICOS USADOS EN LA PRUEBA DE JARRAS 19

TABLA 3.1. TEMPERATURAS (°C) MENSUALES PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE 23

TABLA 3.2 PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE 24

TABLA 3.3 HUMEDAD RELATIVA (%) PARA EL PERIODO 2010 - 2013 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE 26

TABLA 3.4. CRECIMIENTO POBLACIONAL PARA LA PARROQUIA PEDERNALES 29

TABLA 3.5. IDENTIFICACION GENERAL DEL PUNTO DE MUESTREO 32

TABLA 3.6. RECIPIENTES USADOS PARA EL MUESTREO DE AGUA CRUDA, 2017 33

TABLA 3.7. INSTRUMENTOS / EQUIPOS USADOS PARA EL MUESTREO 34

TABLA 3.8. PARÁMETROS BÁSICOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA 34

TABLA 3.9. RANGOS PARA TURBIEDAD Y ALCALINIDAD 35

TABLA 3.10. OPTIMIZACIÓN DE DOSIS DE COAGULANTE $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$ 37

TABLA 3.11. OPTIMIZACIÓN DE DOSIS DE ALCALINIZANTE $Ca(OH)_2$ 39

TABLA 3.12. OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA 40

TABLA 3.13. OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA LENTA 41

TABLA 3.14. FORMATO PARA REGISTRO DE RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN 42

TABLA 3.15. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CLORO 44

TABLA 4.1 RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA DEL RIO TACHINA, 2017 45

TABLA 4.2 RESULTADOS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN, PARA DISTINTAS DOSIS DE $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$ 46

TABLA 4.3 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA..... 48

TABLA 4.4 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA LENTA 50

TABLA 4.5 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN..... 51

TABLA 4.6 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE 53

TABLA 4.7 RESULTADOS DE LA DOSIS ÓPTIMA DE NaClO COMO DESINFECTANTE 54

TABLA 4.8 RESULTADOS FINALES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN..... 55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE DESINFECCIÓN DE AGUA CRUDA 5

FIGURA 2.2. ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE CLARIFICACIÓN CON FILTRO LENTO..... 6

FIGURA 2.3. ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONAL..... 7

FIGURA 2.4. RELACIÓN RPM VS GRADIENTE DE VELOCIDAD PARA EL EQUIPO DE TRATABILIDAD MARCA PHIPPS & BIRD PB-700 JARTESTER. 11

FIGURA 2.5. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS..... 14

FIGURA 2.6 EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS 19

FIGURA 3.1. LÍMITES TERRITORIALES DEL CANTÓN PEDERNALES 21

FIGURA 3.2 LÍMITES TERRITORIALES DE LA PARROQUIA PEDERNALES..... 22

FIGURA 3.3. TEMPERATURAS (°C) MÍNIMAS, MEDIAS Y MÁXIMAS PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE..... 24

FIGURA 3.4 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MULTIANUAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN DE MUISNE PARA EL PERIODO 2010 - 2015 25

FIGURA 3.5. HUMEDAD RELATIVA (%) MENSUALES PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE..... 26

FIGURA 3.6. HIDROGRAFÍA DE LA MICROCUENCA DEL RIO TACHINA..... 27

FIGURA 3.7. CONDICIÓN ACTUAL DEL EMBALSE DE CAPTACIÓN EN EL RÍO TACHINA 28

FIGURA 3.8. MODELO DE LOS FILTROS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO 43

FIGURA 4.1 RELACIÓN TURBIEDAD VS. DOSIS DE COAGULANTE 47

FIGURA 4.2 FORMACIÓN DEL FLOC DURANTE EL PROCESO DE FLOCULACIÓN EN EL ENSAYO DE JARRAS.....48

FIGURA 4.3 DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA RÁPIDA 49

FIGURA 4.4 DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA LENTA 50

FIGURA 4.5 DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE SEDIMENTACIÓN 51

FIGURA 4.6 SÓLIDOS SEDIMENTABLES LUEGO DEL ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN 52

FIGURA 4.7 TURBIEDAD Y COLOR RESIDUAL VS. DOSIS DE COAGULANTE.....53

LISTA DE ANEXOS

TABLA A 1. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE ALCALINIDAD 67

TABLA A 2. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COLOR 67

TABLA A 3. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE SÓLIDOS 67

TABLA A 4. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE DUREZA 68

TABLA A 5. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE HIERRO Y MANGANESO 68

FIGURA A 1. INFORME MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA 70

FIGURA A 2. INFORME MICROBIOLÓGICO DEL AGUA ANTES DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN 71

FIGURA A 3. MUESTREO DE AGUA CRUDA 73

FIGURA A 4. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN EL LABORATORIA DOCENTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL (LDIA) 74

FIGURA A 5. PRUEBA DE JARRAS REALIZADO EN EL LABORATORIO DOCENTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL 75

FIGURA A 6. RESULTADOS FINALES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN MEDIANTE EL USO DE PRUEBAS DE JARRAS 76

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo optimizar, a nivel de laboratorio, el tratamiento físico, químico y microbiológico para la potabilización del agua de abastecimiento de la parroquia Pedernales, a través del equipo de prueba de jarras.

En primer lugar, mediante sistemas de información geográfica se determinó el área de estudio y específicamente el punto de muestreo del agua cruda; seguidamente se caracteriza el agua con los parámetros: turbiedad, color, pH, dureza, alcalinidad, acidez, hierro total, manganeso, calcio, sólidos totales y *Coliformes fecales*.

Posteriormente, utilizando el equipo de prueba de jarras se realizaron los ensayos de tratabilidad del agua cruda para optimizar los procesos de coagulación - floculación, sedimentación y desinfección. Para el proceso de coagulación – floculación se utilizó $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ al 1%, resultando una dosis óptima de coagulante de 80 mg/L.

En cuanto al tiempo óptimo de mezclas, se obtuvo 60 segundos a 100 rpm para la mezcla rápida, mientras que para la mezcla lenta de 15 minutos a 30 rpm.

En la operación unitaria de sedimentación del agua luego de la floculación, se observó que a los 15 minutos se obtuvo una turbiedad mínima de 10,2 NTU acompañada de una producción de 55 mL/L de lodos.

El efluente de la sedimentación fue filtrado utilizando filtros pilotos de arena – antracita, resultando un en efluente con turbiedad de 2,27 NTU, esto implica una remoción del 77%.

Finalmente, del ensayo de demanda de cloro del agua filtrada, en el que se utilizó NaClO al 5%, resultó una dosis óptima de 4 mg/L de NaClO, con un tiempo de contacto de 30 minutos y residual de cloro de 1,22 mg/L.

Una vez terminados los análisis de la optimización de potabilización, se identificó que el agua tratada cumple con los requisitos de la Norma Técnica Nacional INEN 1108, agua potable – requisitos.

ABSTRACT

The objective of this project was to optimize the physical, chemical and microbiological treatment of drinking water, from the Pedernales water supply, through the jar test equipment.

First, with geographic information systems, the area of study and specifically the sampling point of raw water were stablished. Then, the characteristics of raw water were determinate by turbidity, color, pH, hardness, alkalinity, acidity, total iron, manganese, calcium, total solids and *fecal coliforms*.

Subsequently, the optimization of flocculation, sedimentation and disinfection of raw water was possible with the use of the jar tester. $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ at 1% was used for the coagulation - flocculation process, resulting in an optimum coagulant dose of 80 mg/L.

As for optimum mixing time, we obtained 60 seconds at 100 rpm for fast mixing; while, for slow mixing, 15 minutes at 30 rpm. In the unitary operation of water sedimentation after flocculation, about 20 minutes, there was a high production of sludge, at least 55 mL/L.

Before the filtration process, the turbidity of the clarified water was 10.2 NTU. After filtration, the resulting turbidity was 2.27 NTU. These results imply a turbidity removal of 77%.

Finally, the disinfection process was made using NaClO with a concentration of 5%, an optimum dose of 4 mg/L of NaClO was obtained after a contact time of 30 minutes; chlorine residual was 1.22 mg/L.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de titulación, de orden técnico – experimental, tuvo como objetivo la optimización, a nivel de laboratorio, de la potabilización del agua del río Tachina, para abastecer a la parroquia de Pedernales.

El trabajo consta de cinco capítulos:

El primer capítulo presenta una introducción al tema, los objetivos generales y específicos, así como la importancia de la ejecución de este proyecto.

El segundo capítulo presenta el marco teórico, donde se expone los procesos de potabilización, los métodos normalizados del análisis del agua, las bases teóricas de muestreo y las especificaciones técnicas de la norma INEN 1108 para agua potable.

El tercer capítulo muestra la metodología utilizada en el desarrollo del presente proyecto que incluye el muestreo, caracterización del agua cruda y las pruebas de tratabilidad químicas, físicas y microbiológicas, requeridas para la potabilización del agua.

El cuarto capítulo muestra los resultados y se discuten los valores obtenidos en los ensayos de tratabilidad y sus respectivos valores optimizados.

Finalmente, el quinto capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas en base a los objetivos planteados y los resultados logrados.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo de la vida; el acceso equitativo y de calidad a este recurso en ciertas ocasiones presenta problemas debido a su demanda creciente; según la Organización de Naciones Unidas, el agua potable es considerado un derecho fundamental de las personas ya que es esencial para la realización de todos los derechos humanos (ONU, 2002).

A nivel nacional, el servicio de abastecimiento de agua potable tiene una cobertura entre el 69 al 75 %, siendo las provincias con mayor cobertura Pichincha, Santa Elena y El Oro, con valores entre 82 a 94%, mientras que en las provincias de Chimborazo y Bolívar la cobertura es apenas del 42 a 55% aproximadamente. En la provincia de Manabí, la cobertura es del 56%, en contraste el cantón Pedernales, en esta misma provincia, tiene una cobertura de apenas el 10% para parroquias rurales y del 31% para las urbanas, siendo Pedernales la parroquia urbana más importante (SENPLADES, 2014).

El abastecimiento de agua potable para la parroquia Pedernales en comparación con los valores nacionales es tres veces más bajo y según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pedernales, desde hace varias décadas ha venido enfrentando serios inconvenientes debido al carente e ineficiente servicio de potabilización (GAD Pedernales, 2014).

El problema empeoró cuando el 16 de abril de 2016 un terremoto con epicentro en la parroquia de Muisne, provocó severos daños en la parroquia de Pedernales y sectores cercanos, afectando la infraestructura asociada, entre ellas la red de abastecimiento de agua potable (El Telégrafo, 2016).

Actualmente, la parroquia de Pedernales es abastecida a través de tanqueros, de agua que proviene principalmente de fuentes subterráneas y una vez por semana de

agua de la parte alta del río Tachina (SENAGUA, 2014). El agua de las fuentes subterráneas, sin tratamiento alguno, llega a la población poniendo en riesgo la salud pública (García, 2011).

Por otra parte, el tratamiento de potabilización del agua de la parte alta del río Tachina son pobremente ejecutados puesto que solamente se aplican procesos básicos de filtración rápida y cloración, resultando en valores de turbiedad y color sobre lo estipulado en la Norma Técnica Nacional NTE INEN 1108: Agua potable, requisitos, lo que hace que el agua sea objetable (PDOT-PED, 2014)

El presente proyecto plantea determinar la calidad del agua cruda del río Tachina, ubicado aproximadamente a 2 km del centro urbano de Pedernales, y ejecutar el tratamiento físico, químico y microbiológico, requerido para la potabilización y cumplimiento de la Norma Técnica Nacional NTE INEN 1108: Agua potable, requisitos. Se investigó la dosis de coagulante, ayudante de floculación y desinfectante, necesarios para cumplir con los parámetros de agua potable, al igual que los gradientes óptimos de floculación, tiempos óptimos de floculación y sedimentación. Los ensayos de tratabilidad fueron realizados a nivel de laboratorio, con el equipo de prueba de jarras, en el Laboratorio Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (LDIA), de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la mala calidad del agua potable en la parroquia Pedernales, por la presencia de turbiedad, color y elevada concentración de cloro residual, esta no cumple con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Agua potable, requisitos, por lo que se propone la tratabilidad del agua cruda a nivel de laboratorio para determinar un óptimo tratamiento de potabilización.

El presente trabajo técnico – experimental, tuvo como propósito aplicar la teoría relacionada a los procesos de potabilización de agua cruda superficial, mediante la utilización de ensayos de tratabilidad, con el uso de químicos que permitan la remoción de agentes objetables; los resultados obtenidos podrán ser utilizados para el posterior diseño de la planta de potabilización o su mejor operación.

Las pruebas de tratabilidad establecen el comportamiento del agua cruda ante la presencia de compuestos químicos utilizados para remover algunos parámetros objetables presentes en el agua, los cuales exceden la norma NTE INEN 1108 (2014): Agua potable, requisitos, tales como, turbiedad, color, olor, sabor, calcio, magnesio, entre otros. Con esta labor, se propone brindar información específica de las características del agua cruda del embalse del río Tachina y los resultados de la tratabilidad para posteriormente ser aplicados en la planta de potabilización.

La aplicación de la teoría establecida para la potabilización de agua permitirá cumplir con las especificaciones técnicas de la norma NTE INEN 1108 (2014): agua potable - requisitos, y a su vez elevar la calidad de vida de la población beneficiada evitando enfermedades de tipo hídrico (Sanchez, 2011).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer el tratamiento óptimo para la potabilización de agua del sistema de abastecimiento para la población de Pedernales, mediante pruebas de tratabilidad.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características del agua cruda del sistema de captación, con el fin de seleccionar el tipo de tratamiento para la potabilización.

- Comparar los parámetros analizados en el agua cruda con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 (2014): Agua potable, requisitos (Quinta revisión) para agua potable y señalar los incumplimientos.

- Realizar los ensayos de tratabilidad físico, químico y microbiológicos del agua cruda.

- Determinar los tiempos óptimos de coagulación, floculación y sedimentación, mediante pruebas de jarras.

- Realizar pruebas preliminares de filtración previo a la determinación de la demanda de cloro del agua filtrada.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. POTABILIZACIÓN DEL AGUA

2.1.1. INTRODUCCIÓN A LA POTABILIZACIÓN

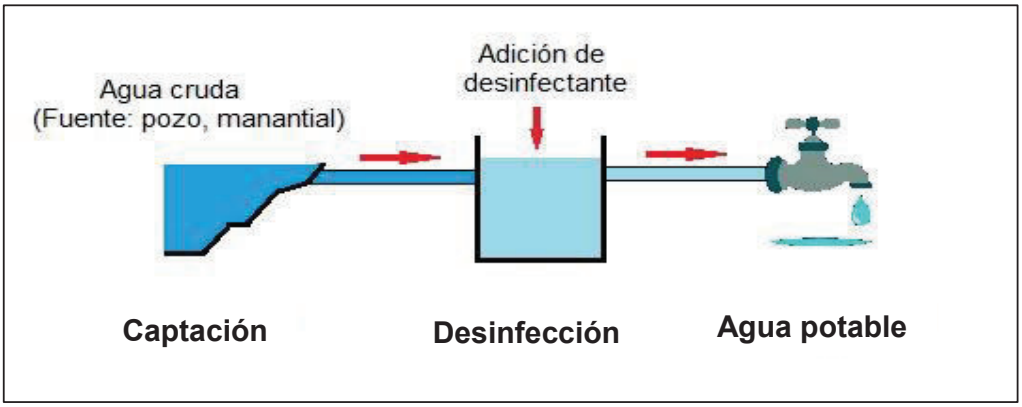
La potabilización de agua tiene como principio básico la transformación del agua cruda en agua apta para el consumo humano, a través de diversos procesos unitarios, los cuales generan cambios físicos, químicos y biológicos (SENAGUA, 2014). Dependiendo de la calidad físico- química y microbiológica del agua cruda existen varios procesos que son aplicados en una planta de potabilización. A continuación, se detalla los tipos de plantas de potabilización más comunes y sus respectivos procesos unitarios.

2.1.2. TIPOS DE PLANTAS DE POTABILIZACIÓN

2.1.2.1. Plantas de desinfección

Utilizadas cuando las condiciones del agua cruda son excelentes, tal que solo necesita un tratamiento de desinfección. En general las aguas subterráneas cumplen con este requisito (García, 2011). La Figura 2.1 muestra el esquema general de una planta de desinfección.

FIGURA 2.1. ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE DESINFECCIÓN DE AGUA CRUDA



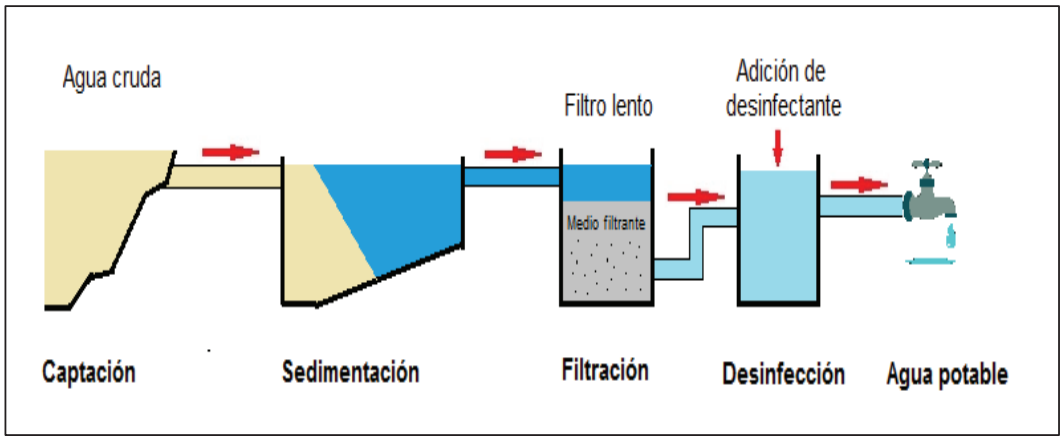
2.1.2.2. Plantas de clarificación

Estas plantas potabilizadoras son las más usadas, llamadas también plantas convencionales, existen varios tipos.

a) De filtros lentos

Se utiliza en asentamientos rurales y donde el agua cruda presenta color y turbiedad. La Figura 2.2 presenta el esquema de una planta de clarificación de filtro lento.

FIGURA 2.2. ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE CLARIFICACIÓN CON FILTRO LENTO



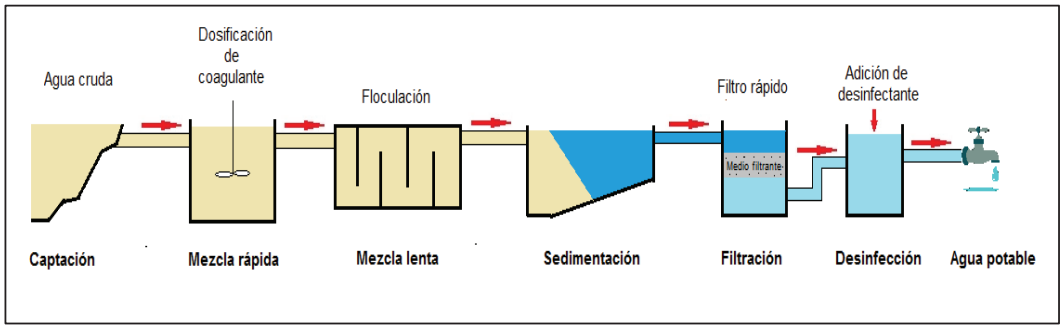
b) De filtros rápidos

En este tipo de planta existen tres esquemas de filtración:

i) Solo filtración rápida
ii) Con floculación o llamada comúnmente como planta de potabilización convencional
iii) Con tanque de contacto.

El más usado es el ii) convencional, el cual sugiere el uso de sustancias químicas para los procesos de coagulación y floculación, seguido de un proceso de sedimentación, filtración y desinfección (Silva, 2015). La Figura 2.3 muestra el esquema de una planta de potabilización convencional.

FIGURA 2.3. ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONAL



Existen otros tipos de plantas potabilizadoras que cumplen funciones específicas según los elementos objetables del agua cruda. Las más notables son:

2.1.2.3. Plantas de ablandamiento

Estas plantas cumplen la función de disminuir o eliminar la dureza presente en el agua, ocasionada por la presencia de calcio y magnesio (Silva, 2015).

Se tiene dos tipos de plantas de ablandamiento:

i) ablandamiento por precipitación química

ii) ablandamiento por intercambio iónico.

2.1.2.4. Plantas desferrizadoras

Las plantas desferrizadoras cumplen la función de oxidación del hierro en el agua (CONAGUA, 2007), esto se lo realiza mediante un proceso previo de aireación y en ocasiones con la adición de cloro u otro oxidante. Cuando existe elevada cantidad de materia orgánica se requiere de coagulación química, generalmente con sulfato de aluminio (Silva, 2015).

2.2. MICROPROCESOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

La potabilización tiene varios procesos unitarios dentro del sistema global, los microprocesos involucrados en una planta convencional se detallan a continuación.

2.2.1. CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA

La captación de agua cruda, se la realiza mediante la instalación de infraestructura fija en el cuerpo de agua, que garantice el aporte de caudal necesario para el sistema de potabilización (Idrovo, 2010).

2.2.1.1. Agua cruda

Es el agua de origen natural cuya calidad físico-química y microbiológica está definida por las actividades propias de la hidrografía del cauce (INEN, 2013).

2.2.1.2. Tipos de agua cruda

Según el ex Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS, 1992) existen cinco tipos de agua cruda para ser potabilizada. La Tabla 2.1 detalla las características de cada tipo de agua.

TABLA 2.1. TIPOS DE AGUA CRUDA

Agua cruda	Característica
A	Aguas subterráneas libres de contaminación, y que satisfacen las normas de calidad para agua potable.
B	Aguas superficiales provenientes de cuencas protegidas, con características físicas y químicas que satisfacen las normas de calidad para agua potable, y con un NMP/100 medio mensual máximo de 50.
C	Aguas subterráneas o superficiales provenientes de cuencas NO protegidas, que pueden encuadrarse dentro de las normas de calidad para agua potable mediante un proceso que no exija coagulación.
D	Aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas, y cuyas características exigen coagulación y los procesos necesarios para cumplir con las normas de calidad para agua potable.
E	Aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas sujetas a contaminación industrial, y que por tanto exigen métodos especiales de tratamiento para cumplir con las normas de calidad para agua potable.

Fuente: IEOS, R.O. N°. 6-1992-08-18 (SENAGUA, 2014)

Uno de los factores principales para la determinación del tratamiento de potabilización es la caracterización del agua cruda, esto permite elegir el mejor proceso de tratamiento (García, 2011).

Según los criterios de la tabla anterior (Tabla 2.1.) el agua cruda del río Tachina encaja en el tipo D, la cual necesita de un proceso de coagulación – floculación para potabilización. Posteriormente, en la fase de la metodología se especifica de mejor manera el proceso de potabilización a seguir.

2.2.2. PROCESO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Según Silva (2015), este proceso tiene como objetivo remover sólidos suspendidos, aglutinando las partículas presentes en el agua cruda para formar cuerpos más pesados llamados flóculos. Este proceso es eficiente para:

- Remover color y turbiedad
- Eliminar bacterias y virus que pueden ser removidos mediante este proceso
- Eliminar algas
- Eliminar olor y sabor (no siempre)

2.2.2.1. Turbiedad

La turbiedad en el agua se debe a la presencia de sólidos en suspensión, entre los principales se encuentra: arcilla, minerales, sustancias orgánicas e inorgánicas, microorganismos, etc.; de los cuales la arcilla es el principal promotor de la turbiedad (Silva, 2015).

2.2.2.2. Color

Se identifica dos tipos de color en el agua: el real o verdadero y el aparente. El color verdadero que depende únicamente del agua y las sustancias disueltas en ella, mientras que el color aparente es el que incluye a las partículas en suspensión causantes de la turbiedad en el agua (Acevedo, 2014). (Acevedo, Castillo, & Severiche, 2014)

2.2.2.3. Coagulación

Consiste en la desestabilización y anulación de las fuerzas que mantienen separados al material en suspensión. Este proceso se logra por acción de hidrólisis del coagulante, que en el agua se disocia en iones con carga positiva, mientras que el material en suspensión en su mayor parte posee carga negativa (Silva, 2015).

2.2.2.4. Floculación

Consiste en el contacto y aglomeración de las partículas desestabilizadas para formar flóculos (Torres, 2012). En la Tabla 2.2 se muestra el índice de Willcomb que permite caracterizar el floculo formado según su tamaño.

TABLA 2.2. INDICE DE WILLCOMB

Índice de Willcomb	Tipo de flóculo	Características
0	Coloidal	- No hay aglutinación
2	Visible	- Flóculo muy pequeño, casi imperceptible
4	Disperso	- Flóculo pequeño, bien formado - Sedimenta lentamente o no sedimenta
6	Claro	- Flóculo grande - Precipita lentamente
8	Bueno	- Flóculo que sedimenta fácil pero no completamente
10	Excelente	- Flóculo que sedimenta fácil y completamente, dejando el agua cristalina

Fuente: (Torres, 2012)

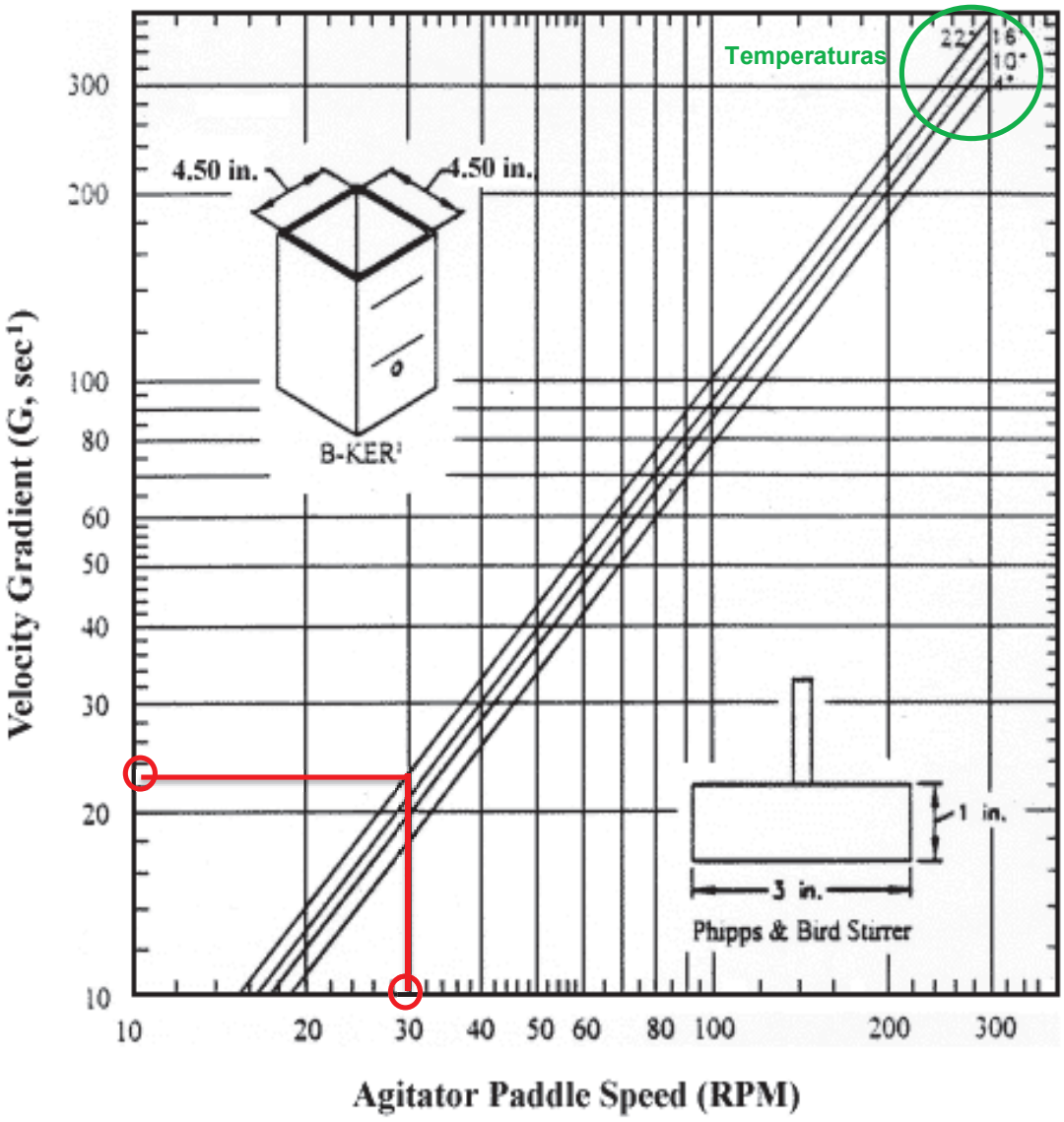
2.2.2.5. Gradiente de velocidad (G)

Esta variable nos indica la intensidad de agitación que se debe aplicar a la masa de agua para lograr una eficiente floculación. Se lo expresa mediante la letra G y sus unidades son 1/s (Hernández, 2013).

La Figura 2.4 muestra la curva para la determinación del gradiente de velocidad del equipo de prueba de jarras, disponible en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) y que se utilizó en la experimentación de esta investigación. Una vez registrada la velocidad en rpm, se compara con el gradiente de velocidad en s^{-1}, por ejemplo, para una velocidad de agitación de 30 rpm representado en el eje de las

abscisas, se tiene un gradiente de velocidad aproximado de 22 s^{-1} mostrado en el eje de las ordenadas como se muestra en la Figura 2.4. El valor del gradiente de velocidad depende de la temperatura a la que se esté tratando el agua cruda, para representación de este ejemplo se tomó como base 20°C, esta coincide con la temperatura con la que se realizó los respectivos análisis de tratabilidad del presente proyecto.

FIGURA 2.4. RELACIÓN RPM VS GRADIENTE DE VELOCIDAD PARA EL EQUIPO DE TRATABILIDAD MARCA PHIPPS & BIRD PB-700 JARTESTER.



Fuente: (Phipps&Bird, s.f.)

2.2.3. PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

Es un proceso natural donde las partículas más pesadas son removidas por acción de la gravedad (Pérez, 2015).

2.2.3.1. Tipos de partículas

2.2.3.1.1. Partículas no aglomerables o discretas

Este tipo de partículas no cambian su tamaño, forma o densidad durante el proceso de sedimentación.

2.2.3.1.2. Partículas aglomerables o floculentas

Son partículas producidas por el efecto aglomerante de sustancias químicas en el proceso de coagulación - floculación. En el proceso de sedimentación cambian su tamaño, forma y densidad, además de su resistencia (Silva, 2015).

2.2.4. PROCESO DE FILTRACIÓN

Es un proceso unitario utilizado para separar impurezas y materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, esto se logra con la ayuda de material granular filtrante, siendo la arena el más común. Se identifica dos tipos de filtros: los lentos o de baja carga superficial y los rápidos o de alta carga superficial. (IEOS, 1992).

2.2.4.1. Filtros lentos

Están constituidos por arena como material filtrante apoyada sobre grava. Este tipo de sistema de filtración es de purificación biológica y se logra debido a la generación de una capa de lodos biológicos en la superficie de la arena (IEOS, 1992). Este tipo de filtro es muy usado en sectores rurales debido a los bajos caudales a tratar, su alta eficiencia y su bajo costo de mantenimiento (Palacios, 2011).

2.2.4.2. Filtros rápidos

Este tipo de filtro tiene un sistema de operación más complejo que los filtros lentos. En la Tabla 2.3 se muestra la clasificación de los filtros rápidos.

TABLA 2.3 CLASIFICACIÓN DE FILTROS RÁPIDOS

Clasificado por:	**Tipo de filtro**
Tipo de pretratamiento	Convencional Filtración directa Coagulación por contacto y filtración
Tipo de flujo	Ascendente Descendente Mixto
Medio filtrante	Arena Arena – Grava Múltiple
Tasa de filtración	Constante Declinante
Modo de operación	Gravedad Presión

Fuente: IEOS, R.O. N°. 6-1992-08-18 (SENAGUA, 2014)

Los filtros rápidos son usados generalmente en sectores urbanos, donde las plantas de potabilización requieren tratar un mayor caudal. A diferencia de los filtros lentos, este tipo de filtros no son de tipo biológico ya que debido a las velocidades altas de filtración es imposible crear una capa biológica (Jácome, 2014)

En comparación con los filtros lentos, los filtros rápidos ocupan un menor espacio y logran eficiencias similares en la remoción de material coloidal de difícil sedimentación, sin embargo, su costo de mantenimiento es alto (Palacios, 2011).

2.2.4.3. Mecanismos de trasporte

Según Silva (2015), los mecanismos de transporte de partículas suspendidas son cuatro: por cernido, impacto inercial, por intercepción y por difusión. A continuación, se detalla cada uno de los mecanismos.

- **Cernido**

Las partículas con mayor tamaño al poro del medio filtrante quedan retenidas, este efecto de “cernido” se efectúa generalmente en capas superficiales por lo que en el transcurso del tiempo los poros disminuyen hasta generar un taponamiento total.

- **Impacto inercial**

El objetivo de este mecanismo es interceptar las partículas en el medio filtrante mediante el impacto de las partículas suspendidas contra el filtro, mientras más alta sea la velocidad de transporte mayor es la probabilidad de impacto.

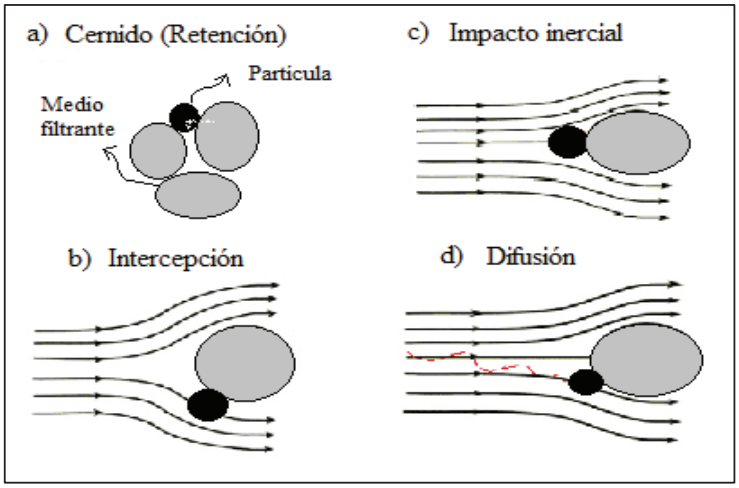
- **Intercepción**

Mientras las partículas pasan por los poros, estas se ponen en contacto entre sí, quedando retenidas o interceptadas en el medio filtrante.

- **Difusión**

Las partículas tienden a trasportarse desde áreas con mayor concentración hacia áreas de menor concentración, lo que permite que cierto porcentaje de partículas sean retenidas en el medio filtrante. La Figura 2.5 ilustra los mecanismos de trasporte de partículas mencionados anteriormente.

FIGURA 2.5. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS



Fuente: (Silva, 2015)

2.2.4.4. Mecanismos de adherencia de partículas suspendidas

Los principales mecanismos de adherencia de partículas son: por intersección eléctrica, por fuerzas de Van der Waals y por puente químico (Silva, 2015), que se detallan a continuación.

- **Interacción eléctrica**

En general, las partículas presentes en el agua presentan cargas eléctricas por acción de los iones o cargas no balanceadas, lo que produce fuerzas de repulsión entre ellas.

- **Fuerzas de Van-der-Waals**

Este tipo de fuerza es la responsable de la adhesión de las partículas en el medio filtrante (fuerzas intermoleculares), si estas partículas entran en contacto con las zonas activas del material filtrante puede considerarse como removidas ya que dicha fuerza de (Van-der-Waals) es análoga a la fuerza de gravedad.

- **Puente químico**

Después de la desestabilización del coloide en el agua producto de hidrólisis, el material suspendido y disuelto aun presenta en su estructura partículas poliméricas que al contacto con las zonas activas u otras partículas son adsorbidas y retenidas.

2.2.5. PROCESO DE DESINFECCIÓN

Es el proceso final del tratamiento de potabilización, en el cual se elimina el riesgo de enfermedades causadas por agentes microbianos patógenos.

Según la norma NTE INEN 1108: Agua potable - requisitos, este es un proceso preventivo esencial para proteger la salud pública.

La Tabla 2.4 detalla los mecanismos más usados para la desinfección del agua.

TABLA 2.4. TRATAMIENTOS PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA

Tratamiento		Observaciones
Físico	Calentamiento del agua	- Costoso - Problemas de sabor por pérdida de oxígeno disuelto y sales
	Tiempo de retención en ambiente hostil	- No se eliminan completamente a los microorganismos contaminantes
Químico	Cloración (hipoclorito de sodio / hipoclorito de calcio o cloro gas)	- Alta capacidad de oxidación - Acción microbicida (alguicida, bactericida y en menor cantidad virucida) - Contempla bajos costos de implementación
	Dióxido de cloro	- Gas muy inestable - Debe generarse in situ - No se ve afectado por acción del pH - Gran potencial para eliminación de amebas y enterovirus
	Ozono	- Gas inestable - Generación in situ - Alto potencial redox
Radiación	Rayos UV	- Tratamiento muy efectivo pero costoso

Fuente: (Romero, 2012)

2.3. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108: AGUA POTABLE - REQUISITOS

2.3.1. REQUISITOS DE LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108

La norma técnica NTE INEN 1108 define al agua potable como el agua que ha sido tratada y cuyas características físicas, químicas y microbiológicas presentes son aptas para el consumo humano. La Tabla 2.5 muestra los parámetros que califican al agua potable.

TABLA 2.5. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE AGUA POTABLE

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Características físicas		
Color	Pt-Co	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	-	No objetable
Sabor	-	No objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/L	0,02
Arsénico, As	mg/L	0,01
Bario, Ba	mg/L	0,7
Boro, B	mg/L	2,4
Cadmio, Cd	mg/L	0,003
Cianuros, CN^-	mg/L	0,07
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5
Cobre, Cu	mg/L	2,0
Cromo, Cr	mg/L	0,05
Fluoruros	mg/L	1,5
Mercurio, Hg	mg/L	0,006
Níquel, Ni	mg/L	0,07
Nitratos, NO_3^-	mg/L	50
Nitritos, NO_2^-	mg/L	3,0
Plomo, Pb	mg/L	0,01
Selenio, Se	mg/L	0,04
Microbiológicos		
Coliformes fecales (tubos)	NMP/100 mL	<1,1
Coliformes fecales (membrana)	ufc/100 mL	<1
Cryptosporidium	ooquistes/L	Ausencia
Giardia	quistes/L	Ausencia

Fuente: NTE INEN, 2014.

2.4. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Llamadas comúnmente pruebas de jarras, establecen el comportamiento del agua frente a la presencia de compuestos químicos usados para remover algunos de los parámetros objetables del agua cruda, tales como, turbiedad, color, hierro, manganeso, calcio, entre otros. La prueba de jarras permite simular en el laboratorio, el funcionamiento de una planta de tratamiento convencional, posterior a este proceso el agua tratada podrá cumplir con las especificaciones técnicas correspondiente (Vinueza, 2010).

2.4.1. PROCEDIMIENTOS NORMALIZADOS DE ANÁLISIS PARA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Los métodos utilizados para la caracterización, tanto del agua cruda como la del agua potable, están definidos en los “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (Standard Methods, 1999).

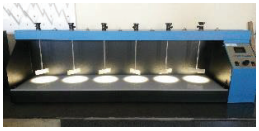
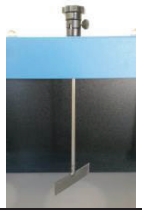
La aplicación de los métodos estandarizados permite que los parámetros analizados a nivel de laboratorio sean aceptables y puedan ser fácilmente comparables con las normas técnicas de calidad asociadas al estudio.

2.4.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS QUÍMICOS USADOS PARA LAS PRUEBAS DE JARRAS

El equipo usado para la realización de las pruebas de tratabilidad consta de tres elementos: Jartester, paletas giratorias y jarras.

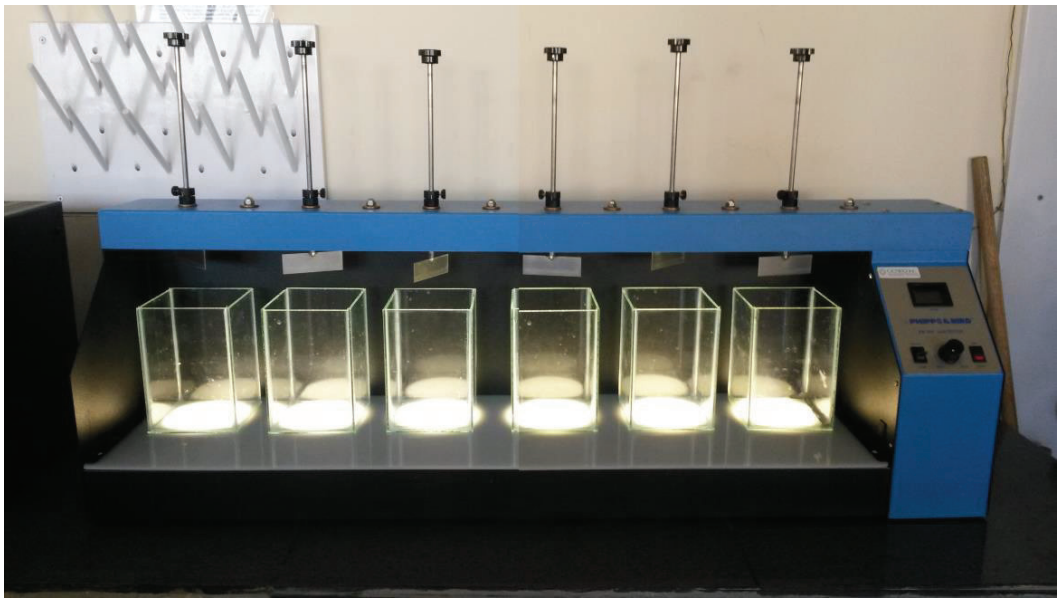
La Tabla 2.6 presenta los elementos del equipo disponible en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental, LDIA, y que fue utilizado durante la experimentación.

TABLA 2.6. EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

Elemento	Características	Imagen
Jartester	- Marca Phipps & Bird - Modelo PB-700 - Base lumínica - Panel de control analógico	
Paletas giratorias	- Simples de acero - Rectangulares 3 x 1 pulgadas	
Jarras	- 6 jarras de 1 litro de capacidad	

La Figura 2.6 presenta una vista frontal del equipo de prueba de jarras.

FIGURA 2.6 EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS



La Tabla 2.7 muestra los químicos comúnmente usados en la realización de los ensayos de jarras para potabilización del agua, las concentraciones de las soluciones preparadas y el periodo de vida útil.

TABLA 2.7. QUÍMICOS USADOS EN LA PRUEBA DE JARRAS

Producto químico	Concentración (%)	Estabilidad de la solución
Sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	1% (0,86% de Al)	1-2 meses
Sulfato férrico, $Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$	10% (2% de Fe)	1 mes
Hidróxido de calcio (Cal), $Ca(OH)_2$	0,5%	2 días
Derivados de poliacrilamida	0,1%	1 mes
Ácido sulfúrico, H_2SO_4	0.1N	3 meses
Hidróxido de sodio, NaOH	0.1 N	1 mes
Hipoclorito de sodio NaClO	5%	6 meses

Fuente: (Vinueza, 2010)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La elaboración del presente trabajo técnico - experimental se desarrolló en siete etapas, detalladas a continuación:

1) Ubicación y descripción general de la parroquia Pedernales.
2) Muestreo del agua cruda en la captación del embalse del río Tachina.
3) Análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda y selección del tipo de tratamiento para su potabilización.
4) Determinación de las dosis óptimas de coagulante, alcalinizante y floculante.
5) Optimización de los gradientes de coagulación y floculación.
6) Optimización de procesos de sedimentación.
7) Determinación de la dosis óptima de desinfectante en el agua filtrada.

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PARROQUIA PEDERNALES

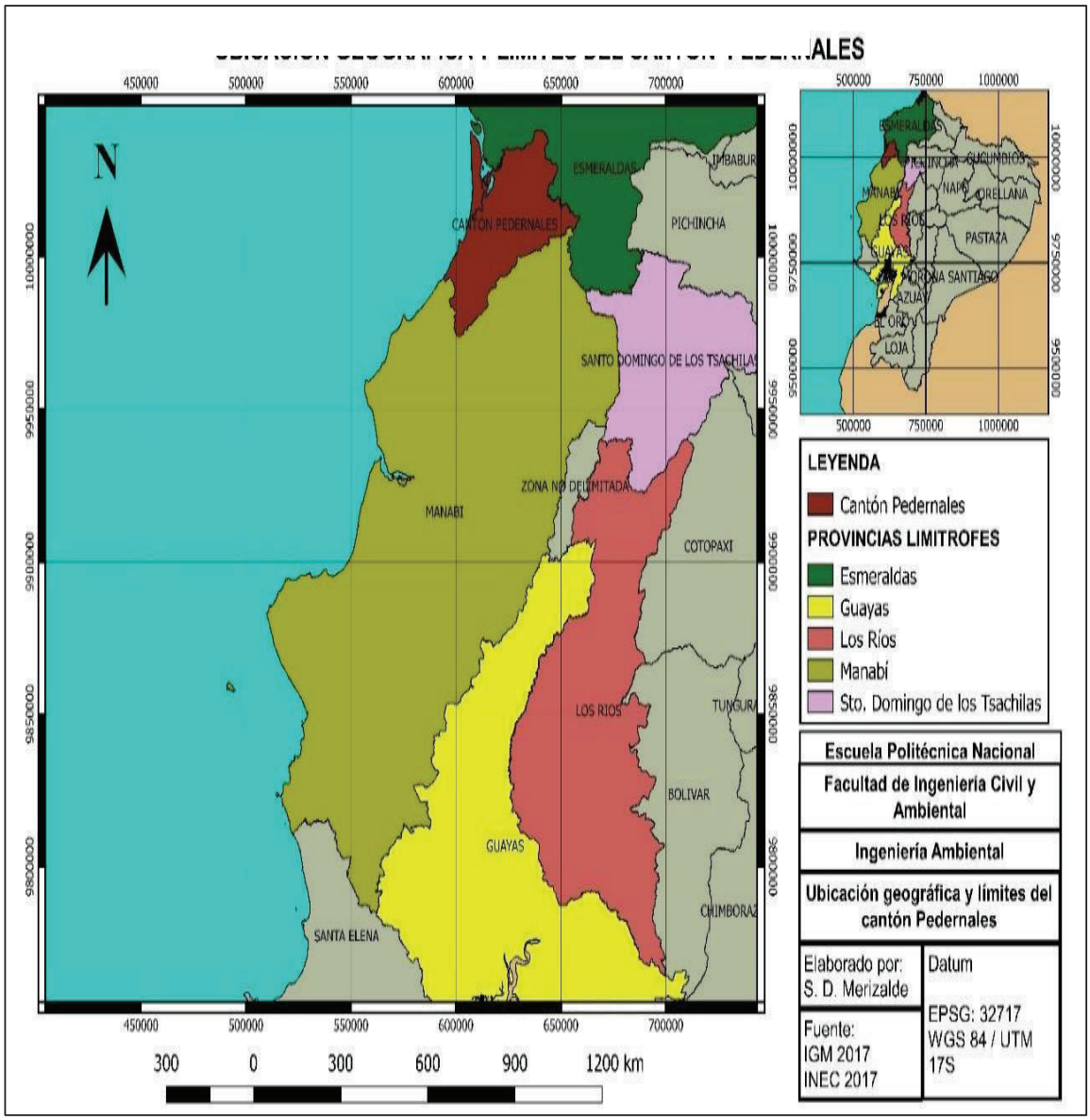
El cantón Pedernales está conformado por cuatro parroquias, la parroquia urbana de Pedernales y tres parroquias rurales: Cojines, 10 de agosto y Atahualpa. La parroquia Pedernales se encuentra ubicada al noroeste de la provincia de Manabí, ocupa un área aproximada de 771 km^2, esta parroquia es la sede o capital del cantón Pedernales, y el lugar donde operan todas las instituciones públicas y privadas (GAD Pedernales, 2014).

3.1.1.1. Límites territoriales

- **Límites del cantón Pedernales**

El cantón Pedernales limita al norte con la provincia de Esmeraldas, al sur con los cantones Chone y Jama, al este con el cantón Chone y al oeste con el Océano Pacífico. Posee un borde costero de 54 km, siendo el cantón con mayor extensión de costa en la provincia de Manabí. La Figura 3.1 muestra los límites del cantón Pedernales.

FIGURA 3.1. LÍMITES TERRITORIALES DEL CANTÓN PEDERNALES

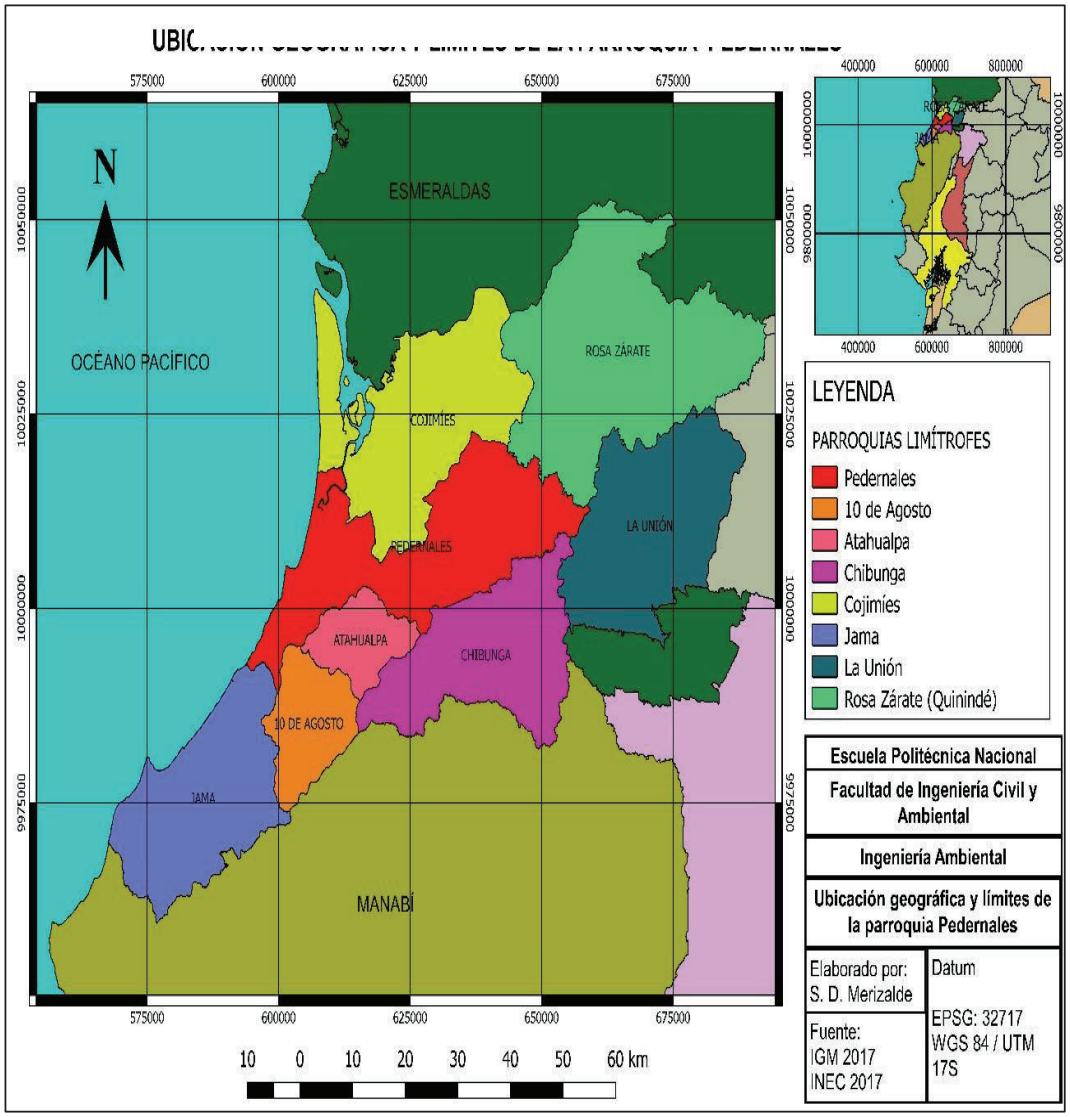


Fuente: Datos cartográficos (IGM, 2017)

- **Límites de la parroquia Pedernales**

La parroquia Pedernales limita al norte con las parroquias de Cojimíes y Quinindé, al sur con las parroquias de Jama, 10 de agosto, Atahualpa y Chibunga, al este con la parroquia de La Unión y al oeste con el Océano Pacífico. La Figura 3.2 muestra los límites de la parroquia Pedernales.

FIGURA 3.2 LÍMITES TERRITORIALES DE LA PARROQUIA PEDERNALES



Fuente: Datos cartográficos (IGM, 2017)

3.1.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

Los datos meteorológicos presentados, fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para los años 2010 hasta 2015, de la estación meteorológica de Muisne (M 0153), la más cercana a la parroquia Pedernales, debido a que la estación Jama (M 167) se encontraba fuera de servicio en el periodo mencionado.

3.1.2.1. Clima

La parroquia Pedernales tiene un clima tropical semiárido en los meses de verano de junio a noviembre y un clima tropical lluvioso en los meses de diciembre a mayo, que corresponden al invierno (SNI, 2014).

3.1.2.2. Temperatura

La temperatura media es de 25 °C, con valores mínimos de 24 °C y máximas de 27,4°C. La Tabla 3.1 muestra los datos multianuales de temperatura.

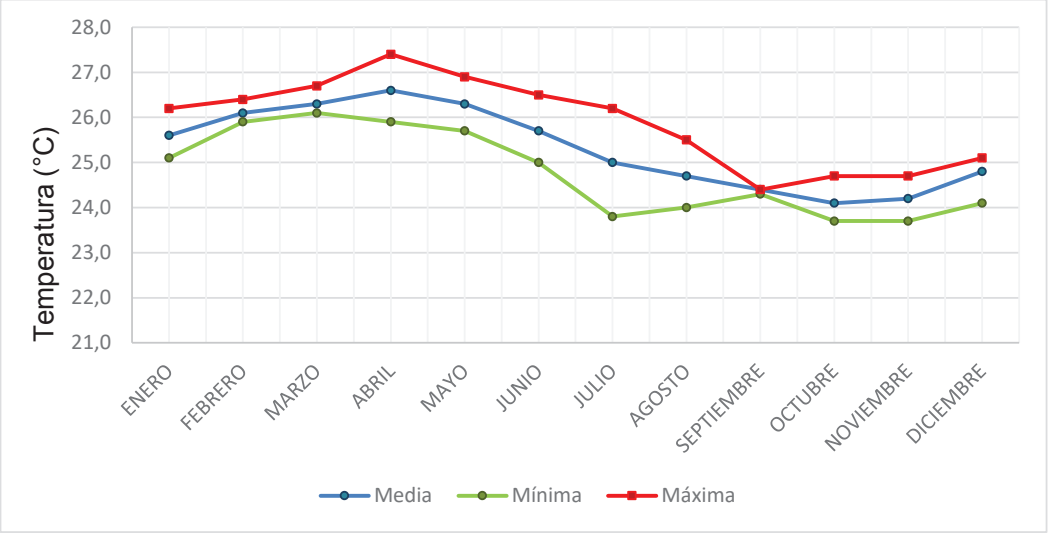
TABLA 3.1. TEMPERATURAS (°C) MENSUALES PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	26,2	26,4	26,7	27,4		25	24,5	24,5	24,3	23,7		24,1
2011	25,2	26,1		26,2	25,7	25,7	25,1	24,5	24,4	23,9	23,7	25,1
2012	25,1	25.9	26,4	26,7								
2013		26,0	26,1			25,2	23,8	24	24,4	24,2		
2014	25,8	25,9		25,9	26,3	25,9	25,2	24,8	24,3	24,7	24,7	25,1
2015	25,6		26,1	26,7	26,9	26,5	26,2	25,5				
Media	25,6	26,1	26,3	26,6	26,3	25,7	25	24,7	24,4	24,1	24,2	24,8
Mínima	25,1	25,9	26,1	25,9	25,7	25	23,8	24	24,3	23,7	23,7	24,1
Máxima	26,2	26,4	26,7	27,4	26,9	26,5	26,2	25,5	24,4	24,7	24,7	25,1

Fuente: INAMHI, 2017

La Figura 3.3 muestra las temperaturas mínimas, medias y máximas para el periodo 2010 – 2015.

FIGURA 3.3. TEMPERATURAS (°C) MÍNIMAS, MEDIAS Y MÁXIMAS PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE



Fuente: (INAMHI, 2017)

3.1.2.3. Precipitación

La precipitación media anual es de 1674,4 mm aproximadamente, con un mínimo anual de 875,2 mm y máxima anual de 2833,3 mm. En periodos anormales como es el fenómeno del niño, los datos de precipitación alcanzan los valores máximos (PDOT-PED, 2014).

TABLA 3.2 PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	318,9	375,2	476,9	575,6		80,8	221,9	35,9	44,4	31,4		251,5
2011	154	209.5	320,3	43,6	13,7	68,6	164,8	31,4	4,6	32,3	13,3	115,6
2012	383,6	257,7	284,3	88,1								
2013			234		63,7	123,1	59,6	26,3	9,3	42,9		
2014	274,6	187,2		226,1	102,8	159,5	91,6	32,6	51,9	19,6	48	50,7
2015	191	267,3	272	143,6	202,5	121,4	141,4	43,8				

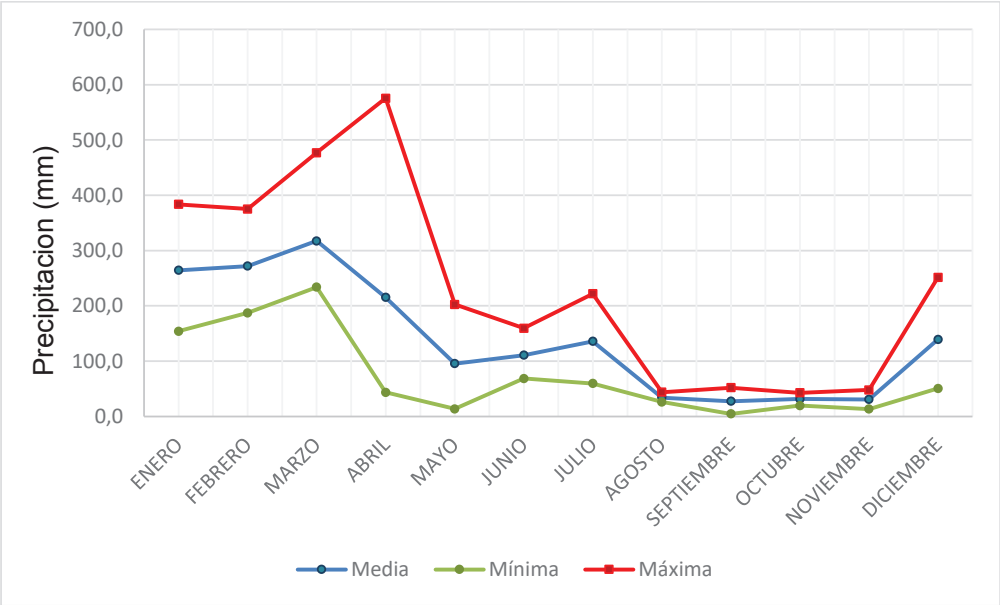
Continuación de la Tabla 3.2.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media	264,4	271,9	317,5	215,4	95,7	110,7	135,9	34	27,6	31,6	30,7	139,3
Mínima	154	187,2	234	43,6	13,7	68,6	59,6	26,3	4,6	19,6	13,3	50,7
Máxima	383,6	375,2	476,9	575,6	202,5	159,5	221,9	43,8	51,9	42,9	48	251,5

Fuente: INAMHI, 2017

La Figura 3.4 muestra la precipitación media, mínima y máxima para el periodo 2010 - 2015 de la estación Muisne.

FIGURA 3.4 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MULTIANUAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN DE MUISNE PARA EL PERIODO 2010 - 2015



Fuente: (INAMHI, 2017)

3.1.2.4. Humedad

Para el análisis de la humedad relativa, se ha tomado en cuenta los datos del periodo comprendido entre 2010 y 2013, dichos datos no muestran una variación significativa de la humedad. Se tiene valores de hasta 85% en los meses de invierno, mientras que para los meses de verano se estima una humedad relativa de hasta 77%, por lo que

en general se puede considerar un valor promedio anual del 81% de humedad para la parroquia de Pedernales.

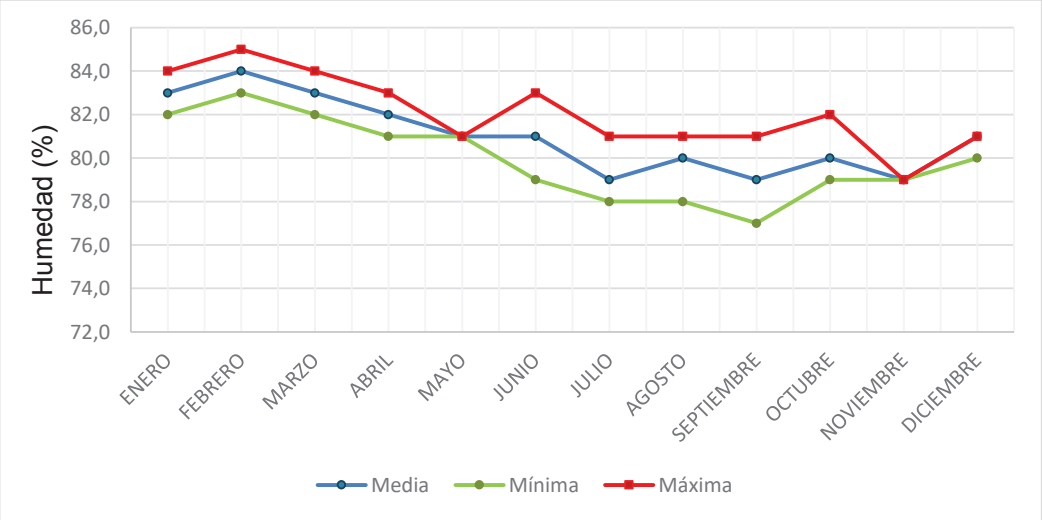
TABLA 3.3 HUMEDAD RELATIVA (%) PARA EL PERIODO 2010 - 2013 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	84	85	83	83		83	81	81	80	82		81
2011	82	84	84	81	81	80	79	81	81	79	79	80
2012	83	83	82	82								
2013			82		81	79	78	78	77	79		
Media	83	84	83	82	81	81	79	80	79	80	79	81
Mínima	82	83	82	81	81	79	78	78	77	79	79	80
Máxima	84	85	84	83	81	83	81	81	81	82	79	81

Fuente: (INAMHI, 2017)

La Figura 3.5 muestra la humedad media, mínima y máxima para el periodo 2010 – 2013, de la estación Muisne.

FIGURA 3.5. HUMEDAD RELATIVA (%) MENSUALES PARA EL PERIODO 2010 - 2015 DE LA ESTACIÓN DE MUISNE



Fuente: (INAMHI, 2017)

3.1.3. HIDROGRAFÍA

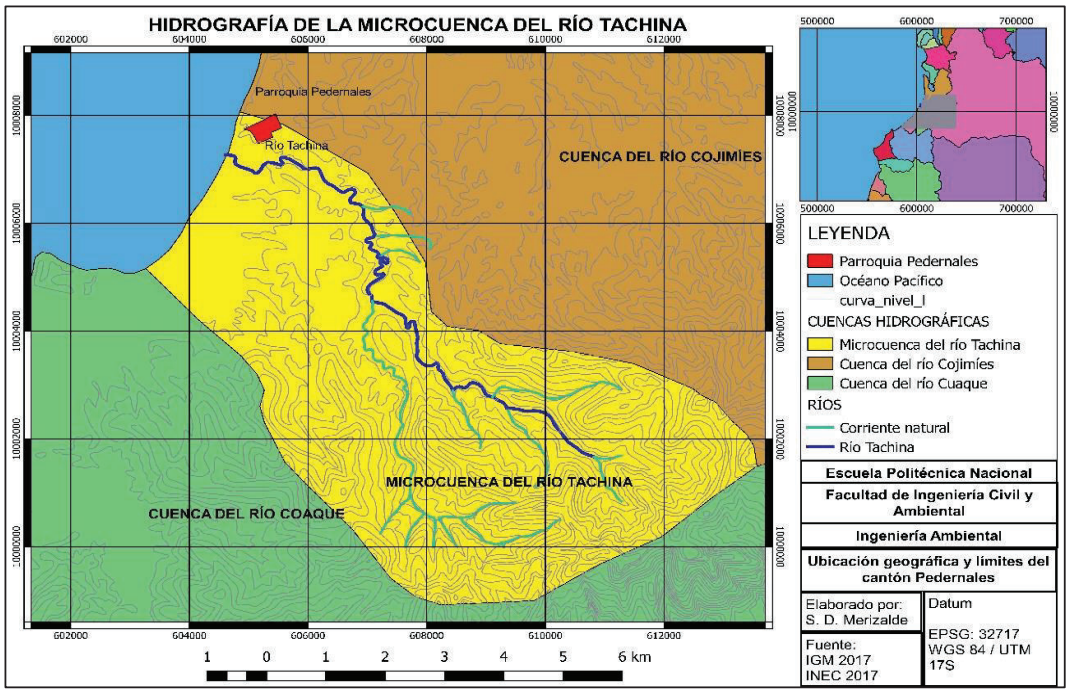
La red hidrográfica del cantón está constituida principalmente por los ríos Tachina, Coaque y el Estero Arrastradero (IGM, 2017).

El río Tachina nace en el bosque protector Cerro Pata de Pájaro, tiene una longitud aproximada de 16 km y desemboca directamente en el Océano Pacífico al sur de la parroquia Pedernales (SENAGUA, 2014). Esta fuente hídrica es muy importante en el presente trabajo de titulación, ya que plantea la captación del agua cruda de este río para su tratamiento de potabilización.

El río Coaque, tiene su naciente en la reserva Mache Chindul, en el sector noreste del cantón, tiene su desembocadura en Punta Gallinazo, en el Océano Pacífico (SNI, 2014).

Los dos cuerpos de agua mencionados anteriormente tienen un caudal permanente en el transcurso del año, con característica bimodal, en épocas secas el caudal baja y en época de lluvias extremas existe posibilidad de inundaciones (SNI, 2014). La Figura 3.6 muestra la hidrografía de la microcuenca del río Tachina.

FIGURA 3.6. HIDROGRAFÍA DE LA MICROCUENCA DEL RIO TACHINA



Para abastecer de agua a la planta de tratamiento de la parroquia de Pedernales se ha construido un embalse en el río Tachina, aproximadamente a 2 km aguas arriba del centro urbano, lo cual garantiza el caudal necesario para cubrir la demanda de la población servida.

La Figura 3.7 muestra una vista de las condiciones en la que se encuentra el embalse para la captación.

FIGURA 3.7. CONDICIÓN ACTUAL DEL EMBALSE DE CAPTACIÓN EN EL RÍO TACHINA

3.1.4. POBLACIÓN

Según el Censo de Población y Vivienda (INEC, 2010), la parroquia de Pedernales registraba una población de 33 640 habitantes, 17 189 hombres y 16 451 mujeres, con un crecimiento poblacional anual de aproximadamente 1,6% (INEC, 2010).

Sin embargo, los valores designados al crecimiento poblacional actualmente son difíciles de identificar, ya que después del terremoto del 16 de abril de 2016 parte de la población del sector inmigró hacia otras ciudades y no existen registros exactos de la población desplazada (El Universo, 2016).

El programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD), en su publicación sobre Gestión del Riesgo de Desastres a nivel regional y local para la “Recuperación y Reconstrucción post desastre”, no establece un tiempo definido para la normalización del crecimiento poblacional, sino que propone un sistema a largo plazo

en el cual el actor fundamental de la recuperación de la zona afectada es el gobierno de turno y de este depende que los factores económicos sociales y ambientales sean restaurados en un tiempo definido (PNUD, 2012).

El cálculo del crecimiento poblacional para la parroquia de Pedernales, con una proyección tentativa para 25 años, se requerirá a futuro, de más datos para obtener una linealización real; la aplicación del modelo geométrico de crecimiento poblacional, se muestra a continuación:

$$Pf = Po\,(1+r)^{t}$$

Dónde: Pf = Población final (hab.)

Po= Población inicial (33640 hab., 2010)

r = tasa de crecimiento poblacional (1,6% anual)

t = tiempo (años)

TABLA 3.4. CRECIMIENTO POBLACIONAL PARA LA PARROQUIA PEDERNALES

Año	Población estimada (hab)	Año	Población estimada (hab)	Año	Población estimada (hab)
2010	21595	**2022**	26147	**2034**	31633
2011	21946	**2023**	26565	**2035**	32139
2012	22303	**2024**	26990	**2036**	32654
2013	22666	**2025**	27422	**2037**	33176
2014	23029	**2026**	27861	**2038**	33707
2015	23397	**2027**	28307	**2039**	34246
2016	23771	**2028**	28759	**2040**	34794
2017	24152	**2029**	29220	**2041**	35351
2018	24538	**2030**	29687	**2042**	35916
2019	24931	**2031**	30162	**2043**	36491
2020	25330	**2032**	30645	**2044**	37075
2021	25735	**2033**	31135	**2045**	37668

Para el año 2042 se estima una población aproximada de 56 000 habitantes, a partir de una población inicial de 33 640 habitantes en 2010, con una tasa de incremento poblacional anual de 1,6%.

3.1.4.1. Educación

En comparación con las parroquias rurales del cantón, la parroquia Pedernales posee un menor índice de analfabetismo.

Según el Sistema Nacional de Información (SNI), la parroquia cuenta con 91 planteles educativos en el distrito Jama-Pedernales (SENPLADES, 2017).

La tasa de analfabetismo de la población en general es aproximadamente del 16,1%. Dentro de este distrito educativo, aproximadamente el 41% de la población de Pedernales asiste a un establecimiento educativo, mientras el 59% no lo hace (SNI, 2014). Esto se debe a diversos factores como:

- Distancia de recorrido de los estudiantes hasta el establecimiento educativo.
- Actividades económicas del grupo familiar como: producción, pesca, agricultura, acuacultura y ganadería, entre otras.

Las dos causales anteriores fueron presentadas en el PDOT 2014 del cantón Pedernales, sin embargo, se debe tomar en cuenta, además, que varias de estas instalaciones fueron afectadas con el terremoto de abril de 2016, lo que aumentó este índice de inasistencia.

Se prevé que el gobierno nacional, establezca un programa para mejorar o renovar la infraestructura de las zonas afectadas, con lo cual habrá un aumento en instalaciones de calidad para la educación de la parroquia de Pedernales y aledañas (MINEDUC, 2016).

3.1.4.2. Salud

El sistema de salud para la parroquia Pedernales es deficiente, según lo detallado en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2014, esta ciudad no cuenta con buena infraestructura de salud; clínicas u hospitales.
Además, se evidencia que los altos niveles de pobreza inciden en la salud de la población ya que grandes grupos poblacionales aún viven en situación de hacinamiento.

Estos inconvenientes aumentan con los problemas de salubridad en general, falta de infraestructura para saneamiento, déficit de agua potable y malnutrición de la población (SNI, 2014).

Las enfermedades que se presentan con más frecuencia en la población son de carácter gastrointestinal como: enfermedades diarreicas agudas (EDAS), parasitosis y desnutrición, también se evidencian enfermedades tropicales como dengue y paludismo y por último enfermedades de tipo respiratorio entre otras.

Se espera en los próximos años, al igual que con la infraestructura para la educación, se garantice la implementación de unidades médicas de salud tanto para el sector urbano como el rural (SENPLADES, 2017).

3.2. MUESTREO DEL AGUA CRUDA

Para el muestreo del agua cruda en el río Tachina, se tomó en cuenta los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176: agua, calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo (INEN, 2013).

3.2.1. PUNTO DE MUESTREO

La Tabla 3.5 muestra los detalles del punto de muestreo del agua cruda en el río Tachina. En el Anexo 3, Figura A 3, se evidencia la recolección del agua cruda del embalse del río Tachina.

TABLA 3.5. IDENTIFICACION GENERAL DEL PUNTO DE MUESTREO

Información	Detalle
Localización	**Provincia:** Manabí **Cantón:** Pedernales **Parroquia:** Pedernales
Nombre del sitio del muestreo	Río Tachina
Coordenadas	**Latitud**: 0°3'43.8" N **Longitud**: 80°02'48.7" O
Fecha de la muestreo	Abril 4 de 2017
Método de muestreo	Puntual, *in situ*.
Hora de la muestreo	10h00 a 14h00
Nombre del responsable	David Merizalde
Condiciones atmosféricas	**Temperatura promedio:** 28 °C **Humedad:** 80% aprox. **Precipitación:** ninguna
Conservante o estabilizador adicionado	Hielo (para muestras microbiológicas)
Datos recogidos en el campo	pH, conductividad y temperatura

3.2.2. TIPOS DE RECIPIENTES PARA MUESTREO

Se muestreó un total de 130 litros de agua cruda del río Tachina, distribuidos en diferentes recipientes plásticos, como se demuestra en el Anexo 3.

La Tabla 3.6 muestra la cantidad de agua y el tipo de recipientes utilizados para el muestreo, posterior análisis físico, químico y biológico para los ensayos de tratabilidad en laboratorio.

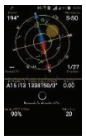
TABLA 3.6. RECIPIENTES USADOS PARA EL MUESTREO DE AGUA CRUDA, 2017.

Tipo de recipiente	Material	Cantidad	Capacidad	Muestra almacenada en el recipiente	Imagen del recipiente
Cooler	Poliestireno (espuma)	1	n/a	-	
Envase	Plástico polietileno	6	1 Litro	Agua cruda para conservación y análisis de calidad	
Botella	Plástico polietileno	4	1 Litro	Agua tratada para análisis de calidad	
Poma	Plástico HDPE	6	20 Litros	Agua cruda para análisis de tratabilidad	
Envase esterilizado	Plástico polietileno	4	200 mL	Agua cruda para análisis microbiológico	

3.2.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MUESTREO

La Tabla 3.7 muestra los instrumentos usados durante el muestreo del agua cruda: un GPS para localización geográfica y un medidor portátil multiparámetros para registrar los valores de temperatura, pH y condiciones del agua en sitio.

TABLA 3.7. INSTRUMENTOS / EQUIPOS USADOS PARA EL MUESTREO

Instrumento / Equipo	Detalle	Imagen
GPS	Localización geográfica del punto de muestreo del agua cruda	
Equipo multiparámetros	Mediciones en campo: conductivímetro, oxigímetro, pH-metro y termómetro	

3.3. ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA CRUDA

3.3.1. PARÁMETROS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA CRUDA

Para clasificar al agua dentro de los parámetros que se muestra posteriormente en la Tabla 3.9 y determinar qué proceso requiere para su potabilización, fue necesario medir la alcalinidad y turbiedad, junto con otros parámetros como los mostrados en la Tabla 3.8.

Los parámetros analizados fueron ensayados por triplicado para tener fiabilidad en los resultados. Los datos de alcalinidad, color, dureza y sólidos se presentan en el Anexo 1.

TABLA 3.8. PARÁMETROS BÁSICOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA

Parámetro	Unidades	Valor
pH	unidades	*
Color	Pt-Co	*
Turbiedad	NTU	*
Temperatura	°C	*
Sólidos totales disueltos	mg/L	*
Alcalinidad Total	mg/L como $CaCO_3$	*
Dureza Total	mg/L como $CaCO_3$	*
Dureza Cálcica	mg/L como $CaCO_3$	*
Hierro total	mg/L	*
Hierro soluble	mg/L	*
Calcio	mg/L	*
Magnesio	mg/L	*
Manganeso	mg/L	*
* Valores obtenidos en la fase de resultados		

3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS A TRATARSE

Como se observó anteriormente en la Tabla 2.1, el agua del río Tachina se la clasifica como un agua cruda de tipo D, lo que sugiere un tratamiento de potabilización mediante el uso de químicos coagulantes que la ayuden a eliminar turbiedad y color.

Además, se requiere identificar los químicos adecuados en el tratamiento de potabilización, por lo que se hará uso de los rangos de turbiedad y alcalinidad mostrados en la Tabla 3.9 y posteriormente a su clasificación para encajar como tratamiento de tipo A, B, C o D.

TABLA 3.9. RANGOS PARA TURBIEDAD Y ALCALINIDAD

Parámetro	Baja	Media	Alta
Turbiedad (NTU)	1 – 10	10 – 250	> 250
Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$)	< 75	75 – 250	> 250

Fuente: (UPRM, s.f.)

Una vez identificados los valores de turbiedad y alcalinidad, se procede a escoger el tratamiento para la potabilización.

Según la “guía de laboratorio para prueba de jarras”, a continuación, se resume los diferentes tratamientos de potabilización.

Tratamiento A) Aguas con alta turbiedad y alta alcalinidad

El sistema de tratamiento para este tipo de aguas es el más fácil, ya que las sales de aluminio o hierro usadas son muy efectivas. Las sales de aluminio son más eficientes en rangos de pH entre 6 y 7, mientras que las sales de hierro actúan mejor en rangos de pH entre 5 y 7. Es posible que para este tratamiento no sea necesario la adición de ayudantes de coagulación o alcalinizantes para el control del pH.

Tratamiento B) Aguas con alta turbiedad y baja alcalinidad

El tratamiento para este caso es similar al anterior, sin embargo, se requiere de alcalinizantes para controlar que el pH del agua no baje.

Tratamiento C) Aguas con baja turbiedad y alta alcalinidad

Se requiere altas dosis de coagulante para producir la sedimentación del $Al(OH)_3$ o el $Fe(OH)_3$. Para lograr disminuir la dosis de coagulante, es necesario la adición de un ayudante de coagulación como arcillas o sílice activada.

Tratamiento D) Aguas con baja turbiedad y baja alcalinidad

En este caso, las sales de aluminio o hierro no son efectivas en el tratamiento. Para el tratamiento adecuado se puede realizar las siguientes acciones:

- Adicionar un alcalinizante, el cual permita trasformar esta agua al tipo C de baja turbiedad y alta alcalinidad.
- O la adición de arcillas u otro material que permita transformar el agua al tipo B de alta turbiedad y baja alcalinidad.

Una vez determinada las características del agua cruda, se procede a compararla con los límites máximos permisibles de la norma técnica NTE INEN 1108 y posteriormente a la selección del tratamiento óptimo de potabilización.

3.4. DETERMINACIÓN DE DOSIS ÓPTIMAS

3.4.1. DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

Mediante pruebas de jarras se determinó la dosis de $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$ (coagulante) para producir la más rápida desestabilización de partículas en el agua cruda, y formar flóculos pesados y compactos que puedan sedimentar con facilidad y no se rompan al pasar por un filtro.

La solución de coagulante, $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$, fue preparado al 1%, es decir, que un 1 mL de la solución equivale a 10 mg/L de sulfato de aluminio tipo A. Para determinar la dosis efectiva de coagulante, se aplicó el siguiente procedimiento.

1) Llenar las 6 jarras con un litro agua cruda y colocar en el equipo de jarras.
2) Colocar las paletas giratorias en posición (dentro de cada jarra).
3) Tomar las dosis prescritas de coagulante $Al_2(SO_4)_3$ $18H_2O$ como se muestra en la Tabla 3.10, en jeringas plásticas de 10 mL.
4) Iniciar la agitación a 100 rpm, añadir simultáneamente en todas las jarras la dosis respectiva y continuar la agitación por 1 minuto para la mezcla rápida y a 30 rpm por 15 minutos para la mezcla lenta.
5) Finalizado el tiempo de agitación, dejar sedimentar el agua por 20 minutos.
6) Tomar muestras del agua clarificada y medir los parámetros de pH, color y turbiedad para ser tabulados.

La Tabla 3.10 muestra el formato para registrar los resultados de las lecturas de pH, color y turbiedad, luego del proceso de coagulación - floculación.

TABLA 3.10. OPTIMIZACIÓN DE DOSIS DE COAGULANTE $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$

Jarra No.	Volumen de agua cruda (L)	Dosis de coagulante Al2(SO4)318H2O mg/L	Agua clarificada		
			Color (Pt – Co)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)
1	1	10	*	*	*
2	1	20	*	*	*
3	1	30	*	*	*
4	1	40	*	*	*
5	1	50	*	*	*
6	1	60	*	*	*
* Valores obtenidos en la fase de resultados					

Los datos obtenidos se representan en una gráfica de “turbiedad/color vs. dosis de coagulante” para observar la mínima turbiedad y color residual alcanzados luego del proceso de coagulación. De ser necesario, en un ensayo adicional puede estrecharse el rango de dosis óptima o a su vez ampliarlo si los valores de turbiedad y color aún son altos.

3.4.2. DOSIS ÓPTIMA DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN

Según el tipo de agua cruda, en ciertas ocasiones, es requerido el uso de ayudantes de coagulación como sílice o arcillas para lograr un flóculo más grande, mientras que si el pH luego de la adición de sulfato de aluminio baja drásticamente es necesario el uso de un alcalinizante que generalmente es hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) para neutralizar el álcali.

Para el presente proyecto se identificó que no es necesario el uso de ningún ayudante de coagulación ni alcalinizante, como se verá en mayor detalle en la fase de resultados y discusión. Sin embargo, a continuación, se detalla el procedimiento para determinar la dosis óptima de alcalinizante tomando como ejemplo el hidróxido de calcio.

Se prepara una solución al 0,5%, es decir, 0,5 gramos de alcalinizante por cada 100 mL de agua destilada, para la dosificación se debe tomar en cuenta que 5 mL de la solución equivale a 5 mg/L de $Ca(OH)_2$.

Debido a su poca solubilidad, es necesario agitar bien la solución antes de su empleo o dosificación. Para determinar las dosis efectivas del ayudante de coagulación se aplica el siguiente procedimiento.

1) Llenar las 6 jarras con agua cruda y colocar en el equipo de jarras.
2) Colocar las paletas giratorias en posición.
3) Con la ayuda de jeringas plásticas de 10 mL, tomar la dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ $18H_2O$ registrada en el proceso de coagulación como se indica en la Tabla 3.11.
4) Iniciar la agitación a 100 rpm, añadir simultáneamente en todas las jarras la dosis respectiva de alcalinizante junto con la dosis óptima de coagulante y continuar la agitación por 1 minuto para la mezcla rápida y a 30 rpm por 15 minutos para la mezcla lenta.
5) Finalizado el tiempo de agitación, dejar sedimentar el agua por 20 minutos.
6) Tomar muestras del agua clarificada y medir los parámetros de pH, color y turbiedad para ser tabulados.

La Tabla 3.11 muestra el formato para registrar los resultados de pH, color y turbiedad luego del proceso de dosificación de alcalinizante.

TABLA 3.11. OPTIMIZACIÓN DE DOSIS DE ALCALINIZANTE $Ca(OH)_2$

Jarra No.	Volumen de agua cruda (L)	Dosis de coagulante $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$ (mg/L)	Dosis de alcalinizante $Ca(OH)_2$ (mg/L)	Agua clarificada		
				Color (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)
1	1	Dosis óptima de coagulante	10	*	*	*
2	1		20	*	*	*
3	1		30	*	*	*
4	1		40	*	*	*
5	1		50	*	*	*
6	1		60	*	*	*
* Valores obtenidos en la fase de resultados						

Los resultados obtenidos se muestran en una gráfica "dosis de alcalinizante vs. turbiedad y color residual" para determinar la dosis óptima de alcalinizante.

3.5. OPTIMIZACIÓN PRÁCTICA DE LOS GRADIENTES DE VELOCIDAD

Una vez determinadas las dosis óptimas de coagulante, alcalinizante y ayudante se coagulación, se procede con la optimización de los tiempos de mezcla rápida y mezcla lenta, en el proceso de coagulación – floculación.

3.5.1. TIEMPO ÓPTIMO DE COAGULACIÓN (MEZCLA RÁPIDA)

Para la optimización del tiempo de mezcla rápida se procedió con los valores de dosis de coagulante y ayudante de coagulación mostrados en la Tabla 3.12 con una velocidad de agitación de 100 rpm ($G=95\ s^{-1}$), variando los tiempos de mezcla, desde 60 hasta 120 segundos. El procedimiento se muestra a continuación.

1) Llenar las 4 jarras con agua cruda y colocar en el equipo de jarras.
2) Colocar las paletas giratorias en posición.
3) Con la ayuda de jeringas plásticas de 10 mL, tomar la dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y la dosis óptima de ayudante de coagulación como se indica en la Tabla 3.12.
4) Iniciar la agitación a 100 rpm, añadir simultáneamente en todas las jarras la dosis óptima de coagulante junto con la dosis óptima de ayudante de coagulación y continuar la agitación por los tiempos pre-establecidos para la

mezcla rápida de 60, 80, 100 y 120 segundos y a 30 rpm por 15 minutos para la mezcla lenta en todos los casos.

5) Finalizado el tiempo de mezcla lenta, dejar sedimentar el agua por 20 minutos.
6) Tomar muestras del agua clarificada y medir los parámetros de pH, color y turbiedad para ser tabulados.

TABLA 3.12. OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA

Jarra No.	Dosis óptima de coagulante $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$ (mg/L)	Dosis óptima Alcalinizante $Ca(OH)_2$ (mg/L)	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo de mezcla rápida (segundos)	Turbiedad Final (NTU)
1	80	-	100	60	*
2			100	80	*
3			100	100	*
4			100	120	*
* Valor obtenido en la etapa de resultados					

Los datos obtenidos se muestran en una gráfica de “turbiedad final vs. tiempo de mezcla rápida” y se determinará el tiempo óptimo.

3.5.2. GRADIENTE ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA)

Para la optimización del proceso de mezcla lenta se procedió con los valores óptimos de coagulante, ayudante de coagulación y el tiempo óptimo de mezcla rápida a 100 rpm por 60 segundos. Los valores obtenidos para la mezcla lenta se registraron como se muestra en la Tabla 3.13 y para ello el procedimiento fue el siguiente:

1) Llenar las 6 jarras con agua cruda y colocar en el equipo de jarras.
2) Colocar las paletas giratorias en posición.
3) Con la ayuda de jeringas plásticas de 10 mL, tomar la dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ y la dosis óptima de ayudante de coagulación.
4) Iniciar la agitación con la velocidad óptima de mezcla rápida, añadir simultáneamente en todas las jarras la dosis óptima de ayudante de coagulación junto con la dosis óptima de coagulante y continuar la agitación por el tiempo óptimo de mezcla rápida.

5) Finalizada la mezcla rápida, realizar el proceso de mezcla lenta a velocidades de agitación de 30, 40 y 50 rpm con tiempos de 10, 15, 20 y 25 minutos para cada rango de velocidad como se muestra en la Tabla 3.13.
6) Finalizado el tiempo de agitación, dejar sedimentar el agua por 20 minutos.
7) Tomar muestras del agua clarificada y medir los parámetros de pH, color y turbiedad para ser tabulados.

TABLA 3.13. OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA LENTA

Velocidad de agitación (rpm)	Turbiedad final, NTU			
	Tiempos de floculación, minutos			
	10	15	20	25
30 rpm	*	*	*	*
40 rpm	*	*	*	*
50 rpm	*	*	*	*
* Valor obtenido en la etapa de resultados				

Los datos obtenidos se ven en una gráfica “tiempos de mezcla lenta vs. turbiedad final” para determinar el tiempo óptimo de mezcla lenta.

3.6. OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN

Una vez identificadas las dosis óptimas de coagulante, alcalinizante y los tiempos óptimos de mezclas rápida y lenta, se procedió a la optimización del proceso de sedimentación y el efluente fue filtrado.

3.6.1. SEDIMENTACIÓN

El procedimiento de optimización de la sedimentación se realizó de la siguiente manera:

1) Llenar las 6 jarras con agua cruda y colocar en el equipo de jarras.
2) Colocar las paletas giratorias en posición.
3) Con la ayuda de jeringas plásticas de 10 mL, tomar la dosis óptima de coagulante.

4) Iniciar la agitación con la velocidad óptima de mezcla rápida, añadir simultáneamente en todas las jarras la dosis óptima de ayudante de coagulación junto con la dosis óptima de coagulante y continuar la agitación por el tiempo óptimo de mezcla rápida.
5) Finalizada la mezcla rápida, seguir con la agitación con el tiempo y velocidad óptima para mezcla lenta determinado anteriormente.
6) Finalizado el tiempo de agitación, dejar sedimentar el agua y tomar muestras a los 10, 15, 20 y 25 minutos para medir la turbiedad.

Los datos de turbiedad final obtenidos se procedieron a tabular como se muestra en la Tabla 3.14, luego se realizó las gráficas respectivas de “turbiedad y color vs. tiempo de sedimentación”

TABLA 3.14. FORMATO PARA REGISTRO DE RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN

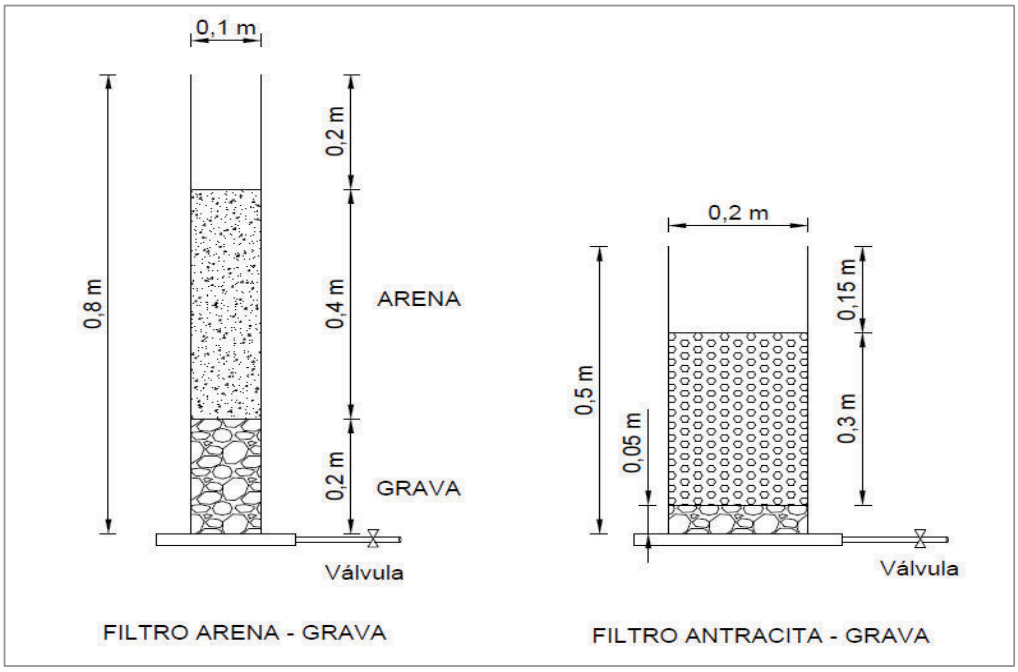
Tiempo de Sedimentación (min)	Tf (NTU)	Tf/To x 100	Vs** cm/s
10	*	*	*
15	*	*	*
20	*	*	*
25	*	*	*

* Valor obtenido en la etapa de resultados
** Vs = velocidad de sedimentación del floc.

3.6.2. FILTRACIÓN

Una vez optimizada la sedimentación se procede a la filtración del sobrenadante, para finalmente ejecutar el proceso de desinfección del agua filtrada. Utilizando dos filtros experimentales de laboratorio, se procedió a la filtración del efluente del proceso de sedimentación. La Figura 3.8 muestra el equipo de filtración usado y sus características.

FIGURA 3.8. MODELO DE LOS FILTROS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO



El agua luego del proceso de sedimentación pasó por dos filtros, el primero de arena – grava y el segundo de antracita – grava; al filtrado se midió la turbiedad y color residual para determinar la eficiencia del proceso, obteniéndose un 77% aproximadamente.

3.7. DEMANDA DE CLORO (DESINFECCIÓN)

Para el proceso de desinfección se usó hipoclorito de sodio (NaClO), a una concentración del 5%; 0,1 mL de la solución equivalente a 5 mg/L.

La optimización del proceso se efectuó mediante prueba de jarras utilizando el agua procedente del filtro y la adición de NaClO en concentraciones desde 1 a 5 mg/L, los datos y resultados serán registrados en la Tabla 3.15.

El procedimiento seguido en este ensayo se describe a continuación:

1) Llenar 5 jarras con 1 litro de agua previamente filtrada.
2) Utilizando una pipeta de 1 mL tomar las dosis prescritas de desinfectante mostrados en la Tabla 3.15.

3) Iniciar la agitación del agua a 10 rpm y dosificar el cloro respectivamente en cada y agitar por 1 minuto.
4) Parar la agitación y dejar un tiempo de contacto de 30 minutos.
5) Registrar la lectura de cloro libre residual en cada una de las jarras.
6) Graficar “cloro libre residual (mg/L) vs. dosis de hipoclorito de sodio (mg/L)”
7) Observar cual es la dosis que registre un rango de valores entre 0,3 y 1,5 mg/L como cloro libre residual.

La Norma Técnica Nacional INEN 1108: Agua potable, requisitos, establece que el tiempo mínimo de contacto del cloro en el agua debe ser de 30 minutos, luego de este tiempo el cloro libre residual fue medido mediante espectrofotometría y los resultados se registran como en el formato mostrado en la Tabla 3.15.

TABLA 3.15. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE CLORO

Jarra No.	**Dosis de desinfectante NaClO**		**pH final**	**Cloro libe residual (mg/L)**
	mL	**mg/L**		
1	0,02	1	*	*
2	0,04	2	*	*
3	0,06	3	*	*
4	0,08	4	*	*
5	0,1	5	*	*
* Valor obtenido en la etapa de resultados				

CAPÍTULO 4

. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD DEL AGUA CRUDA

Los resultados de la caracterización del agua cruda del sitio de captación en el río Tachina tomado en el mes de abril de 2017 se muestran en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1 RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA DEL RIO TACHINA, 2017

Parámetro	Unidades	Resultado
pH	Unidades	7,76
Color	Pt-Co	1846
Turbiedad	NTU	996
Temperatura	°C	19,8
Sólidos totales disueltos	mg/L	1126
Sólidos sedimentables	mL/L	0,81
Alcalinidad Total	mg/l como $CaCO_3$	55
Dureza Total	mg/l como $CaCO_3$	63
Dureza Cálcica	mg/l como $CaCO_3$	30,5
Hierro total	mg/L	2,1
Hierro soluble	mg/L	0,2
Calcio	mg/L	9,15
Magnesio	mg/L	5,5
Manganeso	mg/L	0,2

Los resultados de caracterización muestran que el pH del agua cruda es básico, la turbiedad y color son elevados, 200 y 123 veces más respectivamente, en comparación a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: Agua potable, requisitos, características típicas de un agua de río de la costa.

También, el agua cruda puede ser clasificada como de baja alcalinidad y alta turbiedad, características que corresponden a un agua para tratamiento B (véase pág. 36), lo que requiere un proceso de potabilización convencional con sales de aluminio como coagulante; en el caso de este estudio se utilizó $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ (tipo A).

Adicionalmente, otra característica importante del agua cruda fue la alta cantidad de sólidos sedimentables (0,81 mL/L), por lo que antes de empezar los ensayos de tratabilidad se procedió a realizar una pre-sedimentación para reducir la cantidad de químicos en el proceso de tratabilidad.

4.2. PRUEBA DE JARRAS

Siguiendo la metodología detallada en el capítulo 3, se realizó las pruebas de jarras para determinar las dosis óptimas de coagulante, tiempo óptimo de mezcla rápida, tiempo óptimo de mezcla lenta y ensayos de demanda de cloro. Los resultados fueron registrados y se muestran a continuación.

4.2.1. ANÁLISIS DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

La Tabla 4.2 muestra los resultados obtenidos en el proceso de coagulación.

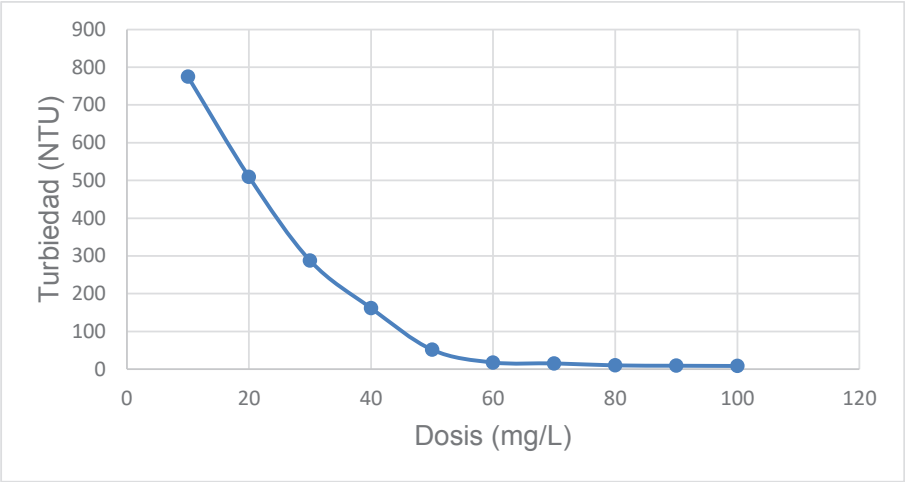
TABLA 4.2 RESULTADOS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN, PARA DISTINTAS DOSIS DE $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$

Jarra No.	Volumen de agua cruda	Dosis de coagulante $Al_2(SO_4)_3 18H_2O$	Agua clarificada (luego de la sedimentación)		
	(L)	mg/L	Color (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)
1	1	10	*	775	7,63
2	1	20	*	510	7,37
3	1	30	*	288	7,11
4	1	40	*	162	6,92
5	1	50	270	51,7	6,82
6	1	60	151	17,9	6,66
7	1	70	75	15,5	6,69
8	1	80	56	10,2	6,55
9	1	90	29	9,28	6,44
10	1	100	17	8,66	6,32
* Valores fuera del rango de medida					

Los resultados obtenidos de la Tabla 4.2 muestran que para una dosis de 60 mg/L del coagulante, los valores de turbiedad y color residuales aún son elevados, por lo que fue necesario ensayar con mayores dosis, hasta 100 mg/L.

La Figura 4.1 muestra la gráfica de los resultados de la relación entre turbiedad y las diferentes dosis usadas en el proceso de coagulación.

FIGURA 4.1 RELACIÓN TURBIEDAD VS. DOSIS DE COAGULANTE

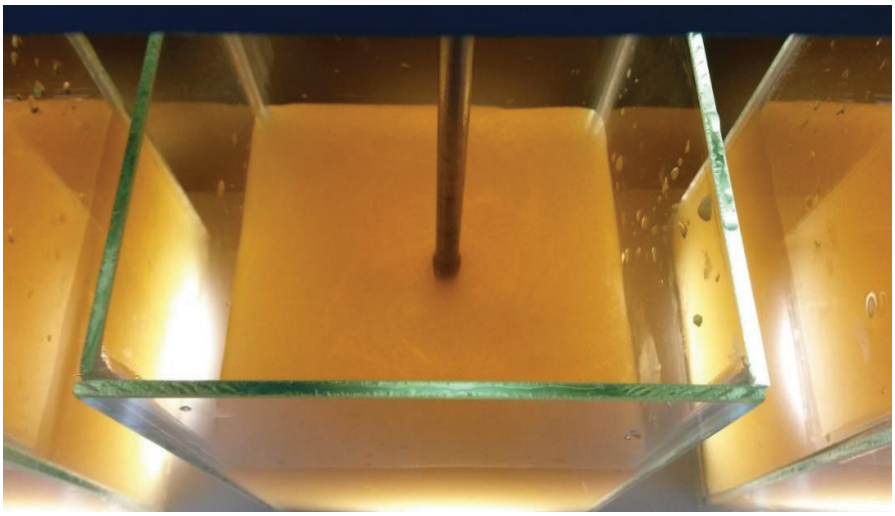


Los resultados indican marcadas reducciones de color y turbiedad con dosis a partir de 60 mg/L, pero en ningún caso alcanzó lo estipulado en la norma. Para seguir con los ensayos se tomó una dosis de 80 mg/L de coagulante, posteriormente se mostrará que después de un proceso de filtración esta dosis resulta óptima para el proceso de potabilización.

Además de los valores de turbiedad y color, se midió el pH del efluente, parámetro que se mantuvo sin mayores cambios y dentro del rango de neutralidad 6,3 y 7,6, por lo que no fue necesario la adición de alcalinizante ni ayudantes de coagulación, ya que esto implicaría aumento en los costos de potabilización.

En la Figura 4.2 se observa la formación del flóculo durante el proceso de coagulación – floculación con la prueba de jarras. Según el índice de Willcomb, este flóculo tendría la calificación de 10 (véase Tabla 2.2).

FIGURA 4.2 FORMACIÓN DEL FLOC DURANTE EL PROCESO DE FLOCULACIÓN EN EL ENSAYO DE JARRAS



4.2.2. ANÁLISIS DE TIEMPOS DE MEZCLA RÁPIDA

La Tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos en el proceso de mezcla rápida con la dosis óptima de coagulante.

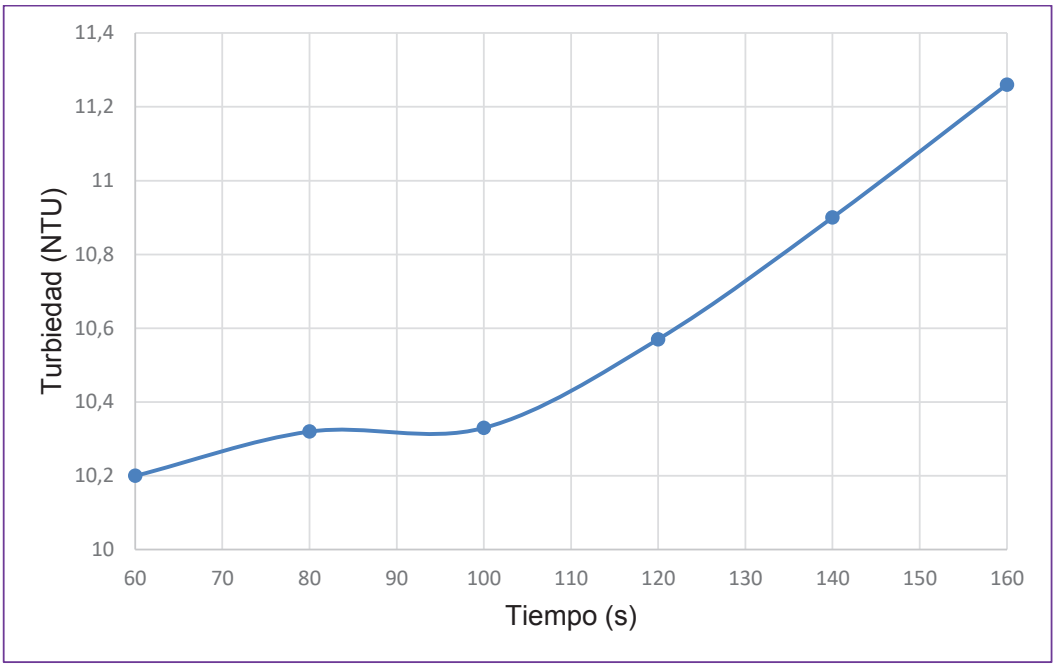
Por cada litro de agua cruda se añade a 80 mg/L de $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ para realizar la agitación rápida a diferentes tiempos, una vez concluida la sedimentación se obtuvo datos de turbiedad final.

TABLA 4.3 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA

Jarra No.	Volumen (L)	Dosis óptima de coagulante (mg/L)	Tiempo de mezcla rápida (segundos)	Turbiedad Final (NTU)
1	1	80	60	10,20
2	1	80	80	10,32
3	1	80	100	10,33
4	1	80	120	10,57
5	1	80	140	10,90
6	1	80	160	11,26

Los resultados obtenidos son mostrados en la Figura 4.3 que representa la relación de turbiedad final vs. tiempo de mezcla rápida.

FIGURA 4.3 DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA RÁPIDA



Para el tiempo óptimo de mezcla rápida, se aprecia en la Figura 4.3 que la turbiedad más baja se genera a los 60 segundos de mezcla, por lo que este este tiempo se consideraría el óptimo.

Una vez definido el tiempo óptimo de mezcla rápida se procede a determinar del gradiente de velocidad (s^{-1}). Utilizando la Figura 2.4 que muestra la "relación entre rpm vs gradiente de velocidad" para el equipo PHIPPS & BIRD, se observa que el gradiente de velocidad para 100 rpm corresponde a 95 s^{-1}.

Los gradientes de velocidad para mezcla rápida y mezcla lenta son esenciales para posteriormente realizar el diseño funcional de floculadores (Baque, 2001).

4.2.3. ANÁLISIS DE MEZCLA LENTA

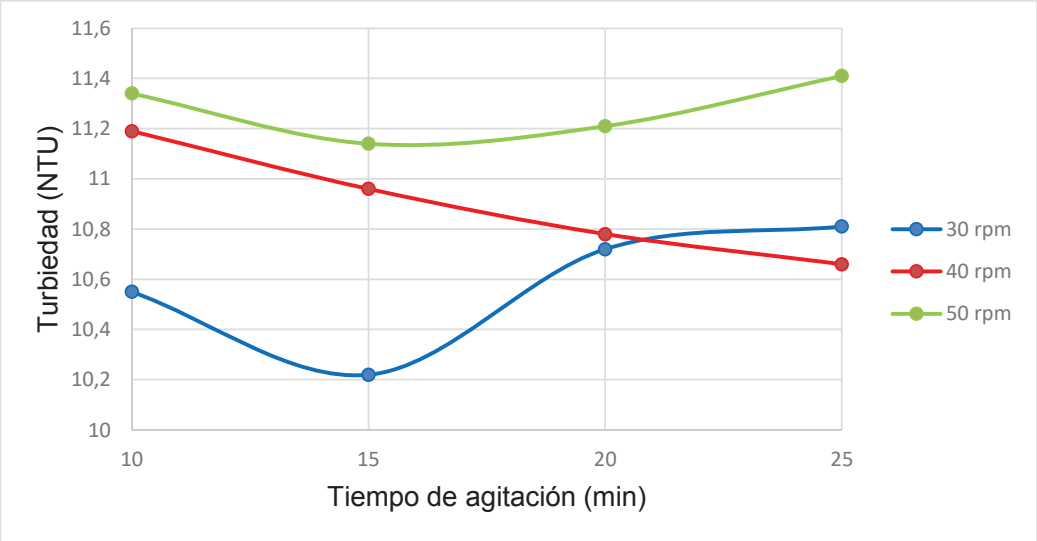
Una vez concluida la sedimentación, luego del proceso de mezcla lenta, se obtuvo datos de turbiedad final los cuales se muestran en la Tabla 4.4.

TABLA 4.4 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA LENTA

Velocidad de agitación rpm	Turbiedad final (Tf) NTU			
	Tiempos de floculación, minutos			
	10	15	20	25
30 rpm	10,55	10,22	10,72	10,81
40 rpm	11,19	10,96	10,78	10,66
50 rpm	11,34	11,14	11,21	11,41

Los datos de la Tabla 4.4 se representan en la Figura 4.4, en la que se evidencia que la menor turbiedad se consigue a un tiempo de 15 minutos a una velocidad de agitación de 30 rpm, con un gradiente de 22 s^{-1}, por lo que se toma a este como tiempo óptimo para el tratamiento.

FIGURA 4.4 DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA LENTA



Además de encontrar el tiempo óptimo de mezcla lenta se observó que después de los 15 minutos de agitación los valores de turbiedad final aumentan, esto se debe a

que los flóculos formados se rompen y las partículas vuelven a suspenderse en el agua.

4.2.4. ANALISIS DE OPTIMIZACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN

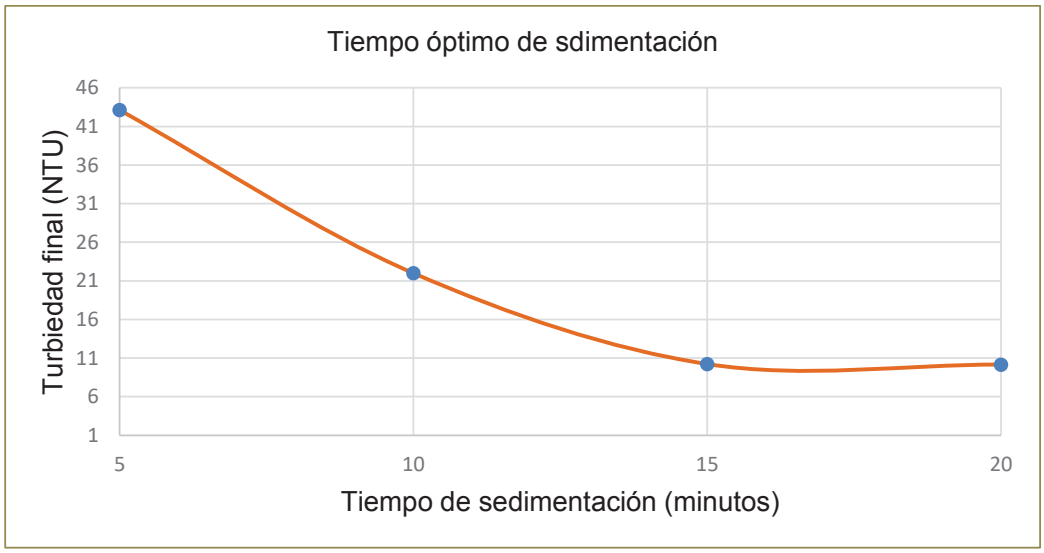
Una vez obtenidos los datos optimizados de dosis de coagulante y sus respectivos tiempos de mezcla, se procede a la optimización de la sedimentación, para ello se midió la turbiedad a diferentes tiempos. Los resultados del ensayo de sedimentación se muestran en la Tabla 4.5.

TABLA 4.5 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN

Tiempo de sedimentación (min)	Tf (NTU)	Volumen de sólidos sedimentables (mL/L)
5	43,12	80
10	21,99	65
15	10,22	56
20	10,15	55

Los datos obtenidos son mostrados en la Figura 4.5 donde evidencia el tiempo necesario para alcanzar el menor valor de turbiedad.

FIGURA 4.5 DETERMINACIÓN DE TIEMPO ÓPTIMO DE SEDIMENTACIÓN



Como se observa en la Figura 4.5 se obtiene un tiempo de sedimentación óptimo a los 15 minutos, con una turbiedad residual de 11 NTU, produciendo un volumen de lodos de 55 mL/L (véase Tabla 4.8).

En la Figura 4.6, se muestra el ensayo de sólidos sedimentables mediante cono Imhoff, en la que se ve de mejor manera la cantidad de sedimento generado.

FIGURA 4.6 SÓLIDOS SEDIMENTABLES LUEGO DEL ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN

4.2.5. ANÁLISIS DE FILTRACIÓN

El efluente de la sedimentación, se pasó por dos filtros piloto previamente estructurados, el primero con grava y arena y el segundo con grava y antracita.

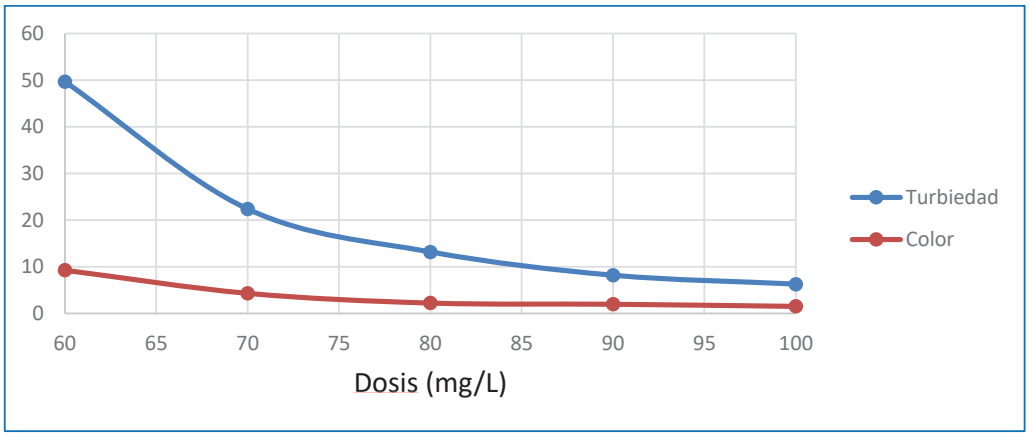
La Tabla 4.6 muestra los resultados de turbiedad y color del agua que se obtuvo luego del proceso de coagulación - floculación y el uso del proceso de filtración para identificar la mejor dosis de coagulante para el tratamiento de potabilización.

TABLA 4.6 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

Dosis (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)
60	9,3	49,7
70	4,35	22,4
80	2,27	13,2
90	2,01	8,2
100	1,56	6,3

Los resultados obtenidos en la Tabla 4.6 son graficados y se muestran en la Figura 4.7, donde se aprecia los valores de turbiedad y color residual luego del proceso de coagulación – floculación, sedimentación y filtración vs. las diferentes dosis de coagulante aplicadas, siendo la dosis de 80 mg/L la que produce los mínimos valores de turbiedad 2,27 NTU y color de 13,2 Pt – Co, cumpliendo con lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: Agua potable, requisitos.

FIGURA 4.7 TURBIEDAD Y COLOR RESIDUAL VS. DOSIS DE COAGULANTE



Luego del proceso de filtración, se envió el agua tratada a los laboratorios del Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) para realizar el análisis de *coliformes totales*, los resultados de estos análisis se presentan en el anexo 2 y se pudo verificar que después del proceso de filtración la cantidad de *coliformes* disminuye a un valor menor a 2 NMP/100 mL.

4.2.6. ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DESINFECCIÓN

Los resultados del ensayo de demanda de cloro se presentan en la Tabla 4.7, donde se puede observar que la mejor dosis de NaClO es de 4 mg/L con un valor de cloro libre residual de 1,22 mg/L.

Una vez concluida la desinfección se procedió al análisis de *Coliformes fecales*, por la técnica de tubos múltiples, resultando NMP/100 mL <1.

TABLA 4.7 RESULTADOS DE LA DOSIS ÓPTIMA DE NaClO COMO DESINFECTANTE

Jarra No.	Dosis de desinfectante NaClO		pH final	Cloro libe residual (mg/L)
	mL	mg/L		
1	0,02	1	6,59	0,15
2	0,04	2	6,73	0,32
3	0,06	3	6,92	0,58
4	0,08	4	7,05	1,22
5	0,1	5	7,14	1,58

En la Tabla 4.7, se observa que para el cumplimiento de la NTE INEN 1108: agua potable - requisitos, (cloro libre residual de 0,3 a 1,5 mg/L, véase Tabla 2.5) se cumple para tres valores de dosis de NaClO: 2,3 Y 4 mg/L; sin embargo, debido a las pérdidas que puede existir en el almacenamiento y distribución del agua, se opta por escoger la mayor concentración de cloro libre residual, siendo este el de 1,22 mg/L correspondiente a una dosis de 4 mg/L de NaClO.

4.3. RESULTADOS FINALES

Los resultados de todo el proceso de potabilización mediante el uso del equipo de prueba de jarras se muestran en la Tabla 4.8.

TABLA 4.8 RESULTADOS FINALES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN

Productos químicos usados		**Dosis óptima**
Sulfato de Aluminio tipo A (1%)	$(Al_2(SO_4)_3.18H_2O)$	80 mg/L
Hipoclorito de Sodio (5%)	NaClO	4 mg/L
Mezcla rápida		
Velocidad de agitación	100 rpm	
Gradiente de velocidad	95 s^{-1}	
Tiempo óptimo de mezcla rápida	60 segundos	
Mezcla lenta		
Velocidad de agitación	30 rpm	
Gradiente de velocidad	22 s-1	
Tiempo óptimo de mezcla lenta	15 minutos	
Tiempo óptimo de sedimentación	20 minutos	
Formación de lodos	55 mL/L	

Continuación de la Tabla 4.8.

Parámetros de calidad		
Parámetro	**Unidades**	**Resultado**
Color	Pt – Co	2,27
Turbiedad	NTU	13,2
pH	Unidades	6,55
Hierro total	mg/l	0.02
Manganeso	mg/l	0.00
Cloro residual	mg/L	Entre 0,3 y 1,5
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1

Luego del tratamiento de potabilización realizado a nivel de laboratorio, los parámetros analizados cumplen con los requisitos para agua potable establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: agua potable, requisitos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El presente trabajo técnico – experimental tuvo como propósito determinar, a nivel de laboratorio, el tratamiento de potabilización del agua cruda del embalse del río Tachina, para abastecer de agua a la parroquia Pedernales, cantón Pedernales, provincia de Manabí; el resultado fue satisfactoriamente cumplido mediante la utilización del equipo de prueba de jarras y productos químicos como $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ al 1%. y una solución comercial de NaClO al 5%.

De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- El agua cruda del embalse del río Tachina posee una elevada cantidad de material suspendido, sedimentable y disuelto, lo que le caracteriza como un agua para tratamiento de potabilización de “tipo B” con alta turbiedad, pero con baja alcalinidad.

- Se identificó que las sales de aluminio son eficientes en el proceso de coagulación – floculación, puesto que se logró remover la turbiedad y color.

- El floculo formado con la adición del coagulante $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ tuvo un índice de Willcomb de 10 (Tabla 2.2), es decir, es un flóculo que sedimenta fácilmente debido a su tamaño, permitiendo posteriormente un rápido proceso de sedimentación.

- No fue necesario añadir alcalinizante debido a que durante todo el tratamiento el pH del agua permaneció en el rango de neutralidad.

- La velocidad de agitación y el tiempo óptimo de mezcla rápida fue de 100 rpm y 60 segundos respectivamente, mientras que para la fase de mezcla lenta se

obtuvo valores óptimos para un tiempo de 15 minutos con una velocidad de agitación de 30 rpm.

- Con lo mencionado anteriormente, los gradientes óptimos de mezcla rápida y lenta son de 95 s^{-1} y 22 s^{-1}, respectivamente. Se puede decir que gradientes de velocidad más altos pueden generar un rompimiento del floculo y así disminuir la eficiencia del proceso de potabilización.

- La cantidad de lodos en el proceso de sedimentación fue de 55 mL/L, una vez concluida esta etapa se evidenció que aún existe material en suspensión de tamaño coloidal de difícil sedimentación, lo que genera una turbiedad residual de 10,2 NTU. Sin embargo, luego de la filtración fue removido a 2,27 NTU.

- Para el proceso de desinfección se utilizó NaClO comercial con una concentración de 5%, obteniendo mejores resultados a una dosis de 4 mg/L. Luego de un tiempo de contacto de 30 minutos, la concentración de cloro libre residual fue de 1,22 mg/L.

- Después del tratamiento de desinfección, con la ayuda de un ensayo de *Coliformes fecales* por la técnica de tubos múltiples, se evidenció el Número Más Probable de *Coliformes fecales* fue <1,1, parámetro que cumple con lo indicado en la NTE INEN 1108, agua potable – requisitos: quinta revisión 2014, con este dato y los mostrados en el trascurso del presente trabajo se puede concluir y garantizar que el agua después del tratamiento es apta para consumo humano.

5.2. RECOMENDACIONES

- Debido a la elevada turbiedad del agua cruda procedente del río Tachina, se recomienda que, previo al proceso de coagulación – floculación se aplique un proceso de pre-sedimentación, para reducir la cantidad de productos químicos usados en el proceso de potabilización.

- El sulfato de aluminio es una sal poco soluble en agua, por lo que su dosificación debe ser desde soluciones líquidas, recomendadas en concentraciones del 1% y 0,5%.

- Para reducir la turbiedad y color del agua proveniente del efluente de la sedimentación se requiere de un proceso de filtración, el cual podría ser realizado con un lecho de arena – antracita.

- Para el proceso de desinfección se recomienda el uso de NaClO (concentración al 5%), esto permitirá que los costos de desinfección sean menores y a la vez se cumpla con la NTE INEN 1108, agua potable – requisitos: quinta revisión 2014.

- Realizar con frecuencia mensual ensayos de tratabilidad para verificar la correcta dosificación de productos químicos usados en el proceso y evitar costos innecesarios.

- Realizar ensayos de tratabilidad en época seca para identificar la calidad del agua cruda y evaluar el mejor tratamiento de potabilización para este periodo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, R., Castillo, M., & Severiche, C. (2014). Eumed. Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros físicoquímicos básicos del agua. Recuperado el 18 de abril de 2017: http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html

Baque, M. (2001). ESPOL. Diseño de un sistema de floculación de paletas giratorias para una planta de potabilización de agua. Recuperado el 20 de junio de 2017, de: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4259/1/6779.pdf

CONAGUA. (2007). Manual de agua potable y saneaminento. Recuperado el 20 de abril de 2017, de Comisión Nacional del Agua: http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/24GuiaParaElManejoEstabilizacionyDisposicionDeLodosQuimicos.pdf

El Telégrafo. (2016). Portada. La prioridad en Pedernales es la dotación de agua potable entre la población afectada, págs 1 y 2. http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/3/la-prioridad-en-pedernales-es-la-dotacion-de-agua-potable-entre-la-poblacion-afectada. Recuperado el 18 de febrero de 2017

El Universo. (2016). Universo Noticias. Recuperado el 23 de junio de 2017, de http://www.eluniverso.com/noticias/2016/07/31/nota/5716908/terremoto-desplazo-miles-lejos-sus-provincias

GAD Pedernales. (2014). Sistema Nacional de Información. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pedernales. Recuperado el 17 de febrero de 2017, de: http://app.sni.gob.ec/sni-

link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO%20ESTRATEGICO%20PEDERNALES%202014_14-11-2014.pdf

García, A. (2011). Proyecto educativo sobre consumo de agua segura dirigido a las familias de la comunidad los tillales parroquia sucre. Recuperado el 5 de marzo de 2017, de: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2057/1/104T0020.pdf

Hernández, E. (2013). Análisis por medio de ensayos del tipo de retención y gradiente hidráulico del proceso de floculación de la planta de tratamiento de agua potable "lo de coy". Recuperado el 4 de mayo de 2017, de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2323_C.pdf

Idrovo, C. (2010). Universidad de Cuenca. Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun. Recuperado el 22 de abril de 2017, de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf

IEOS. (1992). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable. Recuperado el 7 de mayo de 2017, de SENAGUA: http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf

IGM. (2017). Instituto Geográfico Militar. Carta Topográfica Pedernales. Recuperado el 10 de junio de 2017, de: http://www.igm.gob.ec/work/files/cartabase/m/MII_F4.htm

INAMHI. (2017). Series mensuales de datos meteorológicos. Quito, Pichincha, Ecuador.

INEC. (2010). Sistema Nacional de Información. Datos de población y vivienda tabulados. Recuperado el 23 de junio de 2017, de: http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/13_POBL_PROV_CANT_PARR_SEXO.xls

INEN. (2011). NTE INEN 1108. Agua potable. Requisitos. Recuperado el 4 de marzo de 22017, de: https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1108.2011.pdf

INEN. (2013). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Agua. calidad del agua. muestreo. técnicas de mestreo. Recuperado el 25 de abril de 2017, de: http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2176-1.pdf

Jácome. (2014). CERES. Filtración rápida. Obtenido el 4 de marzo de 2017 de: ftp://ceres.udc.es/Grado_TECIC/Cuarto_Curso/Ingenieria%20Ambiental/Filtracion/TEMA-filtracion%20rapida-rev140211-ajb.pdf

MINEDUC. (2016). Dirección Nacional de Infraestructura Física. Ficha Informativa de Proyecto 2016. Recuperado el 27 de junio de 2017, de: https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/PROGRAMA-NACIONAL-INFRAESTRUCTURA.pdf

ONU. (2002). Observación general Nº 15. El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional). Recuperado el 12 de febrero de 2017, de http://repositoriocdpd.net:8080/bitstream/handle/123456789/794/Inf_NU_ObservacionDerechoAgua_2002.pdf?sequence=1

Palacios, J. (2011). Universidad de Cuenca. Filtros biológicos para la potabilización de agua, posibilidad de uso de filtros lentos de arena. Recuperado el 20 de

mayo de 2017, de: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf

PDOT-PED. (2014). Diagnóstico técnico, financiero, administrativo y comercial plan macroemergente de fortalecimiento del gobierno autónomo descentralizado de Pedernales. Pedernales: EPMAPA-PED.

Pérez, L. (2015). Instituto de ingeniería sanitaria y ambiental. Teoría de la sedimentación. Recuperado el 5 de mayo de 2017, de: http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf

Phipps&Bird. (s.f.). Phipps & Bird TM. G Cuves. Recuperado el 5 de mayo de 2017, de: http://www.phippsbird.com/pbinc/WaterWasteWater/Gcurve.aspx

PNUD. (2012). Cuadernillos de Gestión del Riesgo de Desastres a nivel regional y local. Recuperación y Reconstrucción post desastre. Recuperado el 26 de junio de 2017, de: http://www.preventionweb.net/files/38084_catlogo3.pdf

Romero, M. (06 de 2012). Universidad Rafael Landívar. Tratamientos utilizados en potabilización. Recuperado el 1 de junio de 2017, de: http://www.ozonoalbacete.es/wp-content/uploads/2011/08/estudio-agua-ozono.pdf

Sánchez, R., & Neudy, V. (2009). Conceptualización de un proceso desferrizador de agua subterranea para una planta de tratamiento rural. Obtenido de http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-09-02929.pdf

Sanchez, S. (2011). Universidad de La Salle. Propuesta de mejoramienro para planta de tratamiento de agua. Recuperado el 7 de marzo de 2017, de: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15022/T41.11%20S55p.pdf?sequence=2

SENAGUA. (2014). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Recuperado el 8 de marzo de 2017, de http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf

SENPLADES. (2014). Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobresa. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf

SENPLADES. (2017). SIN. Instituciones Educativas. Recuperado el 27 de junio de 2017, de: http://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=truehttp://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=true&bookmark=Document/BM09

Silva, M. (2015). Potabilización, procesos y diseño de plantas. Quito: Edicumbre.

SNI. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pedernales. Recuperado el 13 de junio de 2017, de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO%20ESTRATEGICO%20PEDERNALES%202014_14-11-2014.pdf

Standard Methods. (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Recuperado el 5 de junio de 2017, de http://www.umass.edu/mwwp/pdf/sm2120color.PDF

Torres, F. (2012). Analisis comparativo del proceso de floculación - coagulación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el río Daule y

el río Babahoyo en la provincia de Guayas. Recuperado el 29 de abril de 2017, de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24143/1/ICQA_Analisis%20comparativo%20de%20proceso%20de%20floculacion.pdf

TRAHISA. (2010). Tratamientos Hidráulicos del Ecuado. Obtenido de Informe técnico Moraspungo: s.n.

UPRM. (s.f.). Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Parámetros fisico - químicos: Alcalinidad. Recuperado el 5 de julio de 2017, de: http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf

Vinueza, A. (2010). Pruebas de tratabilidad, sistema de agua potable Moraspungo. Quito: TRAHISA. Recuperado el 3 de junio de 2017

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA CRUDA REALIZADOS EN EL LABORATORIO DOCENTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL (LDIA)

TABLA A 1. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE ALCALINIDAD

Tipo de muestra	Repetición	pH	Alcalinidad mg CaCO3/L	Promedio
Agua cruda	1	7,74	55	Aprox. 55 mg/L como $CaCO_3$
	2	7,68	54	
	3	7,75	55	

Elaborado por: S.D, Merizalde

TABLA A 2. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COLOR

Tipo de muestra	Repetición	Color Pt - Co	Promedio
Agua cruda	1	1842	Aprox. 1846 Pt - Co
	2	1851	
	3	1845	

Elaborado por: S.D, Merizalde

TABLA A 3. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE SÓLIDOS

Código crisol	Vm (mL)	P_0 (g)	P_1 (g)	P_2 (g)	ST (mg/L)	SV (mg/L)
DM1	50	31,5180	31,5743	31,5646	1126	932

Código crisol	Vm (mL)	P_0 (g)	P_1 (g)	SS (mg/L)	S_{Sed} (Imhoff) (mL/L)
DM2	100	0,1427	0,2151	724	0,8

Código crisol	Vm (mL)	P_0 (g)	P_1 (g)	P_2 (g)	SDF (mg/L)	SDV (mg/L)
DM3	40	36,6384	36,6522	36,6471	345	217,5

Elaborado por: S.D, Merizalde

TABLA A 4. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE DUREZA

Tipo de muestra	Repetición	Dureza mg CaCO3/L	Promedio
Agua cruda	1	63	Aprox. 63 mg/L como $CaCO_3$
	2	65	
	3	64	

Elaborado por: S.D, Merizalde

TABLA A 5. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE HIERRO Y MANGANESO

Parámetro	Unidad	Valor
Hierro total	mg/L	2,1
Hierro soluble	mg/L	0,2
Manganeso	mg/L	0,2

Elaborado por: S.D, Merizalde

ANEXO 2

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS EN LABORATORIOS ACREDITADOS

FIGURA A 1. INFORME MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.MI. 35577
ORDEN DE TRABAJO No. 55466

SOLICITADO POR:	MERIZALDE DAVID
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	TUMBACO
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	MUESTRA 1 AGUA RIO TACHINA
LOTE:	------
FECHA DE ELABORACIÓN:	------
FECHA DE VENCIMIENTO:	------
FECHA DE RECEPCIÓN:	05/04/2017
HORA DE RECEPCIÓN:	13H09
FECHA DE ANÁLISIS:	07/04/2017
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	18/04/2017
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA	
COLOR:	CARACTERÍSTICO
OLOR:	CARACTERÍSTICO
ESTADO:	LÍQUIDO
CONTENIDO:	100ml
OBSERVACIONES:	LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE AL OSP
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	1 3X10	MMI-11/SM 9221-B

DATOS ADICIONALES:
NMP/100ml: Número mas probable de coliformes por 100 mililitro

Acreditación Ecuatoriana

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO estan incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS O.S.P.

B.F. Magaly Chasi – Msc
JEFE ÁREA DE MICROBIOLOGIA

1 1/1

RMI-4 1-04

OSP

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

FIGURA A 2. INFORME MICROBIOLÓGICO DEL AGUA ANTES DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

CICAM
Centro de Investigación y Control Ambiental

INFORME DE RESULTADOS

Quito, 12 de junio de 2017

No.IR17-510

Ref. ST17-137

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: DAVID MERIZALDE
Atención:
Dirección: Tumbaco
Teléfono:

Identificación de la muestra: ninguna
Origen: Río Tachima, Parroquia Pedernales
Fecha de recolección: 16/05/2017
Tipo de muestra: Agua natural
Responsable de toma de muestra: Cliente
Tipo de envase: Plástico
Llegó refrigerada: Sí
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 510
Fecha de ingreso al Laboratorio: 23/05/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(*) Coliformes totales	*NMP/100mL*	<2	24/05/2017	APHA 9222 C

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

[a] Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012
Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación

Realizado por: Ing. Jairo Jimpikit
ANALISTA RESPONSABLE

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL
CICAM
• EPN •

Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTORA DE CALIDAD

F-MC-23-01

Página 1 de 1

Campus "J. Rubén Orellana R." Quito - Ecuador,
Calle Ladrón de Guevara E 11-253 Edificio EPN N° 11
(+593-2) 2976300 Ext: 2151 /
Línea directa: (+593-2) 3938864
cicam@epn.edu.ec
Apartado: 17-01-2759

ANEXO 3

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

FIGURA A 3. MUESTREO DE AGUA CRUDA

Descripción: recolección de agua cruda del embalse del río Tachina

Descripción: (Izq.) Análisis de parámetros de campo. (Der.) Muestreo de agua tratada.

Elaborado por: S.D, Merizalde

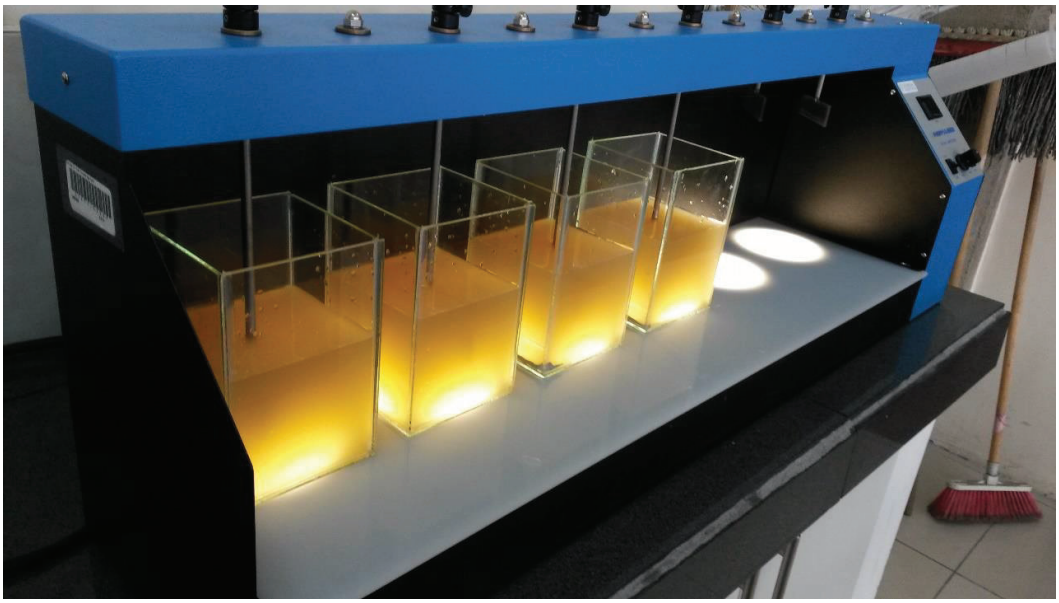
FIGURA A 4. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN EL LABORATORIA DOCENTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL (LDIA)

Descripción: análisis de alcalinidad, acidez y dureza para el agua cruda

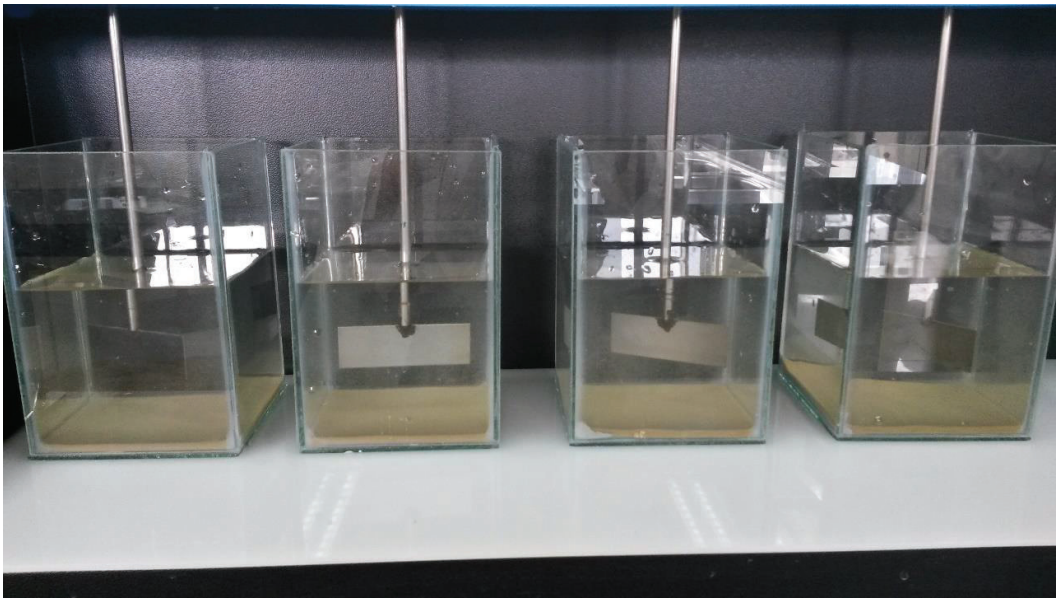
Descripción: análisis primarios de sólidos sedimentables, totales, suspendidos y disueltos.

Elaborado por: S.D, Merizalde

FIGURA A 5. PRUEBA DE JARRAS REALIZADO EN EL LABORATORIO DOCENTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Descripción: análisis de coagulación y floculación en el equipo de prueba de jarras



Descripción: agua cruda sedimentada luego del proceso de mezclas

Elaborado por: S.D, Merizalde

FIGURA A 6. RESULTADOS FINALES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN MEDIANTE EL USO DE PRUEBAS DE JARRAS

Descripción: (Izq.) Agua cruda, (Der.) Agua después de todo el proceso de potabilización.

Elaborado por: S.D, Merizalde