

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**TRATAMIENTO DE AGUA EN EL HOGAR Y ALMACENAMIENTO  
SEGURO PARA LA COMUNA DE SAN RAFAEL-CHECA, CANTÓN  
QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA**

**MEJORES ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DOMÉSTICO DEL  
AGUA PARA LA COMUNA DE SAN RAFAEL-CHECA, CANTÓN QUITO,  
PROVINCIA DE PICHINCHA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**CARLOS ALEJANDRO BRAVO YUNDA**

**DIRECTOR: FIS. ING. FERNANDO EDMUNDO CUSTODE MEJÍA, M.SC.**

**DMQ, Febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Carlos Alejandro Bravo Yunda declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**Carlos Alejandro Bravo Yunda**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Carlos Alejandro Bravo Yunda, bajo mi supervisión.

---

**Fís. Ing. Fernando Edmundo Custode Mejia, M.Sc.**  
**DIRECTOR**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

**NOMBRE\_REVISOR1**  
**REVISOR1 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

**NOMBRE\_REVISOR2**  
**REVISOR2 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Carlos Alejandro Bravo Yunda

Fís. Ing. Fernando Edmundo Custode Mejia, M.Sc.

## **DEDICATORIA**

Dedicó esta tesis a los habitantes de la comuna de San Rafael, con la esperanza de que esta investigación contribuya para el acceso de agua segura tanto para la comuna como para otras zonas rurales donde sea aplicable el método y carezcan de este tipo de servicio.

A mis abuelitos, ya que son y fueron la parte fundamental de mi familia. Laura Elina Calvopiña, Luis Bravo, Eduardo Yunda y Ofelia Ibarra, los quiero con todo mi corazón y siempre los tengo presentes.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradezco a mi familia, en especial a mis padres Jorge Bravo y Laura Yunda, los que me han impulsado y apoyado en cada instancia de mi vida, convirtiéndose en un pilar fundamental. A mis hermanos, María, George y Carolina que han sido un gran ejemplo y me han inspirado a dar siempre lo mejor.

Mi gratitud, con todos los docentes de mi alma mater, la Escuela Politécnica Nacional que a lo largo de mi carrera han impartido sus conocimientos y han sembrado la semilla de la curiosidad que me ha incitado a investigar. A mi director Fernando Custode por su colaboración en la preparación de este proyecto. A los ingenieros Ana Balarezo y Mauricio Criollo a cargo del LDIA, ya que gracias a su apoyo fue posible realizar todos los ensayos presentes en este proyecto. Al CICAM y todo su personal por su ayuda y consejos.

A todos mis amigos con los que tuve la fortuna de coincidir en la Universidad, Adriana, Cristian, Josselyn, Alejo, Darwin, Randy, Christian, Ricardo, Andrea, Alison, Andrés, Karol, Santiago, y otros tantos que se me escapan, pero con los cuales compartí momentos increíbles que perduraran en mi memoria.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| CERTIFICACIONES .....                         | I    |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....                  | II   |
| DEDICATORIA .....                             | III  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                        | IX   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                       | XI   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....                      | XII  |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....                        | XIII |
| SIGLAS Y SIMBOLOGÍA .....                     | XIV  |
| RESUMEN .....                                 | XV   |
| ABSTRACT .....                                | XVI  |
| DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO ..... | 1    |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                         | 2    |
| 1.1. Objetivo general .....                   | 2    |
| 1.2. Objetivos específicos .....              | 2    |
| 1.3. Alcance .....                            | 2    |
| 2. Marco teórico .....                        | 4    |
| 2.1. El agua .....                            | 4    |
| 2.1.1. Agua potable .....                     | 4    |
| 2.1.2. El agua en Ecuador .....               | 5    |
| 2.2. Caracterización del agua .....           | 5    |
| 2.2.1. Parámetros físicos del agua .....      | 5    |
| 2.2.1.1. Olor y sabor .....                   | 5    |
| 2.2.1.2. Turbiedad .....                      | 5    |
| 2.2.1.3. Temperatura .....                    | 6    |
| 2.2.1.4. Sólidos .....                        | 6    |
| 2.2.1.4.1. Sólidos Totales .....              | 6    |
| 2.2.1.4.2. Sólidos Suspendidos .....          | 6    |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 2.2.2.     | Parámetros químicos del agua .....                         | 6  |
| 2.2.2.1.   | Demanda Química de Oxígeno .....                           | 6  |
| 2.2.2.2.   | Conductividad.....   | 6  |
| 2.2.2.3.   | Potencial de Hidrógeno .....                               | 7  |
| 2.2.2.4.   | Oxígeno Disuelto .....                                     | 7  |
| 2.2.3.     | Parámetros microbiológicos del agua .....                  | 7  |
| 2.2.3.1.   | Coliformes .....   | 7  |
| 2.2.3.1.1. | Coliformes Totales.....                                    | 7  |
| 2.2.3.1.2. | Coliformes Fecales.....                                    | 7  |
| 2.3.       | Enfermedades hídricas .....                                | 7  |
| 2.3.1.     | Transmitidas por el agua .....                             | 8  |
| 2.3.2.     | Con base en el agua.....                                   | 8  |
| 2.3.3.     | De origen vectorial basada con el agua.....                | 8  |
| 2.4.       | Tratamientos del agua .....                                | 8  |
| 2.4.1.     | Coagulación y Floculación.....                             | 9  |
| 2.4.1.1.   | Factores que influyen en la coagulación y floculación..... | 9  |
| 2.4.1.2.   | Ensayo de jarras.....                                      | 10 |
| 2.4.1.3.   | Sedimentación.....   | 10 |
| 2.4.2.     | Desinfección.....  | 10 |
| 2.4.2.1.   | Cloración .....  | 11 |
| 2.4.3.     | Método SODIS .....   | 11 |
| 2.5.       | Legislación Ecuatoriana .....                              | 12 |
| 2.5.1.     | Constitución de la Republica del Ecuador.....              | 12 |
| 2.5.2.     | Leyes orgánicas .....                                      | 13 |
| 2.5.3.     | Ordenanza Municipal.....                                   | 14 |
| 2.5.4.     | TULSMA.....  | 14 |
| 2.5.5.     | Normas Técnicas.....                                       | 16 |
| 2.5.5.1.   | INEN 1108.....   | 16 |
| 3.         | METODOLOGÍA.....   | 17 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.1.     | Línea base de la comuna de San Rafael   | 17 |
| 3.1.1.   | Ubicación Geográfica .....  | 17 |
| 3.1.2.   | Medio Físico .....  | 19 |
| 3.1.2.1. | Hidrografía.....  | 19 |
| 3.1.2.2. | Altitud .....   | 21 |
| 3.1.2.3. | Precipitación.....  | 22 |
| 3.1.2.4. | Temperatura.....  | 24 |
| 3.1.2.5. | Radiación solar.....  | 27 |
| 3.1.2.6. | Nubosidad .....   | 28 |
| 3.2.     | Población   | 29 |
| 3.3.     | Factibilidad de la aplicación del Método SODIS  | 29 |
| 3.4.     | Muestreo  | 30 |
| 3.4.1.   | Puntos de muestreo.....   | 31 |
| 3.4.2.   | Instrumentos y equipos de muestreo .....  | 33 |
| 3.4.3.   | Análisis del agua de la comuna .....  | 35 |
| 3.5.     | Ensayos de tratamiento del agua   | 35 |
| 3.5.1.   | Ensayo de prueba de jarras con el sulfato de aluminio .....   | 39 |
| 3.5.2.   | Ensayo de prueba de jarras de Polímero Catiónico más Sulfato de Aluminio<br>41                            |    |
| 3.5.3.   | Ensayo de pruebas de jarras de Hipoclorito de Calcio más Sulfato de Aluminio<br>y Polímero Catiónico..... | 43 |
| 3.5.4.   | Análisis del costo de los reactivos para la potabilización .....  | 45 |
| 3.5.5.   | Aplicación de los sobres de potabilización.....   | 46 |
| 4.       | PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 49 |
| 4.1.     | Pruebas   | 49 |
| 4.1.1.   | Pruebas con el sulfato de aluminio .....  | 49 |
| 4.1.2.   | Pruebas con el polímero catiónico más sulfato de aluminio .....   | 50 |
| 4.1.3.   | Pruebas con el hipoclorito de calcio más polímero catiónico y sulfato de<br>aluminio 51                   |    |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.2.   | Resultados   | 52 |
| 4.2.1. | Resultados del sulfato de aluminio .....   | 52 |
| 4.2.2. | Resultados del polímero catiónico más el sulfato de aluminio. ....                         | 54 |
| 4.2.3. | Resultados del hipoclorito de calcio más el sulfato de aluminio y polímero catiónico. .... | 56 |
| 4.2.4. | Cuadro comparativo de tratamientos domésticos .....  | 58 |
| 4.3.   | Conclusiones   | 61 |
| 4.4.   | Recomendaciones  | 62 |
| 5.     | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 63 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2.1. Eficiencia de remoción de organismos patógenos.....   | 10 |
| Tabla 2.2. Valor de reducción logarítmico de diferentes organismos patógenos con el método SODIS.....  | 11 |
| Tabla 2.3. Constitución de la Republica del Ecuador .....  | 12 |
| Tabla 2.4. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua .....  | 13 |
| Tabla 2.5. Ley orgánica de Salud .....   | 13 |
| TABLA 2.6. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren desinfección.....                                      | 14 |
| TABLA 2.7. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran tratamiento convencional. ....                          | 15 |
| TABLA 2.8. Límites máximos permisibles para agua potable.....  | 16 |
| TABLA 3.9. Límites de la comuna de San Rafael .....  | 17 |
| Tabla 3.10. Parámetros químicos de la Comuna de San Rafael. ....   | 31 |
| Tabla 3.11. Equipos y materiales de muestro .....  | 34 |
| Tabla 3.12. Parámetros iniciales del agua cruda de la Comuna de San Rafael. ....   | 38 |
| Tabla 3.13. Características del Sulfato de Aluminio. ....  | 40 |
| Tabla 3.14. Diluciones del Sulfato de Aluminio. ....   | 41 |
| Tabla 3.15. Características del Polímero Catiónico.....  | 42 |
| Tabla 3.16. Diluciones del Polímero Catiónico.....   | 43 |
| Tabla 3.17. Características del Hipoclorito de Calcio. ....  | 44 |
| Tabla 3.18. Diluciones del Hipoclorito de Calcio. ....   | 45 |
| Tabla 3.19. Costo de reactivos. ....   | 46 |
| Tabla 3.20. Eficiencia de remoción de color y turbiedad para una turbiedad de 20 NTU..   | 48 |
| Tabla 4.21. Eficiencia de remoción de color y turbiedad con el Sulfato de Aluminio. ....   | 49 |
| Tabla 4.22. Eficiencia de remoción de color y turbiedad con el Polímero Catiónico + una concentración constante de sulfato de aluminio.....                          | 50 |
| Tabla 4.23. Eficiencia de remoción de color y turbiedad con el Hipoclorito de Calcio + una concentración constante de sulfato de aluminio y polímero catiónico. .... | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 4.24. Parámetros In situ del agua de la Comuna de San Rafael. ....                           | 58 |
| Tabla 4.25. Parámetros In situ del agua de la Comuna de San Rafael. ....                           | 59 |
| Tabla 4.26. Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de la Comuna de San Rafael ..... | 60 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 3.1. Ubicación Geográfica de la comuna de San Rafael.....                      | 18 |
| FIGURA 3.2. Límites de la comuna de San Rafael .....                                  | 19 |
| FIGURA 3.3. Cuencas Hidrográficas de Checa y de la comuna de San Rafael .....         | 20 |
| FIGURA 3.4. Altitud de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael.....        | 21 |
| FIGURA 3.5. Ubicación de estación meteorológica .....                                 | 22 |
| FIGURA 3.6. Precipitación de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael ..... | 23 |
| FIGURA 3.7. Temperatura de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael .....   | 26 |
| FIGURA 3.8. Puntos de muestreo de la comuna de San Rafael .....                       | 32 |
| FIGURA 3.9. Reservorio Principal de la Comuna San Rafael. ....                        | 33 |
| FIGURA 3.10. Toma de muestras para ensayos microbiológicos. ....                      | 33 |
| FIGURA 3.11. Medición de color aparente.....  | 36 |
| FIGURA 3.12. Medición de la turbiedad.....  | 37 |
| FIGURA 3.13. Medición de cloro libre residual.....                                    | 37 |
| FIGURA 3.14. Ensayo de prueba de jarras con sulfato de aluminio.....                  | 39 |
| FIGURA 3.15. Ensayo de prueba de jarras con Polímero Catiónico. ....                  | 41 |
| FIGURA 3.16. Ensayo de prueba de jarras con Hipoclorito de Calcio.....                | 43 |
| FIGURA 3.17. Aplicación del sobre de potabilización (1 Hora) .....                    | 47 |
| FIGURA 3.18. Aplicación del sobre de potabilización (6 Hora) .....                    | 47 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 3.1. Precipitación de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael .....  | 24 |
| Gráfico 3.2. Temperatura de la parroquia de Checa .....   | 25 |
| Gráfico 3.3. Temperatura de la Comuna de San Rafael.....  | 25 |
| Gráfico 3.4. Radiación UV-A de la Comuna de San Rafael.....   | 27 |
| Gráfico 3.5. Radiación Solar de la Comuna de San Rafael.....  | 27 |
| Gráfico 3.6. Porcentaje de Nubosidad para la Comuna de San Rafael. ....   | 28 |
| Gráfico 3.7. Nubosidad horaria para la Comuna de San Rafael.....  | 28 |
| Gráfico 4.8. Variabilidad del color aparente y la turbiedad en base a la dosis del sulfato de aluminio. ....  | 52 |
| Gráfico 4.9. LMP de la norma INEN 1108 en la variabilidad del color y turbiedad con el Sulfato de Aluminio.....   | 53 |
| Gráfico 4.10. Eficiencia en la remoción de color aparente y turbiedad en base a la dosis del sulfato de aluminio.....   | 53 |
| Gráfico 4.11. Variabilidad del color aparente y la turbiedad en base a la dosis del Polímero Catiónico + una concentración constante de Sulfato de Aluminio. ....                                 | 54 |
| Gráfico 4.12. LMP de la norma INEN 1108 en la variabilidad del color y turbiedad al aplicar Polímero Catiónico + Sulfato de Aluminio.....   | 55 |
| Gráfico 4.13. Eficiencia en la remoción de color aparente y turbiedad en base a la dosis del Polímero Catiónico + una concentración constante de Sulfato de Aluminio. ....                        | 55 |
| Gráfico 4.14. Variabilidad del color aparente y la turbiedad en base a la dosis del Hipoclorito de Calcio + una concentración constante de Sulfato de Aluminio y Polímero Catiónico...56          |    |
| Gráfico 4.15. LMP de la norma INEN 1108 en la variabilidad del color y turbiedad al aplicar Hipoclorito de Calcio + Polímero Catiónico + Sulfato de Aluminio.....                                 | 57 |
| Gráfico 4.16. Eficiencia en la remoción de color aparente y turbiedad en base a la dosis del Hipoclorito de Calcio + una concentración constante de Sulfato de Aluminio y Polímero Catiónico..... | 57 |
| Gráfico 4.17. Variabilidad del cloro libre residual en base a las dosis de Hipoclorito de Calcio. ....  | 58 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| ANEXO I. Influencia de la Microcuenca de Uravía en la comuna de San Rafael.....   | 70 |
| ANEXO II. Datos Hidrometeorológicos de la Parroquia de Checa.....                 | 72 |
| ANEXO III. Datos Hidrometeorológicos de la Comuna de San Rafael. ....             | 73 |
| Anexo IV. Datos horarios de Nubosidad y Radiación de la Comuna de San Rafael..... | 74 |
| ANEXO V. Ficha técnica del Sulfato de Aluminio. ....                              | 76 |
| ANEXO VI. Ficha técnica del Polímero Catiónico. ....                              | 77 |
| ANEXO VII. Ficha técnica del Hipoclorito de Calcio. ....                          | 78 |
| ANEXO VIII. Costo del sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio.....            | 79 |
| ANEXO IX. Costo del polímero catiónico. ....                                      | 80 |
| ANEXO X. Mapa del Uso de Suelo. ....  | 81 |
| ANEXO XI. Cumplimiento de las normativas nacionales.....                          | 83 |
| ANEXO XII. Entrega de los sobres de potabilización a la comunidad. ....           | 84 |

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

|         |  |
|---------|--|
| UNESCO  | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization |
| OMS/WHO | Organización Mundial de Salud                                    |
| UNICEF  | United Nations International Children's Emergency Fund           |
| MSP     | Ministerio de Salud Pública                                      |
| SODIS   | Solar Disinfection   |
| PET     | Tereftalato de Polietileno                                       |
| pH      | Potencial de Hidrogeno   |
| OD      | Oxígeno Disuelto   |
| mg/l    | miligramos por litros  |
| PPM     | Partes por millón  |
| NTU     | Unidades nefelométricas de turbidez                              |
| INEN    | El Servicio Ecuatoriano de Normalización                         |
| Eawag   | Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology        |
| LRV     | Valor de Reducción Logarítmico                                   |
| LMP     | Límite Máximo Permisible   |
| NMP     | Número más Probable  |
| IGM     | Instituto Geográfico Militar                                     |
| INAMHI  | Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología                  |
| NASA    | National Aeronautics and Space Administration                    |
| FONAG   | Fondo para la Protección del Agua                                |

## RESUMEN

Las áreas rurales como la comuna de San Rafael pese a tener una red de distribución de agua que originalmente es para riego, carecen de agua potable, razón por la cual es necesario aplicar tratamientos domésticos que sean eficientes y asequibles para los pobladores.

Parte de la metodología se centró en la búsqueda de los datos hidrometeorológicos ya que influyen sobre los parámetros iniciales del agua, los cuales fueron imprescindibles para esclarecer el tratamiento doméstico a emplear y tratamientos potenciales como la desinfección solar.

En base a los parámetros iniciales del agua, el tratamiento doméstico seleccionado es la aplicación de los sobres de potabilización (conformados por reactivos químicos) dentro de las viviendas de San Rafael. Durante los ensayos de prueba de jarras se determinaron las dosis óptimas de cada reactivo, siendo estos: sulfato de aluminio, polímero catiónico e hipoclorito de calcio, sus dosis respectivas son: 50 mg/l; 0,15 mg/l y 4 mg/l. Asimismo, se midieron los parámetros de control durante la aplicación de cada dosis de los reactivos, parámetros que se contrastaron con la normativa nacional ecuatoriana.

Los sobres de potabilización se aplicaron en recipientes de 10 litros que contenían agua de San Rafael con turbiedades de 10,5 NTU y 20,1 NTU; obteniendo así una eficiencia en la remoción del color aparente y turbiedad del 93,8% y 93,1% en el primer caso, con un valor de cloro residual del 0,93 mg/l. La eficiencia en el segundo caso es del 89,9% y 75,6%, con un valor de cloro residual del 0,64 mg/l.

**PALABRAS CLAVE:** Tratamiento doméstico del agua, sobres de potabilización, datos hidrometeorológicos.

## ABSTRACT

Rural areas such as the commune of San Rafael, despite having a water distribution network that is originally for irrigation, lack drinking water, which is why it is necessary to apply domestic treatments that are efficient and affordable for the inhabitants.

Part of the methodology focused on the search for hydrometeorological data as they influence the initial water parameters, which were essential to clarify the domestic treatment to be used and potential treatments such as solar disinfection.

Based on the initial water parameters, the selected domestic treatment is the application of water treatment sachets (made up of chemical reagents) inside the houses of San Rafael. During the jar test trials, the optimum doses of each reagent were determined: aluminum sulfate, cationic polymer and calcium hypochlorite, their respective doses being: 50 mg/l; 0,15 mg/l and 4 mg/l. The control parameters were also measured during the application of each dose of the reagents, and these parameters were compared with Ecuadorian national regulations.

The potabilization sachets were applied in 10-liter containers containing water from San Rafael with turbidity levels of 10,5 NTU and 20,1 NTU, thus obtaining an efficiency in the removal of apparent color and turbidity of 93,8% and 93,1% in the first case, with a residual chlorine value of 0,93 mg/l. The efficiency in the second case is 93,8% and 93,1%, respectively. The efficiency in the second case is 89,9% and 75,6%, with a residual chlorine value of 0,64 mg/l.

**KEYWORDS:** Domestic water treatment, water treatment sachets, hydrometeorological data.

## DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El acceso al agua potable y al saneamiento son reconocidos como derechos humanos para llevar una vida saludable [1]. Sin embargo, a nivel mundial existen 2100 millones de personas que no cuentan con un acceso a agua segura y de fácil disposición en el hogar [2]. Según la OMS y UNICEF [3] en el 2020 la cobertura con respecto al agua segura a nivel mundial permaneció menor en áreas rurales con un 60%, mientras que en áreas urbanas alcanzó un 86%. La disparidad entre estas dos áreas antes mencionadas es más evidente en América latina y el Caribe, llegando a posicionarse en segundo lugar a escala mundial, alcanzando un 81% en zonas urbanas mientras que en zonas rurales difícilmente llega a un 53% [3]. Según la UNICEF [4]: “en Ecuador casi la tercera parte de la población (29,9%) carece de un acceso a una fuente de agua segura”, esto tiene una mayor repercusión en las áreas rurales donde 8 de cada 10 niños están expuesto a enfermedades diarreicas [4]. En Pichincha, la shigelosis es una de las enfermedades diarreicas asociadas al consumo de agua no segura, la cual se define como una infección entérica invasiva aguda causada por bacterias pertenecientes al género *Shigella* [5].

Para prevenir estas enfermedades de carácter bacteriológico y otras que se encuentran asociadas al consumo de un agua no segura, es necesario entablar tratamientos que sean eficientes y factibles de realizarlo en el hogar, mejorando las condiciones de salud de la comunidad.

El tratamiento es definido como el proceso dentro de un sistema de agua, cuya finalidad es obtener agua potable, es decir un agua apta para el consumo humano, esto se logra por medio de la optimización de las características físico-químicas y bacteriológicas del agua [6]. La eficiencia del tratamiento está vinculada con la existencia o no de organismos patógenos, además existe la influencia de condiciones locales (temperatura, altura, etc.), la frecuencia de enfermedades transmitidas por el agua y las características del agua de la fuente [7]. El desempeño de las medidas adoptadas se da en la identificación del tratamiento o en su defecto de las combinaciones apropiadas de distintos tratamientos, permitiendo así reducir las concentraciones de organismos patógenos presentes en el agua de la fuente, con la finalidad de cumplir con las metas relacionadas con la salud y por consiguiente obtener agua segura [7]. Existen varios métodos de tratamiento de aguas probados para la eliminación o inactivación de patógenos microbianos, como lo son: la desinfección, filtración, floculación y calor [8]. Dentro de los tratamientos ampliamente aplicados en el hogar se encuentra el hervir el agua y la cloración [7].

Otro de los tratamientos con un gran potencial es el método de desinfección solar (SODIS). La desinfección solar conocida como SODIS por sus siglas en inglés, es un método

estándar de tratamiento de agua empleado por comunidades donde el acceso al agua es un problema [9]. Este método aprovecha el efecto germicida de la radiación solar, fundamentalmente la radiación UV-A, sobre los organismos patógenos que causan enfermedades diarreicas. Para emplear este método solo es necesario contar con botellas PET y luz solar [10].

Todos los sistemas de tratamiento tienen un riesgo aceptable. Por ejemplo, en la cloración el uso de productos químicos desinfectantes dentro del tratamiento de agua suele generar subproductos [7]. Según la OMS [7] “los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los riesgos asociados a una desinfección del agua insuficiente. En cualquier caso, la concentración de algunos desinfectantes del agua de consumo humano, como el cloro, se puede monitorear y controlar fácilmente”.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objetivo general**

Formular las alternativas de tratamientos más eficientes y asequibles dentro de la comunidad, por medio de la caracterización del agua y posterior tratamiento a nivel de laboratorio, para mejorar la calidad del agua que los pobladores usan.

### **1.2. Objetivos específicos**

1. Analizar la calidad actual del agua, por medio de muestreos, para medir los parámetros de control que requiere el agua a fin de que sea apta para el consumo humano (coliformes, cloro libre residual, pH, color y turbiedad) basándonos en los lineamientos establecidos en la normativa INEN 1108 y así estimar los tratamientos requeridos dentro del proceso.
2. Determinar la posibilidad de la aplicación del método SODIS, mediante la recopilación de datos de radiación solar, nubosidad entre otros, para plantearlo como alternativa de tratamiento doméstico del agua para la comunidad.
3. Justificar porque se escogió los tratamientos domésticos del agua, mediante un análisis comparativo entre las diferentes opciones para ratificar la eficiencia de los mismos.

### **1.3. Alcance**

El presente proyecto busca proponer los tratamientos que sean eficientes para obtener un agua apta para el consumo humano, en base a la caracterización tanto de la comuna de San Rafael como del agua que posee la misma. Estos tratamientos se deben adecuar a la

realidad socioeconómica de la comuna y las características actuales del agua que disponen.

Para la caracterización de la comuna se hará un análisis de los datos hidrometeorológicos dándonos una idea general de como varían las propiedades del agua con respecto a la estacionalidad, debido a que no se pueden realizar campañas de muestreo durante todo el año. Por otro lado, para caracterizar el agua se tomarán parámetros In situ durante 2 campañas de muestreo, adicionalmente se realizarán ensayos en el laboratorio para esclarecer las características físicas, químicas y biológicas del agua. Esta caracterización del agua servirá para contrastar con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa nacional INEN 1108 y Anexo 1 del TULSMA, enfocándonos en los parámetros de control que el agua debe tener con el fin de que sea apta para el consumo humano (coliformes, pH, cloro residual, color y turbiedad). El método tentativo de tratamiento convencional será la preparación de unos sobres de potabilización que contarán con sulfato de aluminio, polímero catiónico e hipoclorito de calcio, este tratamiento será sometido al ensayo de prueba de jarras a fin de determinar su dosis óptima. Otra alternativa en caso de que el agua solo necesite un proceso de desinfección, es la aplicación de la cloración por medio de aquatabs que son pastillas de cloro funcionales para volúmenes de 10 y 20 litros, o simplemente con cloro común (hipoclorito de sodio), esto se determinará en función de la realidad socioeconómica de la población.

Se aplicará los tratamientos del agua de la comuna en el laboratorio para determinar su eficiencia, y medir los parámetros de control, notando así cuales son los que están fuera de rango. Si existe la presencia de organismos patógenos se cuantificará la eficiencia de remoción a través del LRV o valor de reducción logarítmico, que es una medida cuantitativa para determinar la reducción o aumento de los microorganismos patógenos en el agua.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. El agua**

El agua es un recurso natural esencial, que permite el sustento de la vida y la biodiversidad, siendo indispensable tanto para la sociedad humana como para el planeta Tierra. Considerando toda el agua que existe en nuestro planeta, el porcentaje de agua dulce fácilmente aprovechable es del 0,4%, misma que se encuentra distribuida en aguas superficiales como ríos, lagos y humedales [11].

El agua de fácil acceso es principalmente agua superficial, la cual presenta una composición variada. Dicha composición depende de varios factores como: la situación geográfica la cual está asociada a la escorrentía y la cantidad de minerales trasladados, la estación del año asociada a las precipitaciones y la evapotranspiración, también parámetros como el oxígeno que se ve afectado por sus propios constituyentes, los cuales son: la temperatura del agua, resaltos hídricos propios de la morfología del agua superficial, y organismos acuáticos. Por último, la presencia de compuestos orgánicos provenientes de restos agrícolas, pesticidas, afluentes industriales o domiciliarios y depósitos atmosféricos [11].

Por otro lado, es mundialmente conocido que las cuencas hidrográficas son las unidades fundamentales del recurso agua. Las cuencas hidrográficas no son representadas solo por las fuentes superficiales que podemos observar, sino que implica todo un sistema, el cual es la suma de todos los afluentes aportantes, que desembocan en el curso principal [12]. Paralelamente en Ecuador, las microcuencas hidrográficas conforman una porción de la cuenca, donde se ha establecido una comunidad, la cual utiliza y maneja los recursos inherentes a la misma [6]. En Pichincha, las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales pertenecientes a las cuencas y microcuencas son los desechos de origen humano y animal, y desechos tóxicos provenientes de la agricultura como plaguicidas [6].

#### **2.1.1. Agua potable**

El agua potable debe estar disponible en cantidades suficientes y de manera continua para cada habitante de la población, sea esta urbana o rural, con el fin de satisfacer las necesidades de uso doméstico y uso personal. De manera análoga, el agua debe tener ciertas características para ser considerada potable, ya que debe estar libre de microorganismos, sustancias químicas o riesgos de radiación con el potencial de atentar contra la salud de la población [13]. El agua potable, en si es un objetivo para garantizar la salud de la población [14].

### **2.1.2. El agua en Ecuador**

La riqueza de los recursos hídricos en Ecuador es basta, el nivel de escorrentía media total es de 432000 hm<sup>3</sup>/año, con una escorrentía específica de 1600 mm/año, significativamente mayor a la media mundial de 300 mm/año. Dentro del país, este nivel de escorrentía implica una disponibilidad de 43500 m<sup>3</sup> por habitante al año, superior a la media mundial de 10800 m<sup>3</sup> por habitante al año [15]. La dotación de agua necesaria para satisfacer las necesidades de una población rural, con condiciones climáticas frías y un nivel de servicio II a, el cual implica tener conexiones domiciliarias con un grifo por casa y letrinas con o sin sistema de arrastre de agua, es de 60 litros por habitante por día [16].

## **2.2. Caracterización del agua**

La calidad del agua se puede resumir como una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físico-químicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se obtienen a través de la medición de distintos parámetros. [17]. Las características físicas, químicas y biológicas del agua son específicas en función de su uso, las mismas pueden ser modificadas por medio de tratamientos para que sean aptas para su uso [18]. Consecuentemente, es de suma importancia realizar la caracterización del agua.

### **2.2.1. Parámetros físicos del agua**

Los parámetros físicos son aquellos perceptibles a los sentidos del ser humano, además estos presentan una incidencia en los parámetros tanto químicos como biológicos. Afectan principalmente el aspecto estético del agua [18].

#### **2.2.1.1. Olor y sabor**

El olor y sabor son dos parámetros interrelacionados. Las fuentes principales que le brindan estas características al agua son los minerales, metales y sales del suelo, esto es resultado tanto de reacciones biológicas como vertidos de aguas residuales, domésticas o industriales [19]

#### **2.2.1.2. Turbiedad**

La turbiedad mide la capacidad de dispersión o absorción de la luz en el agua. Está representada principalmente por la presencia de materia suspendida y coloidal como arcilla, materia fina orgánica e inorgánica y microorganismos. Estas partículas pueden actuar como centros activos favoreciendo la absorción de otras sustancias o microorganismos patógenos [18]. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) [14].

### **2.2.1.3. Temperatura**

La temperatura es un factor muy relevante que tiene incidencia dentro de la solubilidad de los gases disueltos como el oxígeno, ya que un aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los mismos [18]. Este déficit de oxígeno, puede acarrear problemas como la eutrofización.

### **2.2.1.4. Sólidos**

Esta característica abarca todas las sustancias sólidas que se encuentran en el cuerpo hídrico. Dependiendo del tamaño de las partículas entran en una categoría diferente, variando desde sólidos disueltos hasta sólidos totales. También, existe una clasificación en función de su estabilidad térmica (volátiles y no volátiles) [20].

#### **2.2.1.4.1. Sólidos Totales**

Los sólidos totales abarcan varios compuestos, como sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) y la materia orgánica [21].

#### **2.2.1.4.2. Sólidos Suspendedos**

Este tipo de sólidos son los responsables del color aparente y la turbiedad del agua, al existir una alta presencia de estos sólidos pueden crear condiciones anaerobias propiciando la formación de sedimentos [20].

### **2.2.2. Parámetros químicos del agua**

El agua al ser un disolvente, tiene la capacidad de asimilar tanto compuestos naturales como sintetizados por el hombre. Al ocurrir esto se ve afectada la calidad del agua llegando a ser inadecuada para el consumo de las comunidades, requiriendo de tratamientos previos al consumo. Las características químicas están estrechamente vinculadas con esta capacidad de disolver compuestos [18].

#### **2.2.2.1. Demanda Química de Oxígeno**

Se define como la cantidad de oxígeno equivalente necesaria para oxidar de manera química la materia orgánica de una muestra de agua [18].

#### **2.2.2.2. Conductividad**

Es la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica, se encuentra determinada principalmente por la presencia de iones y sus características tales como la concentración, movilidad y valencia. La unidad de medida es los siemens/cm [18].

### **2.2.2.3. Potencial de Hidrógeno**

Mide la concentración de los protones, específicamente de los iones de hidrógeno. Teniendo la capacidad de medir tanto la acidez como la basicidad de una solución. Todos los procesos dentro de la potabilización y tratamientos de aguas requieren de este parámetro como es el caso de la coagulación o desinfección [18].

### **2.2.2.4. Oxígeno Disuelto**

Existen varios gases en el agua, entre estos cabe mencionar: el nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, siendo el más importante el oxígeno. La concentración de este gas se encuentra ligado a otros parámetros como la temperatura, la actividad biológica y los procesos de nitrificación [18].

## **2.2.3. Parámetros microbiológicos del agua**

Los microorganismos presentes en el agua afectan la calidad de la misma [18]. El principal problema es la variedad de estos microorganismos, siendo algunos de estos patógenos, los cuales se entienden como organismos con el potencial de causar enfermedades ocasionando repercusiones en la salud humana [17]

### **2.2.3.1. Coliformes**

Son considerados como un indicador de la calidad bacteriológica, las cuales abarcan todas las bacterias aeróbicas, anaeróbicas facultativas y gram negativas no productoras de esporas, las que logran fermentar la lactosa en un intervalo de tiempo de 48 horas [17].

#### **2.2.3.1.1. Coliformes Totales**

Este parámetro indica la presencia de materia orgánica de origen fecal siendo esta procedente tanto de animales como de seres humanos [17].

#### **2.2.3.1.2. Coliformes Fecales**

Sirve para medir de manera indirecta el riesgo potencial de contaminación de carácter bacteriológico o virulento de organismos patógenos [17].

## **2.3. Enfermedades hídricas**

Las principales enfermedades infecciosas en el agua son causadas por bacterias, virus, protozoos y helmintos patógenos, lo que representa un riesgo para la salud [7]. Estas enfermedades son consecuencia de la falta de seguridad en las fuentes de abastecimiento de agua [7], generalmente contaminadas por excretas [22]. Existen varios patógenos que se transmiten por medio del agua de consumo humano, presentando diferentes

características, comportamientos y rango de resistencia a métodos de desinfección [7]. Entre las enfermedades más frecuentes debido a la transmisión de estos organismos patógenos tenemos: la gastroenteritis; comúnmente conocida como enfermedades diarreicas, que tiene repercusiones en el sistema gastrointestinal, otras destacables son la disentería ocasionada por la *entamoeba histolítica*, la fiebre tifoidea ocasionada por la *salmonella typhosa* y la hepatitis A [17]. La clasificación de las enfermedades hídricas se basa en las vías de transmisión ambientales, esta clasificación fue propuesta por Bradley en el libro “Drawers of water” [23], .

### **2.3.1. Transmitidas por el agua**

Son ocasionadas por bacterias, virus o protozoos que ingresan al cuerpo humano como consecuencia de la ingesta de agua contaminada. Las enfermedades principales que se derivan de esta categoría son las enfermedades diarreicas, como resultado de fuentes de agua contaminada por excretas provenientes de humanos o animales [22].

### **2.3.2. Con base en el agua**

Son ocasionados por organismos acuáticos que parte de su ciclo de vida se desarrolla en el agua, la peculiaridad de estos organismos es que pueden desarrollarse tanto en aguas contaminadas como en aguas no contaminadas. Estos organismos al estar en su etapa parasitaria tienen aspecto de gusanos [22].

### **2.3.3. De origen vectorial basada con el agua**

Esto es resultado del mal almacenamiento del agua o por la presencia de aguas estancadas, dichas condiciones favorecen a la reproducción de insectos como es el caso de moscos y zancudos. Las principales enfermedades ocasionadas por estos vectores son el paludismo, fiebre amarilla y dengue [22].

## **2.4. Tratamientos del agua**

Los tratamientos de agua en el hogar no son más que una adaptación acondicionada de los tratamientos de agua en plantas de potabilización [23]. A fin de nuestro trabajo debemos definir al agua cruda ya que es la fuente principal que provee a la comuna de San Rafael. Según la INEN [24] el agua cruda es del tipo que se encuentra de manera natural sin que haya sido intervenida con algún tratamiento que cambie sus características físicas, químicas o biológicas. Generalmente esta agua cruda arrastra partículas coloidales que no logran precipitar por sí solas, ocasionando que se vuelvan un medio que facilita la dispersión de organismos patógenos, motivo por el cual es necesario la eliminación de estas partículas por medio del proceso de potabilización [25].

### **2.4.1. Coagulación y Floculación**

Las etapas de coagulación y floculación son de suma importancia dentro del proceso de potabilización [14]. La coagulación es definida como la acción de agregar sustancias químicas que anulan las cargas electronegativas con la finalidad de desestabilizar los coloides. Mientras la floculación es la agregación de los coloides formando los conocidos flóculos o flocs, que no son más que la unión de partículas para que se dé la formación de aglomerados con el suficiente peso y tamaño que les permita sedimentar [26]. Una problemática a enfrentar es la variabilidad de las características del agua a tratar, esto es debido a la estacionalidad, lo cual genera una repercusión directa en el proceso de coagulación y floculación [14].

El sulfato de aluminio es de los coagulantes comerciales ampliamente usados [25], conocido comúnmente como alumbre, cuyo rango óptimo de pH varía de 5,5 a 8,0. Las dosis normalmente usadas en aguas superficiales se encuentra entre 5 a 55 mg/l por lo cual es necesario el ensayo de jarras para determinar la dosis óptima que permita la formación de flóculos, obteniendo así un mayor porcentaje de la reducción de la turbiedad [14].

Los polímeros catiónicos producen iones de carga positiva, pueden emplearse como un coagulante primario o acompañar al alumbre, la dosis normalmente usada en aguas superficiales varía entre 0,1 a 10 mg/l [27].

#### **2.4.1.1. Factores que influyen en la coagulación y floculación.**

- **pH**

El rango de pH es específico para cada tipo de coagulante asegurando así su eficiencia, motivo por el cual es necesario conocer el pH del agua antes de ser sometido a una coagulación, lo que permitirá saber si es necesario llevar a cabo ajustes de pH [14].

- **Conductividad**

Es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos, mismos que en cierto porcentaje son removidos en el proceso de coagulación y floculación [14].

- **Turbiedad y color**

El proceso de coagulación se ve comprometida cuando la concentración de coloides es baja, es decir cuando la medida de turbiedad es menor a 20 NTU [14]

- **Tipo de coagulante:**

Dentro de estos existen los polielectrolitos (polímeros catiónicos), los coagulantes metálicos (sulfato de aluminio y sales férricas) y los polímeros naturales. Las sales férricas trabajan en un rango de pH más amplio y forman flóculos de un mayor peso en comparación al sulfato de aluminio [27].

### 2.4.1.2. Ensayo de jarras.

La prueba de ensayo de jarras es realizada por medio de un conjunto de vasos de precipitado, en los cuales se encuentra un volumen constante de agua, a los mismos se agrega diferentes dosis del coagulante, el cual es distribuido por medio de paletas incorporadas en el agitador múltiple. La concentración del coagulante puede variar entre los vasos a razón de 0,5 mg/l. La velocidad a la que es sometida para simular una mezcla rápida es de 100 rpm durante 1 minuto. Posteriormente, para simular la mezcla lenta se pasa a 30 rpm por un periodo de 15 minutos y finalmente se deja sedimentar por un periodo de 30 minutos [14].

### 2.4.1.3. Sedimentación

En esta etapa se deja reposando el agua durante un tiempo determinado a una velocidad relativamente lenta, consiguiendo que los flóculos decanten por efecto de la gravedad [26].

### 2.4.2. Desinfección

La finalidad de este proceso es la remoción de organismos patógenos, esto no implica la destrucción de todos los organismos vivos en el cuerpo hídrico o su completa esterilización, es crucial mencionar que el comportamiento de los organismos patógenos es similar al de las partículas coloidales, siendo removidas en un gran porcentaje en los procesos de coagulación-floculación [26].

**Tabla 2.1. Eficiencia de remoción de organismos patógenos.**

| Agente desinfectante                                | Eficiencia como biocida para distintos organismos |           |                      | Efecto residual en el sistema |
|---|---|-----------|----------------------|-------------------------------|
|   | Bacterias   | Virus     | Quistes de protozoos |                               |
| Ácido hipocloroso (HOCl)                            | Excelente   | Excelente | Moderado             | Bueno                         |
| Ión hipoclorito (OCl <sup>-</sup> )                 | Bueno   | Moderado  | Sin datos            | Bueno                         |
| Ozono (O <sub>3</sub> )                             | Excelente   | Excelente | Excelente            | Inexistente                   |
| Dióxido de Cloro (ClO <sub>2</sub> )                | Excelente   | Excelente | Sin datos            | Bueno                         |
| Cloraminas (NHCl <sub>2</sub> & NH <sub>2</sub> Cl) | Moderado  | Bajo      | Bajo                 | Excelente                     |

Fuente: [26].

Elaboración: Bravo A.

### 2.4.2.1. Cloración

El cloro es el desinfectante usado ampliamente a escala mundial dentro del proceso de potabilización, esto se debe a las características germicidas y capacidad de oxidar sustancias que producen sabor y olor al agua [26].

### 2.4.3. Método SODIS

El método SODIS es una de las alternativas potenciales para comunidades que carecen de una fuente de acceso de agua potable, su principio se basa en la exposición del agua a la radiación solar por medio de recipientes transparentes (botellas PET), con un volumen de 1,5-2 litros, el periodo de exposición es de 6 horas bajo condiciones climáticas soleadas, aunque en condiciones de nubosidad las botellas deben ser expuestas a la radiación solar por 2 días al menos antes del consumo [9]. Este método a rasgos generales es un conjunto de mecanismos cuyo objetivo es la inactivación de los microorganismos, es conocido que la radiación solar tiene radiación UV-B y UV-A, la radiación UV-B daña el ADN de los microorganismos, pero para este método no tiene un aporte significativo, debido a que el 95% de la radiación UV-B es absorbido por el ozono estratosférico, como resultado de esto la radiación que interviene para la inactivación es la UV-A. Los principales factores hidrometeorológicos que afectan el método SODIS son la radiación solar, la altura, la nubosidad, la temperatura y la estacionalidad de la zona [9]. Dentro de las características del agua tenemos: los tipos de microorganismos patógenos, turbiedad, temperatura del agua, oxígeno disuelto y sólidos disueltos [10]. Según Eawag [10] se realizó la tabla 2.2 y se delimitó la información gracias a los datos del MSP [5] en el informe de la semana epidemiológica referente a enfermedades transmitidas por agua y alimentos (2021).

**Tabla 2.2. Valor de reducción logarítmico de diferentes organismos patógenos con el método SODIS.**

| Patógeno                 | Tipo     | Valor de reducción LOG (6h) | Reducción de la concentración de patógenos (6h) | Tiempo requerido para una reducción LOG 3 |
|--------------------------|----------|-----------------------------|---|---|
| <i>Escheriquia Coli</i>  | Bacteria | 2-5                         | 99%-99,999%                                     | 1 día                                     |
| <i>Shigella enteriae</i> | Bacteria | >4                          | >99,99%   | <1 día                                    |
| <i>Vibrio Cholera</i>    | Bacteria | 3-5                         | 99,9%-99,999%                                   | 3 horas                                   |
| <i>Salmonela spp</i>     | Bacteria | 2-4                         | 99%-99,99%                                      | 1 día                                     |

Fuente: [10].

Elaboración: Bravo A.

## 2.5. Legislación Ecuatoriana

Existen varios documentos de carácter jurídico referente a la calidad del agua y acceso al agua segura dentro del Ecuador, por lo cual citaremos ciertos artículos correspondientes a instrumentos normativos, jerarquizados en base a la pirámide de Kelsen.

### 2.5.1. Constitución de la Republica del Ecuador

**Tabla 2.3. Constitución de la Republica del Ecuador**

| Título  | Capítulo  | Sección                   | Art. | Descripción  |
|---|---|---------------------------|------|--|
| II: Derechos                                    | Segundo:<br>Derechos del<br>buen vivir                                      | Segunda:<br>Ambiente Sano | 15   | Se promueve el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, sin comprometer la seguridad alimentaria y el derecho al agua.              |
| II: Derechos                                    | Segundo:<br>Derechos del<br>buen vivir                                      | Séptima: Salud            | 32   | La salud es un derecho que garantiza el estado, incluye el derecho al agua   |
| II: Derechos                                    | Sexto:<br>Derechos de<br>libertad   | -                         | 66   | Se garantiza el derecho de acceso al agua potable  |
| V:<br>Organización<br>territorial del<br>estado | Cuarto:<br>Régimen de<br>competencias                                       | -                         | 264  | Los gobiernos municipales tienen competencia sobre la prestación de servicios públicos de agua potable y actividades de saneamiento ambiental  |
| V:<br>Organización<br>territorial del<br>estado | Quinto:<br>Sectores<br>estratégicos,<br>servicios y<br>empresas<br>públicas | -                         | 314  | El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable, de riego y de saneamiento.                               |
| V:<br>Organización<br>territorial del<br>estado | Quinto:<br>Sectores<br>estratégicos,<br>servicios y<br>empresas<br>públicas | -                         | 318  | Se prohíbe la privatización del agua. La gestión del agua es exclusivamente pública o comunitaria, fortaleciendo las iniciativas comunitarias. |
| VII: Régimen<br>del buen vivir                  | Segundo:<br>Biodiversidad y<br>recursos<br>naturales                        | Sexta: Agua               | 411  | Se regula toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad del agua. El consumo humano es prioritario en el uso del agua.                |

Fuente: [28].

Elaboración: Bravo, A.

## 2.5.2. Leyes orgánicas

**Tabla 2.4. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua**

| Título                                     | Capítulo  | Sección   | Art. | Descripción  |
|--|---|---|------|--|
| II: Recursos hídricos                      | II:<br>Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos | Primera:<br>Sistema Nacional Estratégico y Autoridad Única del Agua | 18   | De manera simultánea con la autoridad ambiental se establece políticas sobre la calidad del agua y control de la contaminación.            |
| II: Recursos hídricos                      | II:<br>Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos | Sexta: Gestión Comunitaria del Agua                                 | 48   | Se reconoce la gestión interna de agua de consumo y riego, en los sistemas comunitarios.   |
| II: Recursos hídricos                      | II:<br>Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos | Sexta: Gestión Comunitaria del Agua                                 | 49   | Las juntas de agua y administraciones afines mantendrán su autonomía financiera, administrativa y de gestión (incluye valores de tarifas). |
| III:<br>Derechos, garantías y obligaciones | I: Derecho humano al agua                                   | -   | 57   | Existe el derecho al agua para el uso personal y doméstico, manteniendo el recurso para generaciones futuras.                              |
| III:<br>Derechos, garantías y obligaciones | I: Derecho humano al agua                                   | -   | 60   | Se garantiza el libre acceso del agua para consumo humano proceda esta de una fuente superficial o subterránea.                            |

Fuente: [29].

Elaboración: Bravo, A.

**Tabla 2.5. Ley orgánica de Salud**

| Título | Capítulo                        | Art. | Descripción  |
|--------|---------------------------------|------|--|
| Único  | I: Del agua para consumo humano | 96   | “Es parte de las competencias del estado la protección de fuentes y cuencas hidrográficas que sirvan para el abastecimiento de agua de consumo humano, estando sujetas a vigilancia para garantizar la salud humana” [30]. |

Fuente: [30].

Elaboración: Bravo, A.

### 2.5.3. Ordenanza Municipal

Según el art. II. 383.7 de [31] “Contribución para la protección de fuentes de agua. - Se ratifica la contribución del 1% del valor recaudado mensualmente por la EMAAP-Q, por concepto de los servicios de alcantarillado y agua potable, al Fideicomiso Fondo para la protección del Agua FONAG, entidad que se encargará de invertir estos valores en programas y proyectos para la protección, conservación, recuperación y revalorización de las cuencas y recursos hídricos que abastecen al Distrito Metropolitano de Quito”.

### 2.5.4. TULSMA

No se toma en cuenta todos los parámetros del TULSMA, debido a que el agua originalmente es destinada para riego y no está expuesta a una fuente de contaminación antropogénica situación que se detalla en la sección 3.1.2.1. y 3.4. Según el TULSMA [32] “los criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico se explican en los siguientes ámbitos y condiciones. Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como: bebida y preparación de alimentos para consumo y satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios” [32]:

**TABLA 2.6. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren desinfección.**

| Parámetros                | Expresado como                         | Unidad            | Límite máximo permisible                |
|---------------------------|--|-------------------|---|
| Aluminio total            | Al                                     | mg/l              | 0,1                                     |
| Cobre                     | Cu                                     | mg/l              | 1,0                                     |
| Color                     | Color real                             | Unidades de color | 20                                      |
| Coliformes Totales        | NMP / 100 ml                           | -                 | 50*                                     |
| Hierro (total)            | Fe                                     | mg/l              | 0,3                                     |
| Olor y Sabor              | -                                      | -                 | Ausencia                                |
| Potencial de Hidrogeno    | pH                                     | -                 | 6-9                                     |
| Sulfatos                  | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>           | mg/l              | 250                                     |
| Solidos disueltos totales | -                                      | mg/l              | 500                                     |
| Temperatura               | -                                      | °C                | Condición natural ±3 Grados centígrados |
| Tensoactivos              | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l              | 0,5                                     |
| Turbiedad                 | -                                      | NTU               | 10                                      |

\*Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el Índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.

Fuente: [32].

Elaboración: Bravo, A.

**TABLA 2.7. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran tratamiento convencional.**

| Parámetros                | Expresado como                         | Unidad            | Límite máximo permisible   |
|---------------------------|--|-------------------|--|
| Aluminio                  | Al                                     | mg/l              | 0,2  |
| Cobre                     | Cu                                     | mg/l              | 0,1  |
| Coliformes Totales        | NMP / 100 ml                           | -                 | 3000   |
| Coliformes Fecales        | NMP / 100 ml                           | -                 | 600  |
| Color                     | Color real                             | Unidades de color | 100  |
| Cromo hexavalente         | Cr <sup>6+</sup>                       | mg/l              | 0,05   |
| Dureza                    | CaCO <sub>3</sub>                      | mg/l              | 500  |
| Hierro (total)            | Fe                                     | mg/l              | 1,0  |
| Nitrato                   | N-Nitrato                              | mg/l              | 10,0   |
| Nitrito                   | N-Nitrito                              | mg/l              | 1,0  |
| Olor y sabor              | -                                      | -                 | Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional |
| Oxígeno Disuelto          | O.D.                                   | mg/l              | No < al 80% del oxígeno de saturación y no < a 6 mg/l            |
| Potencial de Hidrogeno    | pH                                     | -                 | 6-9  |
| Solidos disueltos totales | -                                      | mg/l              | 1000   |
| Sulfatos                  | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>           | mg/l              | 400  |
| Temperatura               | -                                      | °C                | Condición natural ±3 Grados centígrados                          |
| Tensoactivos              | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l              | 0,5  |
| Turbiedad                 | -                                      | NTU               | 100  |

Fuente: [32].

Elaboración: Bravo, A.

## 2.5.5. Normas Técnicas

### 2.5.5.1. INEN 1108

No se toma en cuenta todos los parámetros de la norma INEN 1108, debido a que el agua originalmente es destinada para riego y no está expuesta a una fuente de contaminación antropogénica situación que se detalla en la sección 3.1.2.1. y 3.4.

**TABLA 2.8. Límites máximos permisibles para agua potable**

| Parámetros   | Unidad                             | Límite máximo permisible |
|--|------------------------------------|--------------------------|
| Color  | Unidades de color aparente (Pt-Co) | 15                       |
| Olor   | -                                  | No objetable             |
| Sabor  | -                                  | No objetable             |
| Turbiedad  | NTU                                | 5                        |
| Cobre, Cu  | mg/l                               | 2,0                      |
| Nitratos, NO <sub>3</sub>                          | mg/l                               | 50                       |
| Nitritos, NO <sub>2</sub>                          | mg/l                               | 0,2                      |
| *Cloro libre residual                              | -                                  | 0,3 – 1,5                |
| **Coliformes fecales: tubos múltiples NMP / 100 ml | -                                  | <1,1                     |

\*Es el rango en el que debe estar el cloro residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 min.

\*\*<1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm<sup>3</sup> o 10 tubos de 10 cm<sup>3</sup>, ninguno es positivo

Fuente: [24].

Elaboración: Bravo, A.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología abarca la sección 2.1. la cual hace referencia a los datos hidrometeorológicos, altura y aspectos de la población de la Comuna, necesarios para tener una línea base. Consecutivamente, analizar la factibilidad del método SODIS en la comuna en la sección 2.2, mientras que en la sección 2.3 se especifica el método de muestreo, para que finalmente en la sección 2.4 se expone la parte experimental la cual, a rasgos breves, habla de la determinación de las condiciones iniciales del agua de la comuna, los parámetros de control durante el ensayo de prueba de jarras, aclarar los volúmenes de disoluciones y las concentraciones iniciales de cada reactivo. Así mismo, esta sección abarca la aplicación de los sobres de potabilización.

#### 3.1. Línea base de la comuna de San Rafael

##### 3.1.1. Ubicación Geográfica

La comuna de San Rafael se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Quito, Parroquia Checa (Figura 3.1). Las coordenadas geográficas corresponden al sistema UTM DATUM WGS 84 zona 17S, mismo sistema que se aplicara para todos los mapas presentes en el trabajo. Para delimitar a la comuna se tomaron los siguientes puntos con la ayuda del software “Mis coordenadas” cuya precisión fue de tres metros en promedio y el Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM).

**TABLA 3.9. Límites de la comuna de San Rafael**

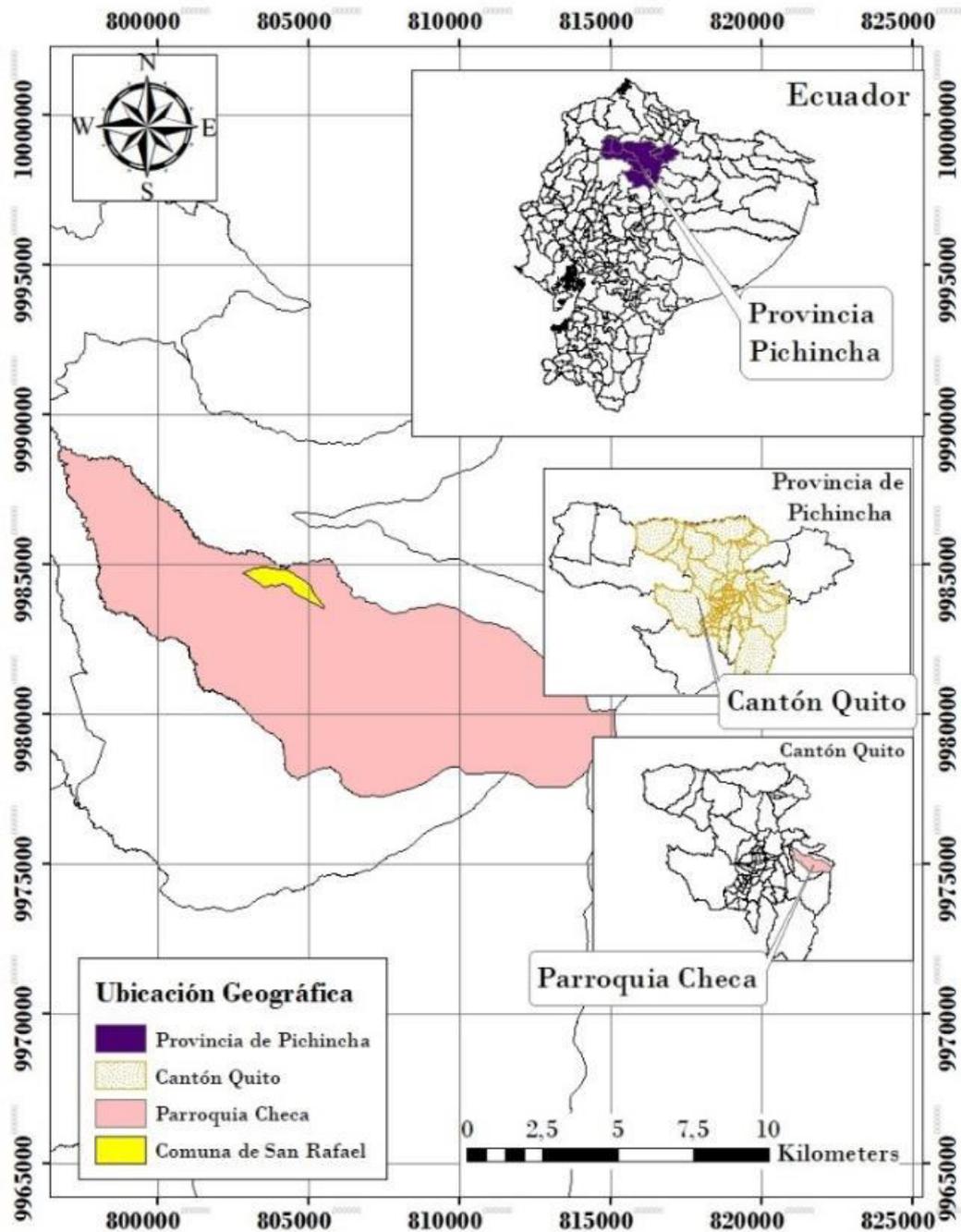
|   | <b>Longitud (Este)</b> | <b>Latitud (Norte)</b> |
|---|------------------------|------------------------|
| 1 | 805546,92              | 9983559,26             |
| 2 | 805321,06              | 9983865,59             |
| 3 | 804776,12              | 9984506,75             |
| 4 | 804082,93              | 9984851,13             |
| 5 | 803549,87              | 9984910,55             |
| 6 | 803219,99              | 9984882,09             |
| 7 | 803788,85              | 9984324,04             |
| 8 | 804505,95              | 9984086,51             |

Elaboración: Bravo A.

La figura 3.1 se realizó con la información en formato SHP disponible en el Geoportal del IGM escala 1:50000 bajo el nombre de Pichincha [33] y con la ayuda del Software ArcGis.

Mientras que la figura 3.2 se obtuvo del Geoportal del IGM [34].

FIGURA 3.1. Ubicación Geográfica de la comuna de San Rafael.

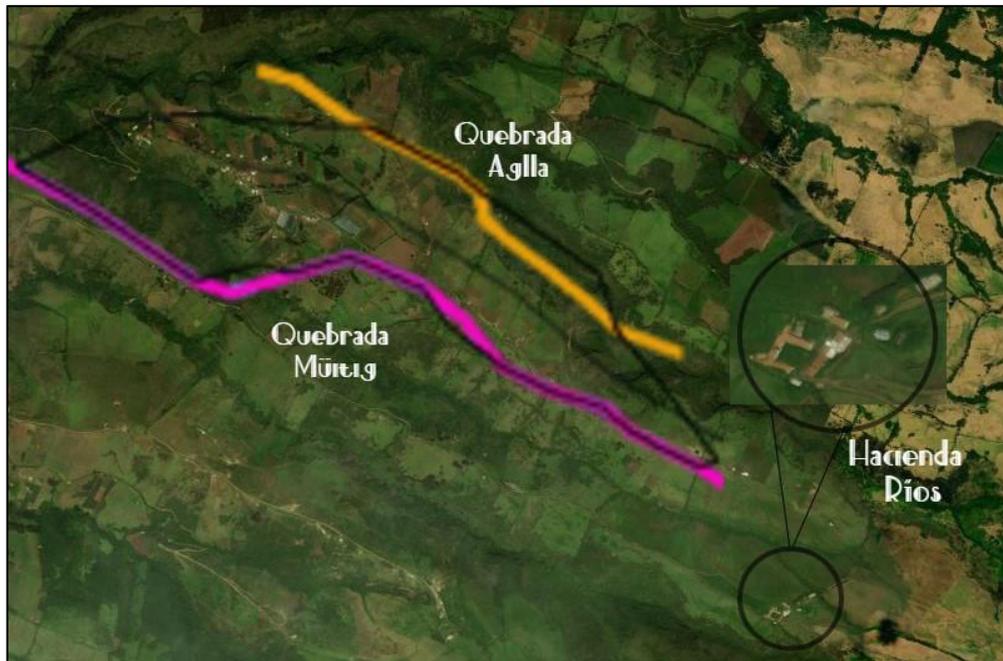


Fuente: [33].

Elaboración: Bravo A.

Los límites geográficos de la comuna de San Rafael son: por el norte la quebrada Aglla, al sur la quebrada Müitig (Figura 3.2), al este la hacienda Ríos y al oeste el barrio Aglla [34]. El área correspondiente a San Rafael es de 132 hectáreas o 1,32 km<sup>2</sup>, misma que se calculó gracias a los puntos GPS y el programa ArcGis.

FIGURA 3.2. Límites de la comuna de San Rafael



Fuente: [34].

Elaboración: Bravo A.

### 3.1.2. Medio Físico

#### 3.1.2.1. Hidrografía

Las aguas que proveen sustento a San Rafael son empleadas en la agricultura y riego, se encuentran dentro del área de influencia directa del cerro Puntas perteneciente al parque Nacional Cayambe Coca, conectándose con este por medio de la quebrada Aglla [36].

En la parroquia de Checa el 79,1% de las viviendas cuentan con un servicio de agua potable mientras que el 87,7% de las viviendas cuentan con un servicio de alcantarillado [37]. De manera general el agua de la subcuenca de Guayllabamba se encuentra contaminada principalmente por la ausencia de plantas de tratamiento de aguas servidas, viéndose afectada por el vertido de las mismas aguas arriba, siendo la fuente el DMQ [38].

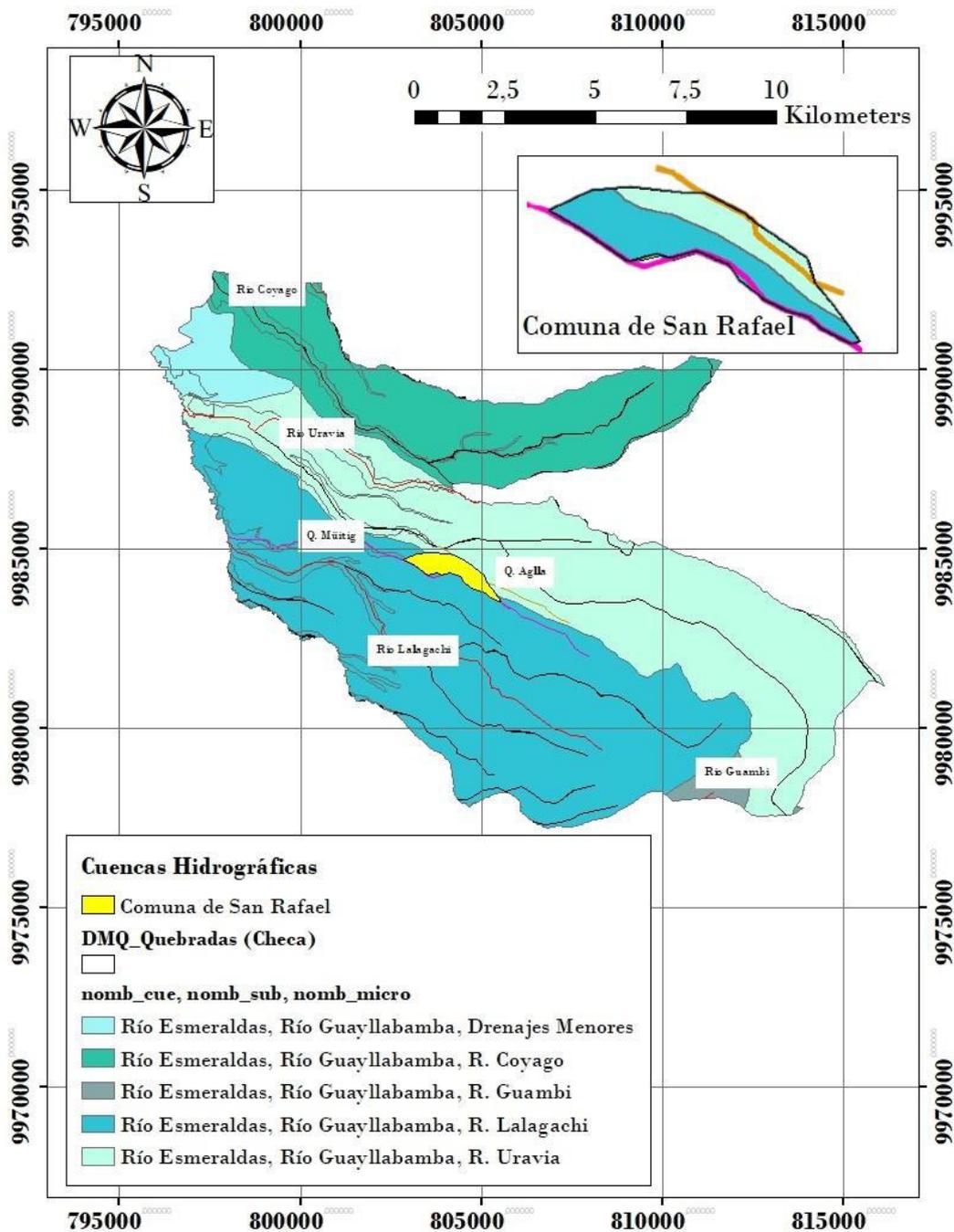
La parroquia de Checa corresponde a la subcuenca del río Guayllabamba, la cual incluye las microcuencas del río Uravía compartida con el territorio de El Quinche, del río Lalagachi compartida con el territorio de Yaruquí, y del río Guambi compartida con el territorio de Pifo (Figura 3.3), todas estas parroquias pertenecen a la administración zonal de Tumbaco [38].

El porcentaje y superficie dentro de la parroquia de Checa de cada microcuenca es de: Río Uravía 23% y 2023 km<sup>2</sup>, Río Lalagachi 75% y 6609 km<sup>2</sup> y por último el Río Guambi con un 2% y 179 km<sup>2</sup> [38]. El territorio de la comuna de San Rafael se encuentra en la cuenca del río Esmeraldas que deposita sus aguas de manera eventual en el Océano Pacífico.

Asimismo, pertenece a la subcuenca del río Guayllabamba la cual está conformada por las microcuencas del río Lalagachi y río Uravía (Figura 3.3) [38].

La figura 3.3 se realizó con información disponible en la página del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) en formato SHP referente a las cuencas hidrográficas y red hídrica [35] y con la ayuda del Software ArcGis.

FIGURA 3.3. Cuencas Hidrográficas de Checa y de la comuna de San Rafael



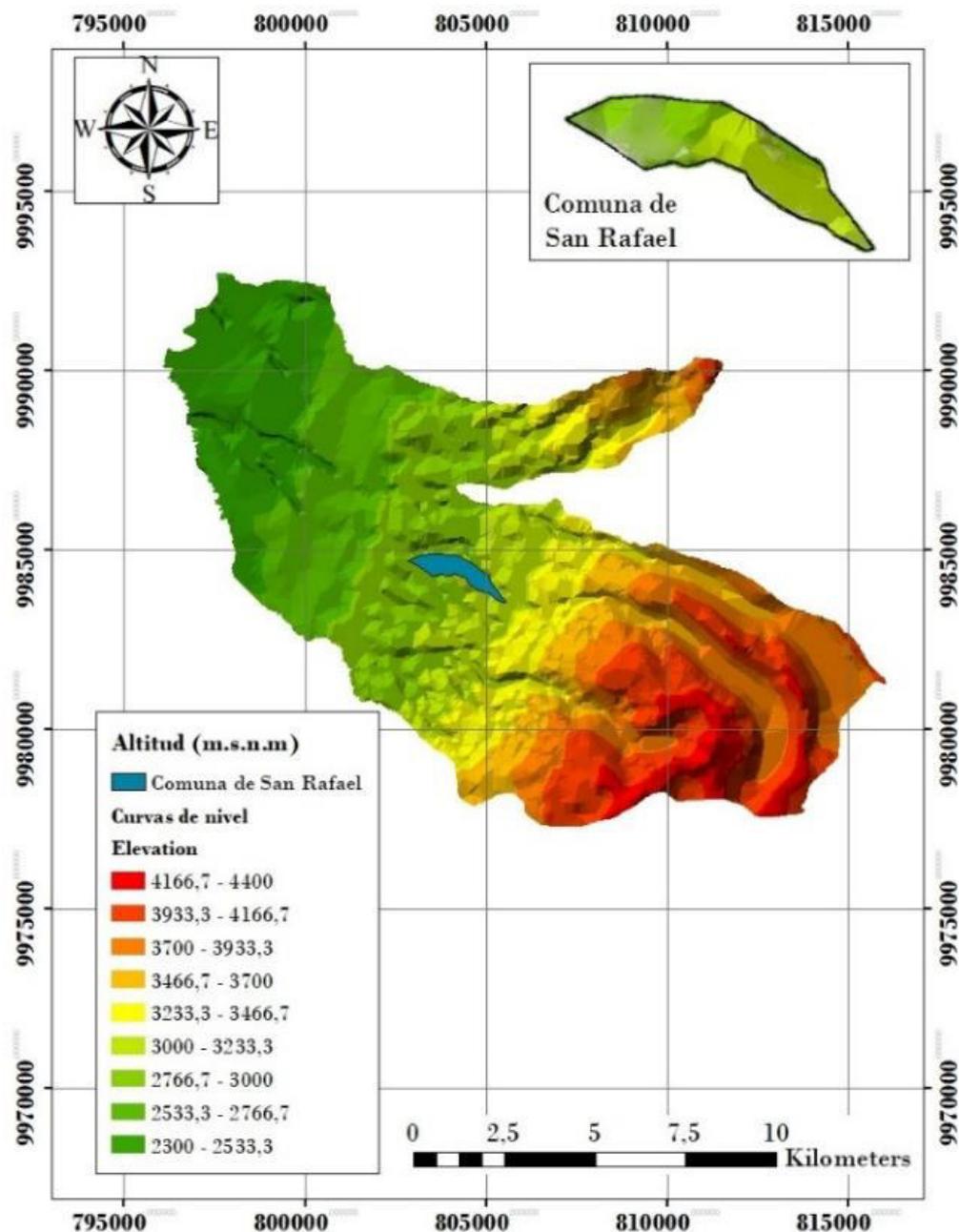
Fuente: [35]

Elaboración: Bravo A.

### 3.1.2.2. Altitud

Se puede definir a la parroquia de Checa como una planicie en una parte de la extensión de su territorio, por otro lado, también existe la presencia de una cantidad significativa de quebradas profundas. La altura promedio es de 2578 metros sobre el nivel del mar [37]. De forma análoga, la comuna de San Rafael presenta una altura que varía desde los 2533,3 metros sobre el nivel del mar hasta los 3233,3 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.4).

FIGURA 3.4. Altitud de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael



Fuente: [39].

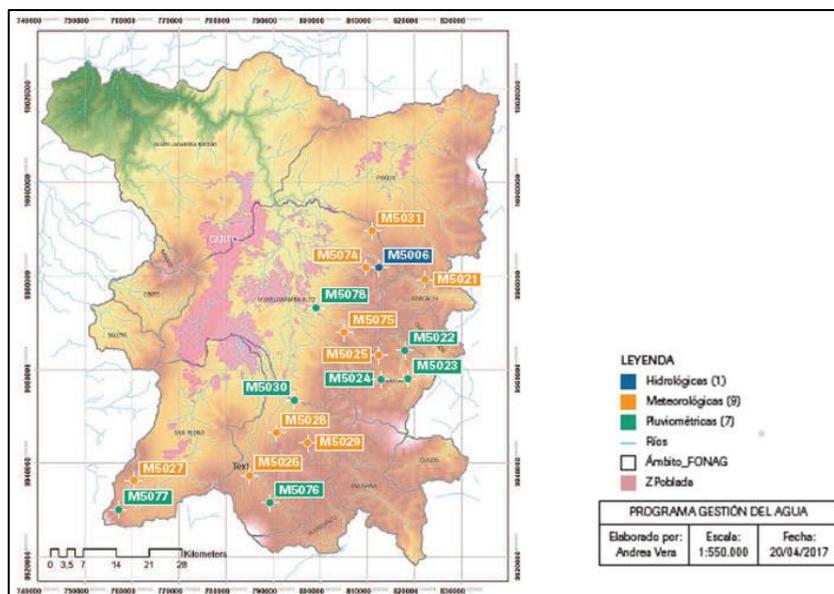
Elaboración: Bravo A.

La figura 3.4. se realizó con la información en formato SHP disponible en el Geoportal del IGM escala 1:250000 bajo el nombre de Curvas de Nivel [39] y con la ayuda del Software ArcGis. Este mapa fue necesario para determinar el curso de agua de la microcuenca del Río Uravía, motivo por el cual tanto el mapa de la figura 3.3 como de la figura 3.4 constan con el territorio de la parroquia de El Quinche y no solo de la parroquia de Checa, ya que solo esta última es de nuestro interés.

Se calculó el mapa de las pendientes con la ayuda del software ArcGis y el mapa base de curvas de nivel [33], también se consideró la influencia de la dirección del viento obtenida de los anuarios hidrometeorológicos del FONAG [40], por consiguiente, los vientos predominantes son los que se dirigen hacia el este y sureste siendo el periodo donde más influencia ejercen el correspondiente a los meses de junio a septiembre, continuado por la dirección de viento oeste que tiene mayor influencia en los meses de enero y febrero (Anexo I). Consecuentemente el agua proveniente de la microcuenca del Río Uravía si ejerce influencia directa sobre la comuna de San Rafael.

### 3.1.2.3. Precipitación

FIGURA 3.5. Ubicación de estación meteorológica



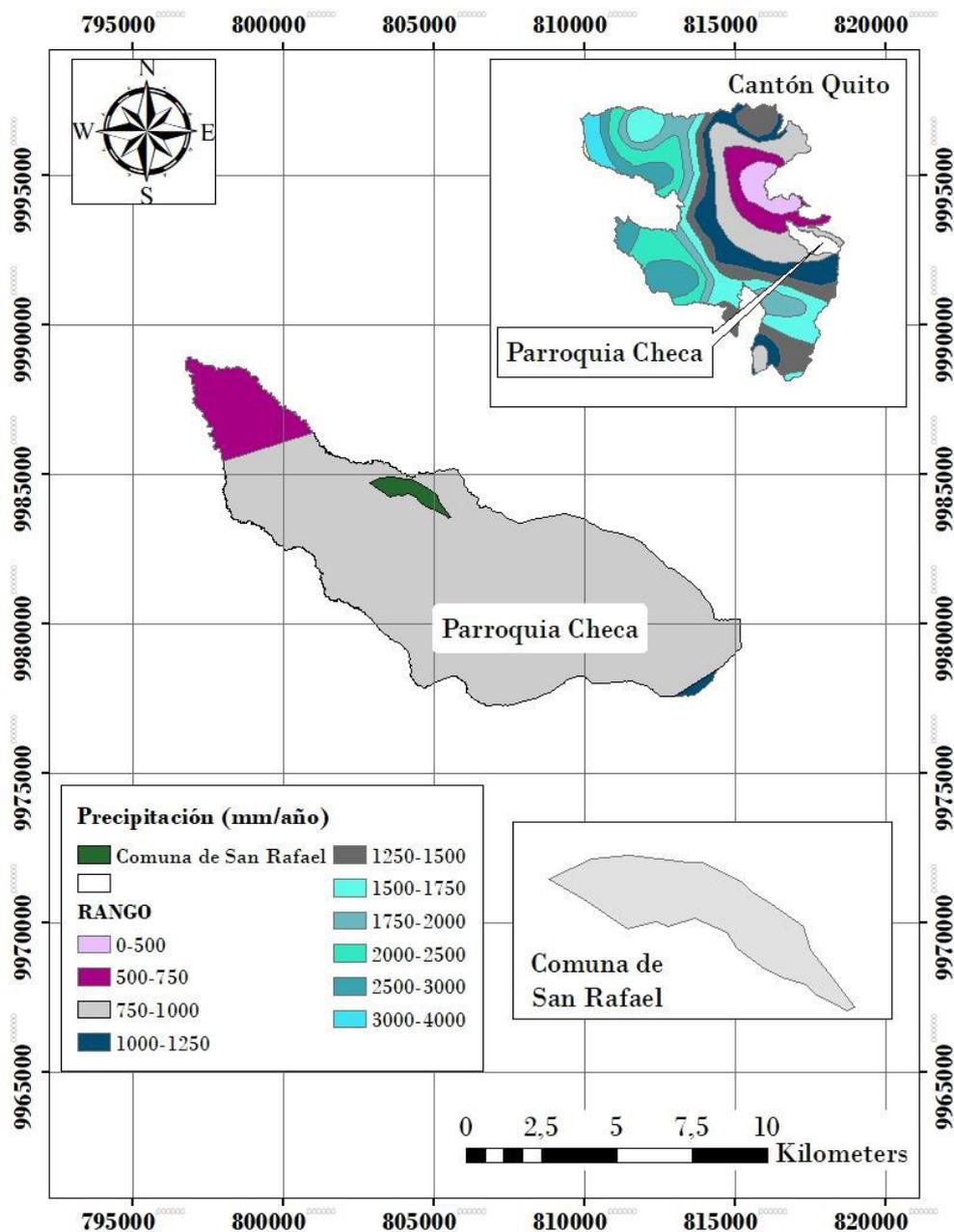
Fuente: [40].

Los datos referentes a la precipitación (Anexo II) proviene del Fondo para la Protección del Agua (FONAG) [40], de la estación meteorológica M5074 denominada “Puntas” ubicada en las coordenadas de latitud: 9981721 y longitud: 809389, a una altura de 4142 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.5) pertenecientes a la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Checa. El periodo que se utiliza de los anuarios meteorológicos, es el que comprende al intervalo desde el 2013 hasta el 2020. Mientras que los datos que se

presentan de la comuna de San Rafael provienen de la red de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) [41], estos datos corresponden al intervalo previamente mencionado (Anexo III).

La figura 3.6. se realizó con la información en formato SHP disponible en el Geoportal del SNI correspondiente a la página del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) bajo el nombre de Isoyetas [42] y con la ayuda del Software ArcGis.

FIGURA 3.6. Precipitación de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael



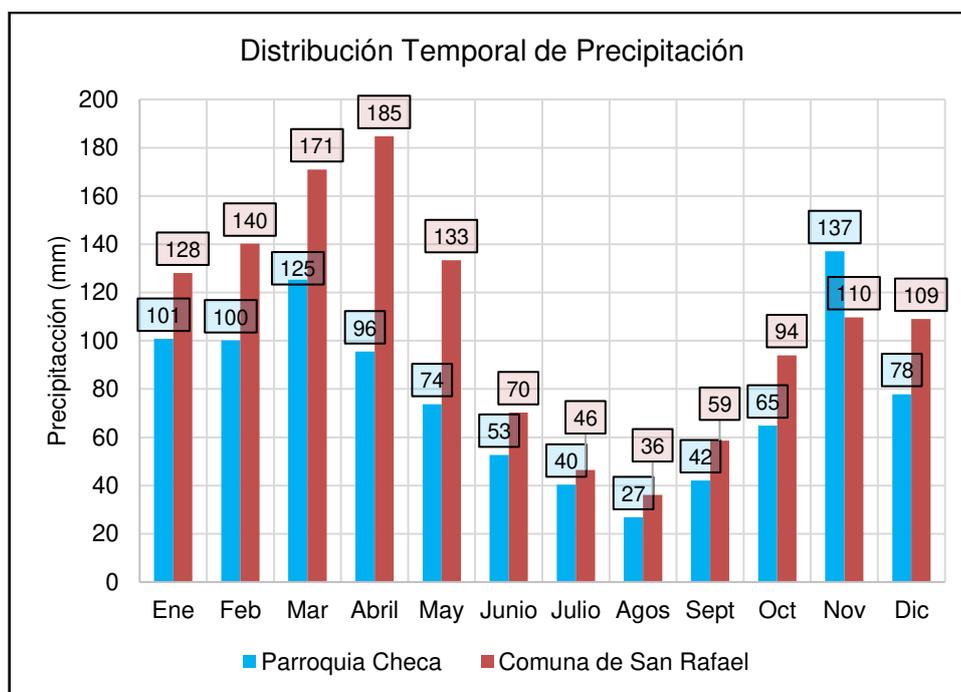
Fuente: [42].

Elaboración: Bravo A.

La comuna de San Rafael tiene un promedio mensual de pluviosidad de 106,8 mm, mientras que el promedio anual es de 1028,6 mm (Anexo III). Los meses que presentan una mayor cantidad de precipitación son los de marzo y abril con valores de 171 mm y 185 mm respectivamente. Por el contrario, los meses que presentan una menor cantidad de precipitación son los de julio, agosto y septiembre con valores de 46 mm, 36 mm y 59 mm respectivamente (Gráfico 3.1).

Al contrastar los datos de precipitación de San Rafael y de la parroquia de Checa (Gráfico 3.1) podemos observar que tienen un comportamiento similar, donde existe altas precipitaciones, las cuales son mayores a 74 mm para Checa y mayores a 109 mm para San Rafael. Estas precipitaciones se manifiestan desde el mes de noviembre hasta el mes de mayo, mientras que en los meses restantes la precipitación resulta ser moderada o baja.

Gráfico 3.1. Precipitación de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael



Fuente: [40] [41]

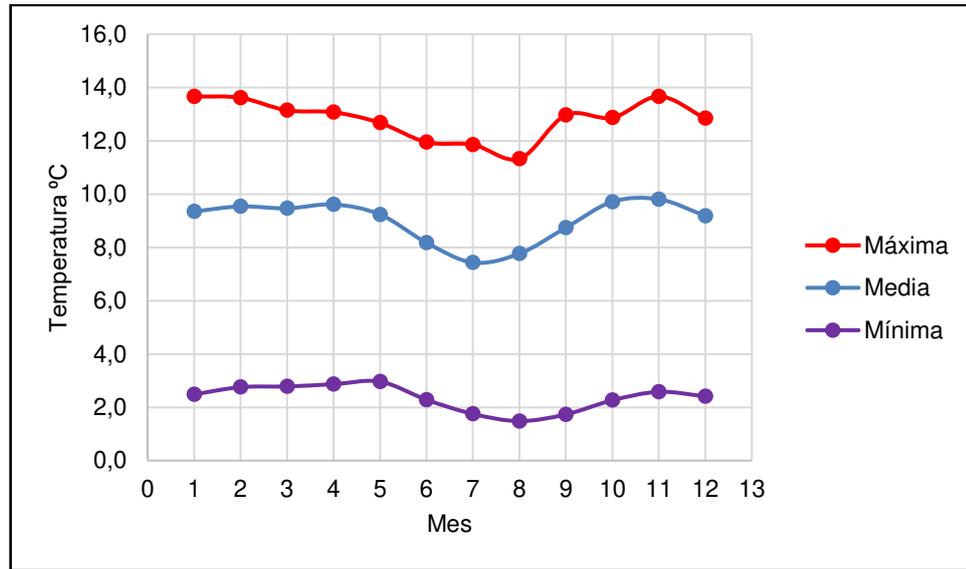
Elaboración: Bravo A.

#### 3.1.2.4. Temperatura

La información de la temperatura (Anexo II) proviene del FONAG, de la estación meteorológica M5074 denominada "Puntas" [40]. El periodo que se utiliza de los anuarios meteorológicos, es el que comprende al intervalo desde el 2013 hasta el 2020. Mientras que los datos que se presentan de la comuna de San Rafael provienen de la red de la NASA [41] estos datos corresponden al intervalo previamente mencionado (Anexo III).

La temperatura en la parroquia de Checa fluctúa entre los valores de 5°C a 26°C [37].

Gráfico 3.2. Temperatura de la parroquia de Checa

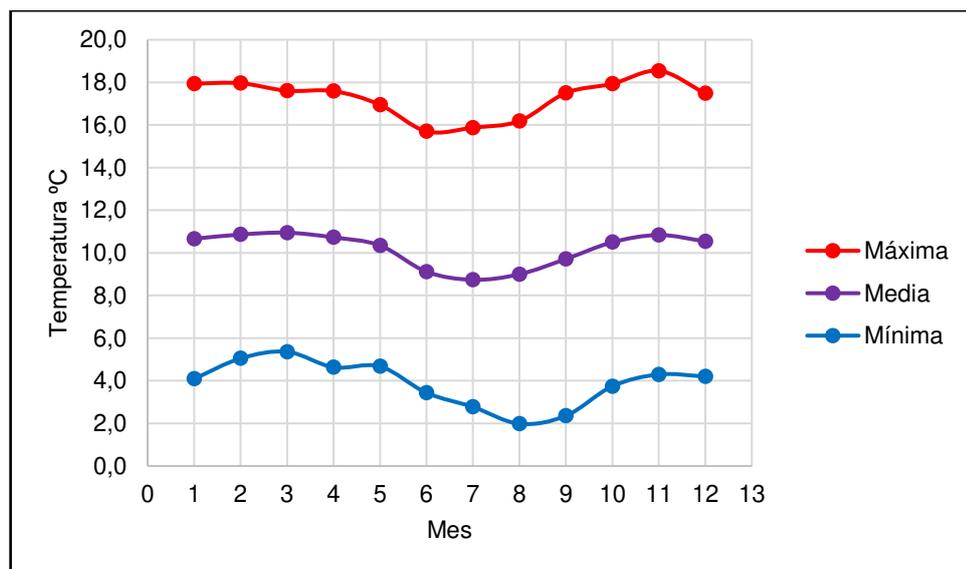


Fuente: [40]

Elaboración: Bravo A.

La temperatura media anual de la parroquia de Checa es de 9°C, como se puede apreciar en el gráfico 3.2, esto no refleja la realidad de la comuna de San Rafael debido a que la estación meteorológica M5074 recopila la información de toda la parroquia, en la cual existe la presencia de páramos y zonas con temperaturas que van desde los 2°C hasta los 8°C como se puede ver en la figura 3.7. Motivo por el cual era indispensable la información solo del área de interés.

Gráfico 3.3. Temperatura de la Comuna de San Rafael

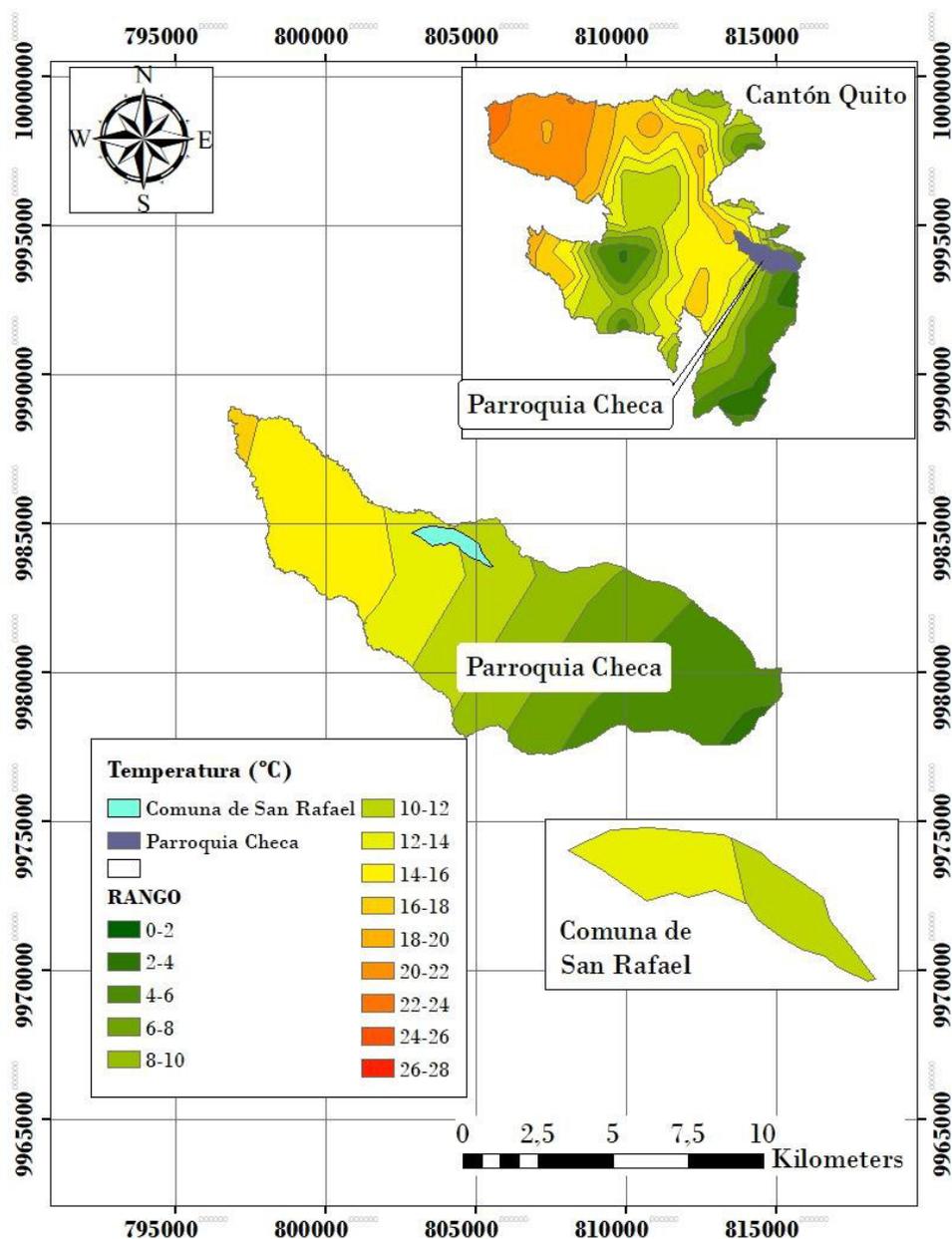


Fuente: [41].

Elaboración: Bravo A.

La temperatura media anual de San Rafael oscila entre los 10°C a 14°C como se puede observar en la figura 3.7. Esta información se puede corroborar con los datos obtenidos de la NASA, ya que al observar la gráfica 3.3 se nota que la temperatura media varia desde los 8,7°C hasta los 10,9°C. Las temperaturas máximas se encuentran desde el mes de septiembre hasta el mes de abril con un rango de valores que va desde los 17,5°C hasta los 18,5°C. Por otro lado, las temperaturas medias más bajas corresponden a los meses de junio, julio y agosto con valores de 9,1°C, 8,7°C y 9,0°C (Gráfica 3.3).

FIGURA 3.7. Temperatura de la parroquia de Checa y de la comuna de San Rafael



Fuente: [42].

Elaboración: Bravo A.

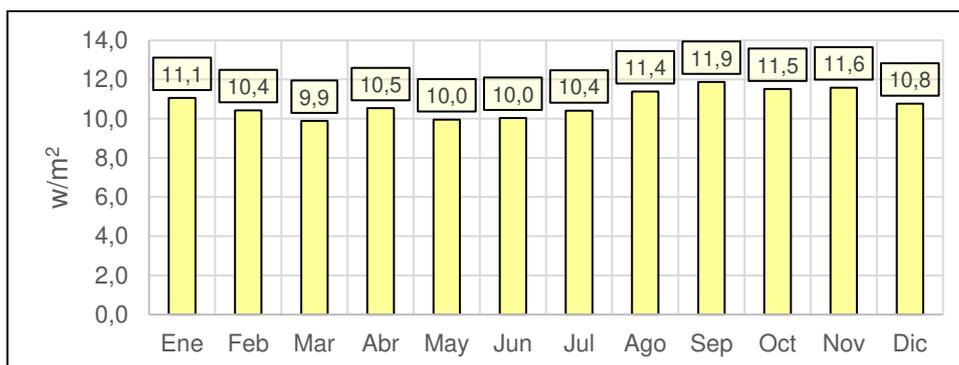
La figura 3.7. se realizó con la información en formato SHP disponible en el Geoportal del SNI correspondiente a la página del INAMHI bajo el nombre de Isotermas [42] y con la ayuda del Software ArcGis.

### 3.1.2.5. Radiación solar

Los datos que se presentan de la comuna de San Rafael provienen de la red de la Nasa [41]. El periodo que se utiliza de la NASA, es el que comprende al intervalo desde el 2013 hasta el 2020 (Anexo III).

Para la comuna de San Rafael los meses de mayor incidencia solar son los correspondientes al periodo que abarca los meses desde agosto hasta noviembre (Gráfico 3.5), de forma paralela sucede con la radiación UV-A presentando sus valores máximos en el periodo antes mencionado (Gráfico 3.4). El comportamiento de ambas gráficas es similar, presentando valores máximos en el mes de septiembre y un valor mínimos en el mes de marzo.

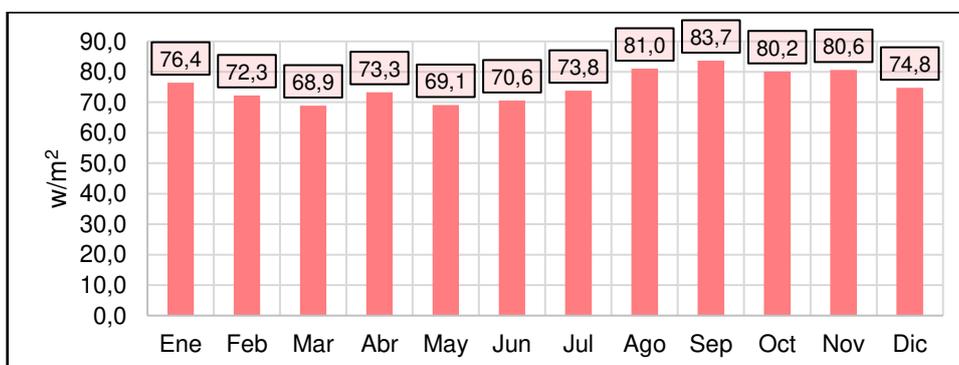
Gráfico 3.4. Radiación UV-A de la Comuna de San Rafael.



Fuente: [41].

Elaboración: Bravo A.

Gráfico 3.5. Radiación Solar de la Comuna de San Rafael.



Fuente: [41].

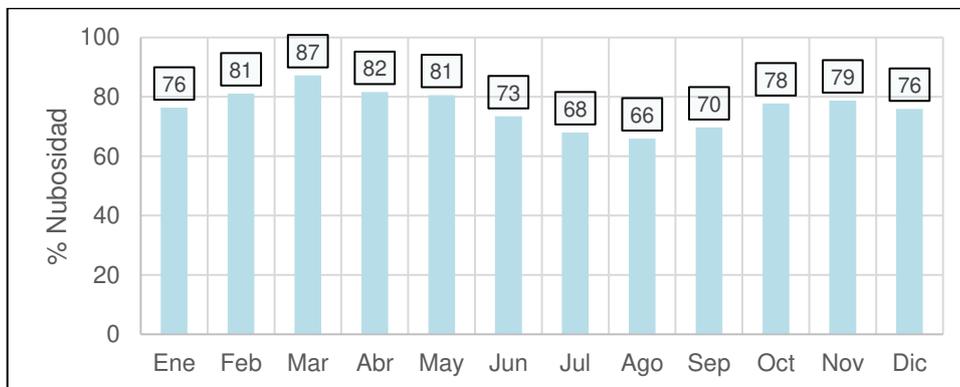
Elaboración: Bravo A.

### 3.1.2.6. Nubosidad

Los datos presentados de la comuna de San Rafael fueron obtenidos de la red de la NASA [41] El periodo que se utiliza de la NASA, es el que comprende el intervalo desde el 2013 hasta el 2020 (Anexo III). El porcentaje de nubosidad de manera horaria fue obtenida para un periodo diferente siendo este desde el 2001 hasta el 2020 (Anexo IV).

La comuna de San Rafael, presenta un promedio de nubosidad del 76% siendo los meses con un menor porcentaje los correspondientes al mes de julio, agosto y septiembre, por el contrario, los meses con el mayor porcentaje de nubosidad son los de marzo y abril (Gráfico 3.6).

Gráfico 3.6. Porcentaje de Nubosidad para la Comuna de San Rafael.

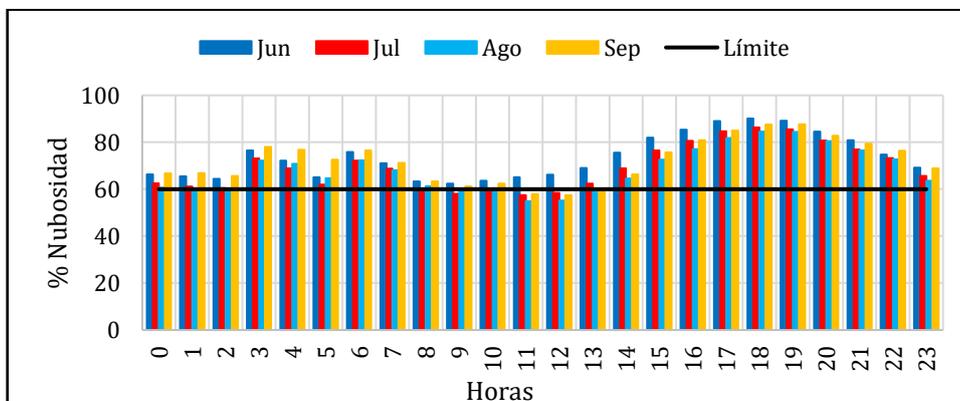


Fuente: [41].

Elaboración: Bravo A.

Los meses que presentan un porcentaje de nubosidad menor al 60% son los correspondientes a julio, donde las horas adecuadas son de 09h00-14h00; a agosto de 10h00-14h00 y finalmente septiembre de 11h00-13h00 (Gráfico 3.7).

Gráfico 3.7. Nubosidad horaria para la Comuna de San Rafael.



Fuente: [41].

Elaboración: Bravo A.

## **3.2. Población**

La población de la comuna de San Rafael existe un aproximado de 60 familias [43] las cuales cuentan con agua entubada proveniente de reservorios cuya fuente principal es el Cerro Puntas. Dentro de la parroquia de Checa basándose en el abastecimiento de agua existe un promedio de 5 personas por familia [38], consecuentemente, la población de la comuna es aproximadamente de 300 habitantes. Parte de esta población es flotante, es decir solo habitan en la comunidad para realizar labores agrícolas, teniendo su lugar de residencia en barrios aledaños. Dicha actividad conjunto con la ganadería son su principal actividad económica [43]. Razón por la cual fue necesario conocer la población fija siendo esta un aproximado de 20 familias.

## **3.3. Factibilidad de la aplicación del Método SODIS**

Para determinar la factibilidad de uso del método SODIS dentro de la comuna de San Rafael, necesitamos la información de la figura 3.4 y el gráfico 3.1, además de las figuras que van desde el 3.3 hasta la 3.7.

La altura promedio de la comuna es de 2883 m.s.n.m. (Figura 3.4), presentando variaciones poco significativas al encontrarse las viviendas de la comuna a una distancia cercana, siendo pocas las excepciones, ya que si existe viviendas que se encuentran lejos. Las temperaturas máximas se presentan en los meses de noviembre y diciembre llegando a valores de 18,5°C y 18,8°C respectivamente, pero nos basaremos en las temperaturas medias las cuales corresponden a los meses desde septiembre hasta mayo, con un rango de valores que van desde los 9,7°C hasta los 10,9°C. El rango de valores de temperatura máxima para los meses determinados anteriormente va desde los 17,5°C hasta los 18,8°C, mientras que los valores mínimos van desde los 2,4°C hasta los 5,4°C (Gráfico 3.3). El promedio mensual de radiación solar incidente que presenta el valor más alto se encuentre en el mes de septiembre con un valor de 83,7 W/m<sup>2</sup> (Gráfico 3.5). La radiación UV-A concuerda con el mes antes mencionado con un valor de 11,9 W/m<sup>2</sup> (Gráfico 3.4), es importante recordar que este valor es determinante en el método SODIS, ya que influye en la inactivación de los organismos patógenos.

La nubosidad más baja está en el periodo que corresponde a los meses desde junio hasta septiembre (Gráfico 3.6), al analizarla desde una perspectiva horaria encontramos que el mes de julio y agosto presenta 5 horas diarias donde la nubosidad es menor al 60%, mientras que septiembre la nubosidad menor al 60% es de 2 horas diarias (Gráfico 3.7).

Debemos considerar otros factores como la precipitación (Gráfico 3.1), siendo los meses de menor precipitación los de julio, agosto y septiembre.

En base a esta información el mes que tiene un gran potencial para realizar el método SODIS es el de septiembre.

Para este mes, las horas de mayor radiación solar son desde las 9h00 hasta las 13h00, al intersecar esta información con el porcentaje diario de nubosidad (Anexo IV), resulta que las horas efectivas son de 11h00 a 13h00. Cabe recalcar que el modelo que toma en cuenta estas características [9] solo aplica para la remoción de bacterias, cosa que es de beneficio para la comuna, ya que, en la provincia de Pichincha, la mayoría de enfermedades reportadas que se han transmitido por agua o alimentos es debido a de bacterias [5].

### **3.4. Muestreo**

El método de muestreo estará enfocado principalmente en analizar los parámetros de control de las muestras de agua para someterlas a un proceso de potabilización, no existirá un análisis completo de parámetros químicos, es decir parámetros como: nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, tensoactivos SAAM, fosfatos, aluminio, cobre, cromo hexavalente, hierro total y sulfatos, ya que estos se encuentran en la tesis de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) “Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad San Rafael, provincia de Pichincha”, concentraciones que cumplen en un 90% con los parámetros establecidos en la normativa nacional [43], el único parámetro fuera de la norma es el aluminio (Tabla 3.10), en el caso específico de esta investigación el P3 es el que se ha denominado reservorio principal mientras el P4 es el reservorio provisional (Tabla 3.25), razón por la cual se prestara mayor atención a dichos puntos. El valor alto del aluminio se le atribuye a la presencia de contaminantes externos como latas metálicas, ladrillos, entre otros, además del tipo de conducción del agua siendo a cielo abierto [43], esta información es relevante ya que se realizó las campañas de muestreo durante el verano (mayo-junio). Además, se puede afirmar que la fuente principal de agua no se ha visto afectada por actividades industriales, agrícolas o ganaderas a gran escala, se sustenta esta información con un estudio gráfico del uso de suelo del 2020 que proviene de imágenes de carácter satelital, específicamente del satélite sentinel-2 con una resolución de 10 metros [44] y comparándolo con el mapa del GAD de Checa del 2015. Es evidente que las áreas urbanas se han expandido en zonas aledañas a la comuna de San Rafael, sin existir una repercusión directa (Anexo X). También en los últimos años los habitantes de la comuna han incursionado en prácticas sustentables para la producción de mermeladas teniendo sembríos de frutillas a pequeña escala, usando parcialmente abono natural, sin existir una repercusión en la calidad del agua como se puede evidenciar en los parámetros medidos In situ (Tabla 3.25).

**Tabla 3.10. Parámetros químicos de la Comuna de San Rafael.**

| Parámetro                                 | Unidad | P1    | P2    | P3    | P4    | P5    | LMP<br>(TULSMA) | LMP<br>(INEN<br>1108) |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------------|
| Nitritos                                  | mg/l   | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 1               | 0,2                   |
| Nitratos                                  | mg/l   | 0,200 | 0,100 | 0,300 | 0,500 | 0,100 | 10              | 50                    |
| Nitrógeno<br>Amoniaco                     | mg/l   | 0,240 | 0,150 | 0,180 | 0,200 | 0,150 | 1               | -                     |
| Tensoactivos<br>SAAM                      | mg/l   | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,026 | 0,027 | 0,5             | -                     |
| Fosfatos                                  | mg/l   | 0,170 | 0,740 | 0,160 | 0,570 | 0,230 | -               | -                     |
| Aluminio Al                               | mg/l   | 0,321 | 0,206 | 0,273 | 0,260 | 0,274 | 0,2             | -                     |
| Cobre Cu                                  | mg/l   | 0,040 | 0,040 | 0,050 | 0,030 | 0,040 | -               | 2                     |
| Cromo<br>hexavalente<br>Cr <sup>6+</sup>  | mg/l   | 0,010 | 0,007 | 0,005 | 0,011 | 0,003 | 0,05            | 0,05                  |
| Hierro total<br>Fe <sup>3+</sup>          | mg/l   | 0,590 | 0,620 | 0,670 | 0,800 | 0,900 | 1               | -                     |
| Sulfatos<br>SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> | mg/l   | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 400             | -                     |

Fuente: [43]

Elaboración: Bravo A.

### 3.4.1. Puntos de muestreo

Para determinar la cantidad de puntos de muestreo se aplica el método estadístico para una población finita que se resume en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{NZ^2pq}{d^2(N - 1) + Z^2pq}$$

Ecuación 2.1. Probabilidad para una población finita.

Fuente: [45].

Donde: n es el tamaño de la muestra que vamos a determinar; N el tamaño de la población, Z es el valor calculado en tablas relacionado al nivel de confianza, en nuestro caso es de 1,645 (nivel de confianza es del 90%); d es el nivel de precisión absoluta, relacionado con la amplitud del intervalo de confianza, el correspondiente al 90% es de 0,1; p es la proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (0,9), mientras que q es la proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (0,1).

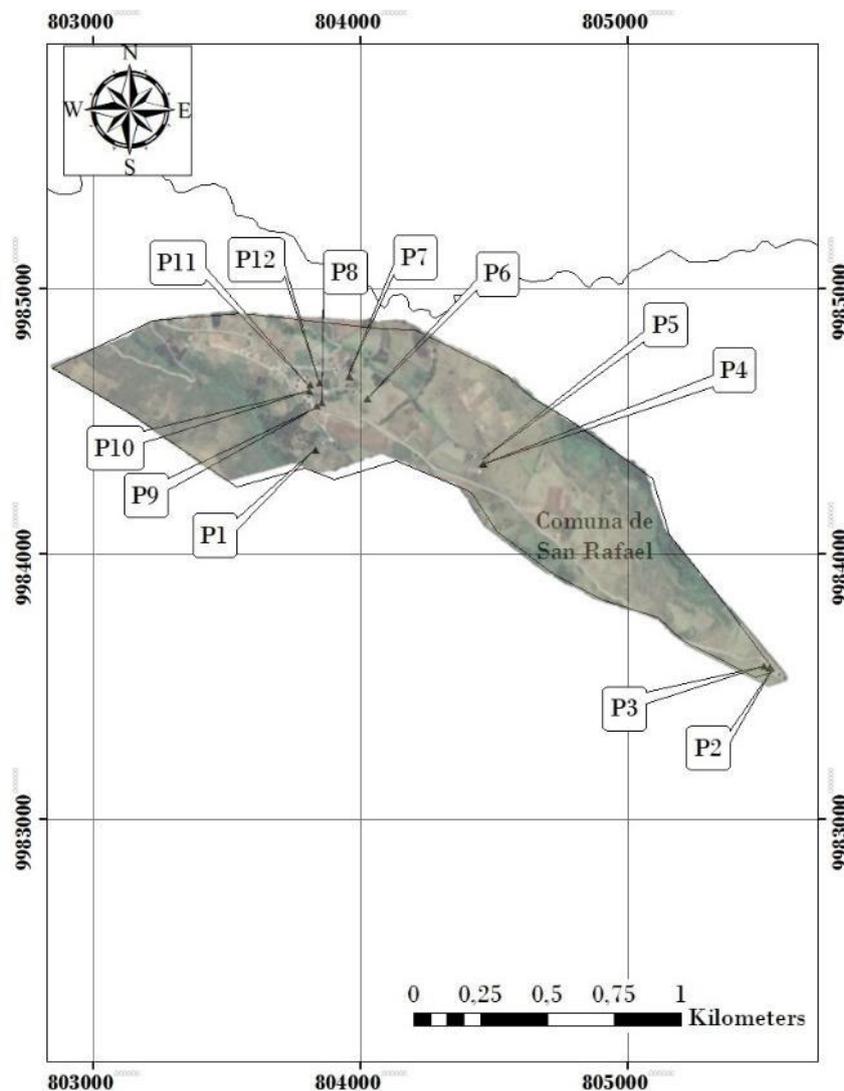
$$n = \frac{20 (1,645)^2 (0,9)(0,1)}{(0,1)^2(19) + (1,645)^2(0,9)(0,1)} = 11,23 \approx 11$$

Ecuación 3.1. Cálculo del número de muestras.

Elaboración: Bravo A.

A continuación, se muestran los puntos de muestreo de una manera ilustrativa por medio de un mapa de ArcGis (Figura 3.8). Los puntos de muestreo 1, y del 6 al 12 corresponden a viviendas dentro de la comuna de San Rafael, los puntos de muestreo 2 y 3 corresponden al reservorio principal ubicado a aproximadamente 2 km de la comuna (Figura 3.9) y finalmente los puntos 4 y 5 corresponden al reservorio provicional usado principalmente para riego. Las coordenadas de los puntos de muestreo se detallan en la tabla 3.25.

FIGURA 3.8. Puntos de muestreo de la comuna de San Rafael



Fuente: [34].

Elaboración: Bravo A.

FIGURA 3.9. Reservoirio Principal de la Comuna San Rafael.



Elaboración: Bravo A.

FIGURA 3.10. Toma de muestras para ensayos microbiológicos.



Elaboración: Bravo A.

### 3.4.2. Instrumentos y equipos de muestreo

Para realizar las campañas de muestreo se basó en la NTE INEN 2169 y en la NTE INEN 2176.

**Tabla 3.11. Equipos y materiales de muestreo**

| Material/Equipo                         | Descripción   | Finalidad  | Evidencia Fotográfica   |
|---|---|--|---|
| Nevera portátil (9 litros)              | Plástico (poliestireno)   | Transporte de muestras   |    |
| Nevera portátil (10 litros)             | Plástico (polietileno de alta densidad)   | Transporte de muestras   |    |
| Gel en hielo                            | Hielo sintético   | Preservación de las muestras                                       |   |
| Recipiente (16 litros)                  | Plástico (Tereftalato de Polietileno)   | Almacenamiento de agua para el ensayo de prueba de jarras          |  |
| Envase estéril (150 ml)                 | Plástico (polietileno de alta densidad)   | Depósito de muestras para ensayos físicos y químicos               |  |
| Envase estéril (100 ml)                 | Plástico (polietileno de alta densidad)   | Depósito de muestras para ensayos biológicos                       |  |
| Multímetro portátil HQ30D (Marca: Hach) | Antes de sacarlo a campo fue calibrado con soluciones estándar en el Laboratorio de Docencia de Ingeniería Ambiental (LDIA) | Medir In situ parámetros como: conductividad, OD, pH y temperatura |  |

Elaboración: Bravo A.

Los resultados de los parámetros medidos In situ se detallan en la tabla 4.25.

### **3.4.3. Análisis del agua de la comuna**

De manera general el agua que llega a la comuna de San Rafael presenta características homogéneas las cuales son: un agua alcalina cuyo pH es mayor a 9, la presencia de oxígeno disuelto cuyo valor es mayor a 7 mg/l, que refleja un valor aceptable para el consumo humano en base a los LMP del Anexo 1 del TULSMA, una temperatura que oscila entre los 14°C - 17,5°C, siendo un valor irregular el del punto 1 cuyo valor es de 22,6 °C, el cual se le puede atribuir a que las conexiones de agua entubada están expuestas a las condiciones climáticas, mientras que en las otras viviendas existe vegetación o construcciones aledañas que brindan sombra a las conexiones de agua. La conductividad presenta un valor promedio de 87,9  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , este valor no me indica una cantidad significativa de iones (Mg, Na, Ca, P, cloruros y sulfatos) en el agua que puedan comprometer su integridad [17] (Tabla 4.25). En cuanto a los parámetros como sólidos totales, suspendidos, dureza del agua y DQO, las características no distan mucho desde un punto al otro teniendo una gran precisión, siendo la única excepción el punto 11 con un valor de DQO de 19 mg/l (Tabla 4.26). Los análisis de los parámetros estaban enfocados en el agua de la comuna, razón por la cual algunos parámetros se excluyeron de los reservorios como la dureza, DQO y los coliformes. Con respecto al análisis de los coliformes no se pudo realizar el ensayo de todos los 8 puntos de la comuna por cuestiones económicas y falta de equipo en el LDIA, motivo por el cual se recurrió al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) para realizar estos análisis, en los resultados de coliformes, se pudo apreciar que en las viviendas analizadas la cantidad de coliformes cumple con la normativa.

### **3.5. Ensayos de tratamiento del agua**

Tanto el ensayo de prueba de jarras como la medición de los parámetros iniciales y los parámetros de control se realizaron en el LDIA. Los parámetros de control son aquellos que se miden en cada ensayo de jarras para poder apreciar de una manera cuantitativa la eficiencia de los coagulantes-floculantes y desinfectantes aplicados, para la elaboración del presente trabajo estos parámetros son el color aparente, turbiedad, cloro libre residual y pH se descartó la medición de coliformes tanto fecales como totales ya que los valores de los puntos analizados cumplen con los LMP de la norma INEN 1108 (Tabla 4.26), ensayos que fueron realizados con la colaboración del CICAM.

Por otro lado, tanto el color aparente como la turbiedad fueron medidos en cada dosis de los reactivos empleados (sulfato de aluminio, polímero catiónico e hipoclorito de calcio),

mientras que el cloro libre residual solo fue medido durante la aplicación de las dosis de hipoclorito de calcio. A continuación, se establece el procedimiento para obtener los parámetros de control, en base al manual de análisis Hach con el que cuentan en el LDIA [46].

### Color Aparente (Method 8025)

- Se requiere preparar el blanco al filtrar 50 ml de agua desionizada a través de la bomba de vacío,
- Se coloca 10 ml de la muestra filtrada en una celda de muestra el cual funcionara como el blanco,
- Se selecciona el programa en el espectrofotómetro el cual es el 120 con una longitud de onda de 455 nm,
- Se debe cerciorar que la celda que contiene el blanco se encuentre libre de gotas de agua en la parte externa. Se puede emplear una tela suave para el proceso de limpieza,
- Se coloca la celda que contiene el blanco en el espectrofotómetro y se presiona el botón “zero”,
- Por último, se retira la celda que contiene el blanco y se coloca la celda que contiene la muestra a analizar, obteniendo así los valores de color en unidades de Pt-Co.

FIGURA 3.11. Medición de color aparente.



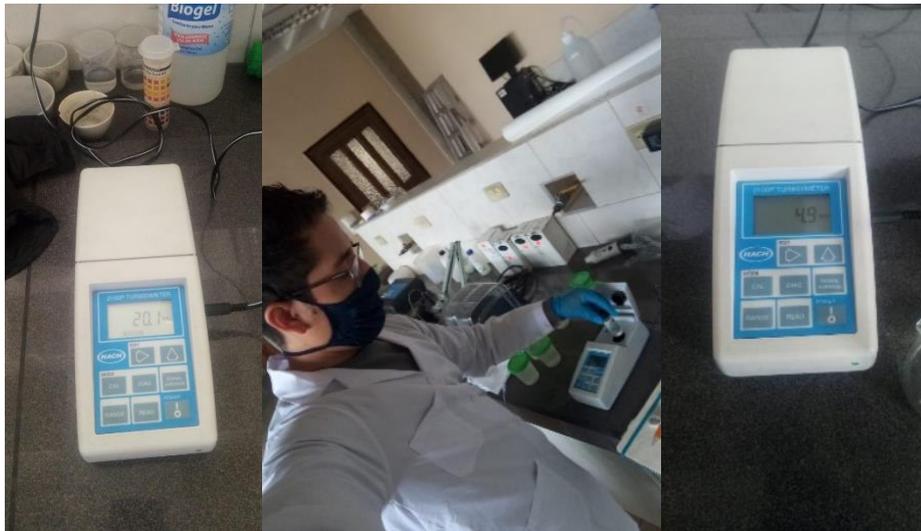
Elaboración: Bravo A.

### Turbiedad

- Se coloca una celda con una solución estándar, el valor de la misma depende de la turbiedad esperada de la muestra, es decir si la muestra no presenta una turbiedad apreciable a simple vista es necesario usar el estándar de 20 NTU (20 NTU, 100 NTU) esto sirve para calibrar el turbidímetro de marca Hach modelo 2100P,

- Se presiona el botón “RANGE”,
- Posteriormente se coloca en una celda la muestra, la cantidad debe estar hasta la línea de aforo (10 ml),
- Se registra los valores obtenidos en NTU.

FIGURA 3.12. Medición de la turbiedad.



Elaboración: Bravo A.

### Cloro libre residual (Method 8021)

FIGURA 3.13. Medición de cloro libre residual.



Elaboración: Bravo A.

- Se selecciona el programa adecuado,
- Se llena una celda con 10 ml de la muestra esta será el blanco,
- Se coloca el blanco y se presiona el botón “Zero”
- Se coloca en otra celda, 10 ml de la muestra a analizar,

- Se adiciona el Hach de cloro libre en la celda con la muestra, se tapa y se agita durante 20 segundos
- Por último, se registra los valores de cloro libre residual en mg/l

Previo a la realización de las pruebas de jarras se toman los valores de los parámetros iniciales de la muestra compuesta de agua cruda de la comuna de San Rafael, sin ningún tratamiento preliminar. La selección de este tipo de muestra es como consecuencia de la variabilidad poco significativa de los parámetros medidos In situ (Tabla 4.25).

esta muestra se tomó en 4 puntos diferentes de la comuna teniendo un total de 16 litros ya que la cantidad mínima es de 2 litros por punto [17]. Los parámetros iniciales se midieron por triplicado siendo los valores promedios detallados a continuación:

**Tabla 3.12. Parámetros iniciales del agua cruda de la Comuna de San Rafael.**

| Parámetro      | Equipo/Programa                         | Unidad                              | Valor |
|----------------|---|-------------------------------------|-------|
| Color aparente | Espectrofotómetro/Programa 120 – 455 nm | Unidades de platino cobalto (Pt-Co) | 96    |
| pH             | Phmetro portátil                        | Unidades de pH                      | 9,5   |
| Turbiedad      | Turbidímetro 2100P                      | NTU                                 | 10,5  |

Elaboración: Bravo A.

Se colocó en cada vaso de precipitación la cantidad de 500 ml de agua cruda y se adicionó diferentes dosis de los reactivos empleados, (sulfato de aluminio, polímero catiónico e hipoclorito de sodio) a través de jeringuillas cuyo volumen fue preparado preliminarmente en base a la siguiente ecuación:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación 3.2. Ecuación para preparar las diluciones.

Fuente: [47]

Para la mezcla rápida se aplicó una velocidad de 100 RPM durante el tiempo de 1 minuto consecutivamente, se realizó la mezcla lenta a una velocidad de 30 RPM por 15 minutos y finalmente para el proceso de sedimentación se dejó en reposo durante 20 minutos [14]. Es imperativo conocer la concentración inicial de cada reactivo al colocar una determinada masa de los mismos en un volumen definido (ecuación 3.3)

$$PPM = \frac{\text{Soluto (mg)}}{\text{Volumen (l)}}$$

Ecuación 3.3. Determinación de la concentración inicial.

Fuente: [47].

Para determinar la eficiencia de remoción tanto del color aparente, como de la turbiedad se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

Ecuación 2.4. Eficiencia de remoción.

Donde:  $C_o$  es la concentración inicial del parámetro antes de realizar el ensayo de la prueba de jarras es decir el parámetro inicial.  $C_f$  es la concentración del parámetro posterior a la aplicación del reactivo.

La ecuación 2.4 se aplica en las tablas, donde se detallan las pruebas para los 3 reactivos en cuestión. Como ejemplo se realiza el cálculo de la eficiencia de remoción tanto para la turbiedad como para el color aparente, al aplicar el sulfato de aluminio en una dosis de 30 mg/l. este mismo procedimiento se repite con cada dosis y cada uno de los reactivos.

$$\% \text{ Remoción}_{\text{Turbiedad}} = \frac{10,5 \text{ NTU} - 1,29 \text{ NTU}}{10,5 \text{ NTU}} * 100 = 87,7\%$$

Eficiencia de remoción de turbiedad para el sulfato de aluminio

Elaboración: Bravo A.

$$\% \text{ Remoción}_{\text{Color}} = \frac{96 (Pt - Co) - 24 (Pt - Co)}{96 (Pt - Co)} * 100 = 75,0\%$$

Eficiencia de remoción de color para el sulfato de aluminio

Elaboración: Bravo A.

### 3.5.1. Ensayo de prueba de jarras con el sulfato de aluminio

FIGURA 3.14. Ensayo de prueba de jarras con sulfato de aluminio.



Elaboración: Bravo A.

De acuerdo al proveedor de nombre comercial la “Casa del químico” se facilitó la información que está en formato PDF (ANEXO V), la cual esta detallada en la presente tabla.

**Tabla 3.13. Características del Sulfato de Aluminio.**

| Nombre comercial | Sulfato de aluminio granulado tipo A                    |
|------------------|---|
| Peso molecular   | 594,14 g/mol  |
| Formula química  | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ |
| Apariencia       | Cristales de color blanco                               |
| Solubilidad      | Soluble en agua   |

Elaboración: Bravo A.

Para determinar la concentración inicial se utiliza la ecuación 3.3 al diluir una masa establecida en un volumen de agua destilada. Además, para establecer las diferentes dosis que se deben aplicar durante el ensayo, deben estar dentro del rango aceptable del sulfato de aluminio que va desde 5 a 55 mg/l [14] para lo cual se requiere de la ecuación 3.2.

La masa de sulfato de aluminio pesada en la balanza analítica fue de 2000 mg los cuales fueron colocados en un balón volumétrico con una capacidad de 0,5 l, en base a la ecuación 3.3 la concentración inicial es de:

$$PPM = \frac{2000 \text{ mg}}{0,5 \text{ l}} = 4000 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Concentración inicial de sulfato de aluminio.

Elaboración: Bravo A.

La solución de sulfato de aluminio se pasa a un vaso de precipitación para facilitar la toma de las alícuotas.

Las dosis óptimas de sulfato de aluminio para turbiedades de 10, 20 y 70 NTU se encuentra entre los 30 mg/l - 50 mg/l [48]. Por lo que, en base a este estudio previo, se aplica este rango para realizar los ensayos. Para realizar las diluciones a partir de la concentración inicial se aplica la ecuación 3.2. El volumen necesario para llegar a una concentración de 30 mg/l es de

$$4000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} V_1 = 30 \frac{\text{mg}}{\text{l}} (0,5 \text{ l}) \rightarrow V_1 = 3,8 \text{ ml}$$

Dilución de sulfato de aluminio para llegar a 30 mg/l.

Elaboración: Bravo A.

Se detalla a continuación los volúmenes que se toman para llegar al rango de concentraciones especificadas previamente, aplicando la ecuación 3.2

**Tabla 3.14. Diluciones del Sulfato de Aluminio.**

| Concentración inicial = 4000 PPM |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| Concentración deseada (PPM)      | Volumen de disolución (ml) |
| 30                               | 3,8                        |
| 35                               | 4,4                        |
| 40                               | 5                          |
| 45                               | 5,6                        |
| 50                               | 6,3                        |
| 55                               | 6,9                        |

Elaboración: Bravo A.

### 3.5.2. Ensayo de prueba de jarras de Polímero Catiónico más Sulfato de Aluminio

FIGURA 3.15. Ensayo de prueba de jarras con Polímero Catiónico.



Elaboración: Bravo A.

De acuerdo al proveedor de nombre comercial la “Sanitron: Ingeniería de Purificación” se facilitó la información en formato PDF (ANEXO VI), la cual esta detallada en la presente tabla.

**Tabla 3.15. Características del Polímero Catiónico.**

| Nombre comercial | Polímero Catiónico      |
|------------------|-------------------------|
| Densidad         | 0,75 g/ml               |
| Formula química  | -                       |
| Apariencia       | Polvo cristalino blanco |
| Solubilidad      | Soluble en agua         |

Elaboración: Bravo A.

Para determinar la concentración inicial se utiliza la ecuación 3.3 al diluir una masa establecida en un volumen de agua destilada. Además, para determinar las diferentes dosis que deben ser aplicadas se toma en cuenta el rango aceptable del polímero catiónico que va desde 0,1 a 1,0 mg/l [27] para lo cual se emplea la ecuación 3.2

La masa de polímero catiónico pesada en una balanza analítica fue de 1000 mg, los cuales fueron colocados en un balón volumétrico de 0,5 l en base a la ecuación 3.3 tenemos que la concentración inicial es de:

$$PPM = \frac{1000 \text{ mg}}{0,5 \text{ l}} = 2000 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Concentración inicial del polímero catiónico.

Elaboración: Bravo A.

Esta concentración inicial es muy alta para llegar al rango que comprende de 0,1 a 1,0 mg/l por lo que es necesario hacer una dilución 1:100 es decir de esta concentración se toma una alícuota de 5 ml se afora en un balón de 500 ml con agua destilada, dándonos una concentración total de 20 mg/l siendo esta la concentración con la que trabajaremos.

La solución del polímero catiónico se pasa a un vaso de precipitación para facilitar la toma de alícuotas. Al aplicarse el polímero catiónico como único medio de tratamiento no presente una gran eficiencia en la remoción de color y turbiedad, en especial para turbiedades de 10 y 20 NTU llegando a un 60% como máximo, razón por la cual es necesario que se aplique de manera conjunta con el sulfato de aluminio [48].

La dosis óptima del polímero para turbiedades de 10, 20 y 70 NTU se encuentra presente entre las dosis 0,10 mg/l a 0,20 mg/l [48], razón por la cual, en base a este estudio previo se aplica este rango para realizar los ensayos.

Para realizar las diluciones a partir de la concentración inicial se aplica la ecuación 3.2. El volumen necesario para llegar a una concentración de 0,10 mg/l es de:

$$20 \frac{mg}{l} V_1 = 0,10 \frac{mg}{l} (0,5 l) \rightarrow V_1 = 2,5 ml$$

Dilución de polímero catiónico para llegar a 0,10 mg/l.

Elaboración: Bravo A.

Se detalla a continuación los volúmenes tomados para llegar al rango de concentraciones especificadas previamente, aplicando la ecuación 3.2

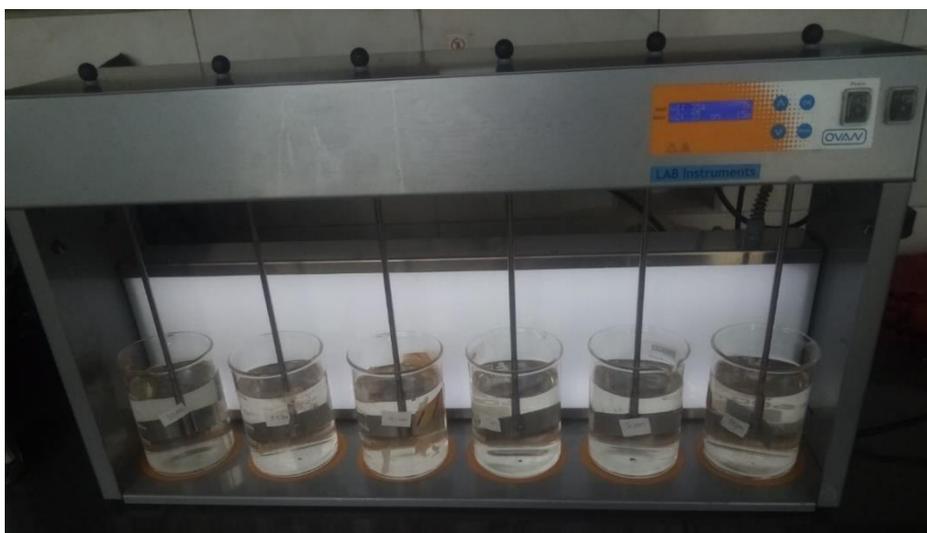
**Tabla 3.16. Diluciones del Polímero Catiónico.**

| Concentración inicial = 20 PPM |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| Concentración deseada (PPM)    | Volumen de disolución (ml) |
| 0,10                           | 2,5                        |
| 0,15                           | 3,8                        |
| 0,20                           | 5,0                        |
| 0,25                           | 6,3                        |
| 0,30                           | 7,5                        |
| 0,35                           | 8,8                        |

Elaboración: Bravo A.

### 3.5.3. Ensayo de pruebas de jarras de Hipoclorito de Calcio más Sulfato de Aluminio y Polímero Catiónico.

FIGURA 3.16. Ensayo de prueba de jarras con Hipoclorito de Calcio.



Elaboración: Bravo A.

De acuerdo al proveedor de nombre comercial “La Casa del químico” se facilitó la información en formato PDF (ANEXO VII), la cual esta detallada en la presente tabla.

**Tabla 3.17. Características del Hipoclorito de Calcio.**

| Nombre comercial | Hipoclorito de calcio (70%)             |
|------------------|---|
| Peso molecular   | 144,29 g/mol                            |
| Formula química  | Ca(ClO) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O |
| Apariencia       | Finos granos de color blanco            |
| Solubilidad      | Soluble en agua                         |

Elaboración: Bravo A.

Para determinar la concentración inicial se utiliza la ecuación 3.3 al diluir una masa establecida en un volumen de agua destilada. Además, para determinar las diferentes dosis a emplear, se toma en cuenta el rango aplicable del hipoclorito de calcio para procesos de potabilización el cual varía en función de las características del agua, pero se encuentra entre el rango de 0,1 mg/l a 4,1 mg/l [49], para lo cual se usa la ecuación 3.2

La masa de hipoclorito de calcio pesada en una balanza analítica fue de 500 mg los cuales se colocó en un balón volumétrico de 0,5 l, en base a la ecuación 3.3 la concentración inicial es de:

$$PPM = \frac{500 \text{ mg}}{0,5 \text{ l}} = 1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Concentración inicial del hipoclorito de calcio.

Elaboración: Bravo A.

Para la determinación de la dosis óptima del hipoclorito de calcio a concentraciones de 10, 20 y 70 NTU, tomando en cuenta el cloro libre residual, se establece que para concentraciones de 10 y 20 NTU la dosis óptima es de 4 mg/l de hipoclorito de calcio mientras que para la turbiedad de 70 NTU la dosis óptima es de 5 mg/l [48].

Con estos estudios previos para realizar el ensayo se tomará en cuenta el rango recomendado que es de 0,1 mg/l – 4,1 mg/l además de medir 5 mg/l y 6 mg/l para identificar la variación. Para realizar las diluciones a partir de la concentración inicial se aplica la ecuación 3.2. El volumen necesario para llegar a una concentración de 0,10 mg/l es de:

$$1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} V_1 = 1,0 \frac{\text{mg}}{\text{l}} (0,5 \text{ l}) \rightarrow V_1 = 0,5 \text{ ml}$$

Elaboración: Bravo A.

Se detalla a continuación los volúmenes tomados para llegar al rango de concentraciones especificadas previamente, aplicando la ecuación 3.2

**Tabla 3.18. Diluciones del Hipoclorito de Calcio.**

| Concentración inicial = 1000 PPM |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| Concentración deseada (PPM)      | Volumen de disolución (ml) |
| 1                                | 0,5                        |
| 2                                | 1,0                        |
| 3                                | 1,5                        |
| 4                                | 2,0                        |
| 5                                | 2,5                        |
| 6                                | 3,0                        |

Elaboración: Bravo A.

### 3.5.4. Análisis del costo de los reactivos para la potabilización

Los costos de los reactivos, son determinados en base a las dosis óptimas de cada uno, además del volumen de agua que van a tratar, para ello se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\text{Consumo (mg)} = \text{Dosis óptima} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) * \text{Volumen a tratar (l)}$$

Ecuación 2.5. Consumo de reactivo.

$$\text{Costo consumo (\$)} = \text{Consumo (mg)} * \frac{\text{Costo por kg (\$)}}{10^6 \text{ (mg)}}$$

Ecuación 2.6. Determinación del costo por dosis de consumo

Para determinar cuánto tiempo va a durar los sobres de potabilización, en base a la cantidad de reactivos adquiridos inicialmente, se realizan los siguientes cálculos:

$$\text{Consumo familiar (l)} = 5 \frac{\text{personas}}{\text{familia}} * \frac{2 \text{ l}}{\text{persona}} = 10 \frac{\text{l}}{\text{familia}} \rightarrow 1 \frac{\text{sobre}}{\text{día}} \times \text{familia}$$

$$\text{Sobres disponibles (\#)} = \frac{1 \text{ kg (sulfato de Aluminio)}}{0,5 \text{ g de sulfato de aluminio}} = 2000 \text{ sobres}$$

$$\text{Duración (d)} = 2000 \text{ sobres} / 60 \frac{\text{sobres}}{\text{día}} = 33 \text{ días}$$

**Tabla 3.19. Costo de reactivos.**

| Reactivo              | Consumo (mg) | Volumen a tratar (l) | Costo por kg (\$) | Costo Consumo (\$) | Costo Total (\$) | Costo Total (cent) |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Sulfato de aluminio   | 500          |                      | 0,88              | 0,00044            |                  |                    |
| Hipoclorito de calcio | 40           | 10                   | 6,09              | 0,00024            | 0,00070          | 0,07               |
| Polímero catiónico    | 1,5          |                      | 13,10             | 0,00002            |                  |                    |
| Sulfato de aluminio   | 1000         |                      | 0,87              | 0,00087            |                  |                    |
| Hipoclorito de calcio | 80           | 20                   | 6,09              | 0,00049            | 0,00140          | 0,14               |
| Polímero catiónico    | 3            |                      | 13,10             | 0,00004            |                  |                    |

Elaboración: Bravo A.

El costo total de los reactivos al adquirirlos es para el sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio de \$6,97 (Anexo VIII) por kilogramo y para el polímero catiónico de \$13,10 (Anexo IX) por kilogramo dándonos un total de \$20,07. El costo por cada dosis resulta ser bastante accesible para la población de la comuna de San Rafael llegando a los 0,07 centavos para tratar 10 litros y 0,14 centavos para tratar 20 litros.

En base al consumo y la cantidad inicial de reactivo (1 Kg), tenemos que nuestro reactivo limitante es el sulfato de aluminio, ya que es el que más se consume en cualquiera volumen a tratar. Los volúmenes a tratar de 10 litros, pueden abastecer a las 60 familias que viven en la comuna por el periodo de 33 días, asumiendo un consumo de 10 litros de agua por familia (2 litros por persona al día), mientras que en el caso del volumen de 20 litros puede abastecer a la familia durante un periodo de 17 días, asumiendo un consumo de 20 litros de agua diarios por familia (4 litros por persona al día).

### **3.5.5. Aplicación de los sobres de potabilización.**

La aplicación de los sobres de potabilización se realizó de manera casera para apegarse más a las condiciones reales donde se van a emplear, por lo que para simular la mezcla rápida se coloca el sobre de potabilización en una botella pequeña de 600 mililitros, adicionando una cantidad de agua de 100 ml aproximadamente, se agita durante un periodo de 5 minutos, se debe observar que todos los reactivos se encuentren disueltos y se prosigue a verter el contenido de la botella en el recipiente, para tratar 10 litros o 20 litros, se tapa el recipiente para evitar el ingreso de contaminantes externos que tengan inferencias en la calidad del agua y se deja sedimentar por el periodo de una hora (Anexo

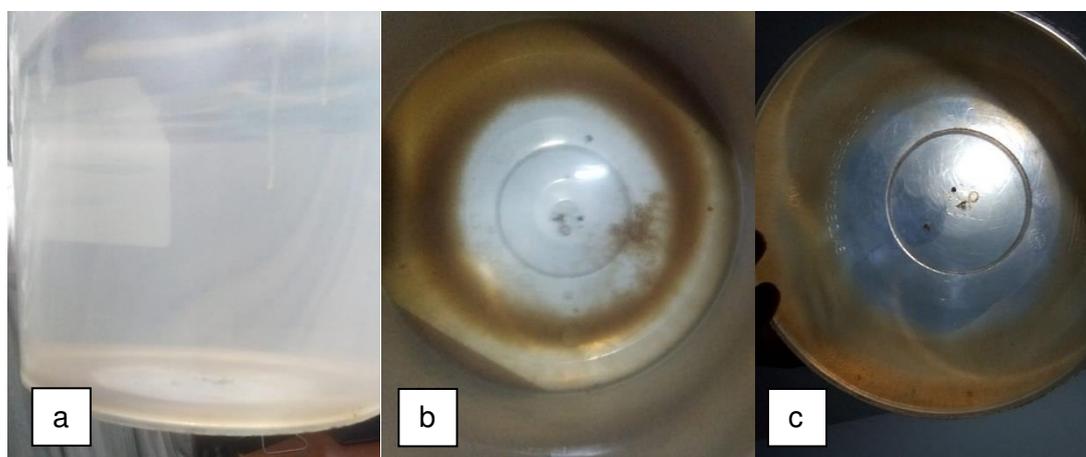
XI). Esta muestra de agua es compuesta, la cual presenta parámetros iniciales mayores a los analizados en los ensayos de pruebas de jarras, con respecto a la turbiedad tiene un valor de 20,1 NTU, el color aparente es de 118 (Pt-Co) y el pH de 9,25. Adicional se determina la concentración de aluminio debido a que este parámetro se presentaba en concentraciones mayores a la norma en la tesis de la EPN “Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad San Rafael, Provincia de Pichincha” y también va a existir un aumento del mismo al adicionar el sulfato de aluminio [14]. El resultado obtenido en la muestra compuesta para el aluminio es de: 0,121 mg/l. Luego de una hora de la aplicación del sobre se realizó un análisis de la calidad del agua, tomando en cuenta los parámetros de control adicionando los valores de pH y aluminio.

FIGURA 3.17. Aplicación del sobre de potabilización (1 Hora)



Elaboración: Bravo A.

FIGURA 3.18. Aplicación del sobre de potabilización (6 Hora)



a) Vista lateral; b) Vista superior; c) vista inferior.

Elaboración: Bravo A.

**Tabla 3.20. Eficiencia de remoción de color y turbiedad para una turbiedad de 20 NTU.**

| Parámetro                   | Valor pre tratamiento | Valor post tratamiento | $\eta$ de remoción (%) | LMP     |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------|
| pH                          | 9,25                  | 8,26                   | 10,7                   | 6-9     |
| Color aparente (Pt-Co)      | 118                   | 12                     | 89,9                   | 15      |
| Turbiedad (NTU)             | 20,1                  | 4,9                    | 75,6                   | 5       |
| Cloro libre residual (mg/l) | -                     | 0,64                   | -                      | 0,3-1,5 |
| Aluminio (mg/l)             | 0,121                 | 0,216                  | -                      | 0,2     |

Elaboración: Bravo A.

Al contrastar los valores obtenidos con los valores de la norma INEN 1108 y el anexo 3 del TULSMA para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional, se nota que todos los parámetros se encuentran por debajo de la normativa nacional a excepción del aluminio que se excede por un valor del 0,016 mg/l.

## 4. PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Pruebas

#### 4.1.1. Pruebas con el sulfato de aluminio

La dosis óptima de sulfato de aluminio como coagulante es determinado en función de aquel que presenta un valor bajo tanto de turbiedad [50], como de color, es decir aquellos valores que presentan una mayor eficiencia en la remoción, además de cumplir con los LMP de la norma INEN 1108. La dosis óptima ha sido resalta en la tabla con un color celeste opaco para que sea destacable entre las otras dosis del ensayo.

**Tabla 4.21. Eficiencia de remoción de color y turbiedad con el Sulfato de Aluminio.**

| Dosis (mg/l) | Turbiedad (NTU) | Color (Pt-Co) | $\eta$ remoción de turbiedad (%) | $\eta$ remoción de color (%) |
|--------------|-----------------|---------------|----------------------------------|------------------------------|
| 0            | 10,50           | 96            | 0                                | 0                            |
| 30           | 1,29            | 24            | 87,7                             | 75,0                         |
| 35           | 1,01            | 18            | 90,4                             | 81,3                         |
| 40           | 0,86            | 14            | 91,8                             | 85,4                         |
| 45           | 0,78            | 10            | 92,6                             | 89,6                         |
| 50           | 0,78            | 7             | 92,6                             | 92,7                         |
| 55           | 1,00            | 12            | 90,5                             | 87,5                         |

Elaboración: Bravo A.

En la primera fila de concentración 0 mg/l se especifican los parámetros iniciales del agua de la comuna de San Rafael. Al aplicar la dosis del sulfato de aluminio correspondiente a 30 mg/l se hace evidente la disminución de los valores tanto de turbiedad como de color siendo la eficiencia de remoción del 87,7% y del 75% respectivamente. Para la dosis de 35 mg/l aumenta la eficiencia de la remoción de turbiedad llegando a un 90,4%, de igual forma el color llegando a un 81,3%. Tanto la dosis de 40 mg/l como la de 45 mg/l tiene porcentajes de eficiencia altos para el color y la turbiedad, pero no fueron escogidas como la dosis óptima debido a que la dosis de 50 mg/l presenta la mayor eficiencia en la remoción de color y tiene la misma eficiencia en la remoción de turbiedad que la dosis de 45 mg/l. Finalmente, en la dosis de 55 mg/l se puede apreciar que existe una disminución en la

eficiencia en la remoción del color aparente y de la turbiedad. La comparación con los LMP de la norma INEN 1108 se profundizará en los resultados.

La dosis óptima se encuentra dentro del rango mencionado en Barajas & León [14]. Es importante esto debido a que una dosis mayor o menor tiene repercusiones en la desestabilización de las cargas de los coloides afectando el proceso de coagulación [14]

#### 4.1.2. Pruebas con el polímero catiónico más sulfato de aluminio

La dosis óptima de polímero catiónico como coagulante-floculante es determinado en función de aquel que presenta un valor bajo tanto de turbiedad [50], como de color, es decir aquellos valores que presentan una mayor eficiencia en la remoción, además de cumplir con los LMP de la norma INEN 1108. La dosis óptima ha sido resalta en la tabla con un color verde para que sea destacable entre las otras dosis del ensayo.

En base a la investigación el polímero catiónico no tiene una buena eficiencia en la remoción de turbiedades bajas al actuar por sí solo [48] por lo que a partir de la dosis óptima de sulfato de aluminio se adiciona las distintas dosis de polímero catiónico.

**Tabla 4.22. Eficiencia de remoción de color y turbiedad con el Polímero Catiónico + una concentración constante de sulfato de aluminio.**

| Sulfato de Aluminio: 50 mg/l |                 |               |                                  |                              |
|------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------|------------------------------|
| Dosis (mg/l)                 | Turbiedad (NTU) | Color (Pt-Co) | $\eta$ remoción de turbiedad (%) | $\eta$ remoción de color (%) |
| 0,00                         | 10,50           | 96            | 0                                | 0                            |
| 0,10                         | 2,48            | 22            | 76,4                             | 77,1                         |
| 0,15                         | 0,75            | 5             | 92,9                             | 94,8                         |
| 0,20                         | 1,05            | 13            | 90,0                             | 86,5                         |
| 0,25                         | 1,09            | 14            | 89,6                             | 85,4                         |
| 0,30                         | 1,22            | 15            | 88,4                             | 84,4                         |
| 0,35                         | 1,39            | 18            | 86,8                             | 81,3                         |

Elaboración: Bravo A.

En la primera fila de concentración 0 mg/l se especifican los parámetros iniciales del agua de la comuna de San Rafael. Al aplicar la dosis del polímero catiónico de 0,10 mg/l se reduce la turbiedad y el color, obteniendo una eficiencia de remoción menor al 80% en ambos casos. Para la dosis de 0,15 mg/l aumenta la eficiencia de la remoción de turbiedad y color de manera significativa llegando a un 92,9% y 94,8% respectivamente, a partir de

la dosis de 0,20 mg/l del polímero catiónico se puede apreciar que, tanto la turbiedad como el color aparente empiezan a aumentar hasta llegar a la dosis de 0,30 mg/l. Motivo por el cual la dosis óptima de polímero catiónico con una concentración constante de sulfato de aluminio de 50 mg/l es de 0,15 mg/l.

La dosis óptima se encuentra dentro del rango mencionado en Rodríguez [27]. Es importante conocer que la solución de un polímero tiene un tiempo de consumo que no puede exceder los tres días [27]. Pruebas con el hipoclorito de calcio más el sulfato de aluminio y polímero catiónico.

#### 4.1.3. Pruebas con el hipoclorito de calcio más polímero catiónico y sulfato de aluminio

**Tabla 4.23. Eficiencia de remoción de color y turbiedad con el Hipoclorito de Calcio + una concentración constante de sulfato de aluminio y polímero catiónico.**

| Sulfato de Aluminio: 50 mg/l  |                 |               |                       |                                  |                              |  |
|-------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|--|
| Polímero Catiónico: 0,15 mg/l |                 |               |                       |                                  |                              |  |
| Dosis (mg/l)                  | Turbiedad (NTU) | Color (Pt-Co) | Cloro residual (mg/l) | $\eta$ remoción de turbiedad (%) | $\eta$ remoción de color (%) |  |
| 0                             | 10,50           | 96            | 0                     | 0                                | 0                            |  |
| 1                             | 1,32            | 19            | 0,07                  | 87,4                             | 80,2                         |  |
| 2                             | 1,18            | 16            | 0,35                  | 88,8                             | 83,3                         |  |
| 3                             | 0,92            | 11            | 0,51                  | 91,2                             | 88,5                         |  |
| 4                             | 0,72            | 6             | 0,92                  | 93,1                             | 93,8                         |  |
| 5                             | 1,18            | 8             | 1,41                  | 88,8                             | 91,7                         |  |
| 6                             | 1,44            | 13            | 1,63                  | 86,3                             | 86,5                         |  |

Elaboración: Bravo A.

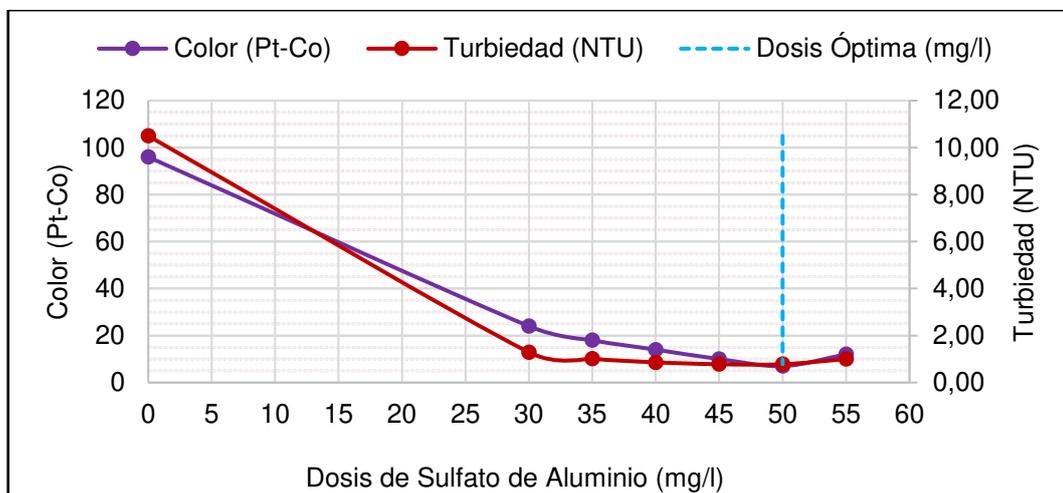
La dosis óptima de hipoclorito de calcio como desinfectante es determinado en función de aquel que presenta un valor bajo tanto de turbiedad [50], como de color, es decir aquellos valores que presentan una mayor eficiencia en la remoción, además de cumplir con los LMP de la norma INEN 1108. Es trascendental indicar que también se toma en cuenta el cloro libre residual durante la aplicación de cada dosis. El rango apropiado del color libre residual según la INEN 1108 es de 0,3 mg/l a 1,5 mg/l. La dosis óptima ha sido resalta en la tabla con un color azul claro para que sea destacable entre las otras dosis del ensayo.

En la primera fila de concentración 0 mg/l se especifican los parámetros iniciales del agua de la comuna de San Rafael. Al aplicar la primera dosis del reactivo de 1 mg/l se reduce los valores de turbiedad y color, obteniendo una eficiencia de remoción del 87,4% y del 80,2% respectivamente. Para la dosis de 2 mg/l se reducen los valores de turbiedad llegando a así a 1,18 NTU de igual forma el color llegando a un valor de 16 (unidades de color Pt-Co). Hasta la dosis de 4 mg/l es indiscutible que los valores de turbiedad y color tienden a disminuir, pero a partir de la dosis de 5 mg/l estos valores aumentan, siendo así la dosis óptima la de 4 mg/l. Finalmente, se puede apreciar que a medida que aumenta la dosis del hipoclorito de calcio aumenta la concentración del cloro libre residual. La comparación con los LMP de la norma INEN 1108 se profundizará en los resultados. La dosis óptima se encuentra dentro del rango mencionado en Dorado & Mosquera (2021). Es importante mencionar que la adición del hipoclorito de calcio tiene un efecto positivo en la disolución tornándola rápida [49]

## 4.2. Resultados

### 4.2.1. Resultados del sulfato de aluminio

Gráfico 4.8. Variabilidad del color aparente y la turbiedad en base a la dosis del sulfato de aluminio.

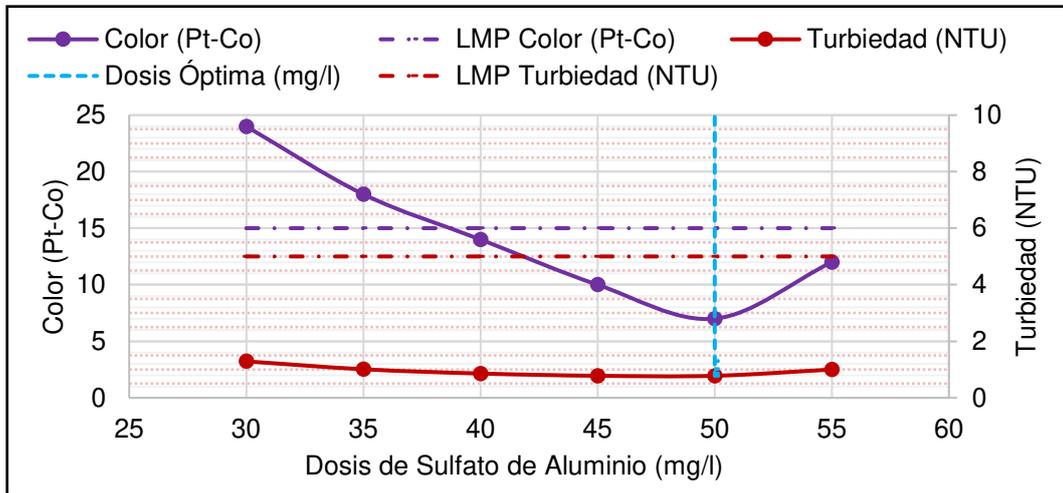


Elaboración: Bravo A.

Los parámetros de turbiedad y color se reducen de manera significativa al comparar con los parámetros iniciales, luego de aplicar la primera dosis siendo esta de 30 mg/l (Gráfico 4.8). La turbiedad y color tienen un comportamiento similar es decir tienen una tendencia a disminuir hasta la dosis de 45 mg/l donde cada parámetro actúa diferente. En el caso de la turbiedad llega a un punto estable obteniendo el mismo valor tanto para las dosis de 45

mg/l como para la dosis de 50 mg/l, mientras el parámetro del color continua con su tendencia a disminuir en el intervalo mencionado.

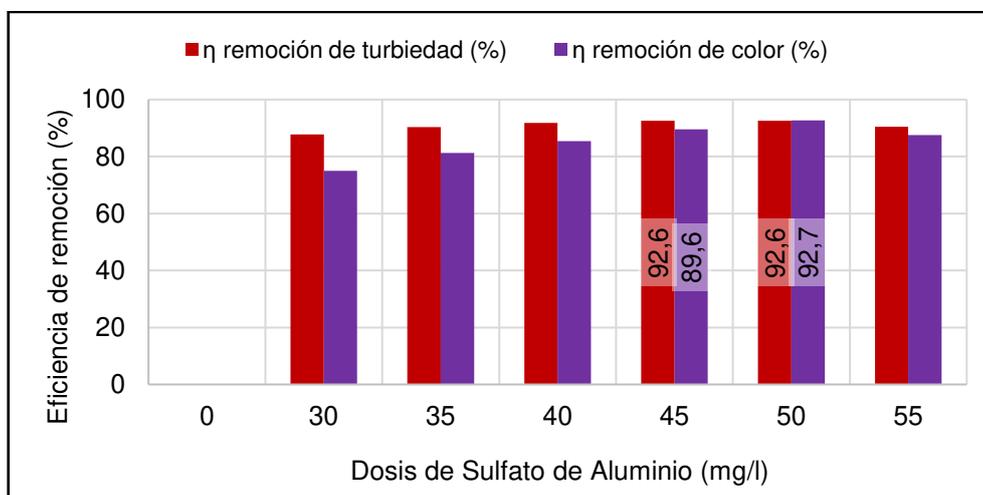
Gráfico 4.9. LMP de la norma INEN 1108 en la variabilidad del color y turbiedad con el Sulfato de Aluminio.



Elaboración: Bravo A.

En base a los LMP de la norma INEN 1108, se puede notar que los valores de turbiedad cumplen con este límite en cada dosificación del sulfato de aluminio, siendo el LMP de 5 NTU. Por otro lado, el color aparente no tiene el mismo resultado ya que para las dosis de 30 mg/l y 35 mg/l se encuentra sobre el LMP, empezando a cumplir con la normativa a partir de la dosis de 40 mg/l, siendo el LMP de 15 (Unidades de color Pt-Co) (Gráfico 4.9). El comportamiento de ambos parámetros vuelve a ser igual a partir de la dosis de 55 mg/l con una tendencia a incrementar (Gráfico 4.9).

Gráfico 4.10. Eficiencia en la remoción de color aparente y turbiedad en base a la dosis del sulfato de aluminio.

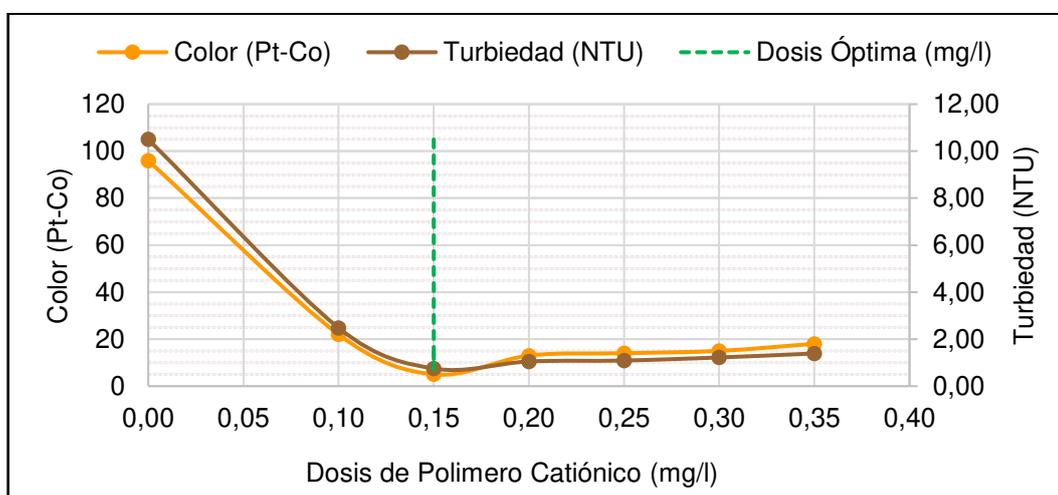


Elaboración: Bravo A.

Para apreciar de manera clara la eficiencia de remoción se presenta el siguiente gráfico, lo que corresponde a la información que se muestra en la tabla 4.21. Las dosis que tienen los porcentajes más altos son la de 45 mg/l y 50 mg/l. La dosis de 45 mg/l presenta valores de eficiencia de remoción del 92,6% y 89,6% para la turbiedad y color respectivamente, mientras que la dosis de 50 mg/l muestra valores de eficiencia de remoción del 92,6% y 92,7% para la turbidez y el color respectivamente, siendo escogida esta última como la dosis óptima.

#### 4.2.2. Resultados del polímero catiónico más el sulfato de aluminio.

Gráfico 4.11. Variabilidad del color aparente y la turbiedad en base a la dosis del Polímero Catiónico + una concentración constante de Sulfato de Aluminio.



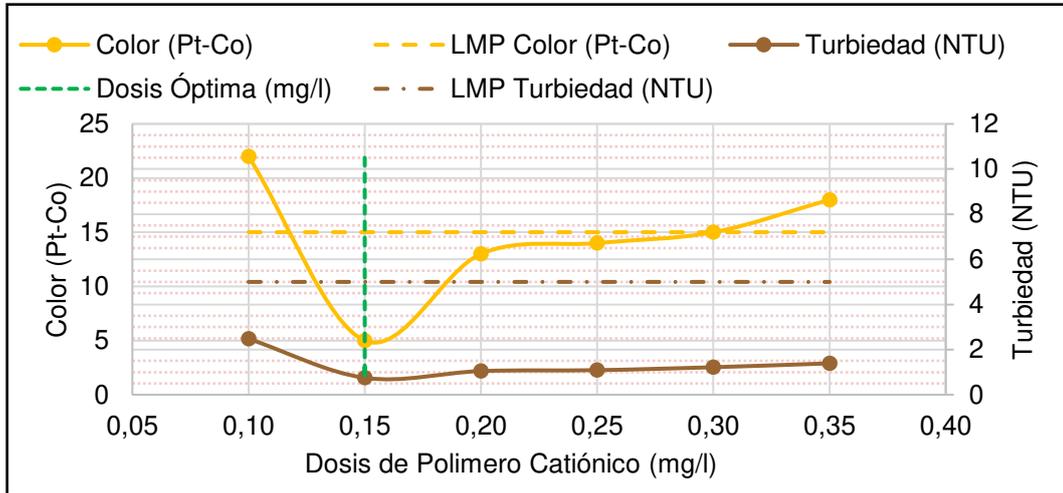
Elaboración: Bravo A.

Los valores de los parámetros de turbiedad y color solo disminuyen al aplicar las dos primeras dosis es decir las de 0,10 mg/l y 0,15 mg/l, mientras que a partir de la tercera dosis de 0,20 mg/l los valores de turbiedad y color tienden a incrementar. Se puede apreciar que, al usar la primera dosis de polímero catiónico más el sulfato de aluminio, los valores disminuyen de manera considerable con respecto a los parámetros iniciales (Gráfico 4.11), esta reducción no es tan significativa haciendo referencia a la turbiedad, ya que al contrastar con el valor obtenido durante el ensayo donde solo se empleó sulfato de aluminio, este presenta un valor de turbiedad menor, pese a esto, el color aparente se reduce más al aplicar los dos reactivos que solo el sulfato de aluminio. El gráfico forma un valle muy marcado en la dosis óptima.

En base a los LMP de la norma INEN 1108, se puede apreciar que los valores de turbiedad cumplen con este límite en cada dosificación del polímero catiónico, siendo el LMP de 5 NTU. Por otro lado, el color aparente se encuentra fuera de los LMP en las dosis de 0,10 mg/l y 0,35 mg/l siendo estos los valores externos del rango de diluciones, mientras que en

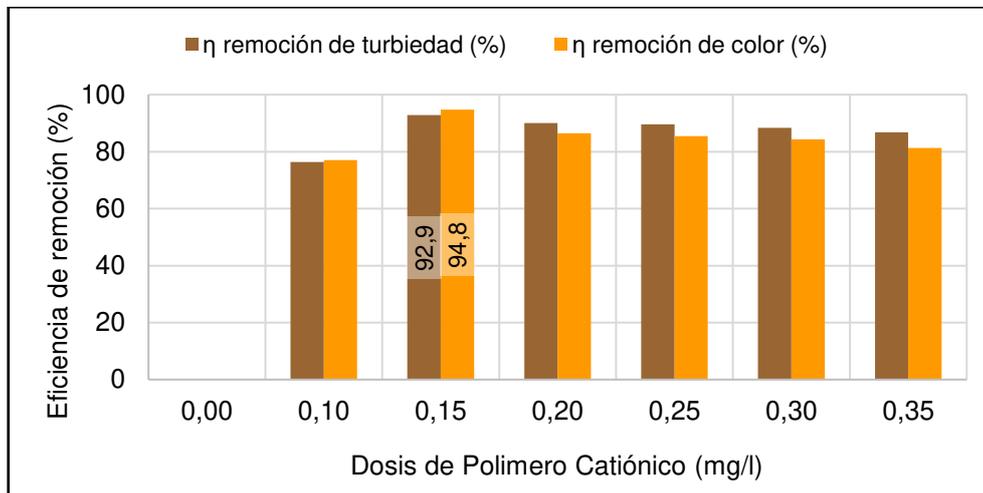
la dosis de 0,30 mg/l el color aparente tiene un valor idéntico al LMP de 15 (Unidades de color Pt-Co) (Gráfico 4.12).

Gráfico 4.12. LMP de la norma INEN 1108 en la variabilidad del color y turbiedad al aplicar Polímero Catiónico + Sulfato de Aluminio.



Elaboración: Bravo A.

Gráfico 4.13. Eficiencia en la remoción de color aparente y turbiedad en base a la dosis del Polímero Catiónico + una concentración constante de Sulfato de Aluminio.



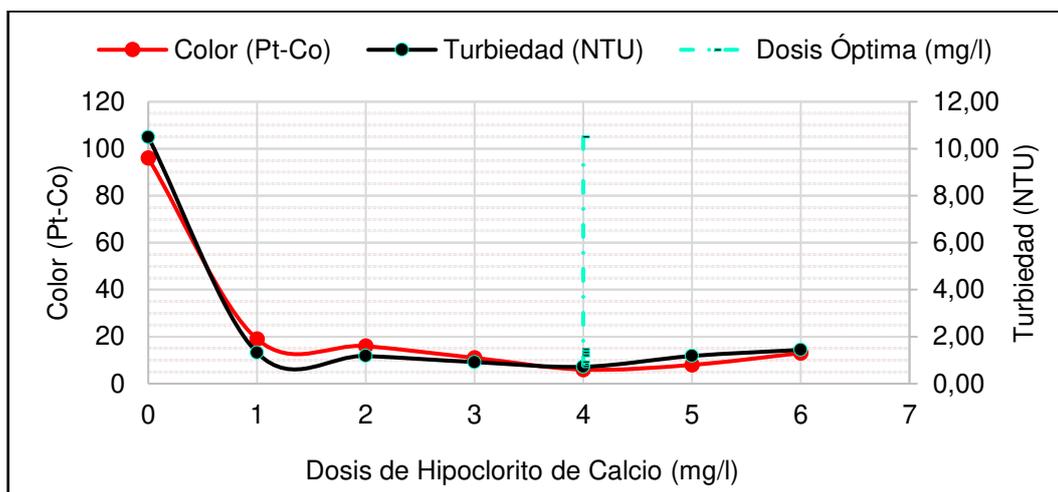
Elaboración: Bravo A.

Para apreciar de manera clara la eficiencia de remoción se presenta el siguiente gráfico, lo que corresponde a la información que se muestra en la tabla 4.22. La dosis que tiene la mayor eficiencia es la de 0,15 mg/l con valores del 92,9% y 94,8% para la turbiedad y color respectivamente, siendo esta la dosis óptima.

### 4.2.3. Resultados del hipoclorito de calcio más el sulfato de aluminio y polímero catiónico.

Los valores de los parámetros de turbiedad y color se reducen hasta la cuarta dosis, siendo esta de 4 mg/l, mientras que a partir de la dosis de 5 mg/l los valores de turbiedad y color tienden a incrementar. Se puede apreciar que al adicionar el hipoclorito de calcio no existe una variación significativa en los parámetros de la turbiedad y el color, por lo que el comportamiento de la gráfica es similar a las dos anteriores, con una tendencia a disminuir hasta la dosis óptima y consecuentemente los valores de turbiedad y color empiezan a aumentar.

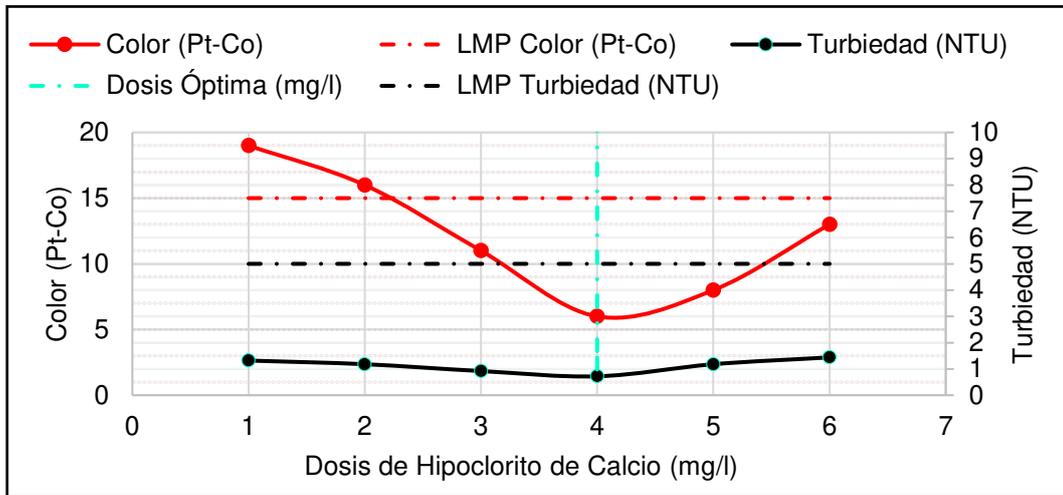
Gráfico 4.14. Variabilidad del color aparente y la turbiedad en base a la dosis del Hipoclorito de Calcio + una concentración constante de Sulfato de Aluminio y Polímero Catiónico.



Elaboración: Bravo A.

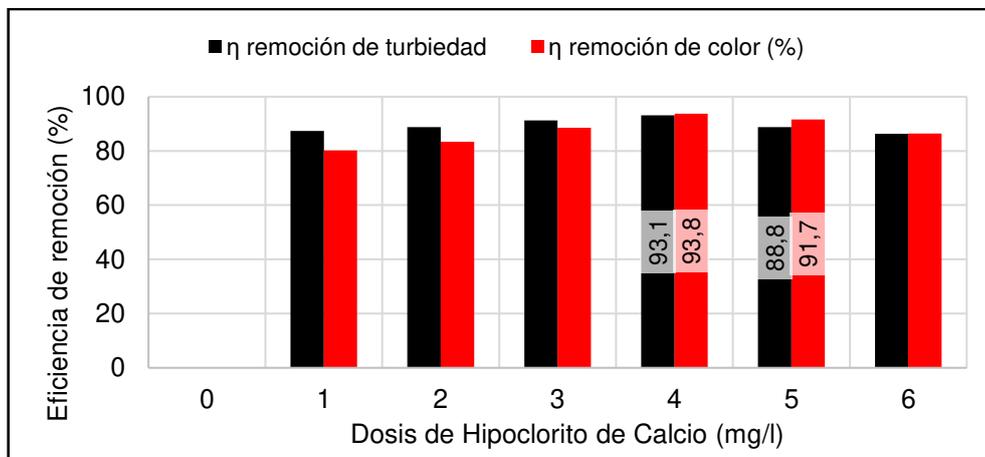
En base a los LMP de la norma INEN 1108, se puede apreciar que los valores de turbiedad cumplen con este límite al aplicar cada una de las dosis, siendo el LMP de 5 NTU. Por otro lado, el color aparente se encuentra fuera de los LMP en las dosis de 1 y 2 mg/l siendo estos los valores iniciales del rango de diluciones, el color aparente tiene un valor LMP de 15 (Unidades de color Pt-Co) (Gráfico 4.15).

Gráfico 4.15. LMP de la norma INEN 1108 en la variabilidad del color y turbiedad al aplicar Hipoclorito de Calcio + Polímero Catiónico + Sulfato de Aluminio.



Elaboración: Bravo A.

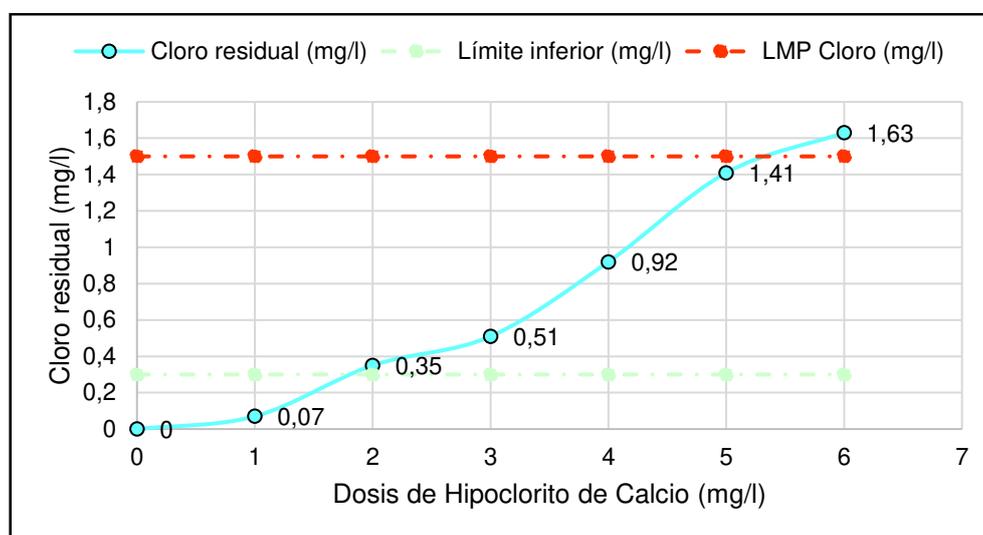
Gráfico 4.16. Eficiencia en la remoción de color aparente y turbiedad en base a la dosis del Hipoclorito de Calcio + una concentración constante de Sulfato de Aluminio y Polímero Catiónico.



Elaboración: Bravo A.

Para apreciar de manera clara la eficiencia de remoción se presenta el siguiente gráfico, lo que corresponde a la información que se muestra en la tabla 4.23. Las dosis que tiene la eficiencia más alta son las de 4 mg/l y 5 mg/l. En la dosis de 4 mg/l el porcentaje de eficiencia de remoción es del del 93,1% y 93,8% para la turbiedad y color respectivamente, mientras que para la dosis de 5 mg/l el porcentaje de eficiencia de remoción es del 88,8% y 91,7% para la turbiedad y color respectivamente siendo un tanto menor con respecto a la dosis óptima de 4 mg/l.

Gráfico 4.17. Variabilidad del cloro libre residual en base a las dosis de Hipoclorito de Calcio.



Elaboración: Bravo A.

Para determinar la dosis óptima en la última etapa del ensayo, es importante el determinar la cantidad de cloro libre residual, razón por la cual se presenta en la siguiente gráfica. En la gráfica se puede observar que la dosis desde 2 mg/l a 5 mg/l cumple con el rango del LMP del cloro libre residual de la norma INEN 1108.

#### 4.2.4. Cuadro comparativo de tratamientos domésticos

Tabla 4.24. Parámetros In situ del agua de la Comuna de San Rafael.

| Tratamiento             | Turbiedad                                 | pH                       | color                                     | desinfección                    | Costo (\$)             |
|-------------------------|---|--------------------------|---|---------------------------------|------------------------|
| Sobre de potabilización | Reduce el 75,6% (20,1 NTU) 93,1% (10 NTU) | Reduce el 11% (20,1 NTU) | Reduce el 89,9% (20,1 NTU) 93,8% (10 NTU) | Bacterias y virus               | 0,84 al mes x persona  |
| Aquatabs                | No reduce                                 | No reduce (5,5-7,5)      | No reduce                                 | Bacterias, virus (>99%)         | 0,91 al mes x persona  |
| Filtro de bioarena      | Alta remoción (87%)                       | No reduce                | Alta remoción                             | Bacterias, virus y protozoarios | 12,00-100,00 (10 años) |
| Hervir                  | No reduce                                 | No reduce                | No reduce                                 | Bacterias, virus y protozoarios | 1,60 al mes            |

Fuente: [51].

Elaboración: Bravo A.

| Punto de muestreo | Descripción                    | Este (Longitud) | Norte (Latitud) | Altura (m.s.n.m) | pH   | Conductividad ( $\mu\text{s/cm}$ ) | Oxígeno disuelto (mg/L) | Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| P1                | Comunidad                      | 803833,1        | 9984392,7       | 2973             | 9,4  | 84,30                              | 7,62                    | 22,60                              |
| P2                | Reservorio principal           | 805532,6        | 9983569,4       | 3228             | 9,7  | 93,40                              | 9,27                    | 14,20                              |
| P3                | Reservorio principal           | 805513,3        | 9983580,9       | 3228             | 9,7  | 80,50                              | 9,66                    | 13,10                              |
| P4                | Reservorio Provisional (riego) | 804459,5        | 9984343,5       | 3085             | 11,3 | 82,10                              | 9,73                    | 12,50                              |
| P5                | Reservorio Provisional (riego) | 804459,5        | 9984343,5       | 3085             | 10,5 | 87,50                              | 8,40                    | 16,60                              |
| P6                | Comunidad                      | 804024,8        | 9984587,8       | 2969             | 9,6  | 87,30                              | 8,43                    | 16,70                              |
| P7                | Comunidad                      | 803959,2        | 9984671,3       | 2952             | 10,1 | 88,00                              | 8,82                    | 17,40                              |
| P8                | Comunidad                      | 803847,6        | 9984648,6       | 2958             | 9,9  | 81,80                              | 8,70                    | 16,00                              |
| P9                | Comunidad                      | 803806,8        | 9984613,7       | 2960             | 10,3 | 82,30                              | 9,21                    | 14,70                              |
| P10               | Comunidad                      | 803854,3        | 9984572,3       | 2969             | 9,5  | 95,20                              | 7,68                    | 14,70                              |
| P11               | Comunidad                      | 803837,6        | 9984557,9       | 2967             | 9,1  | 94,80                              | 9,10                    | 14,10                              |
| P12               | Comunidad                      | 803812,0        | 9984637,6       | 2969             | 9,6  | 97,60                              | 7,18                    | 15,60                              |

Tabla 4.25. Parámetros In situ del agua de la Comuna de San Rafael.

**Tabla 4.26. Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de la Comuna de San Rafael**

| Parámetro                       | Método                          | P1   | P2  | P3  | P4  | P5  | P6  | P7  | P8  | P9  | P10  | P11  | P12  |
|---------------------------------|---------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Sólidos Totales (mg/l)          | Gravimétrico                    | 146  | 116 | 110 | 188 | 192 | 127 | 108 | 125 | 131 | 150  | 122  | 180  |
| Sólidos suspendidos (mg/l)      | Gravimétrico                    | 6    | 2   | 4   | 19  | 22  | 7   | 4   | 6   | <50 | <50  | <50  | <50  |
| Dureza Total (mg/l)             | Volumétrico                     | 42   | -   | -   | -   | -   | 45  | 48  | 42  | 42  | 40   | 46   | 46   |
| DQO (mg/l)                      | Espectrofotometría VIS          | <10  | -   | -   | -   | -   | <10 | <10 | <10 | <10 | <10  | 19   | <10  |
| Coliformes Totales (NMP/100 ml) | Fermentación en tubos múltiples | <1,1 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | <1,1 | 1,1  | <1,1 |
| Coliformes Fecales (NMP/100 ml) | Fermentación en tubos múltiples | <1,1 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | <1,1 | <1,1 | <1,1 |

Elaboración: Bravo A.

### 4.3. Conclusiones

- La caracterización del agua que se realizó inicialmente dentro de la comuna de San Rafael, dio como resultado un agua que no cumple con todos los parámetros de control para que sea considerada apta para el consumo humano, ya que esta agua anteriormente estaba destinada para el riego .
- En base a los parámetros enlistados en las tablas 2.7 y 2.8 correspondientes al anexo 1 del TULSMA y la norma INEN 1108, se verifican los parámetros previo al tratamiento, con los siguientes resultados: los parámetros físicos cumple con el 100% del TULSMA y con el 0% de la norma INEN 1108, los parámetros microbiológicos cumple con el 100% para ambas normativas y por último los parámetros químicos analizados cumplen con el 75% del TULSMA, mientras que los parámetros químicos medidos 2 años atrás en la tesis de la EPN “Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad San Rafael, Provincia de Pichincha” se encuentran muy por debajo de los LMP (Anexo XI) razón por la cual no se vio en la necesidad de repetir dichos ensayos con excepción del aluminio.
- En base a los parámetros enlistados en las tablas 2.7 y 2.8 correspondientes al anexo 1 del TULSMA y la norma INEN 1108, al verificar los parámetros posteriores al tratamiento, se obtuvo los siguientes resultados: los parámetros físicos cumplen con el 100% de ambas normativas al igual que los parámetros microbiológicos (Anexo XI).
- Las dosis óptimas para 10 NTU durante el ensayo de prueba de jarras especificados en la sección 4.1.3. fueron sulfato de aluminio: 50 mg/l; polímero catiónico 0,15 mg/l e hipoclorito de calcio: 4 mg/l. Con eficiencias de remoción del color aparente y turbiedad del 93,8% y 93,1% respectivamente. Mientras que al aplicar el mismo sobre de potabilización en un agua con una turbiedad de 20,1 NTU los porcentajes de remoción del color aparente y turbiedad disminuyeron siendo estos del 89,9% y 75,6% respectivamente, sin embargo, los resultados obtenidos cumplen con los LMP de la normativa nacional lo que se evidencia en la tabla 3.20.
- La adición de sulfato de aluminio tiene el potencial de afectar la concentración de aluminio en el agua y poner en riesgo la salud de la población a largo plazo, por este motivo se midió este parámetro antes y después de la aplicación del sobre de potabilización teniendo valores de 0,121 mg/l y 0,216 mg/l respectivamente. Este valor está por encima de la norma siendo el LMP de 0,2 mg/l pero consideremos que en investigaciones anteriores el valor para este parámetro era de 0,273 mg/l.
- La estacionalidad es un factor predominante para la variación de la turbiedad y el color aparente en el agua, esto se puede evidenciar en las campañas de muestreo, ya que

para la elaboración del ensayo de prueba de jarras la muestra compuesta realizada el 23 de enero presenta una turbiedad y color aparente de 10,5 (NTU) y 96 (Pt-Co) respectivamente, mientras que en la toma de la segunda muestra compuesta realizada el 6 de febrero los valores de turbiedad y color aparente son de 20,1 (NTU) y 118 (Pt-Co) respectivamente, lo cual indica que con un aumento de la precipitación existe un mayor arrastre de sustancias disueltas por medio de la escorrentía. Esto implica un problema en la aplicación del sobre de potabilización ya que para turbiedades mayores a 20,1 NTU no se conoce el comportamiento de los reactivos ni las dosis óptimas de aplicación de los mismos.

- El método SODIS es viable de aplicar en la comuna de San Rafael, como se puede evidenciar en la sección 3.3, convirtiéndose en una herramienta útil en la desinfección del agua. En base a la información analizada, el mes de septiembre es el que presenta el mayor potencial de aplicación.
- Los métodos convencionales como hervir el agua y la cloración son medidas que pese a su bajo costo no reduce todos los parámetros de control para que sea apta para el consumo humano, los cuales si tienden a reducir con la aplicación del sobre de potabilización. Por otro lado, los equipos con eficiencias iguales o mayores a los sobres de potabilización resultan muy costosos para la comuna, considerando que la principal actividad económica es la agricultura y ganadería en su gran mayoría. Por lo que la opción más accesible para la comunidad es la aplicación del sobre de potabilización (Tabla 4.24).

#### **4.4. Recomendaciones**

- Se requiere realizar un estudio durante los periodos de mayor intensidad de lluvias (marzo-abril) para caracterizar el agua en su totalidad (parámetros químicos, físicos y microbiológicos) y ver la viabilidad de la aplicación de los sobres de potabilización ya que para estas fechas es probable que los valores de turbiedad y color aparente sean más altos existiendo así poca eficiencia en la remoción de los parámetros de control, debido a que la dosis óptima de los reactivos aplicados cambia.
- Es importante recomendar a la comunidad mantener limpias los reservorios de agua y el canal abierto de contaminantes externos, ya que, si existe altos niveles de aluminio por encima del LMP provenientes de residuos metálicos o materiales de construcción, al aplicar los sobres de potabilización aumentaría la concentración de este elemento, pudiendo afectar a la salud a largo plazo.
- Es necesario la aplicación del método SODIS durante el mes de septiembre para evaluar su eficiencia, es factible asumir que durante este mes la turbiedad debe ser

menor o igual a los 5 NTU debido a las bajas precipitaciones siendo la media mensual de 55 mm (Gráfico 3.1).

- Se recomienda realizar el ensayo con coagulantes naturales que no aumenten la concentración del aluminio, y analizar la eficiencia de remoción y ver si reacciona de igual forma con el polímero catiónico y el hipoclorito de calcio.
- Se recomienda realizar un seguimiento en la calidad del agua tratada con los sobres de potabilización luego de un periodo de tiempo, para aseverar si mantiene su eficiencia. El tiempo de caducidad de los reactivos no es un problema ya que al consultar con los proveedores aseguran que los reactivos caducan en un periodo superior a un año.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNESCO, *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejes a nadie atrás*. México: 2019. pp. 1-2. Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- [2] UNICEF, OMS , *Progreso en materia de agua potable, saneamiento e higiene*. Suiza: 2017. p. 24. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260291/9789243512891-spa.pdf?sequence=1>
- [3] UNICEF, WHO , *Progress on household drinking water, sanitation and higiene*. 2021: pp. 24-30. Disponible en: <https://washdata.org/report/jmp-2021-wash-households-LAUNCH-VERSION>
- [4] UNICEF, (2021). "Agua y Saneamiento" Abril 2021. [Internet]. Disponible en: [https://www.unicef.org/ecuador/sites/unicef.org.ecuador/files/2021-04/DCI\\_Agua\\_Saneamiento.pdf](https://www.unicef.org/ecuador/sites/unicef.org.ecuador/files/2021-04/DCI_Agua_Saneamiento.pdf). [Último acceso: 1 Diciembre 2021].
- [5] MSP, (2021). "SUBSISTEMA DE VIGILANCIA SIVE- ALERTA". [Internet]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/GACETA-SE-21-ETAS.pdf>. [Último acceso: 24 Noviembre 2021].
- [6] MSP, EPMAPS, *Guía de Agua Segura*. Quito: 2019. p. 27, pp. 18-19. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Guia-Agua-Segura.pdf>.

- [7] OMS, *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra: 2011. p. 51, pp. 128-129, p. 7, p. 140-141, Disponible en:  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>.
- [8] OMS, "Tecnical Brief. Boil water," 2011. [En línea]. Disponible en:  
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/155821/WHO\\_FWC\\_WSH\\_15.02\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/155821/WHO_FWC_WSH_15.02_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 2 Diciembre 2021].
- [9] J. Moreno et al, "SODIS potential: A novel parameter to assess the suitability of solar water disinfection worldwide," Trabajo de investigación, *Chemical Engineering Journal*, 2021. pp. 2-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129889>
- [10] Eawag, *SODIS manual: Guidance on solar water disinfection*, Suiza: 2016. p. 12, p.14. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente\\_materia/sodismanual\\_2016\\_lr.pdf](https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_materia/sodismanual_2016_lr.pdf).
- [11] V. Muñoz , J. Álvarez y E. Asedegbega, *Gestión y Conservación de aguas y suelos*, Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2019.
- [12] J. Pradana y J. García , *Criterios de calidad y gestión del agua potable*, Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2019.
- [13] A. Mejía , O. Castillo y R. Vera , *Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina*, Bogotá , 2016.
- [14] C. Barajas y A. León , "Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) en el proceso de coagulación – floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial", Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás, Colombia, 2015. p.12, p. 27, p. 20 , p. 37, p. 23-27. Disponibel en:  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [15] PNUMA, MAE y FLACSO, "*Geo Ecuador Informe del estado del medio ambiente*," Ecuador: 2008. pp. 58-59. Disponible en:  
<http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEO%20Ecuador%202008.pdf>
- [16] CPE INEN, Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural, 1997.
- [17] C. Sierra, Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico, Medellín: Editorial de la Universidad de Medellín, 2011.
- [18] G. Martínez, Manual de prácticas de laboratorio: evaluación de la calidad ambiental, Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2017.
- [19] I. Campos, Saneamiento Ambiental, EUNED, 2000.
- [20] R. Miranda, M. Oliet y M. Pérez, Tratamiento de aguas: ejercicios resueltos y prácticas de laboratorio, Dextra Editorial, 2018.
- [21] F. Toasa, "Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS)". Trabajo de grado. Universidad Central del Ecuador, 2012. pp. 12-17. Disponible en:  
[https://www.academia.edu/37059598/UNIVERSIDAD\\_CENTRAL\\_DEL\\_ECUADOR\\_FACULTAD\\_DE\\_INGENIERIA\\_QUIMICA\\_CARRERA\\_DE\\_INGENIERIA\\_QUIMICA\\_VALIDACION\\_DE\\_LOS\\_METODOS\\_DE\\_ENSAYO\\_PARA\\_FENOLES\\_TENSOACTIVOS\\_SOLIDOS\\_SUSPENDIDOS\\_Y\\_TOTAL\\_DE\\_SOLIDOS\\_DISUELTOS\\_TDS](https://www.academia.edu/37059598/UNIVERSIDAD_CENTRAL_DEL_ECUADOR_FACULTAD_DE_INGENIERIA_QUIMICA_CARRERA_DE_INGENIERIA_QUIMICA_VALIDACION_DE_LOS_METODOS_DE_ENSAYO_PARA_FENOLES_TENSOACTIVOS_SOLIDOS_SUSPENDIDOS_Y_TOTAL_DE_SOLIDOS_DISUELTOS_TDS)
- [22] BIVICA, "Compendio informativo sobre enfermedades hídricas," Ministerio del Agua, Abril 2008. [En línea]. Available: <https://www.bivica.org/files/enfermedades-hidricas.pdf>. [Último acceso: 5 Diciembre 2021].

- [23] R. Jhonston y S. Marks, *Coursera: Household Water Treatment and Safe Storage*, 2021.
- [24] INEN 1108, Agua potable. Requisitos, Quito, 2011.
- [25] S. Aguirre, N. Piraneque y R. Cruz, "Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua," 2018. p. 60.[En línea]. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059> .
- [26] G. Lozano Bravo y W. Lozano Rivas, Potabilización del agua: principios de diseño, control de diseño y laboratorio, Editado por Universidad Piloto de Colombia, 2009.
- [27] C. Rodriguez, "Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable," Trabajo de grado, Fac. de Ing., Universidad de Sucre, Colombia, 2008. pp. 30-31. Disponible en:  
<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/298/628.162R696.pdf;jsessionid=1D4C9FB38FE8C0576BD5D92D8CF9FA8C?sequence=2>
- [28] Constitución de la República del Ecuador, «Decreto Legislativo 0. Registro Oficial 449,» 2008.
- [29] *Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua*. [Art]. Ley 0. Registro oficial suplemento 305, 2014.
- [30] Ley orgánica de salud, «Ley 67. Registro Oficial suplemento 423,» 2006.
- [31] *Código Municipal Para el Distrito Metropolitano de Quito*. [Art]. Ordenanza Municipal 1. Registro Oficial 226, 1997.

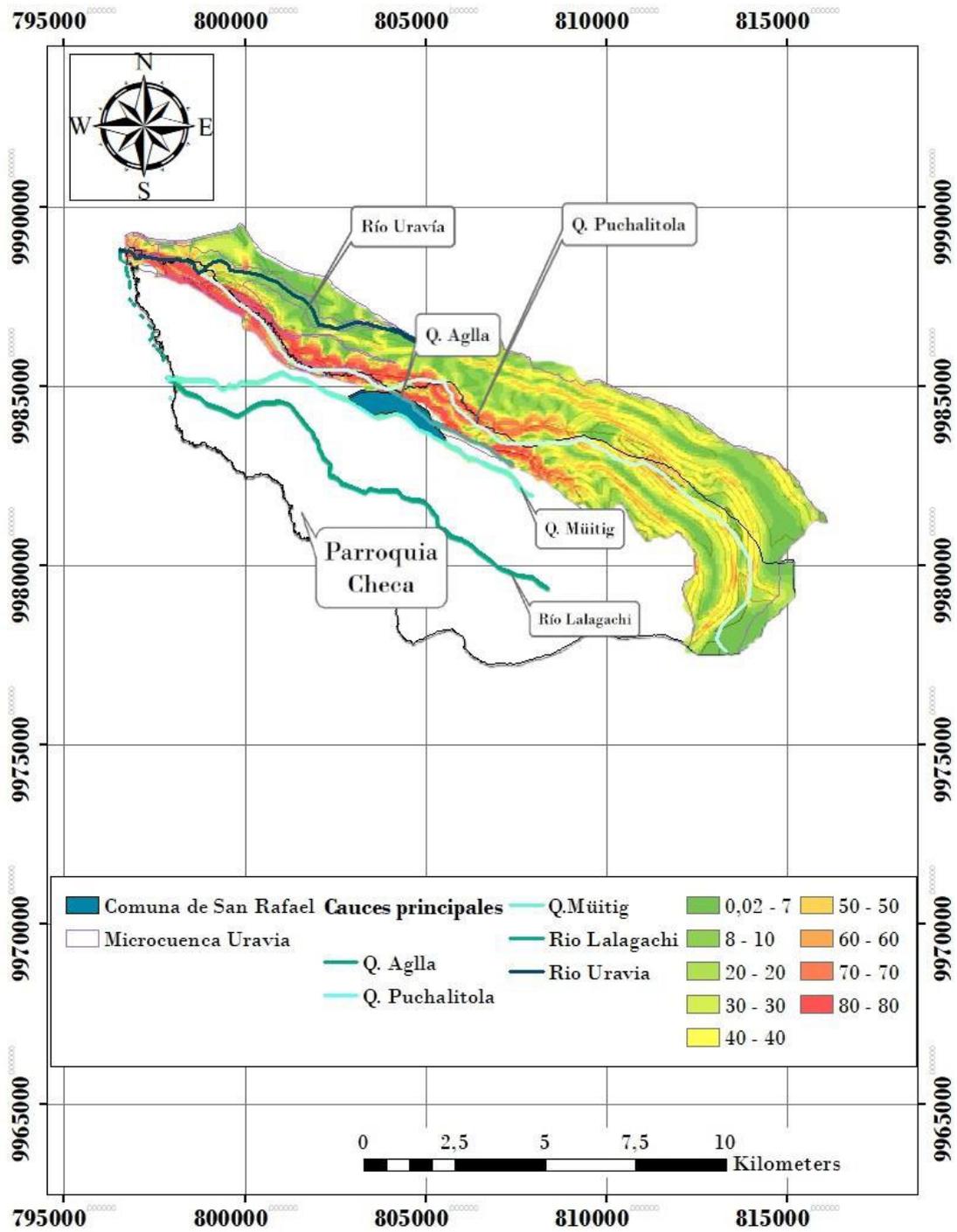
- [32] TULSMA, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua., 2003.
- [33] IGM, "Capas de Información geográfica del IGM de Libre Acceso (Escala 1:50 000)," 2020. [Internet]. Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>. [Último acceso: 22 Diciembre 2021].
- [34] IGM, "Visor geográfico Instituto Geográfico Militar," 2021. [Internet]. Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>. [Último acceso: 22 Diciembre 2021].
- [35] FONAG, "Plan de Manejo del Área de Protección de Humedales Cerro las Puntas," Quito: 2016. p. 52. [En línea]. Disponible en: [http://geovisor.fonag.org.ec/uploaded/documents/PLAN\\_DE\\_MANEJO\\_CERRO\\_Las\\_Puntas.pdf](http://geovisor.fonag.org.ec/uploaded/documents/PLAN_DE_MANEJO_CERRO_Las_Puntas.pdf). [Último acceso: 23 Diciembre 2021].
- [36] GAD Checa, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Checa," 2012. [En línea]. Disponible en: [http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio\\_paginas/archivos/PDOT%20CHECA%202012.pdf](http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20CHECA%202012.pdf). [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
- [37] GAD Checa, "Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Checa," 2015. [En línea]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1768115520001\\_1768115520001\\_24-06-2015\\_19-10-44.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768115520001_1768115520001_24-06-2015_19-10-44.pdf). [Último acceso: 21 Diciembre 2021].
- [38] DMQ, "Portal de Gobierno Abierto y Sistema Metropolitano de Información," [Internet]. Disponible en: <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/descarga-informacion-geografica/>, 2012.
- [39] IGM, "Capas de Información geográfica del IGM de Libre Acceso (Escala 1:250 000)," 2020. [Internet]. Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/cartografia-de-libre-acceso-escala-regional/>
- [40] FONAG, "Anuarios Hidrometeorológicos," Quito: 2013-2020.

- [41] NASA, "Data access viewer," 2021. [Internet]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2021].
- [42] INAMHI, "Sistema Ambiental," 2008. [En línea]. Disponible en: <https://sni.gob.ec/coberturas>. [Último acceso: 28 Diciembre 2021].
- [43] R. Palacios y L. Velastegui, Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad San Rafael, Provincia de Pichincha, Trabajo de grado, ESFOT, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador: 2020. p. 99, p. 67. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21047/1/CD%2010562.pdf>
- [44] ArcGis, "Esri 2020 LandCover. A ten class global land use/land cover (LULC) map for the year 2020 at 10 meter resolution," 2021. [Internet]. Disponible en: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>. [Último acceso: 24 Enero 2022].
- [45] S. Aguilar, "Fórmulas para el cálculo de muestras en investigaciones de salud," México: 2005. p. 5. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- [46] Hach, Manual de Análisis de agua (2da ed). Loveland: Hach Company, 2000.
- [47] C. Merino, A. De la Jara y B. Gómez, Operaciones básicas de laboratorio., McGraw-Hill Interamericana de España, 2013.
- [48] T. Chamorro y A. Gómez, Propuesta de un kit básico para la potabilización de agua en áreas rurales. Fac. Ingeniería Civ. y Amb., Quito, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador:2018. pp. 47-92. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19983/1/CD-9348.pdf>
- [49] A. Dorado y N. Mosquera, Evaluación de alternativas de tratamiento químico para el proceso de potabilización en la nueva planta de tratamiento Asocruces distrito 3 del municipio de Timbío – Cauca. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca-Colombia, 2021.

- [50] G. Galindo, Artist, *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – EMAPA Pasco*. [Art]. Universidad Nacional "Daniel Alcides Carrión"-Perú, 2018.
- [51] CAWST, "Descripción de productos para el tratamiento del agua a nivel domiciliario," 2018. [En línea]. Disponible en:  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CAWST%202018.%20Pr oductos%20para%20el%20tratamiento%20del%20agua%20a%20nivel%20domicili ario%20y%20almacenamiento.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CAWST%202018.%20Pr oductos%20para%20el%20tratamiento%20del%20agua%20a%20nivel%20domicili ario%20y%20almacenamiento.pdf). [Último acceso: 7 Febrero 2022].
- [52] A. Betancourt , "MEJORES ALTERNATIVAS PARA EL ALMACENAMIENTO DOMÉSTICO DEL AGUA PARA LA COMUNA DE SAN RAFAEL-CHECA, CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA," Trabajo de grado, Quito, Escuela Politécnica Nacional. Ecuador: Sin publicar.

## ANEXOS

### ANEXO I. Influencia de la Microcuenca de Uravía en la comuna de San Rafael.



Fuente: [33].

Elaboración: Bravo, A.

| Mes        | N     | NE    | E     | SE    | S     | SO    | O     | NO    | Velocidad media (km/h) |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
|            | (m/s) |                        |
| Enero      | 3,08  | 2,45  | 6,58  | 9,03  | 2,48  | 2,37  | 4,45  | 4,16  | 6,3                    |
| Febrero    | 2,31  | 2,14  | 6,94  | 6,82  | 2,32  | 2,36  | 4,95  | 3,46  | 5,1                    |
| Marzo      | 2,82  | 2,13  | 6,82  | 6,66  | 2,13  | 2,10  | 3,56  | 3,94  | 6,1                    |
| Abril      | 3,10  | 2,34  | 8,02  | 7,75  | 2,47  | 2,57  | 3,28  | 2,18  | 3,9                    |
| Mayo       | 2,51  | 2,18  | 8,11  | 8,64  | 2,69  | 2,33  | 2,72  | 1,97  | 3,2                    |
| Junio      | 4,01  | 3,68  | 10,87 | 11,74 | 4,23  | 3,12  | 3,78  | 2,31  | 0,8                    |
| Julio      | 3,22  | 3,56  | 11,93 | 11,91 | 3,92  | 3,25  | 4,12  | 2,37  | 0,5                    |
| Agosto     | 3,09  | 2,85  | 11,24 | 13,48 | 4,26  | 3,21  | 4,45  | 2,32  | 1,3                    |
| Septiembre | 1,77  | 2,35  | 9,64  | 10,39 | 3,47  | 2,20  | 2,80  | 2,35  | 14,1                   |
| Octubre    | 2,36  | 2,09  | 7,26  | 7,89  | 2,45  | 2,26  | 3,73  | 2,91  | 33,0                   |
| Noviembre  | 2,88  | 2,04  | 5,65  | 7,19  | 2,15  | 2,58  | 3,69  | 2,70  | 6,7                    |
| Diciembre  | 3,03  | 2,10  | 8,57  | 8,47  | 2,37  | 2,19  | 4,01  | 2,72  | 5,5                    |
| Promedio   | 2,85  | 2,49  | 8,47  | 9,16  | 2,91  | 2,55  | 3,79  | 2,78  | 7,20                   |
| %          | 8     | 7     | 24    | 26    | 8     | 7     | 11    | 8     |                        |

# Valores mayores al promedio mensual

Fuente: [40].

Elaboración: Bravo, A.

## ANEXO II. Datos Hidrometeorológicos de la Parroquia de Checa.

| Mes   | Precipitación | Temperatura (°C) |       |        |
|-------|---------------|------------------|-------|--------|
|       | (mm)          | Máxima           | Media | Mínima |
| Ene   | 101           | 13,7             | 9,4   | 2,5    |
| Feb   | 100           | 13,6             | 9,5   | 2,8    |
| Mar   | 125           | 13,1             | 9,5   | 2,8    |
| Abril | 96            | 13,1             | 9,6   | 2,9    |
| May   | 74            | 12,7             | 9,2   | 3,0    |
| Junio | 53            | 12,0             | 8,2   | 2,3    |
| Julio | 40            | 11,9             | 7,4   | 1,8    |
| Agos  | 27            | 11,3             | 7,8   | 1,5    |
| Sept  | 42            | 13,0             | 8,7   | 1,7    |
| Oct   | 65            | 12,9             | 9,7   | 2,3    |
| Nov   | 137           | 13,7             | 9,8   | 2,6    |
| Dic   | 78            | 12,8             | 9,2   | 2,4    |
| Anual | 937           | 14,6             | 9,0   | 2,4    |

Fuente: [40].

Elaboración: Bravo, A.

### ANEXO III. Datos Hidrometeorológicos de la Comuna de San Rafael.

| Mes   | Precipitación | Temperatura (°C) |       |        | Radiación (w/m2) |      | Nubosidad |
|-------|---------------|------------------|-------|--------|------------------|------|-----------|
|       | (mm)          | Máxima           | Media | Mínima | Solar            | UV-A | %         |
| Ene   | 128           | 17,9             | 10,7  | 4,1    | 76,45            | 11,1 | 76        |
| Feb   | 140           | 18,0             | 10,9  | 5,0    | 72,28            | 10,4 | 81        |
| Mar   | 171           | 17,6             | 10,9  | 5,4    | 68,93            | 9,9  | 87        |
| Abril | 185           | 17,6             | 10,7  | 4,6    | 73,31            | 10,5 | 82        |
| May   | 133           | 16,9             | 10,3  | 4,7    | 69,11            | 10,0 | 81        |
| Junio | 70            | 15,7             | 9,1   | 3,4    | 70,60            | 10,0 | 73        |
| Julio | 46            | 15,9             | 8,7   | 2,8    | 73,80            | 10,4 | 68        |
| Agos  | 36            | 16,2             | 9,0   | 2,0    | 81,04            | 11,4 | 66        |
| Sept  | 59            | 17,5             | 9,7   | 2,4    | 83,66            | 11,9 | 70        |
| Oct   | 94            | 17,9             | 10,5  | 3,7    | 80,15            | 11,5 | 78        |
| Nov   | 110           | 18,5             | 10,8  | 4,3    | 80,60            | 11,6 | 79        |
| Dic   | 109           | 17,5             | 10,5  | 4,2    | 74,79            | 10,8 | 76        |
| Anual | 1029          | 18,8             | 10,2  | 1,8    | 75,40            | 10,8 | 76        |

Fuente: [41].

Elaboración: Bravo, A.

**Anexo IV. Datos horarios de Nubosidad y Radiación de la  
Comuna de San Rafael.**

| Parámetro    | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|--------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| CLOUD_AMT_00 | 81,4  | 81,8    | 85,6  | 80,0  | 74,0 | 65,9  | 62,2  | 60,4   | 66,3       | 77,4    | 81,3      | 79,6      |
| CLOUD_AMT_01 | 79,4  | 81,7    | 85,5  | 79,8  | 74,2 | 65,0  | 60,6  | 59,5   | 66,6       | 76,6    | 80,0      | 78,9      |
| CLOUD_AMT_02 | 77,7  | 80,9    | 85,7  | 80,2  | 75,0 | 63,8  | 60,0  | 59,5   | 65,3       | 76,8    | 79,6      | 78,2      |
| CLOUD_AMT_03 | 85,3  | 87,3    | 90,4  | 87,4  | 83,9 | 76,2  | 72,8  | 72,0   | 77,9       | 86,8    | 87,4      | 86,3      |
| CLOUD_AMT_04 | 81,7  | 84,3    | 91,3  | 88,8  | 80,6 | 71,5  | 68,3  | 70,6   | 76,7       | 84,1    | 85,4      | 82,0      |
| CLOUD_AMT_05 | 76,6  | 80,8    | 89,2  | 85,5  | 76,2 | 64,0  | 61,2  | 64,6   | 72,5       | 79,8    | 81,6      | 78,4      |
| CLOUD_AMT_06 | 84,5  | 87,3    | 90,6  | 87,7  | 82,7 | 75,2  | 71,8  | 72,0   | 76,4       | 85,1    | 87,4      | 84,7      |
| CLOUD_AMT_07 | 80,8  | 85,4    | 89,6  | 85,5  | 79,7 | 70,4  | 68,0  | 67,9   | 70,9       | 82,7    | 84,4      | 81,3      |
| CLOUD_AMT_08 | 74,1  | 78,8    | 84,6  | 78,6  | 71,5 | 62,5  | 58,3  | 60,8   | 62,9       | 76,2    | 76,5      | 73,2      |
| CLOUD_AMT_09 | 72,3  | 76,8    | 83,0  | 76,8  | 69,6 | 61,6  | 57,0  | 58,6   | 60,4       | 72,5    | 73,3      | 70,3      |
| CLOUD_AMT_10 | 72,2  | 77,0    | 82,8  | 77,5  | 70,6 | 62,8  | 58,3  | 58,7   | 61,9       | 71,6    | 72,9      | 69,6      |
| CLOUD_AMT_11 | 66,0  | 75,8    | 80,5  | 73,8  | 71,1 | 65,4  | 57,1  | 55,2   | 58,2       | 66,4    | 66,2      | 64,2      |
| CLOUD_AMT_12 | 63,5  | 74,0    | 78,8  | 71,8  | 70,4 | 66,4  | 58,0  | 55,2   | 57,5       | 64,8    | 65,0      | 64,3      |
| CLOUD_AMT_13 | 68,0  | 75,9    | 80,2  | 73,5  | 72,9 | 69,3  | 62,1  | 59,2   | 60,0       | 66,4    | 66,8      | 66,9      |
| CLOUD_AMT_14 | 75,5  | 81,9    | 85,6  | 80,8  | 80,2 | 75,8  | 68,8  | 65,2   | 66,4       | 72,5    | 73,2      | 74,6      |
| CLOUD_AMT_15 | 82,0  | 88,0    | 91,1  | 87,5  | 86,3 | 82,1  | 76,2  | 73,0   | 75,6       | 81,7    | 81,6      | 82,8      |
| CLOUD_AMT_16 | 84,7  | 89,7    | 93,0  | 90,8  | 89,3 | 85,4  | 80,2  | 77,6   | 80,7       | 84,6    | 84,3      | 85,4      |
| CLOUD_AMT_17 | 86,3  | 90,9    | 94,1  | 93,1  | 91,4 | 89,0  | 84,3  | 82,1   | 84,8       | 87,3    | 86,5      | 87,8      |
| CLOUD_AMT_18 | 89,0  | 92,7    | 95,5  | 94,1  | 92,0 | 90,1  | 85,9  | 84,7   | 87,3       | 90,0    | 89,9      | 90,3      |
| CLOUD_AMT_19 | 89,2  | 93,0    | 95,4  | 94,3  | 91,4 | 89,1  | 85,3  | 84,6   | 87,5       | 90,4    | 90,1      | 90,1      |
| CLOUD_AMT_20 | 86,4  | 90,2    | 93,1  | 90,8  | 87,3 | 84,4  | 80,5  | 80,5   | 82,7       | 88,0    | 87,5      | 87,2      |
| CLOUD_AMT_21 | 85,1  | 89,1    | 91,7  | 88,6  | 84,6 | 80,8  | 76,8  | 76,5   | 79,2       | 86,4    | 86,6      | 85,3      |
| CLOUD_AMT_22 | 87,7  | 91,0    | 92,5  | 88,5  | 82,0 | 74,7  | 73,3  | 72,7   | 76,5       | 83,6    | 86,0      | 85,7      |
| CLOUD_AMT_23 | 83,2  | 83,6    | 86,7  | 81,6  | 75,3 | 68,8  | 65,2  | 63,4   | 68,6       | 79,7    | 83,0      | 81,2      |



Porcentaje de nubosidad >60%

Fuente: [41].

Elaboración: Bravo, A.

| Hora | 2013<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2014<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2015<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2016<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2017<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2018<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2019<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2020<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | 2021<br>(wh/m <sup>2</sup> ) | Prom<br>(wh/m <sup>2</sup> ) |
|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0    | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 1    | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 2    | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 3    | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 4    | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 5    | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 6    | 33,8                         | 36,5                         | 36,0                         | 34,6                         | 30,7                         | 40,1                         | 37,7                         | 37,8                         | 35,8                         | 35,9                         |
| 7    | 185,3                        | 202,6                        | 203,6                        | 186,8                        | 182,2                        | 207,8                        | 206,3                        | 198,9                        | 183,1                        | 195,2                        |
| 8    | 351,5                        | 378,8                        | 389,1                        | 352,8                        | 354,0                        | 405,6                        | 409,2                        | 379,5                        | 356,1                        | 375,2                        |
| 9    | 496,4                        | 520,0                        | 529,7                        | 477,3                        | 488,6                        | 567,3                        | 577,2                        | 517,6                        | 487,6                        | 518,0                        |
| 10   | 587,2                        | 597,8                        | 621,8                        | 559,4                        | 581,6                        | 630,7                        | 655,0                        | 570,4                        | 557,5                        | 595,7                        |
| 11   | 620,1                        | 630,9                        | 666,3                        | 588,7                        | 619,8                        | 692,9                        | 715,9                        | 622,4                        | 602,4                        | 639,9                        |
| 12   | 582,1                        | 587,6                        | 642,6                        | 557,5                        | 575,7                        | 683,7                        | 705,8                        | 602,4                        | 607,1                        | 616,1                        |
| 13   | 501,7                        | 507,7                        | 559,6                        | 493,1                        | 498,1                        | 562,5                        | 544,0                        | 476,0                        | 470,6                        | 512,6                        |
| 14   | 409,0                        | 421,2                        | 462,9                        | 396,4                        | 409,6                        | 449,6                        | 415,2                        | 365,6                        | 385,6                        | 412,8                        |
| 15   | 294,8                        | 318,7                        | 345,5                        | 307,2                        | 312,3                        | 324,5                        | 303,8                        | 281,3                        | 279,1                        | 307,5                        |
| 16   | 170,5                        | 175,8                        | 200,2                        | 169,7                        | 177,9                        | 186,3                        | 184,8                        | 164,8                        | 158,2                        | 176,5                        |
| 17   | 65,0                         | 69,0                         | 73,4                         | 64,2                         | 65,9                         | 64,8                         | 65,2                         | 59,6                         | 56,9                         | 64,9                         |
| 18   | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 19   | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 20   | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 21   | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 22   | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |
| 23   | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          | 0,0                          |

 Máxima radiación horaria.

Fuente: [41].

Elaboración: Bravo, A.

## ANEXO V. Ficha técnica del Sulfato de Aluminio.

### SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A

#### 1.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El Sulfato de Aluminio Tipo A es una sal inorgánica, que contiene 14 moles de agua, es manufacturada a partir de una fuente de aluminio libre de hierro y ácido Sulfúrico.

#### 2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>NOMBRE COMERCIAL</b> | SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A      |
| <b>PESO MOLECULAR</b>   | 594.14 g/mol.                             |
| <b>FORMULA QUÍMICA</b>  | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$               |
| <b>APARIENCIA</b>       | CRISTALES DE COLOR BLANCO/SOLUBLE EN AGUA |

#### 3.- REQUERIMIENTOS

| PARÁMETROS               | ESPECIFICACIONES | CONFORMIDAD  |
|--------------------------|------------------|--|
| Aluminio, $Al_2O_3$ %    | 17.0 min.        | Cumple con las normas internacionales para productos químicos usados en el tratamiento del agua ANSI/AWWA B403-93 (Aluminum Sulphate-Líquido, Ground or lump). |
| Basicidad, $Al_2O_3$ , % | 0.60 máx.        |  |
| Hierro, $Fe_2O_3$ , %    | 0.05 máx.        |  |
| Insolubles, %            | 0.20 máx.        |  |
| Malla 6, % Pasante       | 100 min          |  |
| Malla 10, % Pasante      | 60 Mín.          |  |

#### 4.- APLICACIONES

Es ampliamente usada en el tratamiento de aguas como coagulante en la mayoría de los procesos hidrodinámicos de separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales. Debido a ello cumple con las normas internacionales para productos químicos para el tratamiento del Agua ANSI/AWWA B403-93.

Fuente: La casa del Químico.

## ANEXO VI. Ficha técnica del Polímero Catiónico.



# Polímero Catiónico

## FICHA TÉCNICA

**Producto:** Poliacrilamida Catiónica

**Nombre comercial:** Poliacrilamida catiónica

**Aplicaciones:** Tratamiento de efluentes municipales e industriales y agua potable

La **poliacrilamida catiónica SANICA** es un floculante sólido catiónico único. Las cargas y las estructuras moleculares han sido especialmente diseñadas para su uso en acondicionamiento de lodos, procesos de tratamiento de agua residual y clarificación de agua en una amplia variedad de industrias. Este floculante es especialmente recomendado para procesos de floculación avanzados donde se necesitan mayores niveles de clarificación.

### PRESENTACION: FUNDA DE 25 KG ESPECIFICACIONES

|                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Color                                | Blanco                         |
| Apariencia                           | Polvo cristalino               |
| Olor                                 | Inodoro                        |
| Densidad/Gravedad específica         | 0.75 (densidad aparente, g/mL) |
| Densidad de vapor                    | No aplicable                   |
| Porcentaje de volátiles (% por peso) | 7-8                            |
| pH                                   | 3-5 como solución              |
| Saturación en el aire (% por vol.)   | No aplicable                   |
| Solubilidad en agua                  | Limitada por la viscosidad     |
| Temperatura de autoignición          | 150°C (302°F)                  |
| Temperatura de descomposición        | 150°C (302°F)                  |

Fuente: Sanitron.

## ANEXO VII. Ficha técnica del Hipoclorito de Calcio.

### HIPOCLORITO DE CALCIO 70% (45Kg)

#### 1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un producto químico granulado, oxidante fuerte; se caracteriza por su alto contenido de cloro disponible (70% mín.). Fórmula:  $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . se recomienda el uso de preparaciones frescas para asegurar su máximo rendimiento, como desinfectante clorado. Producto obtenido por el proceso sódico.

#### 2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>NOMBRE COMERCIAL</b> | hipoclorito de Calcio                               |
| <b>PESO MOLECULAR</b>   | 144.29g/mol   |
| <b>FORMULA QUÍMICA</b>  | $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ |
| <b>ESTRUCTURA</b>       | FINOS GRANOS DE COLOR BLANCO                        |

#### 3.- PARÁMETROS DE CONCENTRACIÓN

| PARÁMETROS      | ESPECIFICACIONES                      | CONFORMIDAD   |
|-----------------|---------------------------------------|---|
| Cloro activo, % | 70.0 mín.                             | Cumple con las normas internacionales para productos químicos usados en el tratamiento del agua ANSI/AWWA B 300-87. |
| Insolubles, %   | 5.0 máx.                              |   |
| Humedad, %      | 7 máx.                                |   |
| Estabilidad     | No higroscópico                       |   |
| Olor            | Característico de color o hipoclorito |   |

#### 4.- APLICACIONES

Es un agente oxidante fuerte, germicida, bactericida, desinfectante efectivo en: Potabilización del Agua, Tratamiento de aguas residuales, para piscinas y otras. Desinfección de Equipos para el procesamiento de bebidas, Alimentos, etc. En las industrias cervecera, de bebidas gaseosas, vinos, jugos de frutas, etc. Control microbiológico en la agricultura (frutas, papas, vegetales, etc.) así mismo en el saneamiento de equipos y ambientes de las industrias lecheras, pesqueras, cárnicos, granjas avícolas, etc.

Para la preparación de soluciones sólo use recipientes limpios y secos para medir. Mezclar el hipoclorito solamente con agua fría. Agregar el producto al agua y no a la inversa porque se puede generar calor, produciéndose salpicaduras y hasta explosión, si se efectúa la mezcla en recipiente cerrado.

Cerrar inmediatamente el envase que contiene el hipoclorito, después de casa uso, para evitar pérdida de volatilización de cloro.

Fuente: La casa del Químico.

## ANEXO VIII. Costo del sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio.


**LA CASA DE LOS QUÍMICOS LAQUIN CIA LTDA**  
 AV. AMÉRICA N°18-17 Y ASUNCIÓN  
 RUC: 1790941892001 Telf(s) 2503 475  
 QUITO - Ecuador - Email: lacasadelosquimicos@gmail.com

|                         |         |   |  |                      |          |                |  |                   |
|-------------------------|---------|---|--|----------------------|----------|----------------|--|-------------------|
| CLIENTE                 |         | <b>ALEJANDRO BRAVO</b>                      |  |                      |          | COTIZACIÓN No. |  | <b>19804</b>      |
| DIRECCION               |         | <b>QUITO</b>                                |  |                      |          | FECHA          |  | <b>07/02/2022</b> |
| TELEFONO                |         | RUC   |  | <b>9999999999999</b> |          | VALIDEZ OFERTA |  | <b>0</b>          |
| ATENCION A              |         | <b>VENDEDOR ABRAHAN GALLARDO</b>            |  |                      |          | SUBTOTAL       |  | <b>5.44</b>       |
| CONDICIONES COMERCIALES |         |   |  |                      |          | P.V.P.         |  | <b>0.7800</b>     |
| Ord                     | Código  | Descripción                                 |  | Presentación         | Cantidad |                |  |                   |
| 1                       | CLO-GRA | CLORO GRANULADO 70% (HIPOCLORITO DE CALCIO) |  | KG                   | 1.00     | 5.4400         |  |                   |
| 2                       | SUL-ALU | SULFATO DE ALUMINIO TIPO A                  |  | KG                   | 1.00     | 0.7800         |  |                   |
| Son <b>SEIS 97/100</b>  |         |   |  |                      |          |                |  |                   |
| AUTORIZADO              |         | ACEPTACIÓN CLIENTE                          |  |                      |          |                |  |                   |
|                         |         | Subtotal Imponible                          |  |                      |          |                |  | <b>6.22</b>       |
|                         |         | Subtotal No Imponible                       |  |                      |          |                |  | <b>0.00</b>       |
|                         |         | 0.00% Descuento                             |  |                      |          |                |  | <b>0.00</b>       |
|                         |         | 12% I.V.A.                                  |  |                      |          |                |  | <b>0.75</b>       |
|                         |         | <b>TOTAL</b>                                |  |                      |          |                |  | <b>6.97</b>       |

**Observaciones:** Para la compras de los productos marcados con \* necesitan el permiso del MDI

Fuente: La casa del Químico.

## ANEXO IX. Costo del polímero catiónico.



RUC: 1791955153001  
 Dirección: Cotacollao / De Los Eucaliptos E8-70

**COTIZACION: 8529**

Teléfono: 02- 2805528 / 02-2808126  
 Pagina web: www.sanitronec.com

Fecha de Cotización: Quito, 07/02/2022

Cliente: BRAVO YUNDA CARLOS ALEJANDRO  
 RUC: 1725472763  
 Dirección: INES MARIA JIMENEZ Y NELA MARTINEZ

| Código  | Descripción                  | Cant. | Precio Unit. | Descuento | Precio Total |
|---------|------------------------------|-------|--------------|-----------|--------------|
| FLOC001 | POLIMERO CATIONICO SANICA KG | 1     | 11,70        | 0,00 %    | 11,70        |
| FLOC001 | POLIMERO CATIONICO SANICA KG | 25    | 11,70        | 3,00 %    | 263,73       |

|                       |               |                 |               |
|-----------------------|---------------|-----------------|---------------|
| <b>TOTAL EFECTIVO</b> | <b>330,88</b> | <b>SUBTOTAL</b> | <b>295,43</b> |
|                       |               | <b>DESC.</b>    | <b>0,00</b>   |
|                       |               | <b>IVA 12 %</b> | <b>35,45</b>  |
|                       |               | <b>TOTAL</b>    | <b>330,88</b> |

El valor es: TRESCIENTOS TREINTA CON 88 / 100.

Forma de pago : contado  
 Elaborado por: Paola Cando  
 Observación:

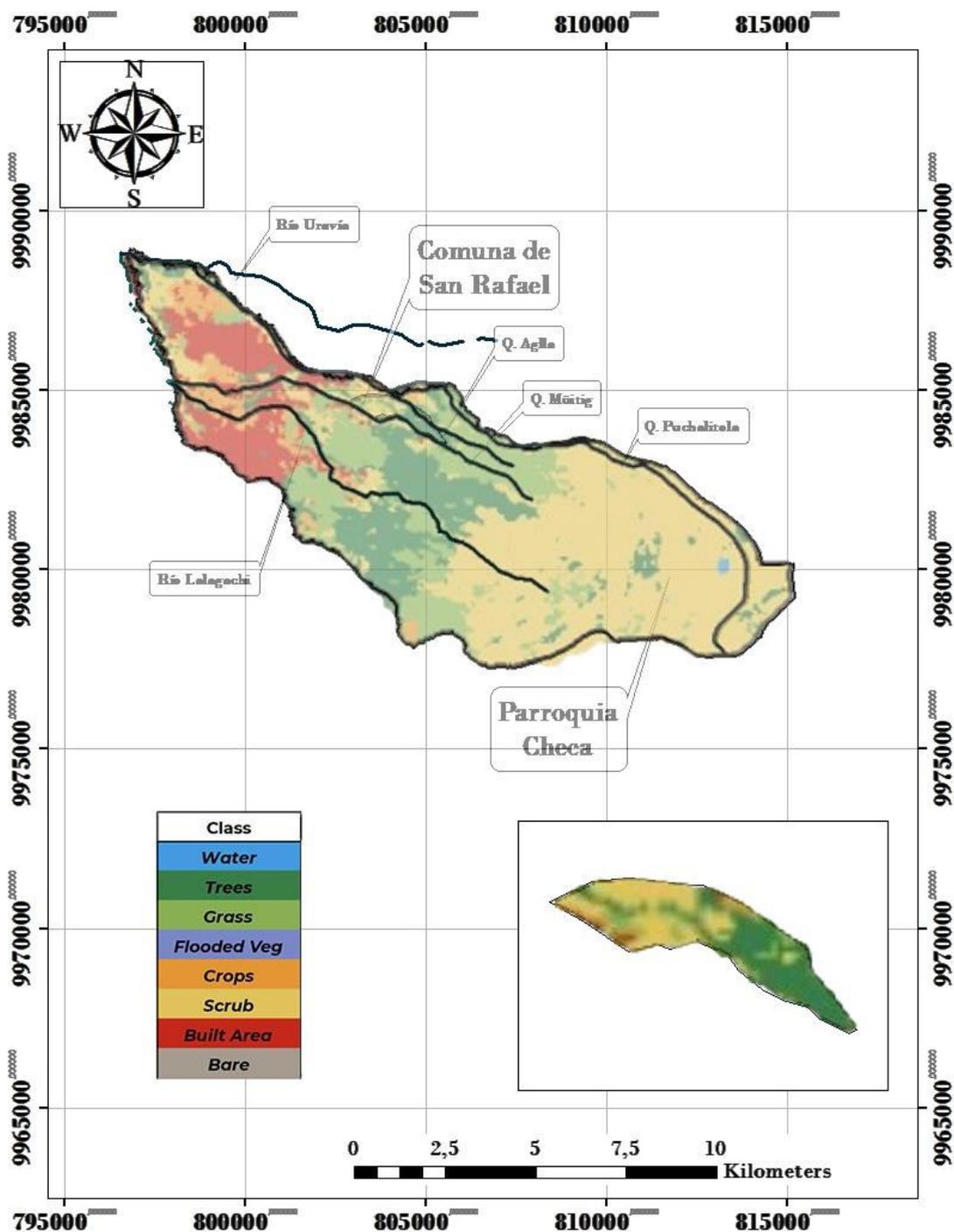
Correo:

**ESTA PROPUESTA NO INCLUYE:**  
 . Instalacion  
 . Transporte  
 . Viaticos  
 Tiempo de entrega: segun disponibilidad de Stock

**VALIDEZ DE PROFORMA 8 DIAS**

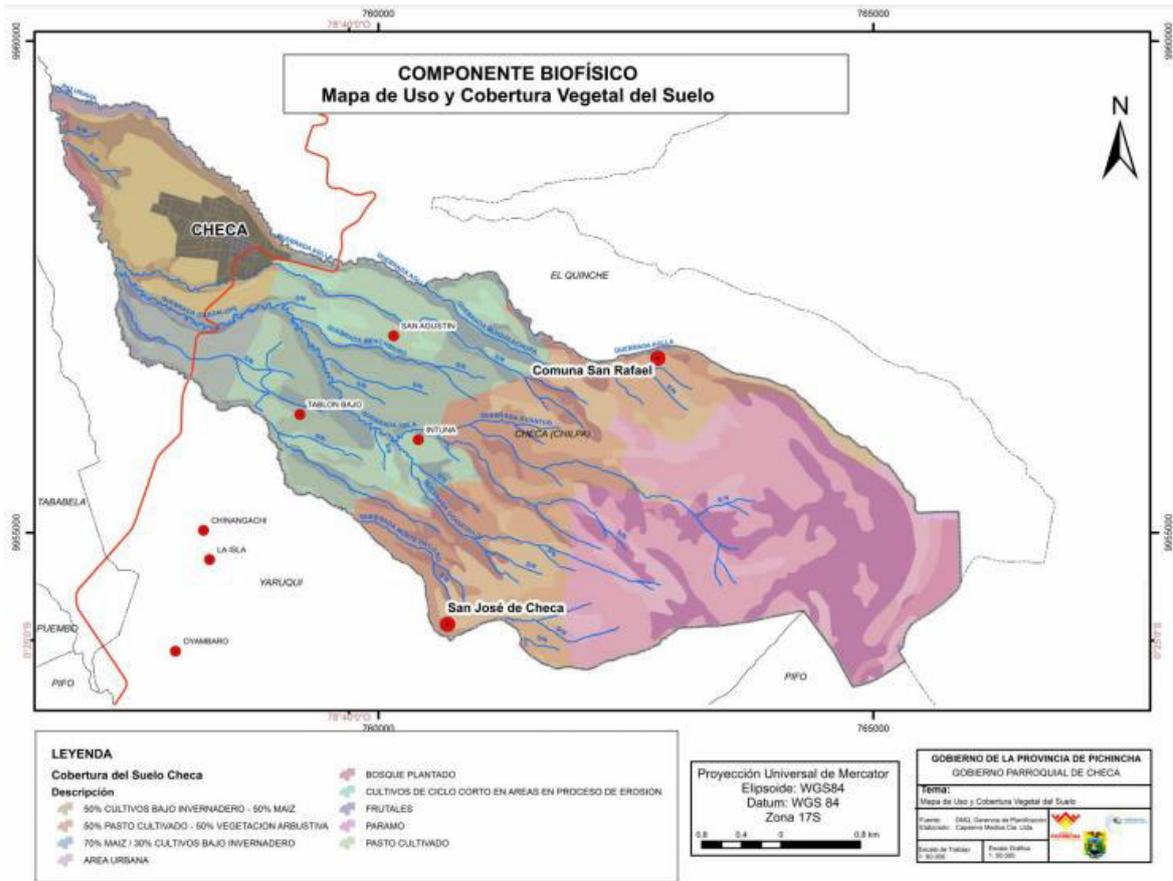
Fuente: Sanitron.

## ANEXO X. Mapa del Uso de Suelo.



Fuente: [44].

Elaboración: Bravo, A.



Fuente: [38].

## ANEXO XI. Cumplimiento de las normativas nacionales.

|          | Parámetro  | Unidades | Valor           |                  | LMP del TULSMA          | LMP INEN 1108 |
|----------|--|----------|-----------------|------------------|-------------------------|---------------|
|          |  |          | Pre tratamiento | Post tratamiento |                         |               |
| Físicos  | Color  | (Pt-Co)  | 96              | 5                | 100                     | 15            |
|          | Turbiedad  | NTU      | 10,5            | 0,75             | 100                     | 5             |
|          | Solidos Totales  | mg/l     | 120,3           | -                | 1000                    | -             |
|          | Temperatura  | °C       | 16,5            | -                | Condición natural ±3 °C | -             |
|          | Potencial de Hidrogeno   | -        | 9,5             | 8,4              | 6-9                     | -             |
|          | Oxígeno disuelto   | mg/l     | 8,3             | -                | No <6 mg/l              | -             |
|          | Dureza   | mg/l     | 43,9            | -                | 500                     | -             |
|          | Aluminio   | mg/l     | 0,121           | 0,216            | 0,2                     | -             |
|          | Cloro libre residual   | mg/l     | -               | 0,93             | -                       | 0,3-1,5       |
|          | “Evaluación de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad San Rafael, Provincia de Pichincha” |          |                 |                  |                         |               |
| Químicos | Nitritos   | mg/l     | 0,001           | -                | 1,0                     | 0,2           |
|          | Nitratos   | mg/l     | 0,300           | -                | 10,0                    | 50            |
|          | Nitrógeno Amoniacal  | mg/l     | 0,180           | -                | 1                       | -             |
|          | Tensoactivos SAAM  | mg/l     | 0,025           | -                | 0,5                     | -             |
|          | Cobre Cu   | mg/l     | 0,050           | -                | 0,1                     | 2,0           |
|          | Cromo hexavalente Cr <sup>6+</sup>   | mg/l     | 0,005           | -                | -                       | 0,05          |
|          | Hierro total Fe <sup>3+</sup>  | mg/l     | 0,670           | -                | 1,0                     | -             |
|          | Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>   | mg/l     | 1,0             | -                | 400                     | -             |
| Bio      | Coliformes Totales   | -        | <1,1            | -                | 3000                    | <1,1          |
|          | Coliformes Fecales   | -        | <1,1            | -                | 600                     | <1,1          |

Elaboración: Bravo, A.

## ANEXO XII. Entrega de los sobres de potabilización a la comunidad.



Fuente: [52]