

EVALUACIÓN DE LA PTAP EN LA INSPECCIÓN DE POLICÍA DE CAMBAO DEL  
MUNICIPIO DE SAN JUAN DE RIOSECO, CUNDINAMARCA, COLOMBIA

JUAN CAMILO BEJARANO SUESCUN  
JUAN DIEGO POVEDA GOMEZ

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA – SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
GIRARDOT, CUNDINAMARCA  
2023

EVALUACIÓN DE LA PTAP EN LA INSPECCIÓN DE POLICÍA DE CAMBAO DEL  
MUNICIPIO DE SAN JUAN DE RIOSECO, CUNDINAMARCA, COLOMBIA

JUAN CAMILO BEJARANO SUESCUN  
JUAN DIEGO POVEDA GOMEZ

TRABAJO DE GRADO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ASESOR  
JESUS FLAMINIO OSPITIA PRADA  
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA – SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
GIRARDOT, CUNDINAMARCA  
2023

Nota de aceptación:

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado lo dedico principalmente a mis padres por todo el apoyo y motivación que me proporcionaron a través de mi proceso de formación y a las personas que de una u otra manera influyeron en mi progreso como persona, estudiante y del futuro profesional que seré.

Juan Diego Poveda Gómez

El presente trabajo de grado, lo dedico con total gratitud a mis padres Pedro y Edelmira, mis mayores pilares motivacionales y propulsores de mi formación académica, ética y personal, a mi hermana Laura, apoyo incondicional e influyente en mi progreso, así mismo, a todos aquellos familiares que han aportado y han hecho de mi un gran estudiante y futuro profesional

Juan Camilo Bejarano Suescun

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que me apoyaron en el proceso de formación y de creación de este trabajo de grado. A los docentes de mi programa académico resaltando al docente Jesús Flaminio Ospitia Prada quien en inicios de mi formación influyó de buena manera para que yo lograra determinar cuál rama y campo de acción me era más llamativo; a la docente María del Cielo Burbano Pedraza por contribuir a mi formación como persona, a tener un análisis más crítico y a ampliar mis perspectivas; al docente Yan Mauricio Almanza Rivas por su disposición y colaboración. De manera externa a la universidad, agradezco inmensamente al ingeniero Oscar Efrén Ospina Zúñiga por todos sus aportes y también al señor Numael Pedraza por su disposición y colaboración durante todo el proceso de la construcción de este trabajo.

Juan Diego Poveda Gómez

Me uno a los agradecimientos de mi compañero hacia los docentes Jesús Flaminio Ospitia Prada, Yan Mauricio Almanza Rivas, Oscar Efrén Ospina Zúñiga por su conocimiento, asesoría, disposición y colaboración para el desarrollo del presente, del mismo modo, agradezco al docente Genaro Penagos quien ha sido un gran docente y compañero en esta etapa formativa, a la institución y todo su cuerpo de docentes que de uno u otro modo han sido parte de este gran proceso y esfuerzo agradezco sus servicios y cordialidad.

Juan Camilo Bejarano Suescun

## CONTENIDO

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| DEDICATORIA.....                          | 4  |
| AGRADECIMIENTO .....                      | 5  |
| CONTENIDO .....                           | 6  |
| LISTA DE TABLAS .....                     | 9  |
| LISTA DE FIGURAS .....                    | 10 |
| LISTA DE ANEXOS.....                      | 11 |
| GLOSARIO .....                            | 12 |
| AGUA CRUDA. ....                          | 12 |
| AGUA POTABLE. ....                        | 12 |
| AGUA SEGURA. ....                         | 12 |
| ANÁLISIS BÁSICOS. ....                    | 12 |
| ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS. ....            | 12 |
| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA. ....    | 12 |
| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA. ....   | 12 |
| ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS. ....             | 12 |
| CALIDAD DEL AGUA. ....                    | 12 |
| CONTAMINACIÓN DEL AGUA. ....              | 12 |
| CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE.....  | 12 |
| COLIFORMES. ....                          | 12 |
| GRUPO COLIFORME.....                      | 12 |
| ESCHERICHIA COLO (E-COLI). ....           | 13 |
| ÍNDICE COLIFORME.....                     | 13 |
| CRITERIO DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE..... | 13 |
| ENSAYO DE TRATABILIDAD.....               | 13 |
| FUENTE DE ABASTECIMIENTO.....             | 13 |
| MUESTRA PUNTUAL DE AGUA. ....             | 13 |
| TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN. ....        | 13 |
| VALOR ACEPTABLE.....                      | 13 |
| HIDROCLORURO DE ALUMINIO.....             | 13 |
| RESUMEN.....                              | 14 |
| INTRODUCCIÓN.....                         | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....        | 17 |
| 2. JUSTIFICACIÓN.....                     | 19 |
| 3. OBJETIVOS .....                        | 21 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 3.1. GENERAL .....                               | 21 |
| 3.2. ESPECÍFICOS.....                            | 21 |
| 4. MARCO REFERENCIAL .....                       | 22 |
| 4.1. ANTECEDENTES CIENTÍFICOS DEL PROYECTO ..... | 22 |
| 4.2. MARCO TEÓRICO .....                         | 25 |
| 4.2.1. Color.....                                | 27 |
| 4.2.2. Olor y sabor.....                         | 27 |
| 4.2.3. Turbiedad.....                            | 28 |
| 4.2.4. Fosfatos.....                             | 29 |
| 4.2.5. Hierro y Manganeseo.....                  | 30 |
| 4.2.6. Plomo.....                                | 30 |
| 4.2.7. Mercurio.....                             | 32 |
| 4.2.8. Nitritos y nitratos.....                  | 32 |
| 4.2.9. Cianuro.....                              | 33 |
| 4.2.10. IRCA.....                                | 33 |
| 4.3. MARCO CONCEPTUAL.....                       | 36 |
| 4.3.1. Cantidad.....                             | 36 |
| 4.3.2. Continuidad.....                          | 36 |
| 4.3.3. Calidad.....                              | 36 |
| 4.3.4. Caracterización .....                     | 36 |
| 4.3.5. Características del agua.....             | 37 |
| 4.3.6. Agua superficial.....                     | 37 |
| 4.3.7. Tecnología de tratamiento.....            | 38 |
| 4.3.8. PTAP.....                                 | 39 |
| 4.3.9. Ensayo de jarras.....                     | 39 |
| 4.3.10. RAS.....                                 | 40 |
| 4.3.11. Potabilización del agua.....             | 41 |
| 4.4. MARCO LEGAL.....                            | 42 |
| 4.5. MARCO GEOGRÁFICO .....                      | 43 |
| 4.6. MARCO DEMOGRÁFICO .....                     | 44 |
| 5. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....              | 46 |
| 6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....          | 47 |
| FUENTES DE CAPTACIÓN .....                       | 47 |
| PTAP .....                                       | 50 |
| Laboratorio.....                                 | 55 |
| DISEÑO DEL DESARENADOR.....                      | 58 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| TANQUE DE FILTRACIÓN..... | 60 |
| 7. CONCLUSIONES.....      | 61 |
| 8. REFERENCIAS .....      | 62 |
| 9. ANEXOS.....            | 67 |

## LISTA DE TABLAS

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Tabla 1. Normatividad ..... | 42 |
| Tabla 2. Fases .....        | 46 |
| Tabla 3. Dosis óptima.....  | 57 |
| Tabla 4. Desarenador.....   | 59 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Riesgo por agentes contaminantes en el agua potable .....             | 23 |
| Figura 2. Investigaciones científicas significativas .....                      | 24 |
| Figura 3. Características físicas.....                                          | 25 |
| Figura 4. Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos ..... | 25 |
| Figura 5. Tecnologías de Potabilización.....                                    | 26 |
| Figura 6. Olores del agua y su origen .....                                     | 27 |
| Figura 7. Límites de percepción de algunas sales .....                          | 28 |
| Figura 8. Espectro de la filtración .....                                       | 29 |
| Figura 9. Puntaje de riesgo.....                                                | 34 |
| Figura 10. Nivel de riesgo .....                                                | 35 |
| Figura 11. Aguas lénticas y lólicas .....                                       | 38 |
| Figura 12. Tratamiento convencional .....                                       | 38 |
| Figura 13. PTAP.....                                                            | 39 |
| Figura 14. Test de jarras .....                                                 | 40 |
| Figura 15. Fases convencionales de la potabilización del agua .....             | 41 |
| Figura 16. Población San Juan de Rioseco .....                                  | 44 |
| Figura 17. Población Cambao .....                                               | 44 |
| Figura 18. Grupos decenales de habitantes Cambao.....                           | 45 |
| Figura 19. Puntos de captación .....                                            | 47 |
| Figura 20. Quebrada Vieja.....                                                  | 47 |
| Figura 21. Bocatoma Aguas Claras .....                                          | 48 |
| Figura 22. Resultados de laboratorio .....                                      | 48 |
| Figura 23. Tecnologías de tratamiento para Aguas Claras y Quebrada Vieja.....   | 49 |
| Figura 24. Área lámina de agua.....                                             | 49 |
| Figura 25. Ubicación PTAP .....                                                 | 51 |
| Figura 26. Entrega de PTAP a Cambao.....                                        | 51 |
| Figura 27. Plantas de tratamiento de agua potable en dos unidades .....         | 52 |
| Figura 28. Laboratorio PTAP .....                                               | 53 |
| Figura 29. Aplicación manual de coagulante .....                                | 53 |
| Figura 30. Limpieza módulo floculación.....                                     | 54 |
| Figura 31. Antes/Después.....                                                   | 54 |
| Figura 32. Test de jarras .....                                                 | 55 |
| Figura 33. Dosis óptima .....                                                   | 55 |
| Figura 34. Curva de calibración turbiedad 960 UNT .....                         | 56 |
| Figura 35. Curva de calibración turbiedad 580 UNT .....                         | 56 |
| Figura 36. Curva de calibración turbiedad 435 UNT .....                         | 57 |
| Figura 37. Curva de calibración turbiedad 290 UNT .....                         | 57 |
| Figura 38. Curva de calibración general .....                                   | 58 |
| Figura 39. Caudal de diseño.....                                                | 58 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo 1. Ubicación San Juan de Rioseco .....                            | 67  |
| Anexo 2. División política San Juan de Rioseco .....                    | 68  |
| Anexo 3. Cambao .....                                                   | 69  |
| Anexo 4. Resultados de laboratorio Aguas Claras.....                    | 70  |
| Anexo 5. Resultados de laboratorio Quebrada Vieja .....                 | 71  |
| Anexo 6. Control diario PTAP enero .....                                | 72  |
| Anexo 7. Control diario PTAP febrero .....                              | 73  |
| Anexo 8. Control diario PTAP marzo .....                                | 74  |
| Anexo 9. Control diario PTAP abril.....                                 | 75  |
| Anexo 10. Control diario PTAP mayo.....                                 | 76  |
| Anexo 11. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-Abril .....   | 77  |
| Anexo 12. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-Marzo.....    | 78  |
| Anexo 13. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-febrero ..... | 79  |
| Anexo 14. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-enero.....    | 80  |
| Anexo 15. Control macromedidor abril.....                               | 81  |
| Anexo 16. Dosis óptimas .....                                           | 103 |

## GLOSARIO

**AGUA CRUDA.** “Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**AGUA POTABLE.** Es aquella apta para el consumo humano gracias al cumplimiento de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

**AGUA SEGURA.** “Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el presente decreto, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**ANÁLISIS BÁSICOS.** “Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

**ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS.** Son todos aquellos análisis que no se contemplan dentro de los básicos, pero que se identifican dentro del mapa de riesgos.

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA.** Procedimientos que se efectúan para determinar las características físicas, químicas o ambas.

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA.** Procedimientos “que se llevan a cabo con la finalidad de determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS.** “Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**CALIDAD DEL AGUA.** “Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**CONTAMINACIÓN DEL AGUA.** Es la alteración de las características propias del agua por influencia humana o de la naturaleza que, a su vez, genera una afectación en el consumidor.

**CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE.** “Son los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución con el objeto de garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**COLIFORMES.** Bacterias, aeróbicas o anaeróbicas, Gram Negativas en forma bacilar que indican contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

**GRUPO COLIFORME.** Comprende todas aquellas bacterias Gram Negativas, aeróbicas o anaeróbicas, de forma bacilar.

**ESCHERICHIA COLO (E-COLI).** “Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los enterobacteriáceas y se caracteriza por poseer las enzimas b - Galactosidasa y b – gluoroanidasa” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**ÍNDICE COLIFORME.** Es la cantidad de coliformes que se encuentra en 100 cm<sup>3</sup> de agua, “cuyo resultado se expresa en términos de número más probable (NMP) por el método de los tubos múltiples y por el número de microorganismos en el método del filtro por membrana” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**CRITERIO DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE.** Es el criterio establecido para evaluar la calidad del agua.

**ENSAYO DE TRATABILIDAD.** “Son los estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**FUENTE DE ABASTECIMIENTO.** Son las fuentes de agua de donde se toma el recurso para el suministro de agua.

**MUESTRA PUNTUAL DE AGUA.** “Es la toma en punto o lugar en un momento determinado” (Ministerio de Salud Pública, 1998).

**TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN.** “Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

**VALOR ACEPTABLE.** Aquel valor determinado ante la concentración de un componente, con el fin de garantizar que el agua destinada al consumo no repercutirá negativamente en la salud del consumidor.

**HIDROCLORURO DE ALUMINIO.** “Es un polinuclear de aluminio líquido (Hidroxiclорuro de Aluminio) que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas tanto potables como residuales” (Aqua Integral, s.f.).

## RESUMEN

El agua potable es un recurso sumamente preciado debido a que su presencia es muy baja teniendo en cuenta la disponibilidad y los cuerpos de agua que existen. En el mundo sólo el 2.5 % del agua es dulce y de la cual el ser humano hace uso para satisfacer sus necesidades bien sea para uso industrial, comercial, residencial o de consumo. Para este último caso, se requiere que las características del agua sean apropiadas ya que lo contrario tendría afectaciones en la salud de las personas. En base a lo anterior, se crearon las plantas de tratamiento de agua potable o PTAP, por sus siglas, que consisten en instalaciones con tecnologías y procesos que se implementan para tratar las aguas crudas y así dejarlas con propiedades aptas para su consumo.

Cambao es una inspección de policías o centro poblado del municipio de San Juan de Rioseco, Cundinamarca; cuenta con una población de 1362 habitantes que se surte de dos fuentes de agua superficiales, Aguas Claras (fuente principal) y Quebrada Vieja (río Chaguaní), esta última se implementa cuando el cauce de la fuente principal baja debido a la época de sequía. El tratamiento de potabilización se hace por medio de una PTAP compacta constituida por dos unidades funcionales, dos tanques de almacenamiento y cloro como desinfectante. Las unidades funcionales están conformadas por el proceso de floculación-coagulación y sedimentación para la primera unidad, y un tanque de autolavado como unidad número dos. La finalidad de este proyecto es la evaluación de la PTAP de la inspección de policías de Cambao a nivel técnico y de control de calidad, para lo que hace cual se implementaron salidas de campo tanto a la planta como a la bocatoma para la recolección de datos de las tecnologías de tratamiento, el funcionamiento de la planta y la caracterización de las aguas crudas de captación.

## INTRODUCCIÓN

El agua potable es un recurso relevante para el ser humano, teniendo cierto impacto o repercusión en la calidad de vida, economía y desarrollo social; “la reducción de sus existencias puede reflejarse en una desaceleración del crecimiento económico. Las tasas de crecimiento económico de algunas regiones podrían reducirse en hasta un 6 % del PIB en 2050” (Banco Mundial, 2022). Pese a su importancia, la presencia en la vida de las personas a nivel mundial no es completa, “alrededor de 2200 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura” (Banco Mundial, 2022) lo que representa que 3 de cada 10 personas no cuentan con el servicio de agua potable de manera segura (Naciones Unidas, 2017).

*Nuestro planeta azul contiene unos 1386 millones de km<sup>3</sup> de agua, una cantidad que no ha disminuido ni aumentado en los últimos dos mil millones de años. Se calcula que el 97% es agua salada y sólo el 2.5% del agua que existe en la Tierra se considera dulce. Si tenemos en cuenta que el 90% de los recursos disponibles de agua dulce del planeta están en la Antártida esta sensación de abundancia merma. Sólo el 0.5% de agua dulce se encuentra en depósitos subterráneos y el 0.01% en ríos y lagos... El agua dulce se distribuye en un 70% en agua congelada en glaciares y un 30% en la humedad del suelo o acuíferos. Respecto al resto, un 1% se encuentra en cuencas hidrográficas y... tan solo un 0,025% es potable. Datos oficiales afirman, por tanto, que sólo el 0.007% del agua existente en la Tierra es potable, y esa cantidad se reduce año tras año debido a la contaminación (Fundación Aquae , 2021).*

En el mundo tenemos una porción pequeña de agua, adicional, el consumo va en aumento y hay reducción de ella. A pesar de que contamos con una porción tan pequeña de agua potable, la demanda por ella va en aumento día tras día. *Tan sólo el siglo pasado la población mundial se triplicó lo que provocó que la extracción de agua aumentara seis veces, disparando la presión sobre las fuentes del recurso hídrico* (Gobierno de México, 2019).

Al verse un suministro tan reducida de agua potable, se han implementado plantas de tratamiento de agua potable (PTAP). Dichas instalaciones cuentan con tecnologías que nos permite realizar tratamientos en el agua para modificar sus características físicas, químicas y biológicas de tal forma que se vuelva apta para el consumo humano. En Colombia se evaluaron *1019 municipios, 738 (incluye Bogotá) no cumplen con los estándares de calidad para que sea apta para el consumo humano tan sólo 281 cumplen los requisitos completamente a nivel nacional* (Jiménez, 2019).

El ingerir agua no apta para consumo humano puede ocasionar diversas enfermedades, dentro de ellas: hepatitis A, cólera, enfermedades diarreicas, fiebre tifoidea y la poliomielitis. Lastimosamente la población más vulnerable frente a estas afecciones son los menores de 5 años, principalmente por enfermedades diarreicas agudas (EDA). *Al día mueren alrededor de 1000 niños por motivos relacionados con las EDA* (UNICEF, s. f).

*El agua no potable y el saneamiento deficiente son las principales causas de mortalidad infantil. La diarrea infantil -asociada a la escasez de agua, saneamientos inadecuados,*

*aguas contaminadas con agente patógenos de enfermedades infecciosas y falta de higiene- causa la muerte a 1,5 millones de niños al año. La mayoría de ellos menores de cinco años en países en desarrollo (Naciones Unidas, s.f.).*

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso vital e indispensable para la vida que se encuentra limitado, aspecto de preocupación para el ser humano, ya que su distribución en la tierra es diversa en múltiples variables que se combinan con las condiciones y estados que se asocian a las exposiciones ambientales, muchas de estas no siendo satisfactorias; una de las desigualdades más grandes es la diferencia entre agua dulce y salada, como señala Gemma Nadal, “Sólo el 2.5% del agua que existe en la Tierra es agua dulce. De esa cantidad, el 0.5% se encuentra en depósitos subterráneos y el 0.01% en ríos y lagos.” (Nadal Martinez, 2022).

La composición del agua esta diversificada en minerales, compuestos de sales y partículas que dependiendo del tipo y grado altera la composición y pureza del fluido, lo que para el ser humano puede impactar de manera negativa su salud. La caracterización del agua se subdivide en parámetros físicos, químicos y biológicos siendo estos los que dictaminan la alteración y el grado de contaminación del agua, de esta manera, estableciéndose si el agua es apta para el consumo humano (agua potable). El porcentaje de agua potable es diminuto, siendo solo el 0.007% del agua en la Tierra, un porcentaje parcial en el paso del tiempo. Sin embargo, la ciencia se ha esmerado por investigar sobre la purificación del agua ya que es un factor importante del desarrollo sostenible, “El agua potable tiene una estrecha relación con la salud, el desarrollo y la pobreza; es un derecho humano básico.” (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 23); es decir, que el suministro de agua potable es indispensable en beneficio de salud y desarrollo, su óptima calidad se alcanza cumpliendo con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que no comprometen la salud del ser humano, como resultado de un tratamiento específico conforme con las caracterizaciones del agua cruda, que es sometida al proceso de purificación.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la UNICEF “alrededor de 3 de cada 10 personas, o 2100 millones de personas, carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar” (Organización Mundial de la Salud, 2017)., cifras considerables a nivel mundial. Según los estudios del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio anuncian en el 2021 porcentaje alto de acceso a agua potable en Colombia, “El 93% de los colombianos ya cuentan con acceso a este servicio, estamos hablando de 45.5 millones de personas” (Malagón, 2021), sin embargo, la larga inversión que se ha hecho en los proyectos de agua y saneamiento básico no presentan un control óptimo sobre las operaciones y tecnologías que aseguren la potabilización del agua, lo que cuestiona la cifra del Ministerio.

La eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable presenta tres principales factores, dichos factores son la calidad, constancia y cantidad. La calidad va asociada al cumplimiento de la normatividad de la caracterización del agua, no sobrepasando los valores permisibles de los parámetros físicos, químicos y biológicos; la constancia es la continuidad del fluido en cada una de las viviendas y la cantidad es el volumen de agua que suministra el sistema de abastecimiento a cada vivienda. La inspección de Policía de Cambao del municipio de San Juan de Rioseco presenta dificultades en los factores mencionados anteriormente, ya que a los habitantes del sector no les llega el fluido en cantidad y continuidad eficiente, además de los contaminantes físicos que se pueden observar en el agua en la actualidad.

¿Cuáles son las tecnologías, procesos y operaciones de potabilización adecuados y necesarios actualmente para la planta de tratamiento de la inspección de Policía de Cambao del municipio de San Juan de Rio Seco?

## 2. JUSTIFICACIÓN

El agua es un derecho fundamental y un recurso vital para la subsistencia humana, según Fernández Cirelli “La disponibilidad de agua es de suma importancia para la vida y el desenvolvimiento económico de cualquier región del mundo” (Fernández, 2012), lo que afirma que el agua es un recurso no solamente limitado, sino indispensable para el ser humano siempre y cuando cumpla con las propiedades adecuadas para su consumo. Purificar el agua para adaptarla al consumo humano, es decir, potabilizarla en su máxima calidad y asegurando su suministro eficiente, es necesario para el bienestar del ser humano, supliendo así la necesidad y derecho del agua limpia y saneamiento básico como parte de los objetivos del desarrollo sostenible establecidos por la organización de las Naciones Unidas (ONU).

Es decir, que la disponibilidad de sistemas de abastecimiento eficaces de potabilización de agua es fundamental para las comunidades, ya que su impacto es multivariable en el sector de la salud, economía, infraestructura, etc. De acuerdo con Romero Rojas “El objetivo inmediato es proveer a toda la sociedad de agua potable, porque de esta manera cada comunidad satisface un requerimiento fundamental para su bienestar y comodidad.” (1999, pág. 15), sin embargo, no solamente contar con un sistema de abastecimiento de agua potable es suficiente, se requiere de control y vigilancia sobre la eficacia de este en la operación.

Considerando lo anterior, la investigación se orientará sobre la evaluación de la eficacia de la planta de tratamiento de la inspección de Policía de Cambao del municipio de San Juan de Rioseco, con el fin de poder identificar todas las irregularidades que tenga la PTAP hidráulicamente, la deficiencia en tecnologías de potabilización para tratar contaminantes y la operación de esta. La capacidad hidráulica de la PTAP se diagnostica en el diseño de esta para garantizar la cantidad de suministro de agua, sin embargo, es dependiente de las fuentes de captación, ya que estas deben suplir la demanda. Las fuentes de captación definen las tecnologías de potabilización dependiendo de la caracterización del agua, por lo que se deben realizar estudios del agua cruda. La PTAP que suministra agua tratada a la inspección de policía de Cambao del municipio de San Juan de Rioseco, cuya población es de 1357 habitantes, posee varios procesos convencionales de potabilización que no son suficientes para la remoción de la totalidad de contaminantes físico, químico y microbiológico, aumentando su dificultad con el agua cruda que es captada de dos fuentes superficiales para el suministro de agua para consumo humano. Dichas fuentes son alternadas dependiendo del tiempo meteorológico del sector, tomando como fuente principal la quebrada Aguas Claras y en temporada seca donde la anterior sufre los impactos del tiempo, se implementa la captación de Quebrada Vieja, la fuente alterna que se usa para el suministro.

La evaluación dictamina el ajuste y/o diseño de los métodos de tratamiento, además de llevar un seguimiento riguroso a los procesos y manejos que se les realiza a los equipos de la planta, comprendiendo técnicas implementadas en tratabilidad de aguas.

Lo anterior, garantiza el abastecimiento de agua potable en base a la normatividad, además del control y vigilancia de la eficacia de la planta referente a su operación.

La optimización de la planta de tratamiento de la inspección de Policía de Cambao permitirá el suministro de agua potable para la comunidad, brindándole bienestar además de la repercusión positiva en la salud de la población revirtiendo enfermedades a causa de los contaminantes que no puede eliminar las tecnologías existentes. También, el aprovechamiento

de la planta de tratamiento de agua potable existente para la adecuación y/o modificación de las tecnologías de potabilización reduce costos de inversión de infraestructura, y el diseño de un plan de control y vigilancia reduce los costos de operación de esta, lo anterior es la beneficencia económica en referencia de desarrollo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. GENERAL**

Evaluar los procesos y tecnologías de tratamiento de agua para consumo humano en la inspección de Policía de Cambao del municipio de San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar y estudiar las condiciones actuales en función de las instalaciones y operación de la planta de tratamiento de agua potable.
- Analizar las características físicas, químicas y microbiológicas con respecto al estudio previo en la PTAP.
- Proponer alternativas de mejora en el diseño y en los procesos de operación de la PTAP.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. ANTECEDENTES CIENTÍFICOS DEL PROYECTO

El estudio e investigación acerca de la potabilización del agua en Colombia es bien amplio debido al recurso hídrico del país, además de que es una necesidad permanente de las comunidades. La evaluación a las plantas de tratamiento es constante debido a la reglamentación existente de control de calidad y a las deficiencias de la calidad de agua en algunos sectores de Colombia, a lo que se realizan estudios de la calidad de agua para consumo humano con el fin de determinar el riesgo por la presencia de contaminantes mediante el IRCA.

*Se establece el nivel de riesgo para el consumo, dando la posibilidad de generar alertas tempranas, alerta sobre riesgos, eventos o situaciones de emergencia para la salud de la población derivados de la calidad del agua usada para consumo humano y acciones de prevención dirigidas a los prestadores, autoridades sanitarias, así como a otras autoridades y órganos de control, sobre qué hacer dependiendo de la clasificación del nivel de riesgo, para mantener o mejorar la calidad del agua (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).*

Según los estudios previos realizados por el SIVICAP, realizó 38547 muestras, que dentro de los resultados de nivel de riesgo se encontró que en el año 2020 y con base a los índices de riesgo del IRCA, “el 73% se clasificaron en un nivel de riesgo “sin riesgo”, el 2% se encontró en riesgo “bajo”, el 9% en riesgo “medio”, el 11% en riesgo “alto” y el 3% es “inviabile sanitariamente”” (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020) . Es decir, que los estudios anteriores señalan que cerca de una tercera parte de la población está expuesta a algún tipo de riesgo por agentes contaminantes en el agua, sin contar con las zonas rurales lejanas que no se les realizó estudio de calidad de agua.

A nivel departamental, Cundinamarca no alcanza a contar con el cincuenta por ciento (50%) de inspecciones sanitarias realizadas sin representar algún tipo de riesgo, lo que traduce a un alto porcentaje de suministro de agua con algún tipo de riesgo por agentes contaminantes como se observa en la figura 1.

| Departamentos      | Inspecciones sanitarias realizadas | BPS Sin riesgo | BPS Riesgo bajo | BPS Riesgo medio | BPS Riesgo alto | BPS Riesgo muy alto | IRABA Sin riesgo | IRABA Riesgo bajo | IRABA Riesgo medio | IRABA Riesgo alto | IRABA Riesgo muy alto |
|--------------------|------------------------------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Atlántico          | 27                                 | 22             | 3               | 1                | 0               | 1                   | 23               | 2                 |                    | 1                 | 1                     |
| Bogotá D.C.        | 81                                 | 51             | 20              | 10               | 0               | 0                   | 64               | 8                 | 2                  | 7                 |                       |
| Bolívar            | 17                                 | 2              | 6               | 1                | 6               | 2                   | 3                | 5                 | 7                  | 1                 | 1                     |
| Boyacá             | 253                                | 95             | 108             | 41               | 9               | 0                   | 91               | 92                | 38                 | 30                | 2                     |
| Caldas             | 212                                | 18             | 9               | 5                | 19              | 161                 | 18               | 6                 | 3                  | 33                | 152                   |
| Caquetá            | 16                                 | 2              | 8               | 3                | 3               | 0                   | 2                | 4                 | 1                  | 9                 |                       |
| Casanare           | 59                                 | 29             | 10              | 13               | 7               | 0                   | 26               | 10                | 4                  | 19                |                       |
| Cauca              | 39                                 | 5              | 8               | 5                | 19              | 2                   | 10               | 7                 | 4                  | 14                | 4                     |
| Cesar              | 26                                 | 6              | 10              | 6                | 4               | 0                   | 9                | 8                 | 2                  | 5                 | 2                     |
| Chocó              | 11                                 | 3              | 3               | 3                | 2               | 0                   |                  | 1                 | 1                  | 3                 | 6                     |
| Cundinamarca       | 266                                | 95             | 78              | 64               | 27              | 2                   | 116              | 30                | 49                 | 64                | 7                     |
| Guainía            | 1                                  |                | 1               | 0                | 0               | 0                   |                  |                   | 1                  |                   |                       |
| Huila              | 38                                 | 11             | 21              | 4                | 2               | 0                   | 16               | 22                |                    |                   |                       |
| La Guajira         | 19                                 | 2              | 3               | 5                | 8               | 1                   | 1                | 4                 | 7                  | 6                 | 1                     |
| Magdalena          | 34                                 | 12             | 7               | 5                | 10              | 0                   | 4                | 1                 | 5                  | 19                | 5                     |
| Meta               | 43                                 | 8              | 19              | 6                | 8               | 2                   | 9                | 11                | 9                  | 9                 | 5                     |
| Nariño             | 167                                | 13             | 15              | 119              | 17              | 3                   | 13               | 13                | 9                  | 87                | 45                    |
| Norte de Santander | 61                                 | 17             | 14              | 21               | 9               | 0                   | 13               | 4                 | 13                 | 25                | 6                     |
| Putumayo           | 17                                 | 6              | 7               | 3                | 1               | 0                   | 4                | 1                 | 2                  | 10                |                       |
| Quindío            | 12                                 | 7              | 3               | 2                | 0               | 0                   | 11               | 1                 |                    |                   |                       |
| Risaralda          | 18                                 | 12             | 4               | 2                | 0               | 0                   | 8                | 3                 | 1                  | 6                 |                       |
| San Andrés         | 2                                  | 2              | 0               | 0                | 0               | 0                   | 1                | 1                 |                    |                   |                       |
| Santander          | 61                                 | 19             | 23              | 9                | 9               | 1                   | 21               | 19                | 12                 | 8                 | 1                     |
| Sucre              | 36                                 | 9              | 6               | 6                | 15              | 0                   | 2                | 4                 | 4                  | 6                 | 20                    |
| Tolima             | 81                                 | 20             | 12              | 8                | 20              | 21                  | 12               | 10                | 24                 | 14                | 21                    |
| Valle              | 666                                | 103            | 107             | 257              | 197             | 2                   | 128              | 59                | 33                 | 368               | 78                    |
| Vaupés             | 1                                  | 0              | 0               | 0                | 1               | 0                   |                  | 1                 |                    |                   |                       |
| <b>Totales</b>     | <b>3378</b>                        | <b>766</b>     | <b>633</b>      | <b>694</b>       | <b>581</b>      | <b>704</b>          | <b>804</b>       | <b>475</b>        | <b>279</b>         | <b>927</b>        | <b>893</b>            |

Figura 1. Riesgo por agentes contaminantes en el agua potable  
(Ministerio de Salud y Protección Social, 2020)

La figura 2 presenta las investigaciones científicas más relevantes que se han realizado con el fin de mejorar los procesos y diseños existentes en plantas de tratamiento de agua potable de algunos municipios, ya que estos tienen algunas deficiencias ya sea en su operación, diseño o incluso seguimiento de calidad.

| INVESTIGACIÓN CIENTIFICA                                                                                      | OBJETO DE ESTUDIO                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE FÓMEQUE, (CUNDINAMARCA)                                | El estudio científico se realizó con el fin de diagnosticar la eficiencia en los procesos de remoción de contaminantes del agua cruda.                                                                                      |
| EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "PEÑA BLANCA" DEL MUNICIPIO DE MONGUA, BOYACA  | El proyecto se realizó con el objeto de evaluar la eficacia en el tratamiento de agua cruda y evaluar si las tecnologías de tratamiento si cumplían con las necesidades de tratamiento de agua cruda.                       |
| EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL SECTOR LA LOMA DEL CABÍ, EN EL MUNICIPIO DE QUIBDO | La investigación científica se realizó con el fin de realizar una evaluación hidráulica y la aplicación de las tecnologías de potabilización, así como su eficiencia; adicional a esto se evalúa los procesos de operación. |
| EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO VALLE DE SAN JUAN (TOLIMA)               | La investigación científica tiene por objeto realizar una evaluación sobre el alcance de tratamiento de agentes contaminantes en el agua cruda correspondiente a la captación.                                              |

Figura 2. Investigaciones científicas significativas  
Autoría propia

Adicional, dentro de las investigaciones científicas previas que se han desarrollado con objeto de estudio similar se encuentra la evaluación de la planta de tratamiento de agua potable en el hospital departamental de Granada Meta que tenía por objeto mejorar y asegurar la eficacia del suministro del agua potable analizando las condiciones de operación. La anterior investigación tuvo como resultado la adecuación de las tecnologías de potabilización, y el mejoramiento de los procesos de operación de la planta.

Otra investigación realizada con el mismo objeto de estudio se realizó en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena, la que se evaluó técnicamente con el fin de optimizar tanto el diseño de la planta como sus operaciones en los procesos de purificación y tratamiento.

Ahora, la planta de tratamiento de agua potable de la inspección de Policía de Cambao tiene ciertas instalaciones existentes, que comprende un sistema de floculación hidráulica vertical, sedimentación de alta tasa, filtración rápida mixta descendente y desinfección, para que el fluido se deposite en un tanque de almacenamiento y posteriormente se dirigirá a la distribución. Además, la PTAP posee laboratorio para el control de calidad siendo operado por el funcionario a cargo.

## 4.2. MARCO TEÓRICO

La PTAP o planta de tratamiento de agua potable, son un complejo donde se tratan las aguas crudas para convertirlas en agua potable para el consumo humano. Para llegar a saber qué tipo de procesos se deben llevar a cabo, se hace suma importancia realizar una caracterización de la afluyente o cuerpo de agua de la cual se piense hacer la captación y dependiendo de las características físicas, químicas y biológicas que arroje el estudio, así mismo se estipula cuál de los siguientes procesos son requeridos dentro de la planta: aireación, coagulación, floculación convencional, sedimentación, filtración convencional, ablandamiento, oxidación química, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, filtración por adsorción y/o filtración optimizada. Todas las tecnologías anteriormente mencionadas se identifican en base a la normativa, dependiendo de la caracterización del agua que consiste en realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico que contiene el fluido ya sea para ser recolectado o para regresarlo a un cuerpo de agua o terreno, lo que permite identificar agentes contaminantes que tenga el agua cruda. A continuación, se pueden evidenciar en la figura 3 y 4 los agentes contaminantes que enuncia la normatividad nacional:

| Características físicas | Expresadas como                            |
|-------------------------|--------------------------------------------|
| Color aparente          | Unidades de Platino Cobalto (UPC)          |
| Olor y Sabor            | Aceptable ó no aceptable                   |
| Turbiedad               | Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT) |

Figura 3. Características físicas  
Autoría propia

| Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos | Símbolo                       |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Antimonio                                                       | Sb                            |
| Arsénico                                                        | As                            |
| Bario                                                           | Ba                            |
| Cadmio                                                          | Cd                            |
| Cianuro libre y disociable                                      | CN                            |
| Cobre                                                           | Cu                            |
| Cromo Total                                                     | Cr                            |
| Mercurio                                                        | Hg                            |
| Níquel                                                          | Ni                            |
| Plomo                                                           | Pb                            |
| Selenio                                                         | Se                            |
| Trihalometanos Totales                                          | THMs                          |
| Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)                     | HAP                           |
| Carbono Orgánico Total                                          | COT                           |
| Nitritos                                                        | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  |
| Nitratos                                                        | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |
| Fluoruros                                                       | F <sup>-</sup>                |
| Calcio                                                          | Ca                            |
| Alcalinidad Total                                               | CaCO <sub>3</sub>             |
| Cloruros                                                        | Cl <sup>-</sup>               |
| Aluminio                                                        | Al <sup>3+</sup>              |
| Dureza Total                                                    | CaCO <sub>3</sub>             |
| Hierro Total                                                    | Fe                            |
| Magnesio                                                        | Mg                            |
| Manganeso                                                       | Mn                            |
| Molibdeno                                                       | Mo                            |
| Sulfatos                                                        | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| Zinc                                                            | Zn                            |
| Fosfatos                                                        | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |

Figura 4. Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos  
Autoría propia

La caracterización del agua cruda orienta a la selección de las tecnologías de tratamiento de potabilización, para las que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, en la resolución 0799 del 2017 estipula dos tipos:

Tecnologías avanzadas en tratamiento de potabilización: Se usan membranas, procesos térmicos, oxidación avanzada o carbón activado. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2021).

Tecnología convencional: Se constituye, por lo general, por aireación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2021).

Así mismo, la norma establece las tecnologías existentes juntos con los agentes contaminantes que trata como se establece en la figura 5.

| TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO<br>CONTAMINANTE QUE SE VA A REMOVER | Aeración | Coagulación + Floculación + Sedimentación | Filtración Convencional | Ablandamiento | Oxidación Química | Microfiltración | Ultrafiltración | Nanofiltración | Ósmosis inversa | Electrodialisis inversa | Intercambio iónico | Filtración por adsorción | Filtración optimizada |
|---------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>Características físicas</b>                                |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |                       |
| Color aparente                                                |          | X                                         | X                       |               | X                 | X               | X               | X              | X               |                         |                    | X                        | X                     |
| Olor y sabor                                                  | X        |                                           |                         |               | X                 |                 |                 |                |                 |                         |                    | X                        |                       |
| Turbiedad                                                     |          | X                                         | X                       |               |                   | X               | X               |                |                 |                         |                    |                          | X                     |
| Sólidos disueltos totales                                     |          | X                                         | X                       |               |                   | X               | X               |                | X               | X                       | X                  |                          | X                     |
| <b>Características químicas inorgánicas</b>                   |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |                       |
| Antimonio                                                     |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                | X               | X                       |                    |                          |                       |
| Arsénico                                                      |          | X                                         | X                       | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  | X                        | X                     |
| Bario                                                         |          |                                           |                         | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          |                       |
| Cadmio                                                        |          | X                                         | X                       | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          | X                     |
| Cianuro libre y disociable                                    |          |                                           |                         |               | X                 |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |                       |
| Cloruros                                                      |          |                                           |                         |               |                   | X               |                 |                | X               | X                       |                    |                          |                       |
| Cobre                                                         |          | X                                         |                         | X             |                   |                 |                 |                | X               |                         | X                  |                          |                       |
| Cromo                                                         |          | X                                         | X                       | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          | X                     |
| Dureza                                                        |          |                                           |                         | X             |                   |                 |                 | X              | X               | X                       | X                  |                          |                       |
| Fluoruros                                                     |          |                                           |                         | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       |                    | X                        |                       |
| Fosfatos                                                      |          |                                           | X                       |               |                   |                 |                 |                | X               |                         |                    | X                        | X                     |
| Hierro                                                        | X        | X                                         | X                       | X             | X                 |                 |                 |                |                 |                         | X                  |                          | X                     |
| Manganeso                                                     | X        | X                                         | X                       | X             | X                 |                 |                 |                |                 |                         | X                  |                          | X                     |
| Mercurio                                                      |          |                                           |                         | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       |                    |                          |                       |
| Molibdeno                                                     |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    | X                        |                       |
| Níquel                                                        |          |                                           |                         | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          |                       |
| Nitratos                                                      |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          |                       |
| Nitritos                                                      |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          |                       |
| Plomo                                                         |          | X                                         |                         |               |                   |                 |                 |                | X               |                         | X                  |                          |                       |
| Selenio                                                       |          | X                                         |                         |               |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  | X                        |                       |
| Sulfatos                                                      |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 | X              | X               | X                       |                    |                          |                       |
| Trihalometanos Totales                                        | X        |                                           |                         |               | X                 |                 |                 | X              |                 |                         | X                  | X                        |                       |
| Zinc                                                          |          |                                           |                         | X             |                   |                 |                 |                | X               | X                       | X                  |                          |                       |
| <b>Características químicas orgánicas</b>                     |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |                       |
| Carbono Orgánico Total                                        |          | X                                         |                         |               |                   | X               | X               | X              | X               |                         |                    | X                        |                       |
| Pesticidas/Herbicidas                                         |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 | X              | X               |                         |                    | X                        |                       |
| Orgánicos sintéticos                                          |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                | X               |                         |                    | X                        |                       |
| Orgánicos volátiles                                           | X        |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    | X                        |                       |
| <b>Características microbiológicas</b>                        |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |                       |
| Escherichia Coli                                              |          |                                           | X                       |               |                   | X               | X               |                |                 |                         |                    |                          | X                     |
| Giardia y Cryptosporidium                                     |          |                                           |                         |               |                   | X               | X               |                |                 |                         |                    |                          | X                     |

Figura 5. Tecnologías de Potabilización  
(Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2021)

Algunos de los contaminantes físicos que tratan las tecnologías convencionales son:

4.2.1. **Color.** Es una de las características organolépticas del agua. Se ve afectada por material dentro de ella bien sea suspendido, disuelto o coloidal de procedencia orgánica o inorgánica.

*El color en cuerpos de agua natural podría reflejar la presencia de moléculas orgánicas complejas derivadas de materias vegetales (húmicas) tales como turba, hojas, ramas, etcétera. Su efecto puede ser aumentado por la presencia de materia en suspensión, pero esto se elimina normalmente en el análisis por filtración. (Martínez & Osorio, 2018)*

4.2.2. **Olor y sabor.** Estas características en las aguas tratadas son nulas, es decir, que no cuenta con un olor ni con sabor o, en otras palabras, es inoloro e insípida, respectivamente. Sin embargo, estas propiedades se pueden ver afectadas por la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos cuando se encuentra en estado natural.

*El agua siempre es un líquido **incoloro, inodoro e insípido**. Se define como incolora, porque es transparente; inodoro, porque no huele a nada; e insípida porque no sabe tampoco a nada... En cuanto a la ausencia de sabor, también es cuestionable, ya que los minerales que contienen le pueden conferir distintos aromas en función del tipo de mineral y la proporción y en la que se encuentre en ella... Las **aguas ferruginosas** o **aguas amargas**, por ejemplo, se detectarían cuando la presencia es de 0,0000099 moles por litro, es decir, en proporciones todavía más bajas. Para las aguas dulces la proporción sería superior, de 0,067 moles por litro, y para las aguas mineralizadas con tonos ácido, sería de 0,005 moles por litro. (Eden Springs, s.f.)*

| Naturaleza          | Origen                              |
|---------------------|-------------------------------------|
| Olor balsámico      | Flores                              |
| Dulzor              | <i>Coelosphaerium</i>               |
| Olor químico        | Aguas residuales industriales       |
| Olor a cloro        | Cloro libre                         |
| Olor a hidrocarburo | Refinería de petróleo               |
| Olor medicamentoso  | Fenol, yodoformo                    |
| Olor a azufre       | Ácido sulfhídrico, H <sub>2</sub> S |
| Olor a pescado      | Pescado, mariscos                   |
| Olor séptico        | Alcantarilla                        |
| Olor a tierra       | Arcillas húmedas                    |
| Olor fecaloide      | Retrete, alcantarilla               |
| Olor a moho         | Cueva húmeda                        |
| Olor a legumbres    | Hierbas, hojas en descomposición    |

Figura 6. Olores del agua y su origen  
(Barrenechea Martel, s. f)

| Sustancia                    | Netamente reconocible | Debidamente perceptible | No apreciable |
|------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| $\text{CaCl}_2; \text{NaCl}$ | 600                   | 300                     | 150           |
| $\text{MgCl}_2$              | 100                   | 60                      | —             |
| $\text{FeSO}_4$              | —                     | 3,5                     | 1,75          |
| $\text{CuSO}_4$              | 7                     | 3,5                     | 1,75          |
| $\text{H}_2\text{S}$         | 1,15                  | 0,55                    | 0,30          |
| $\text{H}_2\text{SO}_4$      | 4                     | 2                       | 1             |
| $\text{Cl}_2$                | 0,1                   | 0,05                    | 0,05          |
| $\text{Ca}(\text{OCl})_2$    | 0,5                   | 0,20                    | 0,20          |

Figura 7. Límites de percepción de algunas sales  
(Barrenechea Martel, s. f)

**4.2.3. Turbiedad.** Este factor va ligado al color del agua y es una propiedad que se puede percibir de manera organoléptica. El aumento de esta se debe a la presencia de material en suspensión dentro del agua que disminuye la transparencia que esta posee. Dentro de los contaminantes se encuentran:

- *Presencia de fitoplancton, y / o crecimiento de las algas;*
- *Presencia de sedimentos procedentes de la erosión;*
- *Presencia de sedimentos resuspendidos del fondo (frecuentemente revueltos por peces que se alimentan por el fondo, como la carpa);*
- *Descarga de efluentes, como por ejemplo escorrentías urbanas, mezclados en el agua que se analiza.* (Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S, 2022)

*La turbidez es la falta de transparencia, debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto. Para el desarrollo de las plantas y animales acuáticos, es mejor que el agua sea lo más transparente posible, aunque un agua turbia no significa necesariamente que esté contaminada, ya que la turbidez puede estar ocasionada por fenómenos naturales, por ejemplo la presencia de arcillas o limos procedentes de la erosión de los terrenos de alrededor o bien la descomposición de la vegetación de la ribera* (Universidad Complutense de Madrid, s.f).

Ahora bien, uno de los mayores inconvenientes con la turbidez y más allá del impacto estético, es la incidencia que tiene en la salud debido a que dentro de las partículas en suspensión se pueden encontrar patógenos biológicos y hasta material mineral y/o metales pesados que se adhieren a los sedimentos.

*Un agua turbia no solamente tiene un impacto estético negativo para el consumidor, la turbidez es también un indicativo de una mayor probabilidad de contaminación microbiológica y por compuestos tóxicos, que se adhieren a la materia dispersa en el*

agua. Y, consecuentemente, indica también una mayor dificultad para la desinfección efectiva del agua (Higiene Ambiental, 2018).

Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. En muchos casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas. También diversas sustancias químicas peligrosas como metales pesados, organoclorados y otros se unen sobre todo a los ácidos húmicos y otras partículas orgánicas (Marcó, Azario, Metzeler, & Garcia, 2004).

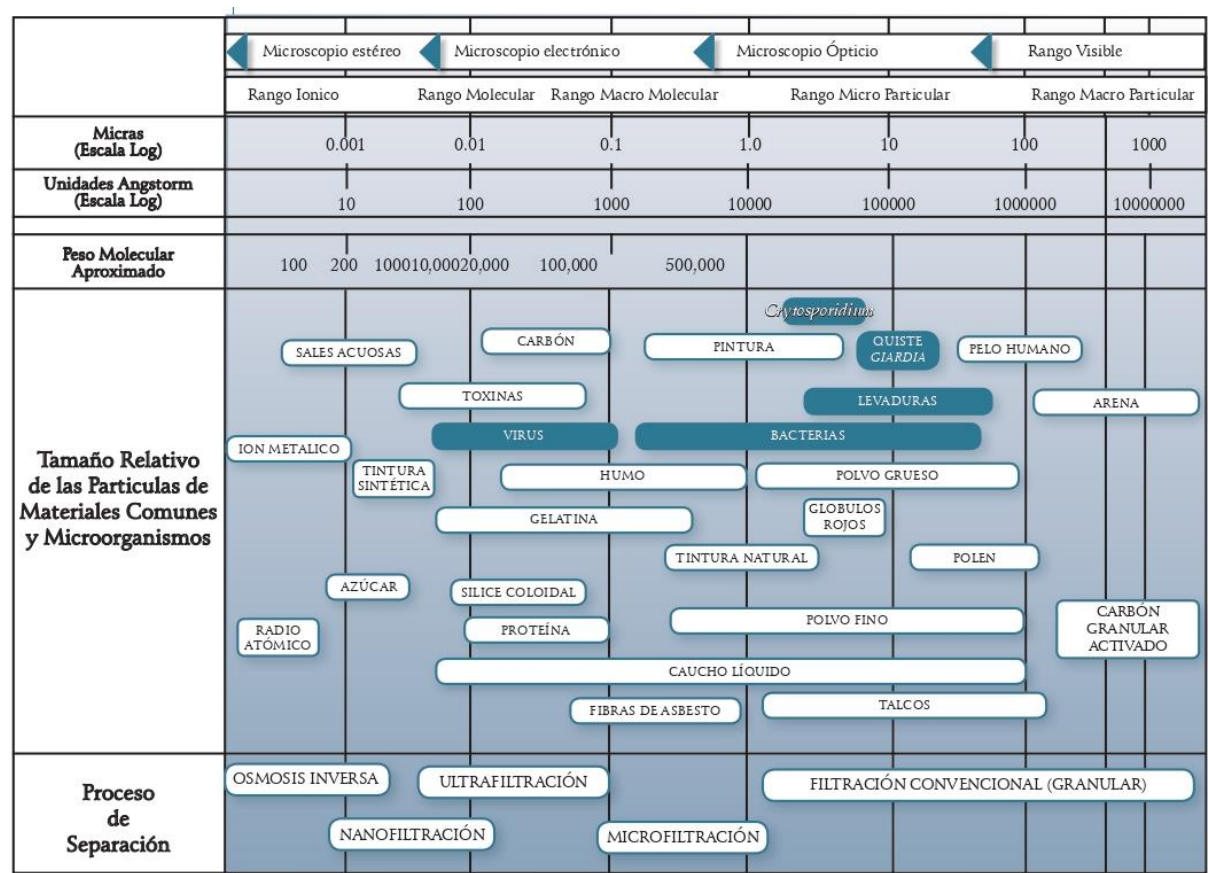


Figura 8. Espectro de la filtración (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., 2010)

Parte de los contaminantes químicos que se tratan con las tecnologías convencionales son:

4.2.4. **Fosfatos.** Son compuestos donde su fundamento es el anión de fósforo. Se puede encontrar de manera natural en rocas y de manera inorgánica dentro de los fertilizantes. Debido a lo anterior, este puede llegar a las fuentes de agua por medio de aguas de escorrentía contaminándolas y afectando la salud del cuerpo de agua y de los seres que se surten de él.

“Los fosfatos son un grupo, muy amplio y complejo, de minerales que tienen como característica común la presencia del anión (PO). El fosfato más importante y abundante en rocas comunes, como accesorio, es el apatito (Ca(PO)(OH,F,Cl))” (Gil-Crespo, 2022).

*Los abonos inorgánicos están constituidos por diversas clases de fosfatos solubles, los más comunes de los cuales derivan de los aniones meta- ( $\text{PO}_3^-$ ), piro- ( $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ) y ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Debido a su elevada solubilidad, estos aniones son arrastrados fácilmente por las aguas superficiales hacia ríos, acuíferos, etc. Otra fuente de fosfatos la constituyen los vertidos urbanos que contienen detergentes: para aumentar su eficacia, algunos detergentes utilizan fosfatos inorgánicos en su composición como agentes alcalinizadores. Las aguas naturales contienen normalmente cantidades de fosfatos por debajo de 1 mg/l. Cantidades superiores de estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas que consumen el oxígeno del medio acuático y provocan la desaparición de especies vegetales y animales (Universidad Pablo de Olavide, 2003).*

**4.2.5. Hierro y Manganeseo.** Estos elementos suelen venir de la mano, sin embargo, la presencia más común entre estos dos es el hierro y aunque no causen un impacto a la salud humana, sí causan una gran afectación en las características organolépticas del agua. El origen de estos dos se puede dar dentro de rocas o minerales o dentro de las redes de abastecimiento ya que se pueden encontrar sistemas con tuberías de hierro.

Las afectaciones que estos pueden provocar van más a nivel estético del agua y los inconvenientes con la dureza del agua y la obstrucción de las tuberías. Cuando hay presencia de hierro, los artículos que entran en contacto con él suelen tomar tonalidades rojizas mientras que con el manganeso son marrones-negro.

*Ni el hierro ni el manganeso en agua presentan un peligro para la salud. Sin embargo, su presencia en el agua puede causar sabor, manchas y los problemas de acumulación. Dado que el hierro y el manganeso son químicamente similares, causan problemas similares. El hierro o hierro provocará manchas de color marrón rojizo de lavandería, porcelana, platos, utensilios y hasta cristalería. El manganeso actúa de color marrón-negro... Los depósitos de hierro y manganeso se acumulan en las tuberías, tanques de presión, calentadores de agua y suavizadores de agua. Esto reduce la cantidad y la presión del agua. El hierro y las acumulaciones de manganeso se convierten en un problema económico cuando se deben reemplazar el suministro de agua o equipo de ablandamiento. Además, el bombeo de agua a través de tuberías bloqueadas o calentar el agua con varillas de calor recubiertas de hierro o minerales de manganeso aumentan los costos de energía (PureWater SAS., s.f.).*

*El hierro y el manganeso son elementos comunes en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo y las piedras puede disolver estos minerales y acarrearlos hacia el agua subterránea. Además, los tubos de hierro pueden corroerse y lixiviar (disolver) hierro dentro del abastecimiento de agua residencial. (McFarland & Dozier, s.f)*

**4.2.6. Plomo.** La presencia de este debe de ser nula ya que es un metal tóxico.

*Se ha reportado que las concentraciones de plomo en el agua natural 0.4 – 0.8 mg/l (depósitos de agua encontrados en montañas de caliza y galena). En aguas superficiales y aguas crudas tienen una concentración de 0.04 – 0.01 mg/l (Carbotecnia, 2021).*

Las afectaciones en la salud suelen variar según la etapa o estado en que se encuentre la persona ya que, aunque la concentración sea la misma, los efectos pueden ser mayores o menores dependiendo de los factores mencionados.

- Niños:
  - “Problemas de conducta y aprendizaje
  - Coeficiente intelectual (IQ) deficiente e hiperactividad
  - Crecimiento tardío
  - Problemas de audición
  - Anemia

Rara vez, la ingesta de plomo puede causar convulsiones, estado de coma e incluso la muerte” (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2022).

- Mujeres embarazadas:
  - “Crecimiento limitado del feto
  - Nacimiento prematuro” (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2022)
- Adultos:
  - “Efectos cardiovasculares, presión arterial elevada e incidencia de hipertensión.
  - Disminución de la función renal.
  - Problemas de reproducción (tanto en hombres como en mujeres)” (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2022).

Las tecnologías convencionales son totalmente adecuadas para el tratamiento de las características microbiológicas del agua, además de que también se hace un tratamiento de desinfección que, en los sistemas convencionales, se hace por medio de cloro bien sea en estado granular, líquido o gaseoso. Aun así, se debe verificar cuál es la tecnología de tratamiento adecuada (ver figura 5).

*La desinfección con cloro gaseoso o mediante sales de cloro conocidas como hipocloritos sigue siendo la mejor garantía de un agua microbiológicamente apta para el consumo humano debido a su relativamente bajo costo, pero principalmente por su efecto germicida residual.*

*La cloración puede ser empleada en los siguientes casos:*

*a. Desinfección de las aguas.*

b. Control de olores y sabores

c. Prevención del crecimiento de algas y microorganismos.

d. Desinfección preventiva buscando el efecto residual del cloro en el agua.  
(Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., 2010)

Por otro lado, algunos de los componentes que se pueden tratar con las tecnologías de tratamiento avanzadas son:

4.2.7. **Mercurio.** Este elemento se puede encontrar en el aire, agua o suelo bien sea de manera natural por procesos que ocurren en la naturaleza o por emisiones de tipo industrial. “El mercurio metálico se puede encontrar en el aire, el agua o la tierra debido a procesos naturales, y a través de emisiones industriales al aire y el agua” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2022).

*La contaminación acuática por mercurio, generada por el proceso de industrialización o por procesos naturales, constituye uno de los problemas ambientales más críticos en la actualidad, debido a su alta toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumulación y bioconcentración (también conocida como biomagnificación). En los ambientes contaminados por metales pesados se altera la capacidad de supervivencia de los organismos, lo que afecta la dinámica poblacional de las especies y, por tanto, la estructura y función ecosistémica. (Posada & Arroyave, 2006)*

En Colombia, la principal causa de la contaminación en las afluentes se debe a la minería ilegal, tal cual como lo comenta Claudia Gafner-Rojas.

*La causa principal de la contaminación por mercurio en Colombia tiene que ver con las prácticas de minería ilegal, especialmente de la extracción de oro. A pesar de representar dichas actividades, una fuente de empleo y supervivencia importante para muchas comunidades, también representa una fuente compleja de impactos ambientales que generan efectos nefastos en los cuerpos de agua, generando consecuencias negativas en la fauna acuática y el medio ambiente en general (Gafner-Rojas, 2020).*

Dentro de las implicaciones que tiene el mercurio en la salud están: afectación en el sistema nervioso, inmune, aparato digestivo, piel, pulmones, riñones y ojos (Organización Panamericana de la Salud, s. f)

4.2.8. **Nitritos y nitratos.** Los nitritos y nitratos están relacionados con el ciclo del nitrógeno en el suelo debido a que su contaminación se debe principalmente a los fertilizantes. Las afectaciones en la salud se ven generadas, en su mayoría, por los nitritos como consecuencia de la producción de compuestos cancerígenos.

*Los niveles de nitratos y nitritos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua. Ambos se encuentran relacionados con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores, aunque los nitratos son añadidos por medio de fertilizantes*

*que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten. Los nitritos también se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados y se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales.*

*Los nitratos no se consideran en sí tóxicos, pero la ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético. Por otra parte, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos, las nitrosaminas, por su reacción con aminas secundarias o terciarias, además de interaccionar con los glóbulos rojos de la sangre produciendo metahemoglobinemia que impide el transporte de oxígeno al cuerpo (Cabrera Molina, Hernández Garcíadiego, Gómez Ruíz, & Cañizares Macías, 2003).*

#### **4.2.9. Cianuro.**

*Muchos de los cianuros en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero y facilidades públicas para el tratamiento de aguas residuales. Otras fuentes de cianuro son el tubo de escape de vehículos, liberaciones desde algunas industrias químicas, la incineración de basura municipal y el uso de plaguicidas que contienen cianuro (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, s. f).*

El contacto con el cianuro conlleva diversas afectaciones y que, dependiendo de la concentración, puede llegar a causar la muerte por problemas cardíacos, cerebrales o respiratorios.

#### **4.2.10. IRCA.** El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano es el índice o grado de riesgo que representa el agua según sus características físicas, químicas y microbiológicas.

“Es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano” (Ministerio de la Protección Social, 2007).

Como ya se mencionó, el IRCA nos indica el grado de riesgo según los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que esta tenga por lo que, para su cálculo, se asignaron los siguientes valores según la característica que esta incumpla.

| Característica                  | Puntaje de riesgo |
|---------------------------------|-------------------|
| Color Aparente                  | 6                 |
| Turbiedad                       | 15                |
| pH                              | 1.5               |
| Cloro Residual Libre            | 15                |
| Alcalinidad Total               | 1                 |
| Calcio                          | 1                 |
| Fosfatos                        | 1                 |
| Manganeso                       | 1                 |
| Molibdeno                       | 1                 |
| Magnesio                        | 1                 |
| Zinc                            | 1                 |
| Dureza Total                    | 1                 |
| Sulfatos                        | 1                 |
| Hierro Total                    | 1.5               |
| Cloruros                        | 1                 |
| Nitratos                        | 1                 |
| Nitritos                        | 3                 |
| Aluminio (Al <sup>3+</sup> )    | 3                 |
| Fluoruros                       | 1                 |
| COT                             | 3                 |
| Coliformes Totales              | 15                |
| Escherichia Coli                | 25                |
| Sumatoria de puntajes asignados | 100               |

Figura 9. Puntaje de riesgo  
(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

El cálculo del IRCA por muestra se realiza de la siguiente manera:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntaje de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntaje de riesgo asignado a todas las características asignadas}} * 100$$

Según el puntaje que se obtenga se hará la clasificación del riesgo tal cual como se indica en la resolución 2115.

| <b>Clasificación IRCA (%)</b> | <b>Nivel de Riesgo</b>  | <b>IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>                                 | <b>IRCA mensual (Acciones)</b>                                                                                                                                 |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 80.1 - 100                    | INVIABLE SANITARIAMENTE | Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General. | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional. |
| 35.1 - 80                     | ALTO                    | Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.                                                           | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.           |
| 14.1 – 35                     | MEDIO                   | Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.                                                                      | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.                                                                                    |
| 5.1 - 14                      | BAJO                    | Informar a la persona prestadora y al COVE.                                                                                        | Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.                                                                                                 |
| 0 - 5                         | SIN RIESGO              | Continuar el control y la vigilancia.                                                                                              | Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.                                                                                                        |

Figura 10. Nivel de riesgo  
(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

### 4.3. MARCO CONCEPTUAL

El agua potable para consumo humano es el resultado del sometimiento del agua cruda a un tratamiento o potabilización, el cual comprende una serie de procesos con el fin de cumplir con los valores permisibles de las características físicas, químicas y microbiológicas para determinarla apta para el consumo humano. (Forero López, Hernández Restrepo, & Patiño González, 2019).

El sistema de potabilización de tratamiento de agua potable comprende varias vertientes que miden la calidad de la calidad del servicio, esta comprende los tres parámetros principales que son:

- 4.3.1. **Cantidad.** Este es un indicador del caudal de agua que suministra la planta de tratamiento de agua potable con total eficiencia a la red de suministro, satisfaciendo las necesidades poblacionales de consumo de agua.
- 4.3.2. **Continuidad.** La continuidad es el indicador de que el suministro de agua potable es constante en un volumen a medida del paso del tiempo, sin tener alteraciones o restricciones en el suministro.
- 4.3.3. **Calidad.** La calidad es el indicador del cumplimiento de los parámetros normativos de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua potable, teniendo como referencia unos valores máximos permisibles de los agentes contaminantes.

Esta calidad es medida en función de las enfermedades ocurrentes de agentes contaminantes en el agua, a lo que, “el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) establece grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas de agua para consumo humano.” (Forero López, Hernández Restrepo, & Patiño González, 2019).

- 4.3.4. **Caracterización.** Es el proceso por medio del cual se hace la identificación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua con el fin de verificar su calidad y saber qué compuestos hay dentro de ella.

La caracterización del agua es el primer paso que se debe hacer para así saber qué tecnologías, procesos o sistemas de tratamiento se requieren para lograr una calidad óptima del agua.

“Cuando hablamos de caracterización del agua nos referimos al proceso de identificación y cuantificación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, con el objetivo de comprobar si el agua es apta para su uso o consumo” (SEMITECH, s. f).

*La caracterización de aguas es un proceso mediante el cual se definen y clasifican los distintos elementos en el agua. Mediante esta caracterización se puede determinar si el agua es apta para su uso, ya sea en cultivos, limpieza, u otros. E incluso si es apta para consumir para los seres humanos o para los animales... El momento de realizar la*

*caracterización de aguas, hay varios puntos que deben tenerse en cuenta. Algunos factores físicos son: el olor, textura, turbiedad, color, entre otros. Y algunos químicos son: la acidez, la cantidad de compuestos como cloro, amoníaco, fosfatos, sulfatos, entre otros (Engeikos, 2021).*

Según la resolución 0330 del 2017, se deben realizar “como mínimo tres muestras puntuales en una semana, cada una en un intervalo mayor a 24 horas, en un período no menor a tres semanas” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2017) en temporada seca y de lluvias; evaluando los siguientes aspectos del agua:

*...se deberán, como mínimo, determinar in situ: temperatura, pH y conductividad; y en el laboratorio: turbiedad, color, pH, alcalinidad, hierro, manganeso, cloruros, sulfatos, nitratos, dureza, nitrógeno y fósforo (estos dos últimos en el caso de presencia de actividades agrícolas). Como parámetro microbiológico se tendrá que determinar E. Coli, y en el caso de confirmarse su presencia, deberá verificarse si existen otros patógenos en el cuerpo de agua abastecedor, a partir de las inspecciones sanitarias y el mapa de riesgo de calidad de agua.*

**4.3.5. Características del agua.** Las características o propiedades del agua se dividen y clasifican en tres categorías: físicas, químicas (orgánicas e inorgánicas) y microbiológicas. Cada una de ellas se subdivide en determinados componentes que se evalúan para determinar la calidad del agua que hay presente (ver figura 5).

**4.3.6. Agua superficial.** Son todos aquellos cuerpos de agua que encontramos en la superficie terrestre bien sean lénticos o lóticos.

*Aguas superficiales continentales son todas las aguas quietas o corrientes en la superficie del suelo. Se trata de aguas que discurren por la superficie de las tierras emergidas (plataforma continental) y que, de forma general, proceden de las precipitaciones de cada cuenca (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).*

Los cuerpos de agua lénticos son agua que se encuentran quietas, es decir, estancadas, por ejemplo, lagunas, lagos, humedales, entre otros. Mientras que los cuerpos de agua lóticos son aquellos que están en movimiento tales como ríos, riachuelos, arroyos, etc.

**“Aguas lóticas o corrientes:** masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección como ríos, manantiales, riachuelos, arroyos, ramblas” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

**“Aguas lénticas:** aguas interiores quietas o estancadas tales como los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).



Figura 11. Aguas lénticas y lólicas  
(Cartón, 2020)

**4.3.7. Tecnología de tratamiento.** Son aquellos dispositivos o conjunto de operaciones que se implementan para tratar las aguas crudas con el fin de modificar sus características de tal modo en que se convierta en un fluido apto para consumo humano. “Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas” (Ministerio de Salud Pública, 1998). En la figura 5 se puede observar las tecnologías de tratamiento junto con los contaminantes sobre los que impacta.

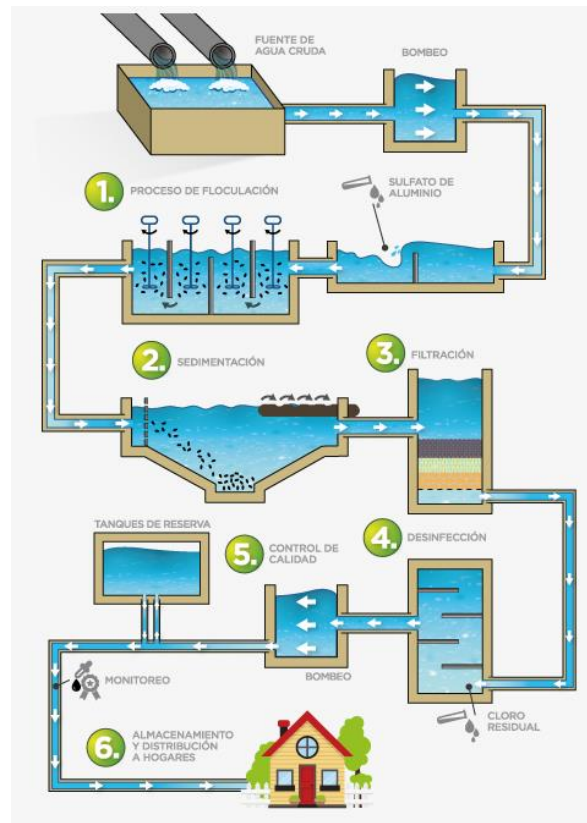


Figura 12. Tratamiento convencional  
(Aguas de Cartagena, s. f)

4.3.8. **PTAP.** Planta de Tratamiento de Agua Potable o por sus siglas PTAP. Es la planta o las instalaciones donde se tratan las aguas crudas de captación y por donde pasarán por los procesos y tecnologías pertinentes para que al finalizar sea un líquido apto para el consumo humano. Pueden estar construidas en mampostería, acero o más comúnmente en concreto. Ahora bien, no todas las PTAP cuentan con los mismos procesos o tecnologías de tratamiento, para determinar cuáles son las adecuadas, se debe realizar con anterioridad un estudio del agua, es decir, una caracterización para posteriormente acudir a la normatividad vigente (resolución 0799 de 2021) y verificar qué tecnologías son las que tratan el patógeno contaminante identificado a través de los estudios realizados.

*Las plantas de tratamiento de agua potable se construyen en acero, mampostería o concreto, cerca de los yacimientos de agua para purificarla y ofrecerla para el consumo de comunidades o campamentos obreros que no tienen acceso a una fuente municipal de agua como las que hay en las ciudades o municipios pequeños y medianos.... Cada planta se adecúa para tratar aguas con distintas características como turbiedad, caudal y color. Es importante conocer con antelación el tipo de agua a tratar para proveer la solución más conveniente, así como también la más económica en términos de mantenimiento.... La planta de tratamiento de agua potable funciona a través de mecanismos de bombas de aire y filtros para la remoción de sólidos. Dependiendo del tipo de planta de tratamiento de agua potable, se pueden fabricar con distintos tipos de filtro; en algunos casos configurados, en serie o en paralelo y de forma doble o multicapa (en estos casos la filtración es más rigurosa para purificar y pulir aguas de mejor calidad). En otros casos se tratan aguas de mayor turbiedad (como las aguas de pozo) incluso con sólidos como el hierro o el manganeso y se procesan para eliminar el mal olor de igual manera. Si se desea, también es posible instalar tanques de clarificación para el agua ( ACUATECNICA, 2016).*



Figura 13. PTAP  
(Z.R. Ingeniería S.A., s. f)

4.3.9. **Ensayo de jarras.** También conocido como test de jarras. Lo que se busca con él es simular los procesos de floculación-coagulación y sedimentación para así determinar las dosis óptimas de coagulante para las turbiedades del cuerpo de agua de captación en base a sus características. “Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente” (Universidad de Sonora, s. f).

*El ensayo de coagulación - floculación se efectúa para determinar los productos químicos, las dosificaciones, y las condiciones requeridas para lograr resultados óptimos.*

*Este procedimiento permite la evaluación de diversos coagulantes y ayudas coagulantes utilizadas en el tratamiento de agua y agua de desecho, para la misma agua y para las mismas condiciones experimentales.*

*Mediante este procedimiento también se pueden evaluar los efectos de la concentración de los coagulantes y de las ayudas coagulantes así como su orden de adición.*

*Adicionalmente, la información obtenida con la realización de los ensayos, se pueden usar tanto en el diseño de plantas de tratamiento de aguas como en su operación. (ICONTEC, 1996)*

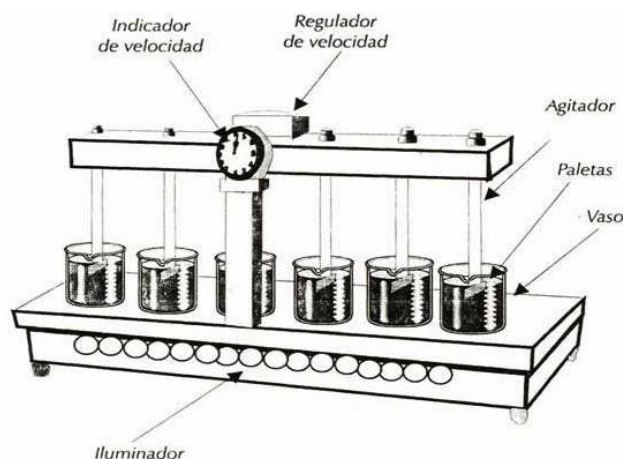


Figura 14. Test de jarras  
(SENA, 1999)

4.3.10. **RAS.** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, es el documento donde se dan las directrices y recomendaciones para el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo. Este reglamento cuenta con 3 secciones divididas en 8 títulos.

- Sección I: Título A (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-Revisión 1)
- Sección II: Títulos B, C, D, E, F, G (Manuales de Acueducto, Potabilización, Alcantarillados, Tratamiento de aguas residuales, Aseo urbano, Aspectos complementarios de construcción de obras civiles)
- Sección III: Título H (Compendio de la Normatividad Técnica Y Jurídica)

*El Reglamento técnico de Agua y Saneamiento (RAS) está compuesto por una parte obligatoria, principalmente la Resolución 1096 de 2.000, y otra parte, de manuales de prácticas de buena ingeniería, conocidos como los títulos del RAS, en donde se realizan recomendaciones mínimas para formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con una calidad determinada (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio , 2015).*

Sin embargo, en el 2017, el RAS2000 fue derogado por la resolución 0330 de ese año y que, a su vez, fue modificada por la resolución 0799 de 2021. “Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2021).

*“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2017).*

#### 4.3.11. Potabilización del agua.

*La potabilización del agua es un proceso por el que se realiza el tratamiento del agua con el objetivo de convertirla en apta para su consumo sin que presente ningún tipo de riesgo para la salud. En las diferentes etapas de la potabilización del agua se llevan a cabo varios procesos y se usan tecnologías sofisticadas para eliminar todos los elementos nocivos para los seres humanos (Fundación Aquae, s.f).*

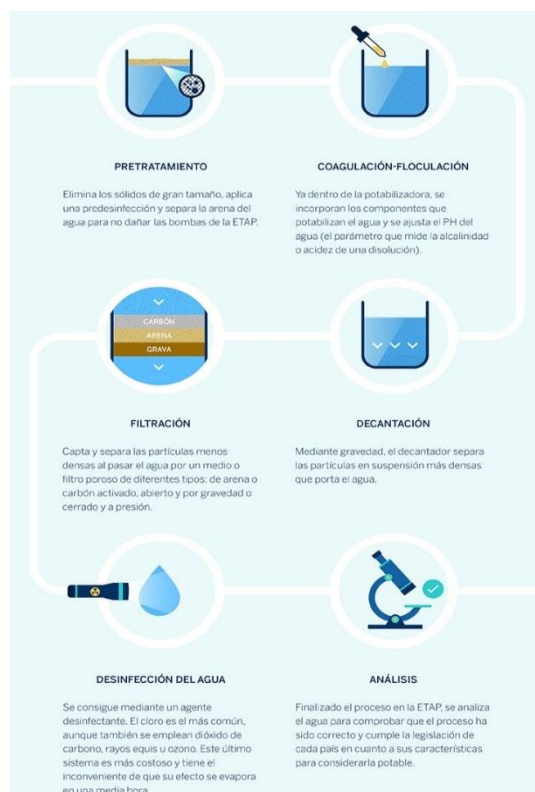


Figura 15. Fases convencionales de la potabilización del agua (BBVA, 2021)

#### 4.4. MARCO LEGAL

Tabla 1. Normatividad

| <b>NORMA</b>                                                                        | <b>CRITERIO DE APLICACIÓN</b>                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Constitución Política de Colombia 1991</b>                                       | Es la carta magna de la República de Colombia que estipula y reconoce todos los derechos, deberes y libertades mediante una democracia de libre participación en función de un modelo político, económico y social. |
| <b>Resolución 2115 de 2007</b>                                                      | Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.                                               |
| <b>Resolución 1615 de 2015</b>                                                      | Por la cual se autorizan laboratorios para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano.                                                                             |
| <b>Resolución 0330 de 2017</b>                                                      | Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 02 de 2001, 0668 de 2003, 159 de 2005, 17 de 2005 y 2320 de 2009. |
| <b>Resolución 0799 de 2021</b>                                                      | Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017                                                                                                                                                                  |
| <b>Decreto 1575 de 2007</b>                                                         | Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.                                                                                                        |
| <b>Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS</b> | Compila requisitos técnicos para el diseño, operación, mantenimiento y demás actividades relacionadas con los servicios de acueducto y alcantarillado.                                                              |
| <b>NTC-ISO 5667-2</b>                                                               | Gestión Ambiental, Calidad del Agua, Muestreo, Técnicas Generales de Muestreo.                                                                                                                                      |
| <b>NTC-ISO 5667-3</b>                                                               | Directrices para la preservación y manejo de las muestras                                                                                                                                                           |
| <b>NTC-ISO 5667-5</b>                                                               | Directrices para el muestreo de agua potable de instalaciones de tratamiento y sistemas de distribución por tubería.                                                                                                |

Autoría propia

#### 4.5. MARCO GEOGRÁFICO

Cambao es una inspección o centro poblado que se encuentra bajo la jurisdicción del municipio de San Juan de Rioseco que a su vez está dividido políticamente por 12 veredas. “El Municipio tiene tres centros urbanos que son: cabecera Municipal que cuenta con 8 barrios, Cambao con 3 barrios y San Nicolás con uno. Y está dividido políticamente en 12 veredas” (PRIETO, 2020)

*El centro poblado de la Inspección de Cambao está ubicado al occidente del Municipio en la ribera Oriental del Río de la Magdalena, siendo el centro poblado puerto sobre el mismo río. Los límites de la vereda Cambao están definidos por el Norte desde la desembocadura de la Quebrada Chaguaní en el Magdalena. Aguas arriba por este río hasta cerca del Cerro de Paleta de donde parte una línea recta, que pasando por la parte más alta del citado cerro llegue hasta el Boquerón de Capira. De este punto en dirección Sur y pasando por el Cerro del azúcar en línea recta hasta encontrar el Rioseco de Beltrán (Rioseco de las Palmas), por este río aguas abajo hasta su desembocadura en el Magdalena y de este sitio y agua abajo por el río la Magdalena hasta la desembocadura del río Chaguaní, punto de partida del primer lindero. (PRIETO, 2020)*

(Ver anexos 1, 2 y 3).

## 4.6. MARCO DEMOGRÁFICO

Tomando como referencia el geoportal del DANE en el cual se encuentra la base de datos del censo realizado en el año 2018, tenemos que en el municipio de San Juan de Rioseco hay una población total de 7547 habitantes dividiéndose en 2661 en su cabecera municipal y 4.886 entre sus centros poblados y rural disperso.

|                     |                                 | CNPV 2018  |
|---------------------|---------------------------------|------------|
| Colombia            | Cabecera                        | 33.905.550 |
|                     | Centro poblado y Rural disperso | 9.929.774  |
| Cundinamarca        | Cabecera                        | 2.042.247  |
|                     | Centro poblado y Rural disperso | 750.630    |
| San Juan de Rioseco | Cabecera                        | 2.661      |
|                     | Centro poblado y Rural disperso | 4.886      |

Figura 16. Población San Juan de Rioseco (DANE, 2018)

Dentro de esos 4886 habitantes se encuentra la población de Cambao la cual consiste en 1362. Para lo anterior, se acudió nuevamente al geoportal del DANE, sin embargo, se hizo uso de otra herramienta donde en base al censo realizado en el año 2018 se puede hacer un mapeo de la población usando como fundamento la densidad poblacional de la zona delimitada.

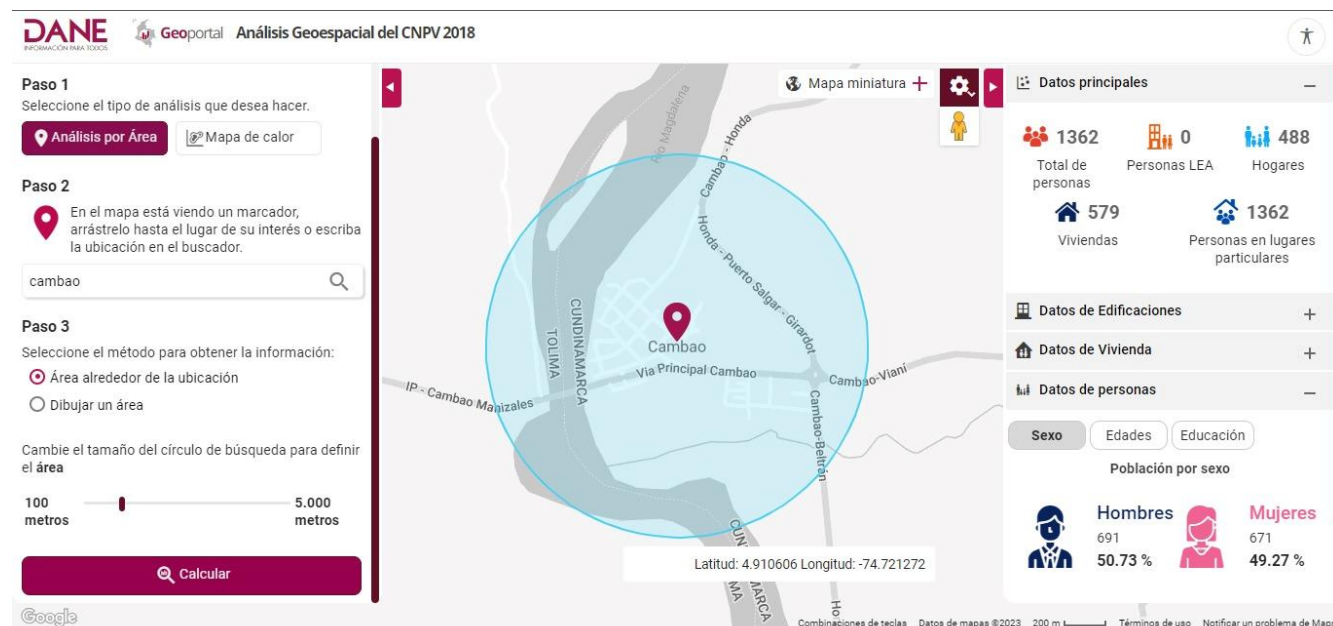


Figura 17. Población Cambao (DANE, 2018)

Adicional a la población general, se extrae la población por grupos decenales donde se deja en evidencia que más del 52% de sus habitantes se encuentran dentro de los rangos de 0 a 19 años y mayores de 60 años.

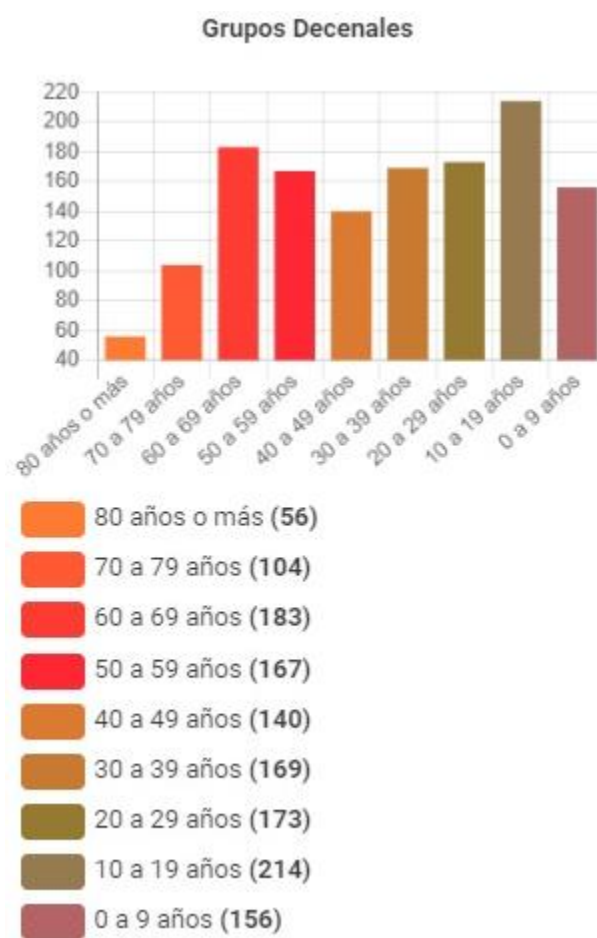


Figura 18. Grupos decenales de habitantes Cambao (DANE, 2018)

## 5. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

El enfoque o tipo de estudio presente en el desarrollo de la investigación se realizará de modo combinada, es decir, mixta, lo que presentara mayor exactitud en la información recolectada, analizada y procesada para posteriormente tener un resultado o producto de investigación más completo. Este método de estudio da acceso a profundizar más en la investigación, tal como la licenciada Alicia Hamui-Sutton lo comenta “Los métodos mixtos (MM) combinan la perspectiva cuantitativa (cuanti) y cualitativa (cuali) en un mismo estudio, con el objetivo de darle profundidad al análisis...” (2013). Sin embargo, además de ser una investigación cuantitativa y cualitativa, tiene un diseño metodológico descriptivo y exploratorio en la que se comprenden visitas técnicas a la PTAP para realizarse reconocimiento y diagnóstico de los estados y condiciones actuales. Además, es necesario el acceso a portales gubernamentales para extraer datos demográficos, normas y aquella información que sea necesaria y se encuentre disponible en los mismos; también, se verán involucrados algunos programas de georreferenciación y diseño.

Tabla 2. Fases

| FASE | ACTIVIDADES                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Realizar levantamiento de la estructura hidráulica y de las instalaciones existentes de la PTAP.      |
|      | Diagnosticar el protocolo de operación de la PTAP.                                                    |
|      | Realizar cálculos hidráulicos necesarios para la PTAP                                                 |
| 2    | Realizar caracterización física de agua cruda                                                         |
|      | Calcular curva de calibración para la estimación de dosis optima de coagulante.                       |
|      | Realizar caracterización química de agua cruda.                                                       |
|      | Realizar estudio microbiológico de agua cruda potable en función de la caracterización.               |
|      | Establecer tecnologías de potabilización de agua potable en función de la caracterización.            |
| 3    | Evaluar las tecnologías existentes en contraste con las necesarias para el tratamiento de agua cruda. |
|      | Proponer alternativas en los procesos de operación de la PTAP.                                        |
|      | Proponer alternativas de mejora en el diseño de la PTAP.                                              |

Autoría propia

## 6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los pilares durante el proceso de investigación y elaboración del presente trabajo investigativo fueron las salidas de campo tanto a la PTAP como a la bocatoma. Gracias a esto, se recolectó información sobre el funcionamiento e hincapiés de la planta, las tecnologías presentes, sus fuentes de captación y demás información necesaria para la identificación de características de estas.

### FUENTES DE CAPTACIÓN

Dentro de la práctica del proceso de captación, se hace uso de dos fuentes conocidas por la población como la quebrada Aguas claras (fuente principal) y Quebrada Vieja que, realmente, es el río Chaguaní. Para esta última, no se cuenta con un sistema de bocatoma, sino que se saca provecho de la morfología con la que cuenta la afluyente ya que aguas arriba al punto de intersección entre Aguas Claras y Quebrada Vieja, se forma un charco al cual se le introducen una serie de mangueras que lleva el agua cruda hasta la red de aducción para así complementar el suministro proporcionado por Aguas claras el cual se ve afectado en las épocas de sequía.



Figura 19. Puntos de captación  
(Google Maps, 2023)

En base a lo anterior, se realizaron muestreos en los puntos de captación para su posterior caracterización y así lograr identificar los componentes que tenían estas dos fuentes (ver anexo 4 y 5).



Figura 20. Quebrada Vieja  
Autoría propia



Figura 21. Bocatoma Aguas Claras  
Autoría propia

| INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO |              |                  |                         |  |  |  |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------------------|--|--|--|
| Municipio                            | Cambao       | N. muestra       | 0069                    |  |  |  |
| Departamento                         | Cundinamarca | Fuente           | Quebrada Aguas Claras   |  |  |  |
| Punto de Toma                        | Bocatoma     |                  |                         |  |  |  |
| Tipo de Muestra                      | Cruda        | Nombre EPS       | JUAN DIEGO POVEDA GOMEZ |  |  |  |
| Fecha Toma de Muestra                | 2023/05/31   | Código Muestreo: | CLIENTE                 |  |  |  |
| Fecha Análisis en Laboratorio        | 2023/06/02   | Código Análisis: | 001                     |  |  |  |

| INFORME DE RESULTADOS                                                                  |               |                                    |            |           |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|------------|-----------|---------------------|------------------------|
| PARÁMETRO                                                                              | MÉTODO        | UNIDADES                           | FECHA      | VALOR     | VALOR DE REFERENCIA | CUMPLIMIENTO NORMATIVO |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS                                                                |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Color Verdadero                                                                        | SM 2120 C     | UPC                                | 2023-06-02 | 18        | ≤ 15                | NO CUMPLE              |
| Turbiedad                                                                              | SM 2130 B     | UNT                                | 2023-06-02 | 2,4       | ≤ 2                 | NO CUMPLE              |
| pH                                                                                     | SM 4500 H+ B  | Unidades                           | 2023-05-31 | 8,96      | 6,5 a 9,0           | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA                         |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Nitratos                                                                               | SM 4500 NO3 B | mg/L NO <sub>3</sub>               | 2023-06-02 | 0,9       | ≤ 10                | CUMPLE                 |
| Nitritos                                                                               | SM 4500 NO2 B | mg/L NO <sub>2</sub>               | 2023-06-02 | 0,003     | ≤ 0,1               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Alcalinidad Total                                                                      | SM 2320 B     | mg/L CaCO <sub>3</sub>             | 2023-06-02 | 26,0      | ≤ 200               | CUMPLE                 |
| Aluminio                                                                               | SM 3500 Al B  | mg/L Al <sup>3+</sup>              | 2023-06-02 | 0,008     | ≤ 0,2               | CUMPLE                 |
| Cloruros                                                                               | SM 4500 Cl-C  | mg/L Cl <sup>-</sup>               | 2023-06-02 | 11,0      | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| Dureza total                                                                           | SM 2340 C     | mg/L CaCO <sub>3</sub>             | 2023-06-02 | 140,0     | ≤ 300               | CUMPLE                 |
| Fosfatos                                                                               | SM 4500 P D   | mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 2023-06-02 | 0,48      | ≤ 0,5               | CUMPLE                 |
| Hierro total                                                                           | SM 3500 Fe B  | mg/L Fe <sup>2+</sup>              | 2023-06-02 | 0,03      | ≤ 0,3               | CUMPLE                 |
| Sulfatos                                                                               | SM 4500 SO2 E | mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2023-06-02 | 24,0      | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - OTRAS SUSTANCIAS                                            |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Cloro Residual Libre                                                                   | SM 4500 Cl- G | mg/L Cl <sub>2</sub>               | 2023-05-31 | 0         | 0,3 a 2             | NO CUMPLE              |
| CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS                                                        |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Coliformes Totales                                                                     | SM 9222 B     | PRESENCIA/AUSENCIA                 | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| Escherichia Coli                                                                       | SM 9222 D     | PRESENCIA/AUSENCIA                 | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| OTROS                                                                                  |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Conductividad                                                                          | SM 2510 B     | ms/cm                              | 2023-06-02 | 259       | < 1500              | CUMPLE                 |
| TDS                                                                                    | SM 2540 B     | mg/L                               | 2023-06-02 | 129,3     | < 500               | CUMPLE                 |

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters Ed. 23. 2017.  
(a) Temperatura de medición 23,1°C.

|                       |    |      |         |                 |                          |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|
| Parámetros Analizados | 17 | IRCA | 83,52 % | Nivel de Riesgo | Inviabile Sanitariamente |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|

| INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO |              |                  |                         |  |  |  |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------------------|--|--|--|
| Municipio                            | Cambao       | N. muestra       | 0070                    |  |  |  |
| Departamento                         | Cundinamarca | Fuente           | Quebrada Vieja          |  |  |  |
| Punto de Toma                        | Bocatoma     |                  |                         |  |  |  |
| Tipo de Muestra                      | Cruda        | Nombre EPS       | JUAN DIEGO POVEDA GOMEZ |  |  |  |
| Fecha Toma de Muestra                | 2023/05/31   | Código Muestreo: | CLIENTE                 |  |  |  |
| Fecha Análisis en Laboratorio        | 2023/06/02   | Código Análisis: | 001                     |  |  |  |

| INFORME DE RESULTADOS                                                                  |               |                                    |            |           |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|------------|-----------|---------------------|------------------------|
| PARÁMETRO                                                                              | MÉTODO        | UNIDADES                           | FECHA      | VALOR     | VALOR DE REFERENCIA | CUMPLIMIENTO NORMATIVO |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS                                                                |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Color Verdadero                                                                        | SM 2120 C     | UPC                                | 2023-06-02 | 55        | ≤ 15                | NO CUMPLE              |
| Turbiedad                                                                              | SM 2130 B     | UNT                                | 2023-06-02 | 0,9       | ≤ 2                 | NO CUMPLE              |
| pH                                                                                     | SM 4500 H+ B  | Unidades                           | 2023-05-31 | 8,86      | 6,5 a 9,0           | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA                         |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Nitratos                                                                               | SM 4500 NO3 B | mg/L NO <sub>3</sub>               | 2023-06-02 | 0,4       | ≤ 10                | CUMPLE                 |
| Nitritos                                                                               | SM 4500 NO2 B | mg/L NO <sub>2</sub>               | 2023-06-02 | 0,003     | ≤ 0,1               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Alcalinidad Total                                                                      | SM 2320 B     | mg/L CaCO <sub>3</sub>             | 2023-06-02 | 17,6      | ≤ 200               | CUMPLE                 |
| Aluminio                                                                               | SM 3500 Al B  | mg/L Al <sup>3+</sup>              | 2023-06-02 | 0,01      | ≤ 0,2               | CUMPLE                 |
| Cloruros                                                                               | SM 4500 Cl-C  | mg/L Cl <sup>-</sup>               | 2023-06-02 | 6,0       | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| Dureza total                                                                           | SM 2340 C     | mg/L CaCO <sub>3</sub>             | 2023-06-02 | 148,0     | ≤ 300               | CUMPLE                 |
| Fosfatos                                                                               | SM 4500 P D   | mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 2023-06-02 | 0,42      | ≤ 0,5               | CUMPLE                 |
| Hierro total                                                                           | SM 3500 Fe B  | mg/L Fe <sup>2+</sup>              | 2023-06-02 | 0,08      | ≤ 0,3               | CUMPLE                 |
| Sulfatos                                                                               | SM 4500 SO2 E | mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2023-06-02 | 33,0      | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - OTRAS SUSTANCIAS                                            |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Cloro Residual Libre                                                                   | SM 4500 Cl- G | mg/L Cl <sub>2</sub>               | 2023-05-31 | 0         | 0,3 a 2             | NO CUMPLE              |
| CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS                                                        |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Coliformes Totales                                                                     | SM 9222 B     | PRESENCIA/AUSENCIA                 | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| Escherichia Coli                                                                       | SM 9222 D     | PRESENCIA/AUSENCIA                 | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| OTROS                                                                                  |               |                                    |            |           |                     |                        |
| Conductividad                                                                          | SM 2510 B     | ms/cm                              | 2023-06-02 | 303       | < 1500              | CUMPLE                 |
| TDS                                                                                    | SM 2540 B     | mg/L                               | 2023-06-02 | 151,3     | < 500               | CUMPLE                 |

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters Ed. 23. 2017.  
(b) Temperatura de medición 23,1°C.

|                       |    |      |         |                 |                          |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|
| Parámetros Analizados | 17 | IRCA | 83,52 % | Nivel de Riesgo | Inviabile Sanitariamente |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|

|                       |    |      |         |                 |                          |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|
| Parámetros Analizados | 17 | IRCA | 83,52 % | Nivel de Riesgo | Inviabile Sanitariamente |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|

Figura 22. Resultados de laboratorio  
(Acqually Ingenieria S.A.S , 2023)

Según los resultados de la caracterización, frente a las características físicas, se encontraron los parámetros de Color Verdadero y Turbiedad fuera de los rangos permitidos; para las características químicas, Cloro Residual Libre; y en las microbiológicas, Coliformes Totales y Escherichia Coli. Según la resolución 0799 de 2021, las tecnologías de tratamiento son las siguientes:

| <div> <div>TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO</div> <div>CONTAMINANTE QUE SE VA A REMOVER</div> </div> |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|
|                                                                                               | Aeración | Coagulación + Floculación + Sedimentación | Filtración Convencional | Ablandamiento | Oxidación Química | Microfiltración | Ultrafiltración | Nanofiltración | Ósmosis inversa | Electrodíálisis inversa | Intercambio iónico | Filtración por adsorción |
| <i>Características físicas</i>                                                                |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |
| Color aparente                                                                                |          | X                                         | X                       |               | X                 | X               | X               | X              | X               |                         |                    | X                        |
| Turbiedad                                                                                     |          | X                                         | X                       |               |                   | X               | X               |                |                 |                         |                    | X                        |
| <i>Características microbiológicas</i>                                                        |          |                                           |                         |               |                   |                 |                 |                |                 |                         |                    |                          |
| Escherichia Coli                                                                              |          |                                           | X                       |               |                   | X               | X               |                |                 |                         |                    | X                        |

Figura 23. Tecnologías de tratamiento para Aguas Claras y Quebrada Vieja (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2021)

Por otro lado, se decidió verificar el caudal que proporciona la fuente principal, es decir, Aguas Claras; para esto, se hizo necesario tener el área de la lámina de agua y la velocidad del agua por lo que se tomaron las profundidades del cauce cada 10 cm con el fin de obtener mayor precisión. Y para el caso de la velocidad, se tomó una distancia entre dos puntos y el tiempo que tardaba una esfera de icopor en recorrer dicho tramo.

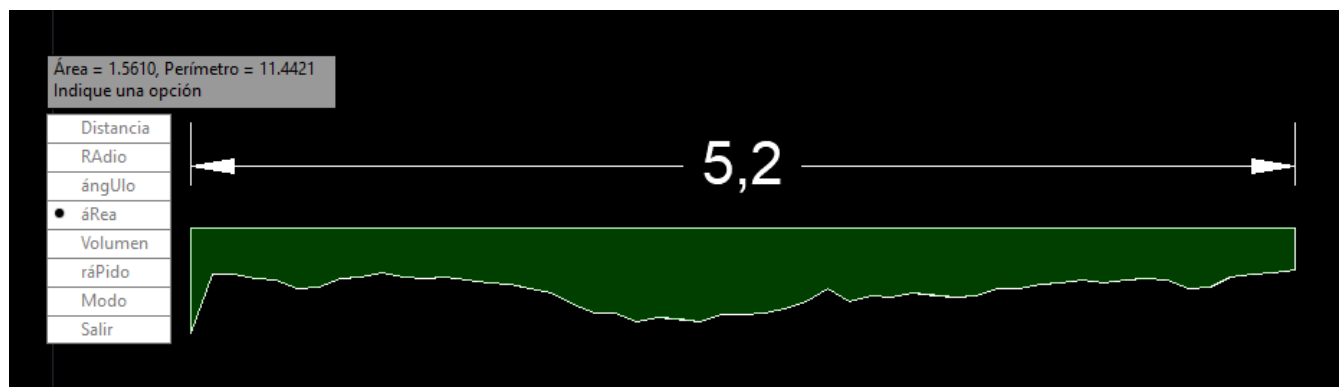


Figura 24. Área lámina de agua  
Autoría propia

$$A = 1.5610 \, m^2$$

$$d = 3.8 \, m$$

$$t = 70 \, s$$

$$V = \frac{d}{t} = \frac{3.8m}{70s} = 0.0543 \frac{m}{s}$$

$$Q = A * V$$

$$Q = 1.5610 m^2 * 0.0543 \frac{m}{s} = 0.08474 \frac{m^3}{s} \rightarrow 84.74 \frac{l}{s}$$

## PTAP

Durante la década de los 90's, se realizaron diversas intervenciones ya que para aquel entonces el suministro del agua se tomaba del río Magdalena; se realizaron instalaciones de bombas y la creación de una barcaza flotante además de una caseta para las nuevas motobombas que fueron instaladas para contar con mayor capacidad.

*El Centro poblado de Cambao cuenta con un acueducto de bomba flotante de donde se capta el agua para el consumo de los habitantes, el cual se encuentra ubicado en la ribera del río de La Magdalena. El sistema de potabilización de agua de consumo utilizado actualmente no tiene los parámetros de calidad con el fin de lograr un uso eficiente y racional de dicha infraestructura y un mayor aprovechamiento del recurso en condiciones sanitarias aptas para el consumo humano. En la actualidad se trabaja otro acueducto complementario que aumente el caudal y cuyo objetivo es solucionar en su totalidad los problemas de contaminación hídrica.*

*La succión de las bombas que sacan el agua de los pozos para potabilizarla tienen un mantenimiento preventivo pocas veces al año, más la erosión de la ribera del río trae problemas de contaminación que tienen gran afectación en la salud humana debido a que son foco de enfermedades infectocontagiosas que pueden afectar notablemente a la comunidad. (PRIETO, 2020)*

La planta de tratamiento con la que se cuenta actualmente se encuentra ubicada dentro de los terrenos de la señora Guillermina Rubio de Olmos a aproximadamente 270 metros distancia del kilómetro 2 de la vía de primer orden que lleva de Cambao-Honda y a 1.6 kilómetros del parque central.

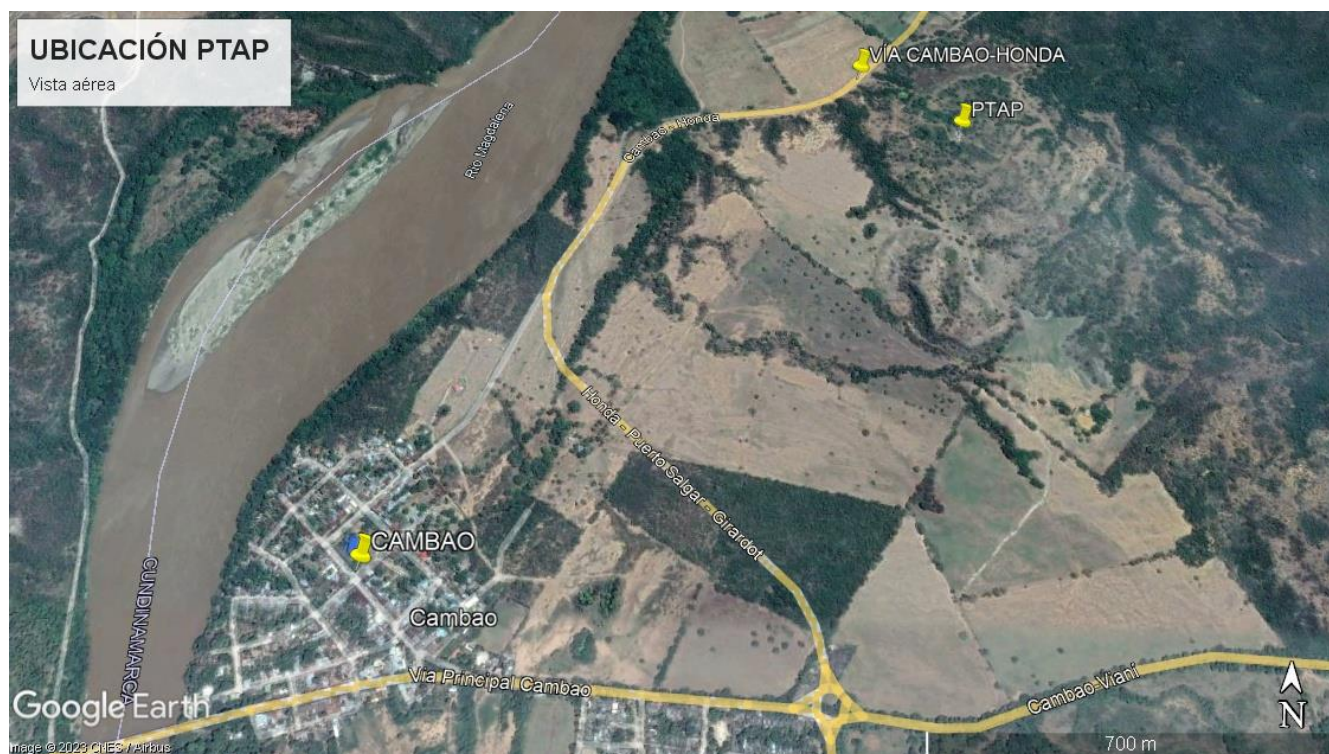


Figura 25. Ubicación PTAP  
(Google Earth Pro, 2023)

La PTAP fue proporcionada por EPC (Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P) en el año 2016 con el fin de suministrar un servicio de mayor calidad. Dicha estructura cuenta con una capacidad de 6 l/s con un impacto para 3000 personas.

EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P.  
(EPC) ENTREGA AL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE RIOSECO  
(CAMBAO)

Sep 26, 2016 | Galería, Noticias, Proyectos | ★★★★★



Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P. (EPC) entrega al municipio de San Juan de Rioseco (Cambao) un sistema de bombeo con hidrociclón que capta el agua del Magdalena y lo conduce a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) con 6 litros x segundo para el apoyo a la deficiencia al desabastecimiento de agua potable beneficiando a más de 3000 personas Cundinamarqueses.

Figura 26. Entrega de PTAP a Cambao  
(EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P. (EPC), 2016)

La planta es una PTAP compacta con dos unidades hechas en fibra de vidrio, diseñadas, fabricadas e instaladas por la empresa SERVIACUEDUCTO S.A.S; estas unidades están conformadas por el floculador-sedimentador, para la primera unidad, y el filtro auto lavable, cabe aclarar que antes de entrar al tratamiento de floculación, la planta trae instalado un sistema de mezcla rápida por medio de un cono de mezcla. Adicional, cuando el agua pasa por el proceso de filtración y justo antes de llegar a los tanques de almacenamiento, se le inyecta cloro como método de desinfección.



Figura 27. Plantas de tratamiento de agua potable en dos unidades  
(SERVIACUEDUCTO S.A.S , s. f)

Además de lo mencionado, dentro de las instalaciones se cuenta con un laboratorio para pruebas rápidas (test de jarras, toma de cloro y pH).

*El laboratorio cuenta con dispositivos para realizar test de jarras; medir turbiedad, cloro y ph. El coagulante que se usa y aplica en la planta es el hidroxiclورو de aluminio, suministrado por medio de dispositivos electrónicos que impulsan la dosificación dada por el operario hasta el cono de mezcla. (Bejarano Suescún, Poveda Gómez, & Ospitia Prada, 2022)*



Figura 28. Laboratorio PTAP  
Autoría propia

*La determinación de la dosis de coagulante es hecha de manera empírica, es decir, el operario no realiza test de jarras y no cuenta con una curva de calibración que le permita saber la dosis optima según la turbiedad del agua, sino que se basa en la experiencia que tiene con dicha actividad. También, es de resaltar que la planta no cuenta con una fuente propia de energía eléctrica lo que provoca que el operario deba aplicar el coagulante de manera manual cuando no hay flujo eléctrico. (Bejarano Suescún, Poveda Gómez, & Ospitia Prada, 2022)*



Figura 29. Aplicación manual de coagulante  
Autoría propia

Otras falencias que tiene la PTAP son que el caudal que llega a esta suele sobrepasar la capacidad para la cual está diseñada provocando que el operario deba abrir válvulas para

evacuar las aguas que terminan en una de las lagunas de la finca en la que se encuentra ubicada la planta; también, al ser una planta compacta, cuando se debe realizar la limpieza de los dispositivos, se desocupa la planta, lo que genera un corte en el sistema de tratamiento y deja al centro poblado con el agua que hay en los tanques de almacenamiento en lo que se hace la respectiva limpieza y llenado de la PTAP.



Figura 30. Limpieza módulo floculación  
Autoría propia

A mediados de marzo del presente año, se realizaron mantenimientos a las tecnologías de tratamiento y medidas de seguridad en el trabajo. Se añadieron barandas de seguridad; se pintaron los dispositivos, repararon fugas, renovaron el lecho filtrante, entre otros.

**ANTES**

**DESPUÉS**



Figura 31. Antes/Después  
Autoría propia

**Laboratorio.** Como se mencionó anteriormente, la PTAP cuenta con un laboratorio dentro sus instalaciones que permite tomar el pH, cloro, turbiedad y realizar el test de jarras. El equipo de trabajo aprovechó esta disponibilidad para realizar tomas de turbiedad y los test de jarras para crear curvas de calibración para la aplicación de coagulante.



Figura 32. Test de jarras  
Autoría propia

Debido a que las turbiedades eran bajas (alrededor de las 40 UNT) y no requería una dosificación alta de coagulante (5 mg/l) por lo que se contaminó el agua para que la turbiedad fuera mayor y así poder evaluar condiciones más críticas. En la figura se muestran los datos de las turbiedades iniciales, la dosis aplicada y la turbiedad final.

| TURBIEDAD INICIAL | DOSIS (PPM) | TURBIEDAD FINAL |
|-------------------|-------------|-----------------|
| (UNT)             | (PPM)       | (UNT)           |
| 290               | 10          | 1.59            |
|                   | 15          | 1.43            |
|                   | 20          | 1.94            |
|                   | 25          | 1.6             |
| 960               | 10          | 3.87            |
|                   | 15          | 2.73            |
|                   | 20          | 2.33            |
|                   | 25          | 1.7             |
| 580               | 10          | 1.52            |
|                   | 15          | 1.73            |
|                   | 20          | 2.14            |
|                   | 25          | 1.86            |
| 435               | 10          | 2.79            |
|                   | 15          | 1.12            |
|                   | 20          | 1.75            |
|                   | 25          | 1.87            |

Figura 33. Dosis óptima  
Autoría propia

En base a los resultados encontrados en la figura 33, se realizaron las siguientes curvas de calibración:

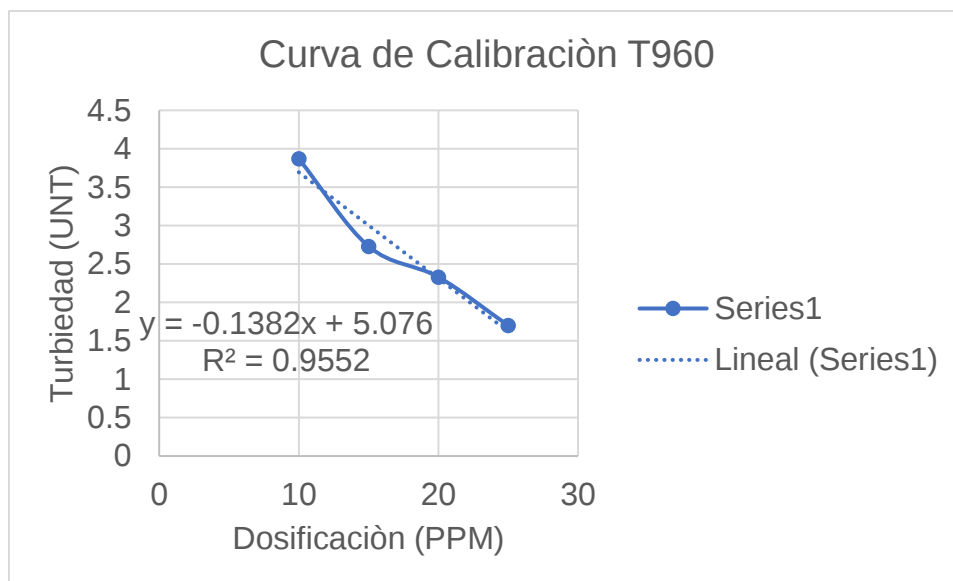


Figura 34. Curva de calibración turbiedad 960 UNT  
Autoría propia

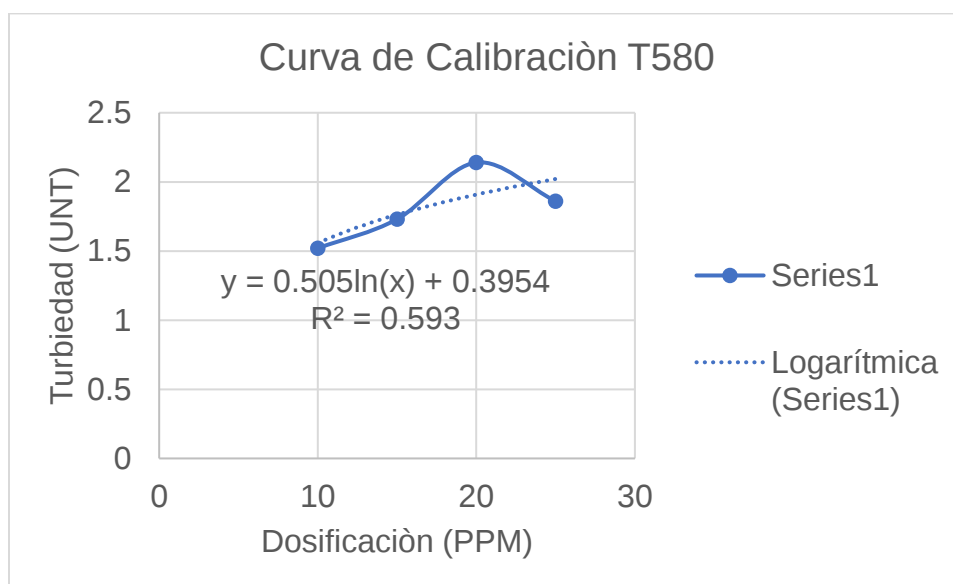


Figura 35. Curva de calibración turbiedad 580 UNT  
Autoría propia

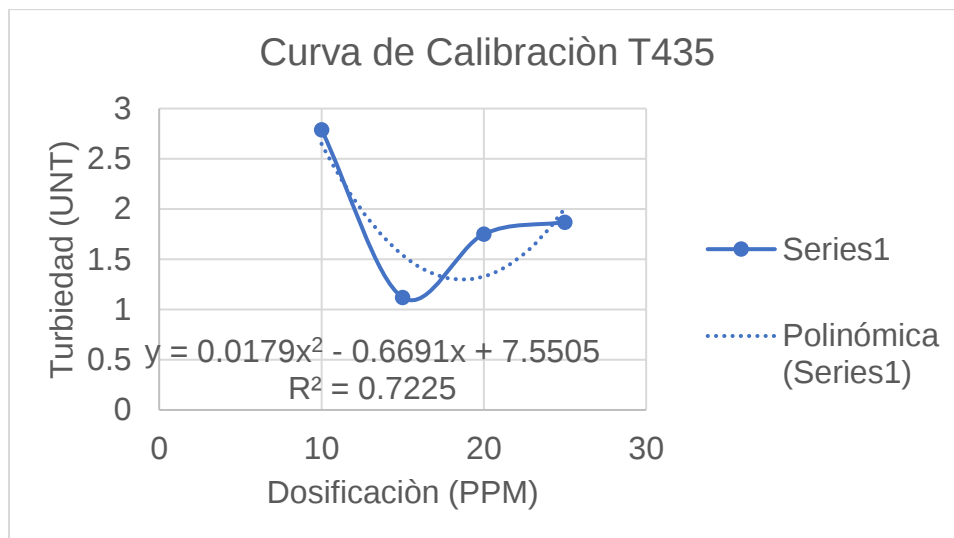


Figura 36. Curva de calibración turbiedad 435 UNT  
Autoría propia

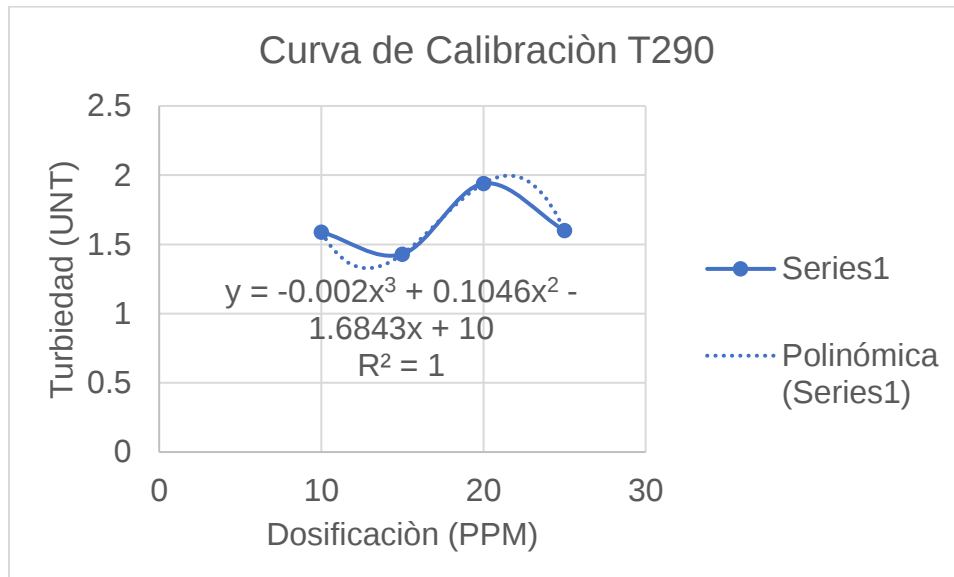


Figura 37. Curva de calibración turbiedad 290 UNT  
Autoría propia

Al tener las dosis óptimas de cada una de las turbiedades analizadas, se hace la curva general de turbiedad en base a ellas.

Tabla 3. Dosis óptima

| TURBIEDAD | DOSIS OPTIMA |
|-----------|--------------|
| (UNT)     | (PPM)        |
| 290       | 14           |
| 435       | 15           |
| 580       | 10           |
| 960       | 23           |

Autoría propia

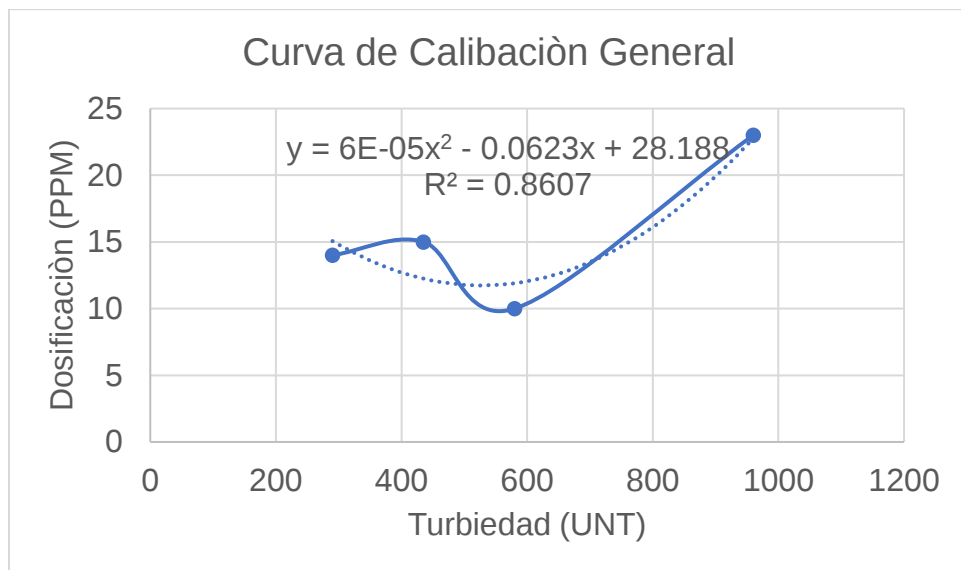


Figura 38. Curva de calibración general  
Autoría propia

| CAUDAL DE DISEÑO     |            |           |
|----------------------|------------|-----------|
| Dotacion neta maxima | 140        | L/Hab.dia |
| % de perdidas        | 25         |           |
| Dotacion Bruta       | 186.666667 | L/Hab.dia |
| Poblacion futura     | 3000       | hab       |
| Qmr                  | 6.48148148 | L/s       |
| Qou                  |            | L/s       |
| Qmd                  | 6.48148148 | L/s       |
| k1                   | 1.3        |           |
| QMD                  | 8.42592593 | L/s       |
| K2                   | 1.5        |           |
| QMH                  | 12.6388889 | L/s       |

Figura 39. Caudal de diseño  
Autoría propia

## DISEÑO DEL DESARENADOR

Se evaluaron el diseño actual del desarenador, teniendo las siguientes dimensiones cumpliendo con la relación de largo/ancho de 3/1 a 5/1, adicional a esto se verifico la velocidad de sedimentación y así mismo con los tiempos de retención cumpliendo con todas las especificaciones de diseño, así como su carga superficial que esta entre  $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  y  $80 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ .

Tabla 4. Desarenador

| DATOS DE DISEÑO           |              |                   |
|---------------------------|--------------|-------------------|
| ANCHO VERTEDERO ENTRADA   |              |                   |
| Ancho                     | 1.3          | m                 |
| BASE MODULO SEDIMENTACIÓN |              |                   |
| B                         | 2.1          | m                 |
| ALTURAS                   |              |                   |
| H1                        | 2            | m                 |
| H2                        | 1            | m                 |
| PARAMETROS                |              |                   |
| Ps                        | 2650         | Kg/m <sup>3</sup> |
| P                         | 1000         | Kg/m <sup>3</sup> |
| Partícula                 | Arena gruesa |                   |
| D                         | 0.0001       | m                 |
| T                         | 20           | °C                |
| V                         | 0.000015     | m <sup>2</sup> /s |

Autoría propia

- Altura lámina de agua antes de entrar al vertedero

$$H = \left( \frac{0.008426 \text{ m}^3/\text{s}}{(1.84) * (1.3 \text{ m})} \right)^{2/3} = 0.03 \text{ m}$$

Base modulo sedimentación (2.1m) y el largo de (8.4 m)

- Velocidad de sedimentación

$$v_s = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu} = 0.5992 \text{ m/s} \cong 0.60 \text{ m/s}$$

% De remoción → 75%

$$\#H = th/tv$$

$$tv = \frac{th}{\#H}$$

- Verificación del tiempo retención hidráulica.

$$V = 2.1 \text{ m} * 8.4 \text{ m} * 2 \text{ m} = 35.28 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{V}{T} \quad T = \frac{35.28 \text{ m}^3}{0.008426 \text{ m}^3/\text{s}} = 1.16 \text{ H}$$

- Verificación del tiempo retención hidráulica vertical.

$$v = \frac{x}{t} ; v_s = \frac{H}{t} ; t = \frac{2m}{0.60 \text{ m/s}} = 3.33 \text{ seg}$$

- Verificaciones carga superficial

$$C_s = \frac{0.008426 \text{ m}^3/\text{s}}{2.1 \text{ m} * 8.4 \text{ m}} = 41.27 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$$

## TANQUE DE FILTRACIÓN

El tanque de filtración existente cumple con el área mínima de diseño que debe de tener, teniendo aproximadamente 1 m<sup>2</sup> más de lo requerido.

$$Q_{\text{Diseño}} = 8.426 \text{ l/s}$$

$$\text{Tasa filtración} = 120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia} = 1.39 \text{ l/sm}^2$$

$$\text{Area requerida } Q_{\text{Diseño}} = 8.426 \text{ l/s} / 1.39 \text{ l/sm}^2 = 6.06 \text{ m}^2$$

$$\text{Area modulo de filtro existente} = 3.2 \text{ m} \times 2.3 \text{ m} = 7.4 \text{ m}^2$$

## 7. CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas y microbiológicas de las quebradas Aguas Claras y Quebrada Vieja son muy similares (ver anexo 4 y 5). Las propiedades que se encuentran fuera de los límites admisibles son color, turbiedad (físicas), cloro residual (químicas) y, coliformes totales y *Escherichia coli* (microbiológicas). Por lo que para el tratamiento y potabilización del agua se requiere realizar un proceso de coagulación-floculación-sedimentación para mejorar las características físicas; filtración convencional para eliminar los patógenos microbiológicos y la aplicación de cloro para impactar también en las características microbiológicas además de aumentar el valor en el cloro residual que habrá en la red (ver figura 23).
- Las tecnologías y procesos evaluados en la PTAP cumplen con los requisitos de diseño, sin embargo, cuenta con deficiencias tales como la falta de una dosificación adecuada del coagulante y que, debido a que es una planta compacta, se debe interrumpir el tratamiento durante los tiempos de limpieza de las tecnologías dejando solamente el agua potable que se encuentra en los tanques de almacenamiento mientras se realiza la actividad y se vuelven a llenar.
- La PTAP tiene una capacidad de 6 l/s, no obstante, la oferta de agua que le llega es superior a la que puede tratar por lo que se requiere un mayor control en la cantidad de agua que llega a la planta y, de no ser así, se necesitan unas instalaciones que puedan procesar un mayor caudal. También, se recomienda implementar una curva de calibración para la dosificación de coagulante.

## 8. REFERENCIAS

- ACUATECNICA. (2016). *¿QUÉ ES UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE?* Obtenido de <https://acuatecnica.com/una-planta-tratamiento-agua-potable/>
- Fernández Cirelli, A. (2012). *El agua: un recurso esencial*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- MARTÍNEZ, M., & OSORIO, A. (2018). *VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE COLOR REAL EN AGUA*. Obtenido de [https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/download/68086/64645/370434#:~:text=El%20color%20en%20cuerpos%20de%20agua%20es%20el%20resultado%20de,A WWA%20%26%20WEF%2C%202012\).](https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/download/68086/64645/370434#:~:text=El%20color%20en%20cuerpos%20de%20agua%20es%20el%20resultado%20de,A WWA%20%26%20WEF%2C%202012).)
- Acquality Ingenieria S.A.S . (2023). *INFORME DE MONITOREOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS No. 0034*. Girardot: Acquality Ingenieria S.A.S .
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2022). *Información básica sobre el plomo en el agua potable*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable#:~:text=El%20plomo%20puede%20infiltrarse%20en,tuber%C3%ADas%20y%20los%20elementos%20fijos.>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2022). *ToxFAQs™ – Mercurio (azogue) metálico (Metallic Mercury)*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_mermetmetal5.html#:~:text=El%20mercurio%20met%C3%A1lico%20se%20puede,constante%20en%20las%20%C3%BAltimas%20d%C3%A9cadas.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_mermetmetal5.html#:~:text=El%20mercurio%20met%C3%A1lico%20se%20puede,constante%20en%20las%20%C3%BAltimas%20d%C3%A9cadas.)
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f). *Resúmenes de Salud Pública - Cianuro (Cyanide)*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs8.html#:~:text=Las%20fuentes%20principales%20de%20cianuro,el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html#:~:text=Las%20fuentes%20principales%20de%20cianuro,el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.)
- Aguas de Cartagena. (s. f). *CICLO INTEGRAL DEL AGUA*. Obtenido de <https://www.acuacar.com/Acuacar/Gesti%C3%B3n-Ambiental/Ciclo-Integral-del-Agua#/List>
- Aqua Integral. (s. f). *Hidroxiclورو de Aluminio x 25 Kg*. Obtenido de <https://aquaintegral.co/producto/hidroxiclورو-de-aluminio-x-25-kg-2/>
- AQUAE FUNDACIÓN. (22 de 12 de 2021). *¿Cuánta agua potable hay en la Tierra?* Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>
- BANCO MUNDIAL. (3 de Octubre de 2022). *Agua*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Barrenechea Martel, A. (s. f). *ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- BBVA. (2021). *¿Qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases?* Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-proceso-de-potabilizacion-del-agua-y-cuales-son-sus-fases/>
- Bejarano Suescún, J., Poveda Gómez, J., & Ospitia Prada, J. (2022). *Optimización del tratamiento de agua para consumo humano en la inspección de policía de Cambao del municipio de San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia*. Obtenido de <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/2402>
- Cabrera Molina, E., Hernández Garcíadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, M. (2003). *Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un*

- método de flujo continuo y un método estándar.* Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932003000100014#:~:text=Los%20niveles%20de%20nitratos%20y,los%20niveles%20de%20estos%20aumenten.](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014#:~:text=Los%20niveles%20de%20nitratos%20y,los%20niveles%20de%20estos%20aumenten.)
- Carbotecnia. (2021). *Plomo*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/plomo-en-el-agua-potable/#:~:text=Regresar%20arriba-,El%20plomo%20en%20el%20agua,0.04%20%E2%80%93%200.01%20mg%20%2F%20l.>
- Cartón, A. (2020). *Ecosistemas lóticos: qué son y ejemplos*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/ecosistemas-loticos-que-son-y-ejemplos-2419.html>
- DANE. (2018). *Análisis Geoespacial del CNPV 2018*. Obtenido de <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv-2018/>
- DANE. (2018). *Ficha 25662-San Juan de Rioseco*. Bogotá: DANE.
- Eden Springs. (s.f). *El sabor del agua se escribe en la lengua*. Obtenido de <https://www.aguaeden.es/blog/el-sabor-del-agua-se-escribe-en-la-lengua#:~:text=El%20agua%20siempre%20es%20un,no%20sabe%20tampoco%20a%20nada.>
- EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P. (EPC). (2016). *EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P. (EPC) ENTREGA AL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE RIOSECO (CAMBAO)*. Obtenido de <https://epc.com.co/empresas-publicas-de-cundinamarca-s-a-e-s-p-epc-entrega-al-municipio-de-san-juan-de-rioseco-cambio/>
- Engeikos. (2021). *Caracterización de aguas ¿Qué es y por qué se hace?* Obtenido de <https://engeikos.com.co/caracterizacion-de-aguas-que-es-y-por-que-se-hace/>
- Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2022). *TURBIDEZ*. Obtenido de <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/turbidez>
- Forero López, A., Hernández Restrepo, J., & Patiño González, D. (2019). *EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "PEÑA BLANCA" DEL MUNICIPIO DE MONGUA, BOYACÁ*. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5504/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1>
- Fundación Aquae. (s, f). *¿Cómo se potabiliza el agua?* Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/potabilizacion-agua/>
- Gafner-Rojas, C. (2020). *20 de agosto de 2020*. Obtenido de <https://medioambiente.uexternado.edu.co/la-influencia-del-mercurio-en-la-contaminacion-hidrica-de-colombia/>
- Gil-Crespo, P. (2022). *Fosfatos*. Obtenido de <https://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/fosfatos.html>
- Gobierno de México. (9 de Octubre de 2019). *Agua en el Mundo*. Obtenido de [https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo#:~:text=A%20nivel%20mundial%20se%20estima,son%20agua%20dulce%20\(2.5%25\).](https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo#:~:text=A%20nivel%20mundial%20se%20estima,son%20agua%20dulce%20(2.5%25).)
- Google Earth Pro. (2023). *Cambio*. Google Earth Pro.
- Google Maps. (2023). *Cambio*. Obtenido de [https://www.google.com/maps/place/Cambio,+San+Juan+de+Rio+Seco,+Cundinamarca/@4.9400673,-74.6694024,460m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e40a7a0b5747ceb:0x2b68bb0c47f40b9b!8m2!3d4.907215!4d-74.735091!16s%2Fg%2F11b5v4svk\\_?authuser=0&entry=ttu](https://www.google.com/maps/place/Cambio,+San+Juan+de+Rio+Seco,+Cundinamarca/@4.9400673,-74.6694024,460m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e40a7a0b5747ceb:0x2b68bb0c47f40b9b!8m2!3d4.907215!4d-74.735091!16s%2Fg%2F11b5v4svk_?authuser=0&entry=ttu)

- Hamui-Sutton, A. (2013). *Un acercamiento a los métodos mixtos de investigación en educación médica*. Obtenido de [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2007505713727145#:~:text=Los%20m%C3%A9todos%20mixtos%20\(MM\)%20combinan,preguntas%20de%20investigaci%C3%B3n%20son%20complejas](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2007505713727145#:~:text=Los%20m%C3%A9todos%20mixtos%20(MM)%20combinan,preguntas%20de%20investigaci%C3%B3n%20son%20complejas).
- Higiene Ambiental. (2018). *¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?* Obtenido de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- ICONTEC. (1996). *NTC 3903. GESTIÓN AMBIENTAL. AGUA. PROCEDIMIENTO PARA EL MÉTODO DE JARRAS EN LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DEL AGUA*. Bogotá: ICONTEC.
- Jiménez, A. F. (15 de Octubre de 2019). *¿Qué tan potable es el agua en Colombia?* Obtenido de <https://plazacapital.co/zona-eco/3910-que-tan-potable-es-el-agua-en-colombia>
- Lozano-Rivas, W., & Lozano Bravo, G. (2015). *POTABILIZACIÓN DEL AGUA. Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Malagón, J. (2021). *Colombia potencia en agua: El 93% de los colombianos ya cuentan con acceso a este servicio*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/colombia-potencia-en-agua-el-93-de-los-colombianos-ya-cuentan-con-acceso-este-servicio#:~:text=Cada%20vez%20estamos%20m%C3%A1s%20cerca,de%2045.5%20millones%20de%20personas>.
- MARCÓ, L., AZARIO, R., METZLER, C., & GARCIA, M. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*. Obtenido de [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c\\_Hig.Sanid\\_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- McFarland, M., & Dozier, M. (s.f). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Obtenido de <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/15451sironandman.pdf>
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2007). *RESOLUCIÓN NÚMERO 2115*. Bogotá: MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL.
- Ministerio de la Protección Social. (2007). *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007*. Bogotá: Ministerio de la Protección Social.
- MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA. (2020). *INFORME NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO*. Obtenido de MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. (1998). *DECRETO 475 DE 1998*. Obtenido de MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%20475%20DE%201998.PDF](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%20475%20DE%201998.PDF)
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio . (2015). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS. Título D*. Obtenido de [https://comunidad.udistrital.edu.co/javalero/f/files/2015/09/titulo\\_d\\_version\\_prueba.pdf](https://comunidad.udistrital.edu.co/javalero/f/files/2015/09/titulo_d_version_prueba.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2017). *Resolución 0330 - 2017*. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (09 de Diciembre de 2021). Resolución 0799. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *TÍTULO C. Sistemas de potabilización*. Obtenido de [https://www.catorce6.com/images/legal/Titulo\\_C\\_Potabilizacion.pdf](https://www.catorce6.com/images/legal/Titulo_C_Potabilizacion.pdf)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f). *Categorías y tipos de masas de agua*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias\\_y\\_tipos\\_de\\_masas\\_de\\_agua.html](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias_y_tipos_de_masas_de_agua.html)
- Naciones Unidas. (12 de Julio de 2017). *Tres de cada 10 personas no tienen acceso a agua potable*. Obtenido de [https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/07/tres-de-cada-10-personas-no-tienen-acceso-a-agua-potable/#:~:text=Tres%20de%20cada%20diez%20personas,Salud%20\(OMS\)%20y%20UNICEF.](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2017/07/tres-de-cada-10-personas-no-tienen-acceso-a-agua-potable/#:~:text=Tres%20de%20cada%20diez%20personas,Salud%20(OMS)%20y%20UNICEF.)
- Naciones Unidas. (s. f). *Agua*. Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Naciones Unidas. (s. f). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Nadal Martinez, G. (2022). *Agua dulce, ¿un recurso en peligro?* Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/370862>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20alrededor,\(OMS\)%20y%20de%20UNICEF.](https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20alrededor,(OMS)%20y%20de%20UNICEF.)
- Organización Panamericana de la Salud. (s. f). *Mercurio*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/mercurio#:~:text=El%20mercurio%20puede%20ser%20t%C3%B3xico,especiales%20problemas%20de%20salud%20p%C3%ABlica.>
- Pedraza, N. (2023). *FORMATO CONTROL MACROMEDIDOR. ALCALDIA MUNICIPAL SAN JUAN DE RIOSECO*.
- Pedraza, N. (2023). *FORMATO DE CONTROL DIARIO. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. INSPECCIÓN DE CAMBAO. ALCALDÍA MUNICIPAL SAN JUAN DE RIOSECO*.
- Pedraza, N. (2023). *PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN-PTAP CAMBAO. ALCALDÍA MUNICIPAL SAN JUAN DE RIOSECO*.
- Posada, M. I., & Arroyave, M. (2006). *EFFECTOS DEL MERCURIO SOBRE ALGUNAS PLANTAS ACUÁTICAS TROPICALES*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372006000200006#:~:text=La%20presencia%20de%20trazas%20de,las%20rocas%20y%20la%20lixiviación%20C3%B3n.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200006#:~:text=La%20presencia%20de%20trazas%20de,las%20rocas%20y%20la%20lixiviación%20C3%B3n.)
- PRIETO, F. (2020). *MUNICIPIO DE SAN JUAN DE RIOSECO*. Bogotá: Gobernación de Cundinamarca.
- PureWater SAS. (s. f). *Hierro y Manganeseo*. Obtenido de <https://purewater.com.co/hierro-y-manganeseo-en-el-agua/>
- Romero Rojas, J. (1999). *Potabilización Del Agua*. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A.
- SEMITECH. (s. f). *LA MEJOR FORMA DE CONOCER LA CALIDAD DEL AGUA QUE CONSUMES*. Obtenido de <https://www.semitech.com.ve/aguas>

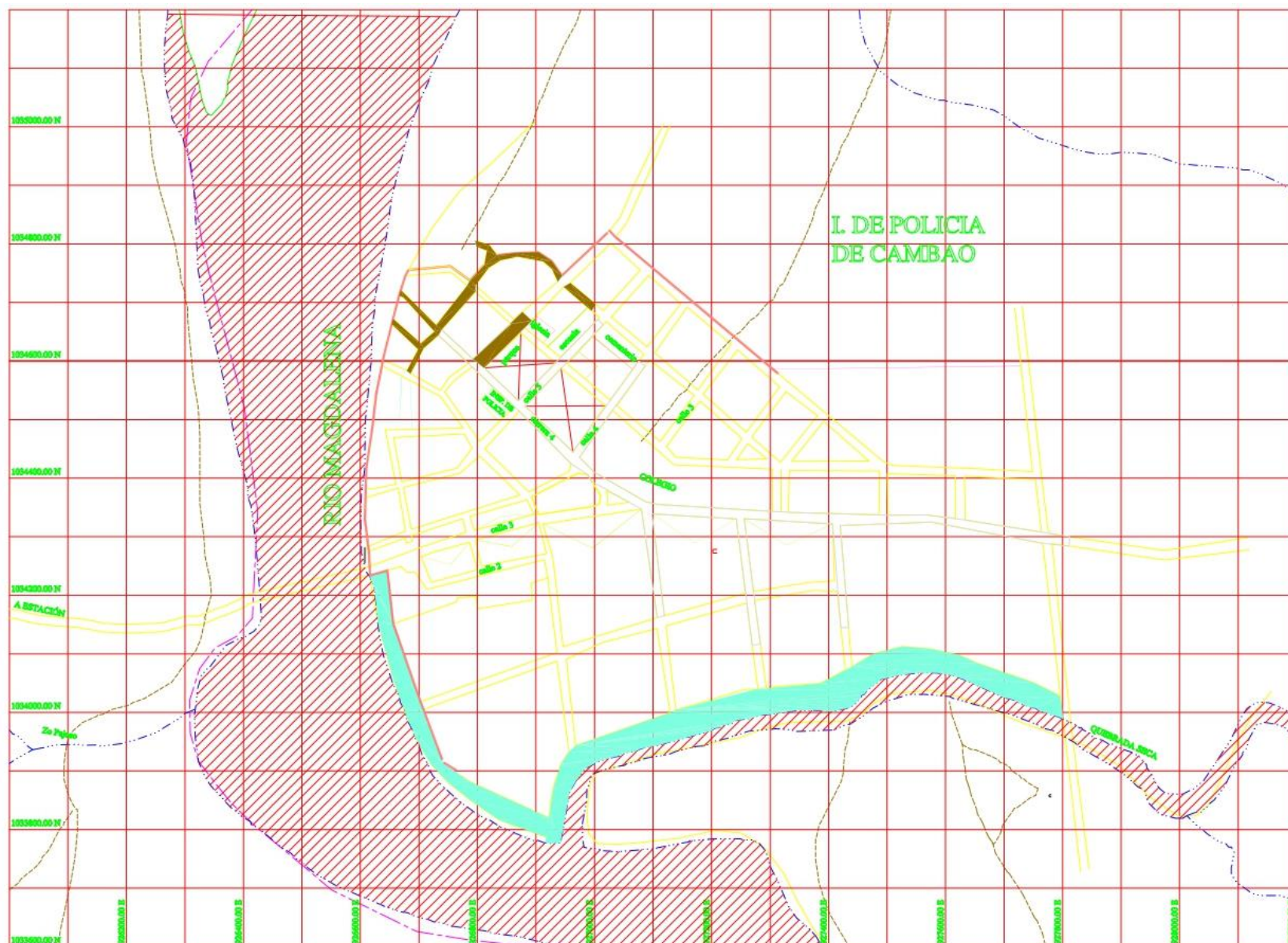
- SENA. (1999). *OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE POTABILIZACION DE AGUA*. Obtenido de [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html#](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html#)
- SERVIACUEDUCTO S.A.S . (s. f). *PLANTA DE TRATAMIENTO AGUA POTABLE*. Obtenido de <https://serviacueducto.com/>
- UNICEF. (s. f). *Día Mundial del Agua: 1.000 niños mueren al día por su falta*. Obtenido de <https://www.unicef.es/noticia/dia-mundial-del-agua-1000-ninos-mueren-cada-dia-por-falta-de-agua-potable#:~:text=El%2022%20de%20marzo%20se,o%20malas%20pr%C3%A1cticas%20de%20higiene.>
- Universidad Complutense de Madrid. (s.f). *Turbidez (JTU)*. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-turbidez%20f.pdf>
- Universidad de Sonora. (s. f). *TÉCNICA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA POR MEDIO DE LA PRUEBA DE JARRAS*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19121/anexo.pdf>
- Universidad Pablo de Olavide . (2003). *Práctica 1 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS EN AGUAS POR ESPECTROFOTOMETRÍA* . Obtenido de <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
- Z.R. Ingenieria S.A. (s. f). *PTAP LUIS PRIETO GÓMEZ*. Obtenido de <http://zringenieriasa.com/obras/saneamiento/ptap-luisprieto.html>

9. ANEXOS



Anexo 1. Ubicación San Juan de Rioseco  
(PRIETO, 2020)





Anexo 3. Cambao  
(PRIETO, 2020)



| INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO |              |                  |                         |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------------------|
| Municipio                            | Cambao       | N. muestra       | 0069                    |
| Departamento                         | Cundinamarca | Fuente           | Quebrada Aguas Claras   |
| Punto de Toma                        | Bocatoma     |                  |                         |
| Tipo de Muestra                      | Cruda        | Nombre EPS       | JUAN DIEGO POVEDA GOMEZ |
| Fecha Toma de Muestra                | 2023/05/31   | Código Muestreo: | CLIENTE                 |
| Fecha Análisis en Laboratorio        | 2023/06/02   | Código Análisis: | 001                     |

| INFORME DE RESULTADOS                                                                  |               |                                     |            |           |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|------------|-----------|---------------------|------------------------|
| PARÁMETRO                                                                              | MÉTODO        | UNIDADES                            | FECHA      | VALOR     | VALOR DE REFERENCIA | CUMPLIMIENTO NORMATIVO |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS                                                                |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Color Verdadero                                                                        | SM. 2120 C    | UPC                                 | 2023-06-02 | 19        | ≤ 15                | NO CUMPLE              |
| Turbiedad                                                                              | SM 2130 B     | UNT                                 | 2023-06-02 | 2,4       | ≤ 2                 | NO CUMPLE              |
| pH                                                                                     | SM 4500 H+ B  | Unidades                            | 2023-05-31 | 8,96      | 6,5 a 9,0           | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA                         |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Nitratos                                                                               | SM 4500 NO3 B | mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 2023-06-02 | 0,9       | ≤ 10                | CUMPLE                 |
| Nitritos                                                                               | SM 4500 NO2 B | mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   | 2023-06-02 | 0,003     | ≤ 0,1               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Alcalinidad Total                                                                      | SM. 2320 B    | mg/L CaCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 2023-06-02 | 26,0      | ≤ 200               | CUMPLE                 |
| Aluminio                                                                               | SM 3500 Al B  | mg/L Al <sup>3+</sup>               | 2023-06-02 | 0,008     | ≤ 0,2               | CUMPLE                 |
| Cloruros                                                                               | SM 4500 Cl- C | mg/L Cl <sup>-</sup>                | 2023-06-02 | 11,0      | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| Dureza total                                                                           | SM 2340 C     | mg/L CaCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 2023-06-02 | 140,0     | ≤ 300               | CUMPLE                 |
| Fosfatos                                                                               | SM 4500 P D   | mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup>  | 2023-06-02 | 0,48      | ≤ 0,5               | CUMPLE                 |
| Hierro total                                                                           | SM 3500 Fe B  | mg/L Fe <sup>3+</sup>               | 2023-06-02 | 0,03      | ≤ 0,3               | CUMPLE                 |
| Sulfatos                                                                               | SM 4500 SO2 E | mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>   | 2023-06-02 | 24,0      | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - OTRAS SUSTANCIAS                                            |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Cloro Residual Libre                                                                   | SM 4500 Cl- G | mg/L Cl <sub>2</sub>                | 2023-05-31 | 0         | 0,3 a 2             | NO CUMPLE              |
| CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS                                                        |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Coliformes Totales                                                                     | SM 9222 B     | PRESENCIA/AUSENCIA                  | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| Escherichia Coli                                                                       | SM 9222 D     | PRESENCIA/AUSENCIA                  | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| OTROS                                                                                  |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Conductividad                                                                          | SM 2510 B     | mS/cm                               | 2023-06-02 | 259       | < 1500              | CUMPLE                 |
| TDS                                                                                    | SM 2540 B     | mg/L                                | 2023-06-02 | 129,3     | < 500               | CUMPLE                 |

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters Ed. 23. 2017.  
(a) Temperatura de medición 23,1°C.

|                       |    |      |         |                 |                          |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|
| Parámetros Analizados | 17 | IRCA | 83,52 % | Nivel de Riesgo | Inviabile Sanitariamente |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|

JESICA IBETH PACHON NUÑEZ  
Ingeniera Química – TP 20724.  
Líder Técnico – Jefe de Laboratorio.  
ACQUALITY INGENIERIA S.A.S.

Resolución 2625-27 Sept/2019 Min. de Salud y Protección Social.  
Estándares de Calidad Res.1619/2005 Marzo/2023 Laboratorio de Salud Pública de Cundinamarca  
Carrera 7ª No. 32-128 Diagonal a Unicentro. B/ La Magdalena  
Tel: 8452794 Cel.:3143163940 Girardot –Cund.  
[acqualityingenieria@gmail.com](mailto:acqualityingenieria@gmail.com)

Anexo 4. Resultados de laboratorio Aguas Claras  
(Acquality Ingenieria S.A.S , 2023)



| INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO |              |                  |                         |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------------------|
| Municipio                            | Cambao       | N. muestra       | 0070                    |
| Departamento                         | Cundinamarca | Fuente           | Quebrada Vieja          |
| Punto de Toma                        | Bocatoma     |                  |                         |
| Tipo de Muestra                      | Cruda        | Nombre EPS       | JUAN DIEGO POVEDA GOMEZ |
| Fecha Toma de Muestra                | 2023/05/31   | Código Muestreo: | CLIENTE                 |
| Fecha Análisis en Laboratorio        | 2023/06/02   | Código Análisis: | 001                     |

| INFORME DE RESULTADOS                                                                  |               |                                     |            |           |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|------------|-----------|---------------------|------------------------|
| PARÁMETRO                                                                              | MÉTODO        | UNIDADES                            | FECHA      | VALOR     | VALOR DE REFERENCIA | CUMPLIMIENTO NORMATIVO |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS                                                                |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Color Verdadero                                                                        | SM. 2120 C    | UPC                                 | 2023-06-02 | 55        | ≤ 15                | NO CUMPLE              |
| Turbiedad                                                                              | SM 2130 B     | UNT                                 | 2023-06-02 | 6,8       | ≤ 2                 | NO CUMPLE              |
| pH                                                                                     | SM 4500 H+ B  | Unidades                            | 2023-05-31 | 8,86      | 6,5 a 9,0           | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA                         |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Nitratos                                                                               | SM 4500 NO3 B | mg/L NO <sub>3</sub>                | 2023-06-02 | 0,4       | ≤ 10                | CUMPLE                 |
| Nitritos                                                                               | SM 4500 NO2 B | mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   | 2023-06-02 | 0,003     | ≤ 0,1               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Alcalinidad Total                                                                      | SM. 2320 B    | mg/L CaCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 2023-06-02 | 17,6      | ≤ 200               | CUMPLE                 |
| Aluminio                                                                               | SM 3500 Al B  | mg/L Al <sup>3+</sup>               | 2023-06-02 | 0,01      | ≤ 0,2               | CUMPLE                 |
| Cloruros                                                                               | SM 4500 Cl-C  | mg/L Cl <sup>-</sup>                | 2023-06-02 | 6,0       | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| Dureza total                                                                           | SM 2340 C     | mg/L CaCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 2023-06-02 | 148,0     | ≤ 300               | CUMPLE                 |
| Fosfatos                                                                               | SM 4500 P D   | mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup>  | 2023-06-02 | 0,42      | ≤ 0,5               | CUMPLE                 |
| Hierro total                                                                           | SM 3500 Fe B  | mg/L Fe <sup>3+</sup>               | 2023-06-02 | 0,08      | ≤ 0,3               | CUMPLE                 |
| Sulfatos                                                                               | SM 4500 SO2 E | mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>   | 2023-06-02 | 33,0      | ≤ 250               | CUMPLE                 |
| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS - OTRAS SUSTANCIAS                                            |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Cloro Residual Libre                                                                   | SM 4500 Cl- G | mg/L Cl <sub>2</sub>                | 2023-05-31 | 0         | 0,3 a 2             | NO CUMPLE              |
| CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS                                                        |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Coliformes Totales                                                                     | SM 9222 B     | PRESENCIA/AUSENCIA                  | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| Escherichia Coli                                                                       | SM 9222 D     | PRESENCIA/AUSENCIA                  | 2023-06-01 | PRESENCIA | AUSENCIA            | NO CUMPLE              |
| OTROS                                                                                  |               |                                     |            |           |                     |                        |
| Conductividad                                                                          | SM 2510 B     | mS/cm                               | 2023-06-02 | 303       | < 1500              | CUMPLE                 |
| TDS                                                                                    | SM 2540 B     | mg/L                                | 2023-06-02 | 151,3     | < 500               | CUMPLE                 |

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters Ed. 23. 2017.  
(b) Temperatura de medición 23,1°C.

|                       |    |      |         |                 |                          |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|
| Parámetros Analizados | 17 | IRCA | 83,52 % | Nivel de Riesgo | Inviabile Sanitariamente |
|-----------------------|----|------|---------|-----------------|--------------------------|

JESICA IBETH PACHON NUÑEZ  
Ingeniera Química – TP 20724.  
Líder Técnico – Jefe de Laboratorio.  
ACQUALITY INGENIERIA S.A.S.

Resolución 2625-27 Sept/2019 Min. de Salud y Protección Social.  
Estándares de Calidad Res.1619/2005 Marzo/2023 Laboratorio de Salud Pública de Cundinamarca  
Carrera 7ª No. 32-128 Diagonal a Unicentro. B/ La Magdalena  
Tel: 8452794 Cel.:3143163940 Girardot –Cund.  
[acqualityingenieria@gmail.com](mailto:acqualityingenieria@gmail.com)

Anexo 5. Resultados de laboratorio Quebrada Vieja  
(Acquality Ingeniería S.A.S , 2023)

FORMATO DE CONTROL DIARIO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
INSPECCION DE CAMBAO  
NUMAEL PEDRAZA MES DE ENERO 2023

| DIA        | HORA | PARAMETROS |       |      |        | CAUDAL | FIRMA     |
|------------|------|------------|-------|------|--------|--------|-----------|
|            |      | PH         | COLOR | TURB | COLORO |        |           |
| 01/01/2023 | 4am  | 8.15       |       | 1.25 | 1.99   | 14     | Numael P. |
| 02/01/2023 | 5am  | 8.09       |       | 1.15 | 1.94   | 14     | Numael P. |
| 03/01/2023 | 3am  | 8.05       |       | 1.10 | 1.90   | 14     | Numael P. |
| 04/01/2023 | 4am  | 8.03       |       | 0.95 | 1.81   | 14     | Numael P. |
| 05/01/2023 | 5am  | 8.00       |       | 1.45 | 1.75   | 14     | Numael P. |
| 06/01/2023 | 3am  | 7.95       |       | 1.90 | 1.97   | 14     | Numael P. |
| 07/01/2023 | 4am  | 8.15       |       | 1.75 | 1.81   | 14     | Numael P. |
| 08/01/2023 | 3am  | 8.11       |       | 0.99 | 1.91   | 14     | Numael P. |
| 09/01/2023 | 4am  | 8.01       |       | 1.00 | 1.85   | 14     | Numael P. |
| 10/01/2023 | 5am  | 7.99       |       | 1.40 | 1.71   | 14     | Numael P. |
| 11/01/2023 | 6am  | 7.80       |       | 1.25 | 1.79   | 14     | Numael P. |
| 12/01/2023 | 6am  | 7.81       |       | 0.45 | 1.95   | 14     | Numael P. |
| 13/01/2023 | 4am  | 8.19       |       | 0.51 | 1.91   | 14     | Numael P. |
| 14/01/2023 | 4am  | 8.01       |       | 0.75 | 1.75   | 14     | Numael P. |
| 15/01/2023 | 3am  | 7.99       |       | 0.45 | 1.69   | 14     | Numael P. |
| 16/01/2023 | 4am  | 7.62       |       | 1.15 | 1.89   | 14     | Numael P. |
| 17/01/2023 | 5am  | 7.71       |       | 1.25 | 1.99   | 14     | Numael P. |
| 18/01/2023 | 4am  | 8.14       |       | 1.09 | 1.91   | 14     | Numael P. |
| 19/01/2023 | 5am  | 7.91       |       | 1.00 | 1.71   | 14     | Numael P. |
| 20/01/2023 | 3am  | 8.45       |       | 0.25 | 1.65   | 14     | Numael P. |
| 21/01/2023 | 4am  | 8.18       |       | 0.31 | 1.80   | 14     | Numael P. |
| 22/01/2023 | 4am  | 7.91       |       | 0.71 | 1.79   | 14     | Numael P. |
| 23/01/2023 | 5am  | 7.80       |       | 0.92 | 1.85   | 14     | Numael P. |
| 24/01/2023 | 4am  | 7.79       |       | 0.79 | 1.71   | 14     | Numael P. |
| 25/01/2023 | 5am  | 7.95       |       | 0.79 | 1.65   | 14     | Numael P. |
| 26/01/2023 | 4am  | 8.40       |       | 0.25 | 1.90   | 14     | Numael P. |
| 27/01/2023 | 3am  | 8.39       |       | 7.95 | 0.90   | 14     | Numael P. |
| 28/01/2023 | 4am  | 7.99       |       | 0.95 | 1.95   | 14     | Numael P. |
| 29/01/2023 | 3am  | 8.01       |       | 0.70 | 1.89   | 14     | Numael P. |
| 30/01/2023 | 4am  | 7.90       |       | 0.39 | 1.96   | 14     | Numael P. |
| 31/01/2023 | 4am  | 7.90       |       | 0.25 | 1.85   | 14     | Numael P. |

Anexo 6. Control diario PTAP enero  
(Pedraza, FORMATO DE CONTROL DIARIO. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. INSPECCIÓN DE CAMBAO, 2023)

FORMATO DE CONTROL DIARIO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
INSPECCION DE CAMBAO  
NUMAEL PEDRAZA MES DE FEBRERO 2023

| DIA        | HORA<br><i>am</i> | PARAMETROS |       |      |       | CAUDAL<br><i>l/s</i> | FIRMA            |
|------------|-------------------|------------|-------|------|-------|----------------------|------------------|
|            |                   | PH         | COLOR | TURB | COLOR |                      |                  |
| 01/02/2023 | 4am               | 8.15       |       | 1.95 | 1.99  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 02/02/2023 | 5am               | 8.09       |       | 1.15 | 1.94  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 03/02/2023 | 3am               | 7.88       |       | 1.05 | 1.81  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 04/02/2023 | 5am               | 7.95       |       | 1.01 | 1.90  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 05/02/2023 | 4am               | 7.89       |       | 0.90 | 1.95  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 06/02/2023 | 3am               | 7.91       |       | 0.81 | 1.80  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 07/02/2023 | 4am               | 8.05       |       | 0.98 | 1.79  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 08/02/2023 | 3am               | 7.79       |       | 0.71 | 1.85  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 09/02/2023 | 5am               | 7.85       |       | 0.50 | 1.91  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 10/02/2023 | 5am               | 7.97       |       | 0.45 | 1.95  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 11/02/2023 | 2am               | 7.85       |       | 0.91 | 1.96  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 12/02/2023 | 3am               | 7.90       |       | 0.62 | 1.85  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 13/02/2023 | 5am               | 7.95       |       | 0.73 | 1.96  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 14/02/2023 | 4am               | 7.81       |       | 0.59 | 1.80  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 15/02/2023 | 3am               | 7.97       |       | 0.71 | 1.85  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 16/02/2023 | 5am               | 8.01       |       | 0.69 | 1.90  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 17/02/2023 | 4am               | 8.05       |       | 0.25 | 1.75  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 18/02/2023 | 2am               | 7.99       |       | 1.15 | 1.98  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 19/02/2023 | 3am               | 7.85       |       | 1.07 | 1.90  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 20/02/2023 | 4am               | 7.91       |       | 1.01 | 1.81  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 21/02/2023 | 2am               | 7.85       |       | 0.95 | 1.95  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 22/02/2023 | 1am               | 7.91       |       | 0.98 | 1.90  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 23/02/2023 | 5am               | 8.00       |       | 0.45 | 1.81  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 24/02/2023 | 5pm               | 7.90       |       | 0.61 | 1.75  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 25/02/2023 | 5am               | 7.90       |       | 0.62 | 1.77  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 26/02/2023 | 4am               | 7.99       |       | 0.65 | 1.81  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 27/02/2023 | 2am               | 8.15       |       | 0.71 | 1.90  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
| 28/02/2023 | 6am               | 8.01       |       | 0.95 | 2.00  | 14                   | <i>Numael P.</i> |
|            |                   |            |       |      |       |                      |                  |
|            |                   |            |       |      |       |                      |                  |
|            |                   |            |       |      |       |                      |                  |

Anexo 7. Control diario PTAP febrero  
(Pedraza, FORMATO DE CONTROL DIARIO. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. INSPECCIÓN DE CAMBAO, 2023)

FORMATO DE CONTROL DIARIO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
INSPECCION DE CAMBAO  
NUMAEL PEDRAZA MES DE MARZO 2023

| DIA        | HORA | PARAMETROS                      |       |      |       | CAUDAL | FIRMA     |
|------------|------|---------------------------------|-------|------|-------|--------|-----------|
|            |      | PH                              | COLOR | TURB | COLOR |        |           |
| 01/03/2023 | 7am  | 8.05                            |       | 1.05 | 1.98  | 14     | Numael P. |
| 02/03/2023 | 4am  | 8.01                            |       | 1.00 | 1.90  | 14     | Numael P. |
| 03/03/2023 | 5am  | 8.10                            |       | 0.80 | 1.85  | 14     | Numael P. |
| 04/03/2023 | 6am  | 8.05                            |       | 0.80 | 1.80  | 14     | Numael P. |
| 05/03/2023 | 4am  | 8.00                            |       | 0.41 | 1.75  | 14     | Numael P. |
| 06/03/2023 | 7am  | 8.05                            |       | 0.81 | 1.80  | 14     | Numael P. |
| 07/03/2023 | 9am  | 7.99                            |       | 0.53 | 1.75  | 14     | Numael P. |
| 08/03/2023 | 9am  | 7.80                            |       | 0.49 | 1.81  | 14     | Numael P. |
| 09/03/2023 | 1am  | 7.95                            |       | 0.85 | 1.90  | 14     | Numael P. |
| 10/03/2023 | 6am  | 7.90                            |       | 0.96 | 1.90  | 14     | Numael P. |
| 11/03/2023 | 3am  | 8.10                            |       | 0.63 | 1.90  | 14     | Numael P. |
| 12/03/2023 | 2am  | 8.01                            |       | 1.65 | 1.87  | 14     | Numael P. |
| 13/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 14/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 15/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 16/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 17/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 18/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 19/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 20/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 21/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 22/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 23/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 24/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 25/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 26/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 27/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 28/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 29/03/2023 | —    | —                               |       | —    | —     | —      | —         |
| 30/03/2023 |      |                                 |       |      |       |        |           |
| 31/03/2023 |      | Arreglos de la Planta de Cambao |       |      |       |        |           |

Anexo 8. Control diario PTAP marzo  
(Pedraza, FORMATO DE CONTROL DIARIO. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. INSPECCIÓN DE CAMBAO, 2023)

FORMATO DE CONTROL DIARIO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
INSPECCION DE CAMBAO  
NUMAEL PEDRAZA MES DE ABRIL 2023

| DIA        | HORA | PARAMETROS |       |      |       | CAUDAL | FIRMA     |
|------------|------|------------|-------|------|-------|--------|-----------|
|            |      | PH         | COLOR | TURB | CLORO |        |           |
| 01/04/2023 | 4am  | 8.05       |       | 0.99 | 1.75  | 14     | Numael P. |
| 02/04/2023 | 6am  | 8.02       |       | 0.91 | 1.80  | 14     | Numael P. |
| 03/04/2023 | 3am  | 7.99       |       | 0.96 | 1.95  | 14     | Numael P. |
| 04/04/2023 | 5am  | 7.91       |       | 0.81 | 1.81  | 14     | Numael P. |
| 05/04/2023 | 4am  | 7.89       |       | 0.69 | 1.00  | 14     | Numael P. |
| 06/04/2023 | 5am  | 8.00       |       | 1.01 | 1.90  | 14     | Numael P. |
| 07/04/2023 | 3am  | 8.09       |       | 0.99 | 1.79  | 14     | Numael P. |
| 08/04/2023 | 4am  | 7.96       |       | 0.45 | 1.85  | 14     | Numael P. |
| 09/04/2023 | 5am  | 7.85       |       | 0.85 | 1.95  | 14     | Numael P. |
| 10/04/2023 | 5am  | 7.99       |       | 0.99 | 1.89  | 14     | Numael P. |
| 11/04/2023 | 5am  | 7.99       |       | 0.88 | 1.81  | 14     | Numael P. |
| 12/04/2023 | 5am  | 8.05       |       | 1.45 | 1.75  | 14     | Numael P. |
| 13/04/2023 | 4am  | 8.01       |       | 1.19 | 1.91  | 14     | Numael P. |
| 14/04/2023 | 3am  | 7.90       |       | 1.01 | 1.85  | 14     | Numael P. |
| 15/04/2023 | 3am  | 7.95       |       | 0.45 | 1.71  | 14     | Numael P. |
| 16/04/2023 | 2am  | 7.90       |       | 0.61 | 1.79  | 14     | Numael P. |
| 17/04/2023 | 1am  | 8.00       |       | 0.95 | 1.85  | 14     | Numael P. |
| 18/04/2023 | 3am  | 8.09       |       | 0.82 | 1.91  | 14     | Numael P. |
| 19/04/2023 | 4am  | 8.00       |       | 0.49 | 1.80  | 14     | Numael P. |
| 20/04/2023 | 5am  | 7.89       |       | 0.41 | 1.75  | 14     | Numael P. |
| 21/04/2023 | 6am  | 7.86       |       | 0.25 | 1.62  | 14     | Numael P. |
| 22/04/2023 | 2am  | 7.95       |       | 0.69 | 1.91  | 14     | Numael P. |
| 23/04/2023 | 3am  | 8.01       |       | 0.77 | 1.85  | 14     | Numael P. |
| 24/04/2023 | 6am  | 7.90       |       | 0.97 | 1.89  | 14     | Numael P. |
| 25/04/2023 | 1am  | 7.94       |       | 0.85 | 1.95  | 14     | Numael P. |
| 26/04/2023 | 3am  | 8.05       |       | 0.51 | 1.75  | 14     | Numael P. |
| 27/04/2023 | 5am  | 8.00       |       | 0.65 | 1.81  | 14     | Numael P. |
| 28/04/2023 | 4am  | 7.85       |       | 0.91 | 1.90  | 14     | Numael P. |
| 29/04/2023 | 5am  | 7.99       |       | 0.80 | 1.70  | 14     | Numael P. |
| 30/04/2023 | 1am  | 7.80       |       | 0.45 | 1.91  | 14     | Numael P. |

Anexo 9. Control diario PTAP abril  
(Pedraza, FORMATO DE CONTROL DIARIO. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. INSPECCIÓN DE CAMBAO, 2023)

FORMATO DE CONTROL DIARIO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
INSPECCION DE CAMBAO  
NUMAEL PEDRAZA MES DE MAYO 2023

| DIA        | HORA | PARAMETROS |                   |      |       | CAUDAL<br>l/s | FIRMA     |
|------------|------|------------|-------------------|------|-------|---------------|-----------|
|            |      | PH         | COLOR             | TURB | CLORO |               |           |
| 01/05/2023 | 7am  | 8.09       |                   | 1.01 | 1.95  | 14            | Numael P. |
| 02/05/2023 | 5am  | 8.00       |                   | 0.95 | 1.79  | 14            | Numael P. |
| 03/05/2023 | 4am  | 7.90       |                   | 0.60 | 1.91  | 14            | Numael P. |
| 04/05/2023 | 7am  | 8.01       |                   | 0.41 | 1.69  | 14            | Numael P. |
| 05/05/2023 | —    | —          |                   | —    | —     | —             | —         |
| 06/05/2023 | —    | —          |                   | —    | —     | —             | —         |
| 07/05/2023 | —    | —          |                   | —    | —     | —             | —         |
| 08/05/2023 | —    | —          | Arreglos Plaster. |      |       |               | —         |
| 09/05/2023 | 5am  | 8.01       |                   | 0.38 | 1.75  | 14            | Numael P. |
| 10/05/2023 | 4am  | 7.95       |                   | 0.25 | 1.85  | 14            | Numael P. |
| 11/05/2023 | 7am  | 7.91       |                   | 0.70 | 1.78  | 14            | Numael P. |
| 12/05/2023 | 7am  | 8.15       |                   | 0.95 | 1.91  | 14            | Numael P. |
| 13/05/2023 | 4am  | 8.01       |                   | 0.62 | 1.81  | 14            | Numael P. |
| 14/05/2023 | 5am  | 7.95       |                   | 0.71 | 1.90  | 14            | Numael P. |
| 15/05/2023 | 4am  | 8.11       |                   | 0.99 | 1.95  | 14            | Numael P. |
| 16/05/2023 | 7am  | 8.02       |                   | 0.85 | 1.71  | 14            | Numael P. |
| 17/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 18/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 19/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 20/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 21/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 22/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 23/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 24/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 25/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 26/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 27/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 28/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 29/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 30/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |
| 31/05/2023 |      |            |                   |      |       |               |           |

Anexo 10. Control diario PTAP mayo  
(Pedraza, FORMATO DE CONTROL DIARIO. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. INSPECCIÓN DE CAMBAO, 2023)



|        |                                                         |                                           |
|--------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| JUNTOS | PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN - PTAP CAMBAO | Código: 0001<br>Versión:1<br>Fecha: Abril |
|--------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|

| DÍA | HORA | OBSERVACIÓN                   | FIRMA OPERARIO | FIRMA SUPERVISOR |
|-----|------|-------------------------------|----------------|------------------|
| 1   | 9am  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 2   | 2pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 3   | 4pm  | lavado de los tanques Almacén | Nival P.       |                  |
| 7   | 3pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 10  | 4pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 12  | 5pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 14  | 9am  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 15  | 10am | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 16  | 3pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 18  | 2pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 21  | 3pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 22  | 4pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 24  | 4pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 25  | 4am  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 26  | 9am  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 27  | 3am  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 28  | 4pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 29  | 10am | lavé la planta                | Nival P.       |                  |
| 30  | 3pm  | lavé la planta                | Nival P.       |                  |

JUNTOS HACIENDO HISTORIA  
 Casa de Gobierno Municipal - Calle 4 N° 6 - 06 - Telefax 846 5052  
 E-mail: alcaldia@sanjuanderioseco-cundinamarca.gov.co

Anexo 11. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-Abril  
 (Pedraza, PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN-PTAP CAMBAO, 2023)



|        |                                                         |              |
|--------|---------------------------------------------------------|--------------|
| JUNTOS | PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN – PTAP CAMBAO | Código: 0001 |
|        |                                                         | Versión: 1   |
|        |                                                         | Fecha: Marzo |

| DÍA | HORA | OBSERVACIÓN                    | FIRMA OPERARIO | FIRMA SUPERVISOR |
|-----|------|--------------------------------|----------------|------------------|
| 2   | 7am  | lavé la planta y la desinfecté | Nival P.       |                  |
| 4   | 11am | lavé la planta                 | Nival P.       |                  |
| 6   | 3pm  | lavé la planta                 | Nival P.       |                  |
| 7   | 2pm  | lavé la planta                 | Nival P.       |                  |
| 10  | 3am  | lavé la planta                 | Nival P.       |                  |
| 11  | 9am  | lavé la planta                 | Nival P.       |                  |
| 12  | 7am  | lavé la planta                 | Nival P.       |                  |
|     |      | Mantenimiento de la Planta     |                |                  |
|     |      | de Cambao                      |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |
|     |      |                                |                |                  |

JUNTOS HACIENDO HISTORIA  
Casa de Gobierno Municipal – Calle 4 N° 6 – 06 – Telefax: 846 5052  
E-mail: alcaldia@sanjuanderioseco-cundinamarca.gov.co

Anexo 12. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-Marzo  
(Pedraza, PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN-PTAP CAMBAO, 2023)

|                                                                                          |                                                         |                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|  JUNTOS | PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN - PTAP CAMBAO | Código: 0001<br>Versión: 1<br>Fecha: 02/2023 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|

| DÍA | HORA | OBSERVACIÓN                 | FIRMA OPERARIO | FIRMA SUPERVISOR |
|-----|------|-----------------------------|----------------|------------------|
| 1   | 3pm  | lavó y desinfectó la planta | Nival P.       |                  |
| 2   | 4pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 3   | 2pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 4   | 3pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 5   | 4pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 6   | 6pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 8   | 1pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 10  | 2pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 11  | 3pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 13  | 4pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 15  | 2am  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 17  | 3pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 18  | 4pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 20  | 7am  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 21  | 4pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 24  | 2pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 25  | 3pm  | lavó y desinfectó la planta | Nival P.       |                  |
| 27  | 4pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 28  | 2pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |

JUNTOS HACIENDO HISTORIA  
Casa de Gobierno Municipal - Calle 4 N° 6 - 06 - Telefax: 846 5052  
E-mail: alcaldia@sanjuanderioseco-cundinamarca.gov.co

Anexo 13. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-febrero  
(Pedraza, PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN-PTAP CAMBAO, 2023)

|                                                                                          |                                                         |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|
|  JUNTOS | PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN - PTAP CAMBAO | Código: 0001      |
|                                                                                          |                                                         | Versión: 1        |
|                                                                                          |                                                         | Fecha: 01/01/2023 |

| DÍA | HORA  | OBSERVACIÓN                 | FIRMA OPERARIO | FIRMA SUPERVISOR |
|-----|-------|-----------------------------|----------------|------------------|
| 1   | 3 pm  | lavó y desinfectó la planta | Nival P.       |                  |
| 3   | 9 am  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 6   | 4 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 10  | 4 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 12  | 2 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 15  | 4 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 20  | 3 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 21  | 12 pm | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 22  | 2 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 23  | 2 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 25  | 3 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 26  | 4 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 27  | 2 pm  | lavó la planta y desinfectó | Nival P.       |                  |
| 28  | 4 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 29  | 3 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 30  | 4 pm  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |
| 31  | 9 am  | lavó la planta              | Nival P.       |                  |

JUNTOS HACIENDO HISTORIA  
Casa de Gobierno Municipal - Calle 4 N° 6 - 06 - Telefax 846 5052  
E-mail: alcaldia@sanjuanrieroseco-cundamarca.gov.co

Anexo 14. Registro de limpieza y desinfección-PTAP Cambao-enero  
(Pedraza, PLANILLA REGISTRO LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN-PTAP CAMBAO, 2023)

**FORMATO CONTROL MACROMEDIDOR**

Mes Abril / 2023 Medidor (Ubicación) \_\_\_\_\_

| Dia | Momento Inicial |         | Momento Final |         | Diferencia |         | Responsable   |
|-----|-----------------|---------|---------------|---------|------------|---------|---------------|
|     | Hora            | Lectura | Hora          | Lectura | Tiempo     | Lectura |               |
| 1   | 6 am            | 003500  | 6 am          | 0759583 | 24 h       |         | Nival P.      |
| 2   | 6 am            | 0759771 | 6 am          | 004547  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 3   | 6 am            | 0760160 | 6 am          | 005173  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 4   | 6 am            | 0760484 | 6 am          | 005453  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 5   | 6 am            | 0760977 | 6 am          | 006221  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 6   | 6 am            | 0761372 | 6 am          | 007666  | 24 h       |         | Wilber Chavez |
| 7   | 6 am            | 0761809 | 6 am          | 008638  | 24 h       |         | Wilber Chavez |
| 8   | 6 am            | 0762099 | 6 am          | 009165  | 24 h       |         | Wilber Chavez |
| 9   | 6 am            | 0762543 | 6 am          | 010353  | 24 h       |         | Wilber Chavez |
| 10  | 6 am            | 0762865 | 6 am          | 011054  | 24 h       |         | Wilber Chavez |
| 11  | 6 am            | 0763270 | 6 am          | 012260  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 12  | 6 am            | 0763879 | 6 am          | 013775  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 13  | 6 am            | 0764218 | 6 am          | 015724  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 14  | 6 am            | 0764689 | 6 am          | 016837  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 15  | 6 am            | 0765207 | 6 am          | 018588  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 16  | 6 am            | 0765809 | 6 am          | 020080  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 17  | 6 am            | 0766016 | 6 am          | 021695  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 18  | 6 am            | 0766522 | 6 am          | 023215  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 19  | 6 am            | 0767010 | 6 am          | 024755  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 20  | 6 am            | 0767442 | 6 am          | 026255  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 21  | 6 am            | 0767820 | 6 am          | 027777  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 22  | 6 am            | 0767974 | 6 am          | 029295  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 23  | 6 am            | 0768360 | 6 am          | 030839  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 24  | 6 am            | 0768562 | 6 am          | 032358  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 25  | 6 am            | 0768765 | 6 am          | 033874  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 26  | 6 am            | 0768946 | 6 am          | 035379  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 27  | 6 am            | 0769191 | 6 am          | 036897  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 28  | 6 am            | 0770151 | 6 am          | 038414  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 29  | 6 am            | 0770671 | 6 am          | 039926  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 30  | 6 am            | 0770800 | 6 am          | 041442  | 24 h       |         | Nival P.      |
| 31  |                 |         |               |         |            |         |               |

| TURBIEDAD | DOSIS<br>OPTIMA |
|-----------|-----------------|
| (UNT)     | (PPM)           |
| 100       | 22,558          |
| 101       | 22,50776        |
| 102       | 22,45764        |
| 103       | 22,40764        |
| 104       | 22,35776        |
| 105       | 22,308          |
| 106       | 22,25836        |
| 107       | 22,20884        |
| 108       | 22,15944        |
| 109       | 22,11016        |
| 110       | 22,061          |
| 111       | 22,01196        |
| 112       | 21,96304        |
| 113       | 21,91424        |
| 114       | 21,86556        |
| 115       | 21,817          |
| 116       | 21,76856        |
| 117       | 21,72024        |
| 118       | 21,67204        |
| 119       | 21,62396        |
| 120       | 21,576          |
| 121       | 21,52816        |
| 122       | 21,48044        |
| 123       | 21,43284        |
| 124       | 21,38536        |
| 125       | 21,338          |
| 126       | 21,29076        |
| 127       | 21,24364        |
| 128       | 21,19664        |
| 129       | 21,14976        |
| 130       | 21,103          |
| 131       | 21,05636        |
| 132       | 21,00984        |
| 133       | 20,96344        |
| 134       | 20,91716        |
| 135       | 20,871          |
| 136       | 20,82496        |
| 137       | 20,77904        |
| 138       | 20,73324        |
| 139       | 20,68756        |

|     |          |
|-----|----------|
| 140 | 20,642   |
| 141 | 20,59656 |
| 142 | 20,55124 |
| 143 | 20,50604 |
| 144 | 20,46096 |
| 145 | 20,416   |
| 146 | 20,37116 |
| 147 | 20,32644 |
| 148 | 20,28184 |
| 149 | 20,23736 |
| 150 | 20,193   |
| 151 | 20,14876 |
| 152 | 20,10464 |
| 153 | 20,06064 |
| 154 | 20,01676 |
| 155 | 19,973   |
| 156 | 19,92936 |
| 157 | 19,88584 |
| 158 | 19,84244 |
| 159 | 19,79916 |
| 160 | 19,756   |
| 161 | 19,71296 |
| 162 | 19,67004 |
| 163 | 19,62724 |
| 164 | 19,58456 |
| 165 | 19,542   |
| 166 | 19,49956 |
| 167 | 19,45724 |
| 168 | 19,41504 |
| 169 | 19,37296 |
| 170 | 19,331   |
| 171 | 19,28916 |
| 172 | 19,24744 |
| 173 | 19,20584 |
| 174 | 19,16436 |
| 175 | 19,123   |
| 176 | 19,08176 |
| 177 | 19,04064 |
| 178 | 18,99964 |
| 179 | 18,95876 |
| 180 | 18,918   |
| 181 | 18,87736 |
| 182 | 18,83684 |

|     |          |
|-----|----------|
| 183 | 18,79644 |
| 184 | 18,75616 |
| 185 | 18,716   |
| 186 | 18,67596 |
| 187 | 18,63604 |
| 188 | 18,59624 |
| 189 | 18,55656 |
| 190 | 18,517   |
| 191 | 18,47756 |
| 192 | 18,43824 |
| 193 | 18,39904 |
| 194 | 18,35996 |
| 195 | 18,321   |
| 196 | 18,28216 |
| 197 | 18,24344 |
| 198 | 18,20484 |
| 199 | 18,16636 |
| 200 | 18,128   |
| 201 | 18,08976 |
| 202 | 18,05164 |
| 203 | 18,01364 |
| 204 | 17,97576 |
| 205 | 17,938   |
| 206 | 17,90036 |
| 207 | 17,86284 |
| 208 | 17,82544 |
| 209 | 17,78816 |
| 210 | 17,751   |
| 211 | 17,71396 |
| 212 | 17,67704 |
| 213 | 17,64024 |
| 214 | 17,60356 |
| 215 | 17,567   |
| 216 | 17,53056 |
| 217 | 17,49424 |
| 218 | 17,45804 |
| 219 | 17,42196 |
| 220 | 17,386   |
| 221 | 17,35016 |
| 222 | 17,31444 |
| 223 | 17,27884 |
| 224 | 17,24336 |
| 225 | 17,208   |

|     |          |
|-----|----------|
| 226 | 17,17276 |
| 227 | 17,13764 |
| 228 | 17,10264 |
| 229 | 17,06776 |
| 230 | 17,033   |
| 231 | 16,99836 |
| 232 | 16,96384 |
| 233 | 16,92944 |
| 234 | 16,89516 |
| 235 | 16,861   |
| 236 | 16,82696 |
| 237 | 16,79304 |
| 238 | 16,75924 |
| 239 | 16,72556 |
| 240 | 16,692   |
| 241 | 16,65856 |
| 242 | 16,62524 |
| 243 | 16,59204 |
| 244 | 16,55896 |
| 245 | 16,526   |
| 246 | 16,49316 |
| 247 | 16,46044 |
| 248 | 16,42784 |
| 249 | 16,39536 |
| 250 | 16,363   |
| 251 | 16,33076 |
| 252 | 16,29864 |
| 253 | 16,26664 |
| 254 | 16,23476 |
| 255 | 16,203   |
| 256 | 16,17136 |
| 257 | 16,13984 |
| 258 | 16,10844 |
| 259 | 16,07716 |
| 260 | 16,046   |
| 261 | 16,01496 |
| 262 | 15,98404 |
| 263 | 15,95324 |
| 264 | 15,92256 |
| 265 | 15,892   |
| 266 | 15,86156 |
| 267 | 15,83124 |
| 268 | 15,80104 |

|     |          |
|-----|----------|
| 269 | 15,77096 |
| 270 | 15,741   |
| 271 | 15,71116 |
| 272 | 15,68144 |
| 273 | 15,65184 |
| 274 | 15,62236 |
| 275 | 15,593   |
| 276 | 15,56376 |
| 277 | 15,53464 |
| 278 | 15,50564 |
| 279 | 15,47676 |
| 280 | 15,448   |
| 281 | 15,41936 |
| 282 | 15,39084 |
| 283 | 15,36244 |
| 284 | 15,33416 |
| 285 | 15,306   |
| 286 | 15,27796 |
| 287 | 15,25004 |
| 288 | 15,22224 |
| 289 | 15,19456 |
| 290 | 15,167   |
| 291 | 15,13956 |
| 292 | 15,11224 |
| 293 | 15,08504 |
| 294 | 15,05796 |
| 295 | 15,031   |
| 296 | 15,00416 |
| 297 | 14,97744 |
| 298 | 14,95084 |
| 299 | 14,92436 |
| 300 | 14,898   |
| 301 | 14,87176 |
| 302 | 14,84564 |
| 303 | 14,81964 |
| 304 | 14,79376 |
| 305 | 14,768   |
| 306 | 14,74236 |
| 307 | 14,71684 |
| 308 | 14,69144 |
| 309 | 14,66616 |
| 310 | 14,641   |
| 311 | 14,61596 |

|     |          |
|-----|----------|
| 312 | 14,59104 |
| 313 | 14,56624 |
| 314 | 14,54156 |
| 315 | 14,517   |
| 316 | 14,49256 |
| 317 | 14,46824 |
| 318 | 14,44404 |
| 319 | 14,41996 |
| 320 | 14,396   |
| 321 | 14,37216 |
| 322 | 14,34844 |
| 323 | 14,32484 |
| 324 | 14,30136 |
| 325 | 14,278   |
| 326 | 14,25476 |
| 327 | 14,23164 |
| 328 | 14,20864 |
| 329 | 14,18576 |
| 330 | 14,163   |
| 331 | 14,14036 |
| 332 | 14,11784 |
| 333 | 14,09544 |
| 334 | 14,07316 |
| 335 | 14,051   |
| 336 | 14,02896 |
| 337 | 14,00704 |
| 338 | 13,98524 |
| 339 | 13,96356 |
| 340 | 13,942   |
| 341 | 13,92056 |
| 342 | 13,89924 |
| 343 | 13,87804 |
| 344 | 13,85696 |
| 345 | 13,836   |
| 346 | 13,81516 |
| 347 | 13,79444 |
| 348 | 13,77384 |
| 349 | 13,75336 |
| 350 | 13,733   |
| 351 | 13,71276 |
| 352 | 13,69264 |
| 353 | 13,67264 |
| 354 | 13,65276 |

|     |          |
|-----|----------|
| 355 | 13,633   |
| 356 | 13,61336 |
| 357 | 13,59384 |
| 358 | 13,57444 |
| 359 | 13,55516 |
| 360 | 13,536   |
| 361 | 13,51696 |
| 362 | 13,49804 |
| 363 | 13,47924 |
| 364 | 13,46056 |
| 365 | 13,442   |
| 366 | 13,42356 |
| 367 | 13,40524 |
| 368 | 13,38704 |
| 369 | 13,36896 |
| 370 | 13,351   |
| 371 | 13,33316 |
| 372 | 13,31544 |
| 373 | 13,29784 |
| 374 | 13,28036 |
| 375 | 13,263   |
| 376 | 13,24576 |
| 377 | 13,22864 |
| 378 | 13,21164 |
| 379 | 13,19476 |
| 380 | 13,178   |
| 381 | 13,16136 |
| 382 | 13,14484 |
| 383 | 13,12844 |
| 384 | 13,11216 |
| 385 | 13,096   |
| 386 | 13,07996 |
| 387 | 13,06404 |
| 388 | 13,04824 |
| 389 | 13,03256 |
| 390 | 13,017   |
| 391 | 13,00156 |
| 392 | 12,98624 |
| 393 | 12,97104 |
| 394 | 12,95596 |
| 395 | 12,941   |
| 396 | 12,92616 |
| 397 | 12,91144 |

|     |          |
|-----|----------|
| 398 | 12,89684 |
| 399 | 12,88236 |
| 400 | 12,868   |
| 401 | 12,85376 |
| 402 | 12,83964 |
| 403 | 12,82564 |
| 404 | 12,81176 |
| 405 | 12,798   |
| 406 | 12,78436 |
| 407 | 12,77084 |
| 408 | 12,75744 |
| 409 | 12,74416 |
| 410 | 12,731   |
| 411 | 12,71796 |
| 412 | 12,70504 |
| 413 | 12,69224 |
| 414 | 12,67956 |
| 415 | 12,667   |
| 416 | 12,65456 |
| 417 | 12,64224 |
| 418 | 12,63004 |
| 419 | 12,61796 |
| 420 | 12,606   |
| 421 | 12,59416 |
| 422 | 12,58244 |
| 423 | 12,57084 |
| 424 | 12,55936 |
| 425 | 12,548   |
| 426 | 12,53676 |
| 427 | 12,52564 |
| 428 | 12,51464 |
| 429 | 12,50376 |
| 430 | 12,493   |
| 431 | 12,48236 |
| 432 | 12,47184 |
| 433 | 12,46144 |
| 434 | 12,45116 |
| 435 | 12,441   |
| 436 | 12,43096 |
| 437 | 12,42104 |
| 438 | 12,41124 |
| 439 | 12,40156 |
| 440 | 12,392   |

|     |          |
|-----|----------|
| 441 | 12,38256 |
| 442 | 12,37324 |
| 443 | 12,36404 |
| 444 | 12,35496 |
| 445 | 12,346   |
| 446 | 12,33716 |
| 447 | 12,32844 |
| 448 | 12,31984 |
| 449 | 12,31136 |
| 450 | 12,303   |
| 451 | 12,29476 |
| 452 | 12,28664 |
| 453 | 12,27864 |
| 454 | 12,27076 |
| 455 | 12,263   |
| 456 | 12,25536 |
| 457 | 12,24784 |
| 458 | 12,24044 |
| 459 | 12,23316 |
| 460 | 12,226   |
| 461 | 12,21896 |
| 462 | 12,21204 |
| 463 | 12,20524 |
| 464 | 12,19856 |
| 465 | 12,192   |
| 466 | 12,18556 |
| 467 | 12,17924 |
| 468 | 12,17304 |
| 469 | 12,16696 |
| 470 | 12,161   |
| 471 | 12,15516 |
| 472 | 12,14944 |
| 473 | 12,14384 |
| 474 | 12,13836 |
| 475 | 12,133   |
| 476 | 12,12776 |
| 477 | 12,12264 |
| 478 | 12,11764 |
| 479 | 12,11276 |
| 480 | 12,108   |
| 481 | 12,10336 |
| 482 | 12,09884 |
| 483 | 12,09444 |

|     |          |
|-----|----------|
| 484 | 12,09016 |
| 485 | 12,086   |
| 486 | 12,08196 |
| 487 | 12,07804 |
| 488 | 12,07424 |
| 489 | 12,07056 |
| 490 | 12,067   |
| 491 | 12,06356 |
| 492 | 12,06024 |
| 493 | 12,05704 |
| 494 | 12,05396 |
| 495 | 12,051   |
| 496 | 12,04816 |
| 497 | 12,04544 |
| 498 | 12,04284 |
| 499 | 12,04036 |
| 500 | 12,038   |
| 501 | 12,03576 |
| 502 | 12,03364 |
| 503 | 12,03164 |
| 504 | 12,02976 |
| 505 | 12,028   |
| 506 | 12,02636 |
| 507 | 12,02484 |
| 508 | 12,02344 |
| 509 | 12,02216 |
| 510 | 12,021   |
| 511 | 12,01996 |
| 512 | 12,01904 |
| 513 | 12,01824 |
| 514 | 12,01756 |
| 515 | 12,017   |
| 516 | 12,01656 |
| 517 | 12,01624 |
| 518 | 12,01604 |
| 519 | 12,01596 |
| 520 | 12,016   |
| 521 | 12,01616 |
| 522 | 12,01644 |
| 523 | 12,01684 |
| 524 | 12,01736 |
| 525 | 12,018   |
| 526 | 12,01876 |

|     |          |
|-----|----------|
| 527 | 12,01964 |
| 528 | 12,02064 |
| 529 | 12,02176 |
| 530 | 12,023   |
| 531 | 12,02436 |
| 532 | 12,02584 |
| 533 | 12,02744 |
| 534 | 12,02916 |
| 535 | 12,031   |
| 536 | 12,03296 |
| 537 | 12,03504 |
| 538 | 12,03724 |
| 539 | 12,03956 |
| 540 | 12,042   |
| 541 | 12,04456 |
| 542 | 12,04724 |
| 543 | 12,05004 |
| 544 | 12,05296 |
| 545 | 12,056   |
| 546 | 12,05916 |
| 547 | 12,06244 |
| 548 | 12,06584 |
| 549 | 12,06936 |
| 550 | 12,073   |
| 551 | 12,07676 |
| 552 | 12,08064 |
| 553 | 12,08464 |
| 554 | 12,08876 |
| 555 | 12,093   |
| 556 | 12,09736 |
| 557 | 12,10184 |
| 558 | 12,10644 |
| 559 | 12,11116 |
| 560 | 12,116   |
| 561 | 12,12096 |
| 562 | 12,12604 |
| 563 | 12,13124 |
| 564 | 12,13656 |
| 565 | 12,142   |
| 566 | 12,14756 |
| 567 | 12,15324 |
| 568 | 12,15904 |
| 569 | 12,16496 |

|     |          |
|-----|----------|
| 570 | 12,171   |
| 571 | 12,17716 |
| 572 | 12,18344 |
| 573 | 12,18984 |
| 574 | 12,19636 |
| 575 | 12,203   |
| 576 | 12,20976 |
| 577 | 12,21664 |
| 578 | 12,22364 |
| 579 | 12,23076 |
| 580 | 12,238   |
| 581 | 12,24536 |
| 582 | 12,25284 |
| 583 | 12,26044 |
| 584 | 12,26816 |
| 585 | 12,276   |
| 586 | 12,28396 |
| 587 | 12,29204 |
| 588 | 12,30024 |
| 589 | 12,30856 |
| 590 | 12,317   |
| 591 | 12,32556 |
| 592 | 12,33424 |
| 593 | 12,34304 |
| 594 | 12,35196 |
| 595 | 12,361   |
| 596 | 12,37016 |
| 597 | 12,37944 |
| 598 | 12,38884 |
| 599 | 12,39836 |
| 600 | 12,408   |
| 601 | 12,41776 |
| 602 | 12,42764 |
| 603 | 12,43764 |
| 604 | 12,44776 |
| 605 | 12,458   |
| 606 | 12,46836 |
| 607 | 12,47884 |
| 608 | 12,48944 |
| 609 | 12,50016 |
| 610 | 12,511   |
| 611 | 12,52196 |
| 612 | 12,53304 |

|     |          |
|-----|----------|
| 613 | 12,54424 |
| 614 | 12,55556 |
| 615 | 12,567   |
| 616 | 12,57856 |
| 617 | 12,59024 |
| 618 | 12,60204 |
| 619 | 12,61396 |
| 620 | 12,626   |
| 621 | 12,63816 |
| 622 | 12,65044 |
| 623 | 12,66284 |
| 624 | 12,67536 |
| 625 | 12,688   |
| 626 | 12,70076 |
| 627 | 12,71364 |
| 628 | 12,72664 |
| 629 | 12,73976 |
| 630 | 12,753   |
| 631 | 12,76636 |
| 632 | 12,77984 |
| 633 | 12,79344 |
| 634 | 12,80716 |
| 635 | 12,821   |
| 636 | 12,83496 |
| 637 | 12,84904 |
| 638 | 12,86324 |
| 639 | 12,87756 |
| 640 | 12,892   |
| 641 | 12,90656 |
| 642 | 12,92124 |
| 643 | 12,93604 |
| 644 | 12,95096 |
| 645 | 12,966   |
| 646 | 12,98116 |
| 647 | 12,99644 |
| 648 | 13,01184 |
| 649 | 13,02736 |
| 650 | 13,043   |
| 651 | 13,05876 |
| 652 | 13,07464 |
| 653 | 13,09064 |
| 654 | 13,10676 |
| 655 | 13,123   |

|     |          |
|-----|----------|
| 656 | 13,13936 |
| 657 | 13,15584 |
| 658 | 13,17244 |
| 659 | 13,18916 |
| 660 | 13,206   |
| 661 | 13,22296 |
| 662 | 13,24004 |
| 663 | 13,25724 |
| 664 | 13,27456 |
| 665 | 13,292   |
| 666 | 13,30956 |
| 667 | 13,32724 |
| 668 | 13,34504 |
| 669 | 13,36296 |
| 670 | 13,381   |
| 671 | 13,39916 |
| 672 | 13,41744 |
| 673 | 13,43584 |
| 674 | 13,45436 |
| 675 | 13,473   |
| 676 | 13,49176 |
| 677 | 13,51064 |
| 678 | 13,52964 |
| 679 | 13,54876 |
| 680 | 13,568   |
| 681 | 13,58736 |
| 682 | 13,60684 |
| 683 | 13,62644 |
| 684 | 13,64616 |
| 685 | 13,666   |
| 686 | 13,68596 |
| 687 | 13,70604 |
| 688 | 13,72624 |
| 689 | 13,74656 |
| 690 | 13,767   |
| 691 | 13,78756 |
| 692 | 13,80824 |
| 693 | 13,82904 |
| 694 | 13,84996 |
| 695 | 13,871   |
| 696 | 13,89216 |
| 697 | 13,91344 |
| 698 | 13,93484 |

|     |          |
|-----|----------|
| 699 | 13,95636 |
| 700 | 13,978   |
| 701 | 13,99976 |
| 702 | 14,02164 |
| 703 | 14,04364 |
| 704 | 14,06576 |
| 705 | 14,088   |
| 706 | 14,11036 |
| 707 | 14,13284 |
| 708 | 14,15544 |
| 709 | 14,17816 |
| 710 | 14,201   |
| 711 | 14,22396 |
| 712 | 14,24704 |
| 713 | 14,27024 |
| 714 | 14,29356 |
| 715 | 14,317   |
| 716 | 14,34056 |
| 717 | 14,36424 |
| 718 | 14,38804 |
| 719 | 14,41196 |
| 720 | 14,436   |
| 721 | 14,46016 |
| 722 | 14,48444 |
| 723 | 14,50884 |
| 724 | 14,53336 |
| 725 | 14,558   |
| 726 | 14,58276 |
| 727 | 14,60764 |
| 728 | 14,63264 |
| 729 | 14,65776 |
| 730 | 14,683   |
| 731 | 14,70836 |
| 732 | 14,73384 |
| 733 | 14,75944 |
| 734 | 14,78516 |
| 735 | 14,811   |
| 736 | 14,83696 |
| 737 | 14,86304 |
| 738 | 14,88924 |
| 739 | 14,91556 |
| 740 | 14,942   |
| 741 | 14,96856 |

|     |          |
|-----|----------|
| 742 | 14,99524 |
| 743 | 15,02204 |
| 744 | 15,04896 |
| 745 | 15,076   |
| 746 | 15,10316 |
| 747 | 15,13044 |
| 748 | 15,15784 |
| 749 | 15,18536 |
| 750 | 15,213   |
| 751 | 15,24076 |
| 752 | 15,26864 |
| 753 | 15,29664 |
| 754 | 15,32476 |
| 755 | 15,353   |
| 756 | 15,38136 |
| 757 | 15,40984 |
| 758 | 15,43844 |
| 759 | 15,46716 |
| 760 | 15,496   |
| 761 | 15,52496 |
| 762 | 15,55404 |
| 763 | 15,58324 |
| 764 | 15,61256 |
| 765 | 15,642   |
| 766 | 15,67156 |
| 767 | 15,70124 |
| 768 | 15,73104 |
| 769 | 15,76096 |
| 770 | 15,791   |
| 771 | 15,82116 |
| 772 | 15,85144 |
| 773 | 15,88184 |
| 774 | 15,91236 |
| 775 | 15,943   |
| 776 | 15,97376 |
| 777 | 16,00464 |
| 778 | 16,03564 |
| 779 | 16,06676 |
| 780 | 16,098   |
| 781 | 16,12936 |
| 782 | 16,16084 |
| 783 | 16,19244 |
| 784 | 16,22416 |

|     |          |
|-----|----------|
| 785 | 16,256   |
| 786 | 16,28796 |
| 787 | 16,32004 |
| 788 | 16,35224 |
| 789 | 16,38456 |
| 790 | 16,417   |
| 791 | 16,44956 |
| 792 | 16,48224 |
| 793 | 16,51504 |
| 794 | 16,54796 |
| 795 | 16,581   |
| 796 | 16,61416 |
| 797 | 16,64744 |
| 798 | 16,68084 |
| 799 | 16,71436 |
| 800 | 16,748   |
| 801 | 16,78176 |
| 802 | 16,81564 |
| 803 | 16,84964 |
| 804 | 16,88376 |
| 805 | 16,918   |
| 806 | 16,95236 |
| 807 | 16,98684 |
| 808 | 17,02144 |
| 809 | 17,05616 |
| 810 | 17,091   |
| 811 | 17,12596 |
| 812 | 17,16104 |
| 813 | 17,19624 |
| 814 | 17,23156 |
| 815 | 17,267   |
| 816 | 17,30256 |
| 817 | 17,33824 |
| 818 | 17,37404 |
| 819 | 17,40996 |
| 820 | 17,446   |
| 821 | 17,48216 |
| 822 | 17,51844 |
| 823 | 17,55484 |
| 824 | 17,59136 |
| 825 | 17,628   |
| 826 | 17,66476 |
| 827 | 17,70164 |

|     |          |
|-----|----------|
| 828 | 17,73864 |
| 829 | 17,77576 |
| 830 | 17,813   |
| 831 | 17,85036 |
| 832 | 17,88784 |
| 833 | 17,92544 |
| 834 | 17,96316 |
| 835 | 18,001   |
| 836 | 18,03896 |
| 837 | 18,07704 |
| 838 | 18,11524 |
| 839 | 18,15356 |
| 840 | 18,192   |
| 841 | 18,23056 |
| 842 | 18,26924 |
| 843 | 18,30804 |
| 844 | 18,34696 |
| 845 | 18,386   |
| 846 | 18,42516 |
| 847 | 18,46444 |
| 848 | 18,50384 |
| 849 | 18,54336 |
| 850 | 18,583   |
| 851 | 18,62276 |
| 852 | 18,66264 |
| 853 | 18,70264 |
| 854 | 18,74276 |
| 855 | 18,783   |
| 856 | 18,82336 |
| 857 | 18,86384 |
| 858 | 18,90444 |
| 859 | 18,94516 |
| 860 | 18,986   |
| 861 | 19,02696 |
| 862 | 19,06804 |
| 863 | 19,10924 |
| 864 | 19,15056 |
| 865 | 19,192   |
| 866 | 19,23356 |
| 867 | 19,27524 |
| 868 | 19,31704 |
| 869 | 19,35896 |
| 870 | 19,401   |

|     |          |
|-----|----------|
| 871 | 19,44316 |
| 872 | 19,48544 |
| 873 | 19,52784 |
| 874 | 19,57036 |
| 875 | 19,613   |
| 876 | 19,65576 |
| 877 | 19,69864 |
| 878 | 19,74164 |
| 879 | 19,78476 |
| 880 | 19,828   |
| 881 | 19,87136 |
| 882 | 19,91484 |
| 883 | 19,95844 |
| 884 | 20,00216 |
| 885 | 20,046   |
| 886 | 20,08996 |
| 887 | 20,13404 |
| 888 | 20,17824 |
| 889 | 20,22256 |
| 890 | 20,267   |
| 891 | 20,31156 |
| 892 | 20,35624 |
| 893 | 20,40104 |
| 894 | 20,44596 |
| 895 | 20,491   |
| 896 | 20,53616 |
| 897 | 20,58144 |
| 898 | 20,62684 |
| 899 | 20,67236 |
| 900 | 20,718   |
| 901 | 20,76376 |
| 902 | 20,80964 |
| 903 | 20,85564 |
| 904 | 20,90176 |
| 905 | 20,948   |
| 906 | 20,99436 |
| 907 | 21,04084 |
| 908 | 21,08744 |
| 909 | 21,13416 |
| 910 | 21,181   |
| 911 | 21,22796 |
| 912 | 21,27504 |
| 913 | 21,32224 |

|     |          |
|-----|----------|
| 914 | 21,36956 |
| 915 | 21,417   |
| 916 | 21,46456 |
| 917 | 21,51224 |
| 918 | 21,56004 |
| 919 | 21,60796 |
| 920 | 21,656   |
| 921 | 21,70416 |
| 922 | 21,75244 |
| 923 | 21,80084 |
| 924 | 21,84936 |
| 925 | 21,898   |
| 926 | 21,94676 |
| 927 | 21,99564 |
| 928 | 22,04464 |
| 929 | 22,09376 |
| 930 | 22,143   |
| 931 | 22,19236 |
| 932 | 22,24184 |
| 933 | 22,29144 |
| 934 | 22,34116 |
| 935 | 22,391   |
| 936 | 22,44096 |
| 937 | 22,49104 |
| 938 | 22,54124 |
| 939 | 22,59156 |
| 940 | 22,642   |
| 941 | 22,69256 |
| 942 | 22,74324 |
| 943 | 22,79404 |
| 944 | 22,84496 |
| 945 | 22,896   |
| 946 | 22,94716 |
| 947 | 22,99844 |
| 948 | 23,04984 |
| 949 | 23,10136 |
| 950 | 23,153   |
| 951 | 23,20476 |
| 952 | 23,25664 |
| 953 | 23,30864 |
| 954 | 23,36076 |
| 955 | 23,413   |
| 956 | 23,46536 |

|     |          |
|-----|----------|
| 957 | 23,51784 |
| 958 | 23,57044 |
| 959 | 23,62316 |
| 960 | 23,676   |
| 961 | 23,72896 |
| 962 | 23,78204 |
| 963 | 23,83524 |
| 964 | 23,88856 |
| 965 | 23,942   |
| 966 | 23,99556 |
| 967 | 24,04924 |
| 968 | 24,10304 |
| 969 | 24,15696 |
| 970 | 24,211   |
| 971 | 24,26516 |
| 972 | 24,31944 |
| 973 | 24,37384 |
| 974 | 24,42836 |
| 975 | 24,483   |
| 976 | 24,53776 |
| 977 | 24,59264 |
| 978 | 24,64764 |
| 979 | 24,70276 |
| 980 | 24,758   |
| 981 | 24,81336 |
| 982 | 24,86884 |
| 983 | 24,92444 |
| 984 | 24,98016 |
| 985 | 25,036   |
| 986 | 25,09196 |
| 987 | 25,14804 |
| 988 | 25,20424 |
| 989 | 25,26056 |
| 990 | 25,317   |
| 991 | 25,37356 |
| 992 | 25,43024 |
| 993 | 25,48704 |
| 994 | 25,54396 |
| 995 | 25,601   |
| 996 | 25,65816 |
| 997 | 25,71544 |
| 998 | 25,77284 |
| 999 | 25,83036 |

|      |        |
|------|--------|
| 1000 | 25,888 |
|------|--------|

Anexo 16. Dosis óptimas  
Autoría propia