

**Evaluación del desempeño técnico operativo del proceso de potabilización del
acueducto El Destino en la localidad de Usme.**

Juan Manuel Cruz Rojas

Johnatan Cruz Rojas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela De Ciencias Básicas Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C

2022

**Evaluación del desempeño técnico operativo del proceso de potabilización del
acueducto El Destino en la localidad de Usme.**

Juan Manuel Cruz Rojas

Johnatan Cruz Rojas

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
Ambiental

Director:

Pablo Alberto Quintero Cotes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela De Ciencias Básicas Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C

2022

Página de Aceptación

Pablo Alberto Quintero Cotes

Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Bogotá-2022

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por ser nuestro guía en esta larga etapa llena de aprendizaje continuo, a mi familia que siempre estuvo presente y nos motivaron a culminar este logro tan anhelado.

Queremos agradecer también a los docentes y compañeros que nos acompañaron a lo largo del desarrollo de este proyecto. Nuestro agradecimiento también se extiende al director de grado el ingeniero Pablo Alberto Quintero Cotes por su constante apoyo y dedicación al exitoso desarrollo del proyecto.

Por último, agradezco también agradecer a la profesora Diana Marcela Muñoz Nieto quien nos permitió realizar el acercamiento en el proyecto de los acueductos rurales.

Resumen

El suministro de agua potable se debe dar a través de una adecuada operación y mantenimiento de los procesos que componen un sistema de potabilización; garantizando así un adecuado suministro a la población, en el presente proyecto se realizará una evaluación del desempeño técnico operativo del proceso de potabilización del acueducto El Destino en la localidad de Usme y con ello validar los lineamientos dispuestos en la normatividad nacional para este fin. En el documento se señala la problemática que tienen estas comunidades organizadas entorno al recurso hídrico, y como a pesar de mostrar avances en materia de tecnologías y recursos para el tratamiento, en la actualidad persisten diferencias marcadas entre zonas rurales y urbanas que limitan el acceso a un servicio de calidad para esta población.

Para empezar a identificar las condiciones actuales en las que se encuentra dicho proceso de potabilización, se partió desde la fase de diagnóstico, siendo el punto de partida para formular una línea base y así analizar las acciones que se debían implementar en base a los hallazgos encontrados, los cuales se detallan a más profundidad en el documento y que se identificaron en base a las pruebas que se realizaron en el punto de captación de la quebrada Piedras Gordas y de la misma forma en afluente y efluente de la planta para saber que parámetros se debían ajustar desde el enfoque técnico y de control operacional donde se brindó capacitación sobre el uso correcto en los equipos de laboratorio, entregando instructivos y un manual de operación de la planta de tratamiento de agua potable, documentos esenciales para contribuir a un adecuado proceso de potabilización.

Palabras clave: acueducto, agua, parámetros, potabilización

Abstract

The supply of drinking water must be given through an adequate operation and maintenance of the processes that make up a purification system; thus, guaranteeing an adequate supply to the population, in this project an evaluation of the operational technical performance of the purification process of the El Destino aqueduct in the town of Usme will be carried out and thereby validate the guidelines provided in the national regulations for this purpose. The document points out the problems that these organized communities have around water resources, and how, despite showing progress in terms of technologies and resources for treatment, marked differences still persist between rural and urban areas that limit access to water. quality service for this population.

To begin to identify the current conditions in which said purification process is found, it started from the diagnostic phase, being the starting point to formulate a baseline and thus analyze the actions that could be implemented based on the findings found. , which are detailed in greater depth in the document and which were identified based on the tests that were carried out at the catchment point of the Piedra Gorda stream and in the same way in the influent and effluent of the plant to know what parameters are they must adjust from the technical and operational control approach where training was provided on the correct use of laboratory equipment, delivering instructions and an operation manual of the drinking water treatment plant, essential documents to contribute to an adequate purification process .

Keywords: aqueduct, water, parameter, purification.

Tabla de contenido

Lista de Tablas	10
Lista de Ilustraciones	12
Lista de Gráficas	14
Lista de Ecuaciones.....	15
Lista de anexos.....	16
Introducción	17
Justificación	19
Objetivos	23
Objetivo General	23
Objetivos específicos.....	23
Marco Teórico.....	24
Marco Normativo.....	26
Marco Espacial.....	28
Zona de estudio	29
Zonificación POMCA río Bogotá en relación con la fuente de captación	31
Metodología	33
Fase de diagnóstico.....	33
Fase de análisis.....	36

Resultados y análisis de resultados	37
Métodos para determinar las características fisicoquímicas	37
Calidad de agua para consumo humano	38
Protocolo para la toma de muestras de agua potable.....	39
Análisis de normatividad aplicable	41
Simulación IRCA primeros monitoreos	42
Cálculo IT	44
Cálculo IC.....	45
Cálculo IRABApp	46
Ensayo de Tratabilidad.....	49
Curva de demanda de Cloro	49
Análisis de resultados curva de demanda de cloro	56
Seguimiento realizado al sistema de potabilización	61
VARIABLES BOCATOMA	62
Tendencia entre parámetros ambientales Bocatoma	63
Tendencia entre parámetros de calidad de Agua Bocatoma.....	65
Análisis Variables Bocatoma	66
VARIABLES ENTRADA PLANTA.....	68
Tendencia de parámetros ambientales Entrada Planta	69
Tendencia entre parámetros de calidad de Agua Entrada Planta	71

Análisis Variables Entrada	72
Variables Salida Planta	73
Tendencia de parámetros ambientales Salida Planta.....	74
Tendencia de parámetros calidad de agua Salida Planta	76
Tendencia de parámetros de seguimiento Salida Planta.....	78
Análisis Variables Salida.....	79
Variables Meteorológicas	81
Porcentajes de remoción en parámetros.....	83
Fase final de socialización y capacitación	86
Conclusiones	88
Recomendaciones.....	89
Bibliografía	90
Lista de anexos.....	92
Anexo. Manual de control y operación de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto El Destino.....	92
Anexo. Instructivo de análisis de laboratorio sistema de tratamiento agua potable acueducto El Destino.....	102
Anexo. Formatos de control operacional acueducto El Destino	114

Lista de Tablas

Tabla 1. Marco Normativo.....	27
Tabla 2. Simulación IRCA primer muestreo.....	42
Tabla 3. Simulación IRCA cuarto muestreo	44
Tabla 4. Puntajes para el índice de tratamiento del agua para consumo.....	45
Tabla 5. Resumen indicadores analizados	47
Tabla 6. Características iniciales del agua	50
Tabla 7. Datos preparación solución.....	51
Tabla 8. Resultados curva 1	52
Tabla 9. Resultados curva 2	54
Tabla 10. Equipos para medición de muestras.....	58
Tabla 11. Métodos de Análisis.....	59
Tabla 12. Descripción de modelo parámetros ambientales.....	63
Tabla 13. Resumen de procesamiento de casos. Parámetros ambientales	63
Tabla 14. Descripción del modelo parámetros de calidad de Agua.....	65
Tabla 15. Procesamiento de casos parámetros de calidad de Agua	65
Tabla 16. Descripción de modelo parámetros ambientales entrada	69
Tabla 17. Procesamiento de casos. Parámetros entrada	69
Tabla 18. Descripción del modelo parámetros de entrada.	71
Tabla 19. Procesamiento de casos parámetros de entrada	71
Tabla 20. Descripción del modelo parámetros ambientales de salida	74
Tabla 21. Procesamiento de casos parámetros ambientales de salida.....	74
Tabla 22. Descripción del modelo parámetros calidad de agua salida	76

Tabla 23. Procesamiento de casos. Parámetros calidad del agua salida	76
Tabla 24. Descripción modelo parámetros de seguimiento	78
Tabla 25. Procesamiento de casos parámetros salida.....	78
Tabla 26. Resultado promedio de parámetros por puntos.....	83
Tabla 27. Posición válvulas filtro.....	95
Tabla 28. Frecuencia y análisis de laboratorio para el sistema de tratamiento	100

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación y fotografía acueducto El Destino	29
Ilustración 2. Bocatoma acueducto el Destino	30
Ilustración 3. Zonificación POMCA Río Bogotá.....	31
Ilustración 4. Estaciones Meteorológicas.....	32
Ilustración 5. Lista de chequeo visita inicial.....	34
Ilustración 6. Visita de reconocimiento Bocatoma	35
Ilustración 7. Medición de parámetros Bocatoma en invierno y verano.....	36
Ilustración 8. Toma de muestras salida planta	39
Ilustración 9. Muestra Inicial	49
Ilustración 10. Mezcla solución patrón	50
Ilustración 11. Datos Parámetros Bocatoma	62
Ilustración 12. Datos Parámetros Entrada.....	68
Ilustración 13. Datos parámetros de salida	73
Ilustración 14. Capacitación Normatividad.....	86
Ilustración 15. Diagrama de Bloques	92
Ilustración 16. Macromedidor de ingreso	93
Ilustración 17. Aforo de bomba dosificadora.....	97
Ilustración 18. Formato Control de reactivos.....	115
Ilustración 19. Formato Control de insumos químicos	116
Ilustración 20. Formato Control de caudales	117
Ilustración 21. Formato Control de lavado de Filtro.....	118
Ilustración 22. Formato de Control de parámetros.....	119

Ilustración 23. Formato de Control de volúmenes tanque almacenamiento	120
---	-----

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Tabulación primer ensayo	53
Gráfica 2. Tabulación segundo ensayo	55
Gráfica 3. Tendencia de parámetros ambientales	64
Gráfica 4. Tendencia parámetros calidad del agua bocatoma.....	66
Gráfica 5. Tendencia parámetros ambientales entrada	70
Gráfica 6. Tendencia parámetros entrada.....	72
Gráfica 7. Tendencia parámetros ambientales salida.....	75
Gráfica 8. Tendencia parámetros salida	77
Gráfica 9. Tendencia parámetros de seguimiento	79
Gráfica 10. Datos temperatura estacion meteorológica La Esperanza.....	81
Gráfica 11. Datos precipitaciones estacion meteorológica La Esperanza.....	82

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo IRCA.....	42
Ecuación 2. Cálculo simulación IRCA 1	43
Ecuación 3. Cálculo simulación IRCA 2	44
Ecuación 4. Cálculo del índice de continuidad	45
Ecuación 5. Simulación cálculo del índice de continuidad.....	46
Ecuación 6. Cálculo IRABApp.....	46
Ecuación 7. Cálculo dosis desinfectante	56
Ecuación 8. Cálculo Dureza.....	60
Ecuación 9. Cálculo Alcalinidad.....	60
Ecuación 10. Cálculo porcentaje de remoción.....	83
Ecuación 11. Cálculo porcentaje de remoción Color.....	84
Ecuación 12. Cálculo porcentaje de remoción Turbiedad	84
Ecuación 13. Cálculo porcentaje de remoción Hierro	85
Ecuación 14. Cálculo de caudal	94
Ecuación 15. Calculo dosis desinfectante	96

Lista de anexos

Anexo. Manual de control y operación de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto El Destino.....	92
Anexo. Instructivo de análisis de laboratorio sistema de tratamiento agua potable acueducto El Destino.....	102
Anexo. Formatos de control operacional acueducto El Destino	114

Introducción

El agua es uno de los principales recursos naturales y vitales para la vida de diversos organismos como las plantas animales y el ser humano, su importancia recae en que el agua es utilizada en todas las actividades primordiales como la agricultura, procesos productivos, la alimentación, entre otras actividades. Prácticamente, son pocas las cosas que se pueden realizar en nuestra vida sin usar un recurso tan valioso como el agua. Siendo una de las principales razones, para considerar según Rivera, (2021) a;

Colombia como un territorio afortunado, por su riqueza en recursos hídricos, ya que, por su posición privilegiada es una de las zonas más lluviosas del planeta que produce grandes y torrentosos ríos que corren a lo largo de la geografía. Además, de tener más del 25 % del territorio nacional constituido de humedales (p. 34).

El acceso de agua potable en zonas apartadas del país comprende un reto en materia de abastecimiento puesto que al ser comunidades apartadas se pueden ver afectadas por la falta de infraestructura destinada para suplir dicha necesidad. El acueducto El Destino en zona rural de Usme hace parte de la Red territorial de Acueductos Comunitarios de Bogotá y Cundinamarca puesto que al ser zonas apartadas del casco urbano y con una población ampliamente distribuida en extensión territorial no tiene cobertura del servicio por parte del acueducto de Bogotá razón por la cual se tienen plantas de tratamiento de agua potable en las veredas de Olarte y Destino que permiten el acceso de agua potable para estas comunidades.

Si bien en la actualidad estas comunidades tienen acceso a este líquido vital, se debe realizar un mayor acompañamiento en temas de asistencia técnica a los prestadores del servicio, específicamente en el área de estudio en la planta del acueducto El Destino es necesario implementar estrategias que permitan afianzar las bases académicas con el conocimiento que

tienen las comunidades en el manejo del proceso de potabilización con el fin de generar un mayor grado de eficiencia involucrando actividades desde el territorio, empezando desde la fuente de abastecimiento hasta su distribución final, este documento contiene el desarrollo de la evaluación del desempeño técnico y operativo del proceso de potabilización del acueducto el Destino en la localidad de Usme.

Justificación

El agua es el componente principal para la materia viva, es esencial para la supervivencia y se encuentra presente en infinidad de procesos tanto químicos como fisiológicos; cada una de las propiedades de este líquido vital hace que un individuo no pueda estar excluido de un entorno sin agua. En la actualidad la localidad de Usme según datos la Secretaría de Desarrollo Económico de La Alcaldía Mayor De Bogotá citando a Mosquera (2019) “concentra 4,2% de las personas de la ciudad, de las cuales 50,5% son mujeres y 49,5% hombres, conformando 3,7% de los hogares de Bogotá” (p.1).

Teniendo en cuenta lo que indica la secretaria Distrital de Planeación (2020) “del total del suelo de la localidad de Usme (21.506 Ha.), el 86% corresponde a suelo rural (18.500 Ha.), el 10% a suelo urbano (2.104 Ha.) y el 4% a suelo de expansión urbana (902 Ha)” (p.1). La mayoría de su población se encuentra concentrada en la zona urbana la cual recibe el servicio de acueducto por parte de la EABB por ende la población restante que se encuentra en la zona rural y específicamente para la zona de estudio en la vereda El Destino, es fundamental garantizar el suministro de agua potable a través de una adecuada operación y mantenimiento de los procesos que componen el sistema de potabilización; conservando el correcto funcionamiento de los equipos y estructuras de la planta de tratamiento.

Claramente, nuestro país puede asociarse con un productor de agua a nivel mundial, también por contar con sistemas de páramos que son fábricas naturales de agua. Este panorama nos hace sentir completamente orgullosos y creer que son pocas las carencias frente al recurso hídrico. Sin embargo, desafortunadamente, la oferta de agua en nuestro país no es tan amplia como pensamos, dado que por factores naturales y antrópicos como son especialmente, las causas asociadas al cambio climático, la intervención humana de cuencas hidrográficas y el

abandono del estado, existe una amenaza permanente para la seguridad hídrica de la nación. La situación afecta fundamentalmente a la población más vulnerable y coloca de manifiesto una fuerte debilidad institucional, para responder oportunamente frente a emergencias por eventos complejos como pueden ser el fenómeno del niño, el fenómeno de la niña, la contaminación de las fuentes de abastecimiento y descargas de vertimientos. Limitando la disponibilidad en términos de cantidad y calidad.

Una situación relacionada con la oferta limitada al agua es el caso de algunas zonas rurales en Colombia. Primero, por el abandono del estado, lo que restringe el acceso de las comunidades a beneficios económicos para mejorar sus sistemas de abastecimiento y distribución, segundo por la gestión poco eficiente de las instituciones encargadas, las cuales no realizan un seguimiento oportuno a los procesos de los acueductos y de esta manera no les permite mejorar frente a temas asociados con la conservación de sus fuentes de abastecimiento y potabilización del agua. Perdiendo la posibilidad de acceder a programas regionales como los contemplados en los Planes Departamentales del Agua y en los nacionales como Agua al Campo.

Según el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021) el grado de avance en materia de potabilización del agua en zonas rurales es de 76.2%, sin lograr cumplir completamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 de Agua Limpia y Saneamiento Básico. Otros datos interesantes por parte del Instituto Nacional de Salud (INS), hace referencia a la calidad del agua para consumo humano, con un reporte para el año 2020 de IRCA nacional de 65.1 % “sin riesgo”, el 2.36% nivel de riesgo “bajo”, el 8.31% nivel de riesgo “medio”, el 17.32% nivel de riesgo “alto” y el 6.94 % en nivel de riesgo “inviabile sanitariamente”. De todos los sitios monitoreados, el 52.5 % de las muestras hacen parte de la zona urbana con IRCA que corresponde a un nivel de riesgo “bajo” y el 47.5% fueron registradas

en zona rural con un IRCA clasificado en nivel de riesgo “Medio (Instituto Nacional de Salud, 2020).

Estas cifras evidencian que definitivamente existe una problemática que es más fuerte en al área rural para el tratamiento de agua con destino para consumo humano. El contexto de la situación se convierte en un incentivo para trabajar con las comunidades rurales de las localidades de Bogotá, donde se han realizado trabajos interesantes entorno a la gestión y gobernanza del agua.

Sin embargo, y como se puede revisar de diferentes artículos y referentes bibliográficos, en los sitios en los que existe esa transición a la ruralidad, básicamente en el borde sur de la ciudad, son marcadas las diferencias sociales y económicas, profundizando la brecha de acceso al agua. Este tipo de fenómenos se pueden observar muy bien en una localidad como Usme. Como se indica por la Alcaldía Local de Usme (2016);

Esta localidad en el suroriente de la ciudad se encuentra separada del casco urbano principal de la ciudad, aunque incluye varios barrios del sur con extensas zonas rurales. Está dividida en siete UPZ y posee más de 120 barrios y 17 veredas” (p.1).

De esas veredas el sitio de este estudio se ubicará en la vereda el Destino la cual tiene una importante concentración de características urbanas, debido al centro poblado que posee, además de ser centro de recepción de la demás población rural de la localidad, dado que allí se encuentra el colegio El Destino, que es un centro educativo de relevancia dentro de la zona rural y tiene además el centro de salud más concurrido de la región.

Pero ¿Por qué es tan importante evaluar el desempeño del proceso de potabilización de un acueducto en una zona rural?, la respuesta es sencilla, al ser el recurso fundamental para el

desarrollo de las comunidades es imprescindible asegurar que el agua distribuida en la vereda El Destino en zona rural de Usme cumpla con todos los requerimientos establecidos en la normatividad legal vigente y permita verificar la eficiencia del tratamiento empleado para la potabilización del agua.

La problemática actual en el tratamiento de agua potable del acueducto El Destino está afectando directamente la biodiversidad y fuentes hídricas llegando al punto de pérdida de reservas naturales. Esta problemática lleva a brindar soluciones inmediatas se plantean soluciones para disminuir el impacto que genera la contaminación en bocatoma y razón por la cual disminuye el caudal a planta.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el desempeño técnico y operativo del proceso de potabilización del acueducto El Destino en la localidad de Usme.

Objetivos específicos

Verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos y operativos en el tratamiento de agua para consumo humano según el marco legal aplicable.

Realizar seguimiento al sistema de potabilización en términos de indicadores de calidad fisicoquímicos y microbiológicos.

Diseñar una estrategia de socialización y capacitación al personal de la planta con todos los resultados del estudio.

Marco Teórico

Los acueductos comunitarios rurales, son organizaciones comunitarias creadas con el objeto de entregar agua a comunidades rurales que se encuentran ubicadas en las áreas productoras de recursos hídricos (páramos, bosques altoandinos) del sur de Bogotá y donde la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá- EAAB no presta el servicio por normatividad. Sin embargo, en este territorio la empresa cuenta con el sistema sur que abastece en un 2.5% aproximadamente de agua a la Ciudad.

El acueducto rural El Destino hace parte de la Red territorial de Acueductos Comunitarios de Bogotá y Cundinamarca. Esta empieza a crearse en el marco del referendo por el Agua, es un espacio de confluencia para el apoyo y fortalecimiento de los acueductos comunitarios. La red inicialmente se llamó PTACO. Proceso Territorial de Acueductos Comunitarios, este contaba con el apoyo de organizaciones no gubernamentales como CINEP, ENDA Colombia, Censat Agua Viva, Planeta Paz, Corpofrailejón, jóvenes universitarios y algunas personas de la Mesa Cerros Orientales de Bogotá.

PTACO empezó a trabajar por el fortalecimiento regional desde las capacitaciones y junto con la Corporación Autónoma Regional CAR Bogotá la Calera se realizaron 12 encuentros donde creció el número de acueductos interesados en el proceso. Finalmente, hubo una ruptura con algunas de las organizaciones no gubernamentales aliadas, por lo cual se creó RETACO, la nueva configuración trajo consigo la permanencia de los acueductos comunitarios y las organizaciones, Censat Agua Viva y ENDA Colombia como acompañantes clave en una función solidaria.

En 2010 se da paso a la creación de estatutos y de la personería jurídica de RETACO que se erigió como una asociación legítima donde participaron 15 acueductos de Bogotá y Cundinamarca (Red Territorial de Acueductos Comunitarios de Bogotá y Cundinamarca, 2021).

El acueducto el Destino con la misma denominación de la vereda abastece un número aproximado de 208 suscriptores estos datos suministrados con los encargados de la administración del acueducto. La fuente de abastecimiento es la Quebrada Piedra Gorda, que, si bien es de una buena calidad según estudios previos, si presenta en algunos momentos inconvenientes con la turbiedad y el color. Así como la problemática asociada a la cantidad de agua en periodo seco ($Q_{medio_diario}: 1.98l/s$). Según el fontanero del acueducto y corroborado con los aforos volumétricos realizados en campo.

Otros factores como la operación del sistema, seguimiento a la calidad del agua y el conocimiento de los fontaneros será fundamental para evaluar el proceso de desempeño de potabilización del acueducto de la vereda El Destino con el fin de garantizar la calidad de agua suministrada a la comunidad y dado el caso poder tomar acciones preventivas y correctivas que permitan el cumplimiento del IRCA.

Marco Normativo

La normatividad legal colombiana en materia ambiental, específicamente con calidad de agua abarca un conjunto de tratados, convenios, estatutos y reglamentos que se acogen a estándares internacionales. El desarrollo del presente trabajo, se emplea la normatividad colombiana como base primordial para identificar los aspectos con los que debe contar el recurso hídrico y su manejo. A continuación, se indica la normatividad relacionada.

Tabla 1.*Marco Normativo*

Norma	Descripción
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones
Decreto Nacional 475 de 2008	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Resolución 844 de 2017.	Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico para Zonas Rurales RAS Rural.
Resolución 2115 de 2007	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
Resolución 622 de 2020	Por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Marco Espacial

La localidad 5 Usme situada en el sur de Bogotá, limita al norte con las localidades San Cristóbal (4), Rafael Uribe Uribe (18) y Tunjuelito (6); al oriente con los municipios de Chipaque y Une; al sur con la localidad de Sumapaz (20); y al occidente con la localidad Ciudad Bolívar (19), con el Río Tunjuelo de por medio y los municipios de Pasca y Soacha; cuenta con 450.000 habitantes. Esta localidad tiene una extensión de 21.506 hectáreas (ha), de estas 2.120 ha corresponden a suelo urbano, 902 ha se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes 18.483 ha constituyen suelo rural. Usme ocupa el segundo lugar, después de Sumapaz, entre las localidades con mayor superficie dentro del Distrito Capital.

Los recursos hídricos de Usme son abundantes: los ríos Tunjuelo, Curubital, Chisacá, Lechoso y Mugroso son los más importantes. En el área urbana de la localidad se destacan entre otras quebradas: La Requilina, La Taza, El Piojo, Chiguaza, Yomasa, Bolonia, La Resaca, Santa Librada, Morales y El Zuque¹. Esta localidad cuenta con una temperatura promedio de 13° grados promedio anual, Humedad Relativa entre seca y semi-seca, Precipitación Total 800 a 1.000 mm promedio anual (Periodo más lluvioso abril a octubre) (Periodo más seco noviembre a marzo) y Altitud 2276 metros sobre el nivel del mar (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER, 2018).

Zona de estudio

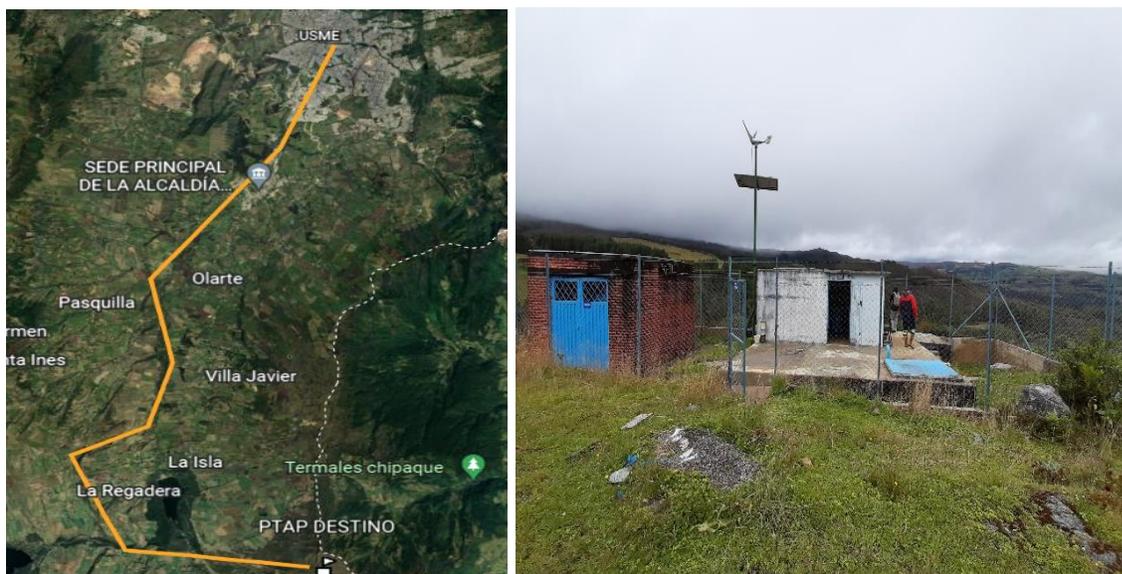
El acueducto El Destino se encuentra ubicado en zona rural de la localidad de Usme y abastece a un promedio de 208 suscriptores de acuerdo con datos suministrados por los encargados de la administración del acueducto. La fuente de abastecimiento es la Quebrada Piedra Gorda, ver ilustración 1.

Planta de Tratamiento

La planta de tratamiento de agua potable del acueducto El Destino se encuentra situada a una altura sobre el nivel del mar entre 3249.54 metros de altitud y 3270.50 metros de altitud, su latitud es de $4^{\circ}37'88.92''N$ y su longitud corresponde a $74^{\circ}11'28.00''O$; la planta de tratamiento se encuentra a 5 Km de la vereda El Destino y a 10,5 Km de la alcaldía local de Usme.

Ilustración 1.

Ubicación y fotografía acueducto El Destino



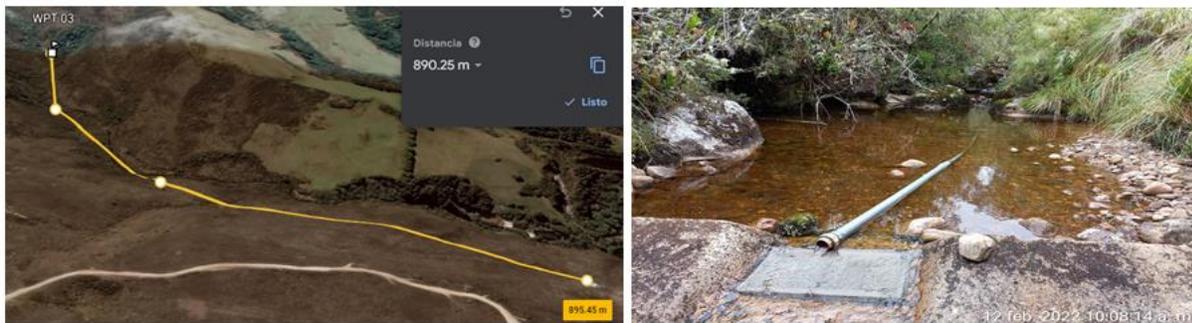
Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Bocatoma

La fuente de abastecimiento es la Quebrada Piedras Gordas se encuentra situada a una altura sobre el nivel del mar entre 3337.63 metros de altitud y 3358.60 metros de altitud, su latitud es de $4^{\circ}37'46.88."N$ y su longitud corresponde a $74^{\circ}10'64.57"O$; la bocatoma se encuentra a 890 metros de distancia de la planta de tratamiento. Ver ilustración 2

Ilustración 2.

Bocatoma acueducto el Destino



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

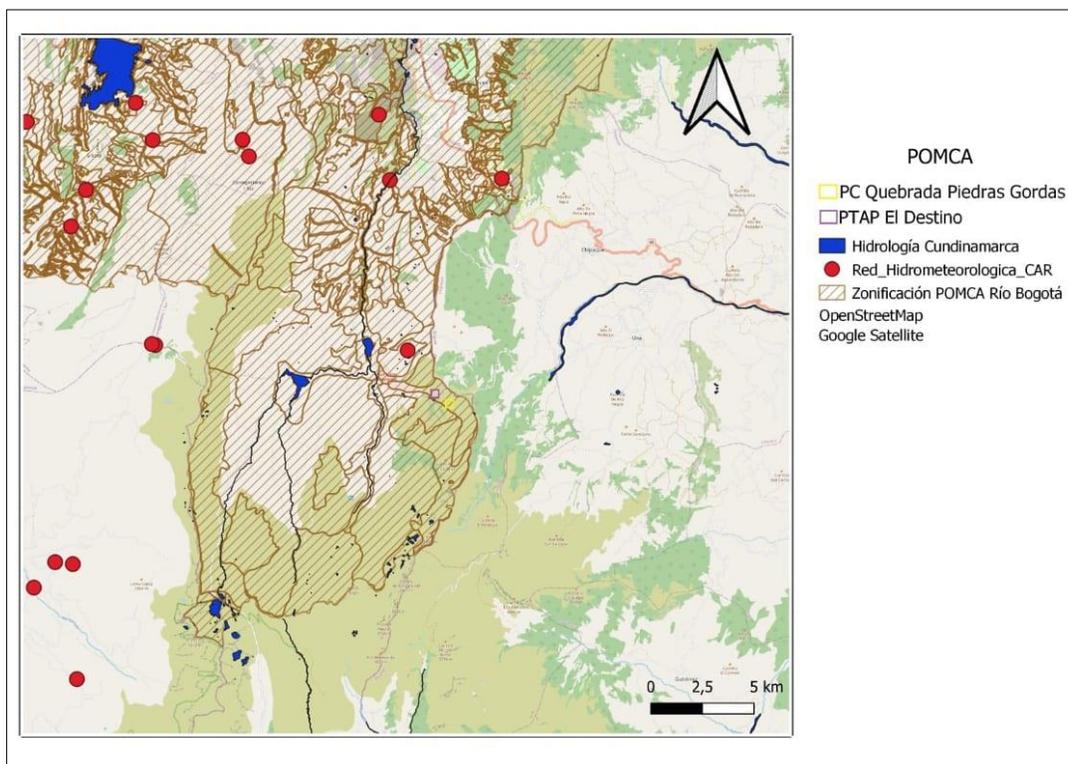
La localidad de Usme se caracteriza por tener gran riqueza hídrica puesto que en esta zona nacen afluentes que pertenecen a la cuenca del río Tunjuelo que a su vez desemboca en el río Bogotá, por esto es importante conocer si dentro del área de estudio se encuentra articulado con el POMCA del río Bogotá, con el objetivo de conocer el área total que se encuentra dentro de este plan.

Zonificación POMCA río Bogotá en relación con la fuente de captación

En el mapa de la ilustración 3 se puede identificar la zonificación del POMCA del río Bogotá la cual cubre el área de estudio de la quebrada piedras gordas, siendo una de las principales fuentes hídricas de la zona rural de Usme. La ubicación de la bocatoma y la PTAP fueron tomadas en campo con ayuda de un GPS y exportadas en archivo KML para su posterior visualización en el programa QGIS, también se utilizó las capas en archivo SHP que se encuentran en la página web de la CAR.

Ilustración 3.

Zonificación POMCA Río Bogotá

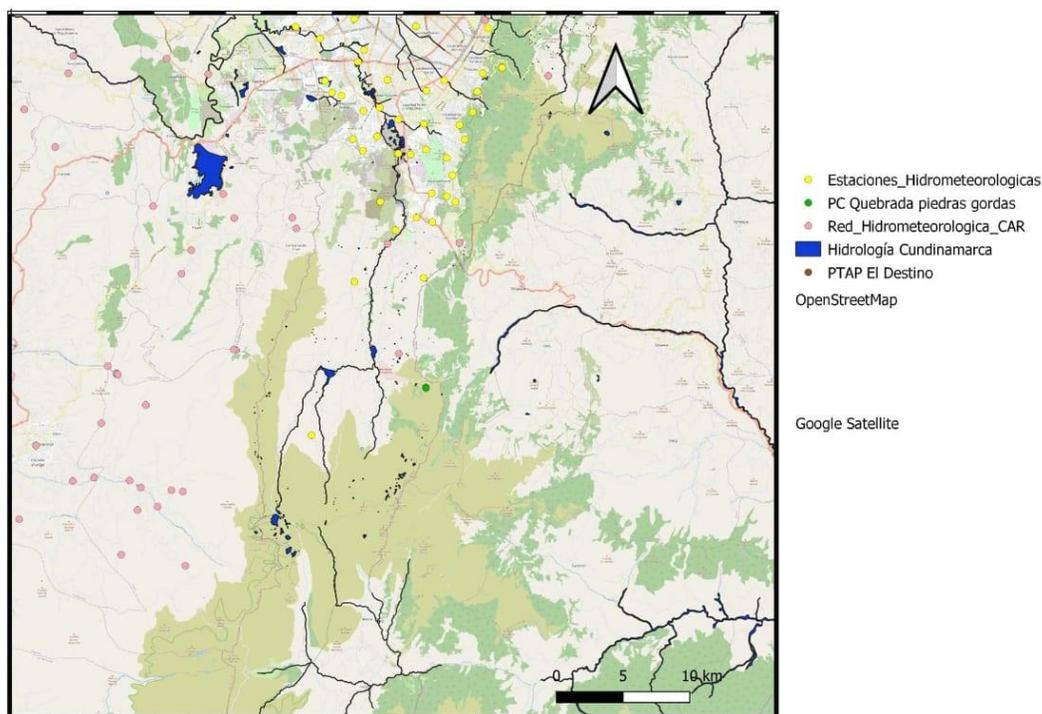


Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

En el mapa de la ilustración 4 se puede identificar la presencia de estaciones meteorológicas en la zona de estudio por parte de la alcaldía de Bogotá y la CAR que permite verificar los datos tomados en la zona de estudio de la quebrada piedras gordas y permite estimar cuantitativamente las precipitaciones anuales en la zona, así como las variaciones en temperatura. La estación meteorológica más cercana se encuentra aproximadamente a 2 km de la zona de estudio y con estos datos permite corroborar la información que se obtuvo en campo donde las temperaturas dentro del tiempo de estudio oscilaron entre los 8°C y 12°C. Teniendo en cuenta la altitud a la que se encuentra la planta de tratamiento la sensación térmica puede estar abajo se esté promedio.

Ilustración 4.

Estaciones Meteorológicas



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó un análisis de tipo cualitativo y cuantitativo.

Las fases del proyecto se describen a continuación:

Fase de diagnóstico

Para cumplir con el objetivo evaluar el desempeño del proceso de potabilización, se desarrolló una visita de reconocimiento del acueducto para conocer el proceso y lograr verificar las características generales del mismo, en dicha visita se diligencio una lista de chequeo (ver ilustración 5) posteriormente se realizaron nueve visitas más en campo, puntualmente en bocatoma, en planta y red de distribución recolectando información secundaria que permitió el diligenciamiento de listas de chequeo con aspectos claves del proceso, sumado a esto se realizaron ensayos de tratabilidad para verificar dosificación de desinfectante que se emplea actualmente y también se procedió a toma de muestras del afluente y efluente para poder conocer la calidad del agua antes y después del tratamiento.

En esta fase también se realizó un acompañamiento al personal de planta con el fin de afianzar sus conocimientos y buscar mejorar sus competencias para el seguimiento eficiente del proceso de potabilización.

Ilustración 5.

Lista de chequeo visita inicial

LISTA DE CHEQUEO VISITA DE RECONOCIMIENTO ACUEDUCTO EL DESTINO					
UBICACIÓN	Planta de tratamiento de agua potable acueducto El Destino zona rural de Usme				
CIUDAD	Bogotá D.C				
FECHA	6/10/2021				
ÍTEM	Cumple	Cumple Parcialmente	No Cumple	N/A	OBSERVACIÓN
¿El área de ingreso a la planta de tratamiento es de fácil acceso?				X	Difícil acceso desde vía principal hasta planta de tratamiento
¿Cuánto personal está a cargo del tratamiento de agua?	X				1 operador
¿El punto de captación es de fácil acceso?				X	Difícil acceso, aproximadamente a 1 km de la ptap
¿El caudal es constante?			X		No, tiene variación constante sobre todo en invierno
¿Se realiza aforo diario de caudal de ingreso?			X		En promedio 3 veces a la semana, según indica operador
¿Se cuenta con sistema de bombeo desde el punto de captación hasta la planta de tratamiento?			X		Por gravedad
¿De qué material es la línea de aducción?				X	Manguera PVC 3"
¿Con que sistema de tratamiento cuenta la planta?	X				Captación, aducción, filtración (actualmente filtro deshabilitado), desinfección, almacenamiento y distribución.
¿Se cuenta con equipos de medición?		X			Básicos, falta calibración y reactivos
¿Cuál es la frecuencia con que se realiza medición de parámetros en la planta?		X			1 vez al día (turbiedad, cloro residual)
¿Cuenta con tanque de almacenamiento de agua potable?	X				Capacidad 100 m3
Describe el sistema utilizado para la desinfección					Inyección de cloro con bomba dosificadora de diafragma.
¿Se cuenta con energía eléctrica?			X		No, es difícil por la ubicación de la planta. Se cuenta con baterías industriales y panel solar para la bomba
¿Se lleva control de insumos y reactivos químicos usados?			X		No se manejan formatos
¿Se llevan registros de variables de operación? Bitácora, agua tratada, control de parámetros, etc			X		No se manejan formatos
¿Se cuenta con sistema de bombeo desde la planta de tratamiento hacia la red de distribución?	X				Bomba tipo lapicero de 2"
¿Hay puntos de muestreo establecidos en la red de suministro?	X				Vía principal, batallón y colegio de la vereda
¿El personal que opera la planta de tratamiento este certificado en competencias laborales por el SENA?			X		
CONCLUSIONES	Se debe enfocar el desarrollo del trabajo en la evaluación del proceso de potabilización puesto que se evidencian falencias técnicas que se pueden corregir, se debe realizar toma de muestras tanto en bocatoma como en planta para verificar cumplimiento de parámetros de calidad de agua				
Inspeccionado por:					
Nombre y Apellido	Johnatan Cruz Rojas			Nombre y Apellido	Juan Manuel Cruz Rojas
Rol	Estudiante			Rol	Estudiante

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Ilustración 6.*Visita de reconocimiento Bocatoma*

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Fase de análisis

En esta fase teniendo ya identificados los parámetros críticos de control, se revisaron los datos de los ensayos fisicoquímicos y de tratabilidad con el uso de un software SPSS especializado para el tratamiento estadístico de la información. El análisis se realizó bajo un análisis estadístico descriptivo e inferencial para encontrar estimadores, tendencias y/o relaciones entre parámetros de control de las muestras tomadas en los puntos establecidos como se evidencia en la ilustración 7 que variaron específicamente de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona.

Se calcularon los porcentajes de remoción para evaluar el cumplimiento referente a las disposiciones legales.

Ilustración 7.

Medición de parámetros Bocatoma en invierno y verano



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Resultados y análisis de resultados

Para el análisis de resultados se describen las actividades realizadas para el cumplimiento de cada objetivo planteado

Para dar cumplimiento al objetivo general se partió desde el diagnóstico donde se pudo evaluar la parte operativa directamente relacionada con las competencias del personal que realiza la operación de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto El Destino. En la parte técnica se tomó como base el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua, simulación del IRCA e IRABApp. Los cuales entregan unos porcentajes de cumplimiento que permiten verificar el estado de cumplimiento de estos indicadores por parte del acueducto El Destino.

Las técnicas utilizadas para realizar la toma de muestras, medición de parámetros y análisis con la normatividad aplicable establecida por el Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial específicamente la resolución 2115 de 2007 y la resolución 0622 de 2020, se describen a continuación:

Métodos para determinar las características fisicoquímicas

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de agua potable son de vital importancia para conocer la magnitud de las cargas que de entrada y salida del sistema de tratamiento determinando las acciones operativas a realizar para asegurar el cumplimiento de los criterios de calidad de agua potable. En las vistas a campo se realizó toma de muestras in situ y se llevaron muestras con la adecuada refrigeración para análisis en laboratorio externo.

Calidad de agua para consumo humano

En la actualidad las propiedades características de este líquido varían mucho dependiendo de diferentes factores, entre los que se encuentran: los desechos orgánicos, desechos inorgánicos, bacterias, parásitos, entre otros. Estos factores influyen de manera directa e indirecta en la aparición de diversas enfermedades que afectan la vida cotidiana de las personas, puesto que mediante estos agentes es muy común que las condiciones normales del agua cambien ocasionando con esto una alteración que repercute en la salud de la población.

El tratamiento de agua superficial implica la planeación de actividades relacionadas con la calidad del agua dado que está directamente relacionada con la vulnerabilidad acuífera, por condiciones de entorno y la calidad del agua. El proceso para la evaluación desempeño del proceso de potabilización del acueducto El Destino en la localidad de Usme. Se llevará acabo por medio de la aplicación de metodologías independientes que se conjugaran para llegar a una evaluación integral la de la problemática existente si la hay. De tal manera se emplearán las metodologías de evaluación de la calidad del agua para consumo humano, uso agrícola y uso industrial.

La Resolución 2115 de 2007 indica las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, esta resolución reglamenta análisis microbiológico, análisis básico, análisis complementario y fisicoquímico del agua, dentro de estos se debe medir parámetros representativos como: Color, turbiedad, pH, cloro residual y alcalinidad entre otros que permiten conocer la calidad de agua y tener un control sobre el índice de riesgo para el suministro en la población.

Ilustración 8.

Toma de muestras salida planta



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Protocolo para la toma de muestras de agua potable

Un muestreo consiste en obtener una parte representativa de un cuerpo de agua ya sea un vertimiento o agua potable que conserve las concentraciones relativas de todos los componentes en la muestra original y que no presente cambios significativos en su composición previa al análisis. Hay diferentes tipos de muestras:

- Muestras compuestas
- Muestras integradas
- Muestras simples o puntuales

Estas últimas son muestras que representan las condiciones de un cuerpo de agua para el lugar, el tiempo y las circunstancias particulares en las que se hizo su recolección se recomienda tomar este tipo de muestras cuando las descargas de aguas residuales son intermitentes es decir que no fluyen continuamente, las características de las aguas no presentan grandes variaciones en el tiempo, se necesite medir parámetros particulares que requieren mediciones en campo como por ejemplo: la temperatura, el oxígeno disuelto y el cloro entre otros.

Se debe garantizar la seguridad de la persona que toma la muestra y evitar contaminaciones externas en el agua que se va a analizar para tomar la muestra es importante contar con los elementos mínimos de protección personal. Todas las muestras deben estar rotuladas adecuadamente y se debe garantizar que las mediciones realizadas en campo deben anotarse en la cadena de custodia de datos para su posterior análisis en laboratorio.

Análisis de normatividad aplicable

El acueducto El Destino al ser una entidad prestadora de servicio público domiciliario de acueducto en zona rural, esta cobijado dentro la normatividad nacional impuesta por el Ministerio De Salud y Protección Social, Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Específicamente las dos normas en las que se va a realizar el análisis en relación son:

Resolución No 2115 de 2007 y Resolución No 622 de 2020. La primera resolución en mención hace énfasis en características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Es obligación el cumplimiento de todos los aspectos exigidos allí por parte del acueducto el Destino, pero se debe anotar que en el capítulo V de la resolución 2115 de 2007, cuadro No 11 donde se establecen “Frecuencias y número de muestras de control de la calidad física y química del agua para consumo humano que debe ejercer la persona prestadora en la red de distribución”.

La población mínima atendida por persona prestadora por municipio es menores o igual a 2.500 habitantes una cifra muy alta en relación con la que actualmente abastece el acueducto que ronda los 710 habitantes en promedio, por lo cual se debe acoger en este aspecto a la resolución 0622 de 2020 “Por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural”.

Específicamente en el cuadro No 1. Características, frecuencias y número mínimo de muestras que debe realizar la autoridad sanitaria, para suministro mediante red de distribución. Se debe adoptar la cantidad de población atendida de 701 a 2000 habitantes teniendo en cuenta la cantidad de suscriptores que hay actualmente junto con el Batallón de instrucción y

entrenamiento N°13 y el colegio de la vereda El Destino, esta sería la población que se acoge dentro de las frecuencias establecidas en la norma.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en los muestreos realizados durante el periodo de estudio se procede a realizar el cálculo del IRCA, IC, IT e IRABApp.

Para el cálculo del IRCA se realizará en base a los puntajes de riesgos asignados en el cuadro N°6 de la resolución 2115 de 2007. Para los parámetros de Color, Turbiedad, Cloro residual libre, Hierro pH, Coliformes Totales y Escherichia Coli cada uno de estos con puntajes de riesgo diferentes.

Simulación IRCA primeros monitoreos

Tabla 2.

Simulación IRCA primer muestreo

Parámetro	Resultado	Puntaje de riesgo
pH	7,42	1.5
Color	21 PtCo	6
Turbiedad	1,59 NTU	15
Hierro	0,25	1.5
Cloro residual libre	2,50 mg/l	15
Coliformes Totales	Ausencia	15
Escherichia Coli	Ausencia	25

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Ecuación 1.

Cálculo IRCA

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

$$IRCA(\%) = \frac{6 + 15}{1.5 + 6 + 15 + 1.5 + 15 + 15 + 25} * 100$$

Ecuación 2.

Cálculo simulación IRCA 1

$$IRCA(\%) = \frac{21}{79} * 100 = 26\%$$

De acuerdo con el Cuadro N.º 7 de la resolución 2115 de 2007. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse. Las muestras analizadas arrojan un IRCA del 26% para el primer monitoreo que se hizo en el acueducto El Destino de parámetros básicos a la salida de la planta ubicándose en un nivel de riesgo medio lo que indica que el agua suministrada no es apta para consumo humano, sin embargo y según se especifica se debe hacer gestión de la persona prestadora para corregir este indicador.

Cabe resaltar que estas simulaciones para el cálculo del IRCA se realizaron con los datos obtenidos en la toma de muestras de las visitas realizadas en la salida de la planta y no se tienen en cuenta para ningún tipo resultado que competa a la autoridad sanitaria puesto que en las que se han realizado con esta entidad siempre ha estado con un porcentaje entre 0-5, cumpliendo con calidad de agua apta para consumo humano.

En posteriores muestreos realizados después de la visita de reconocimiento donde se empezó a verificar el proceso de potabilización, se vuelve a calcular el IRCA.

Tabla 3.*Simulación IRCA cuarto muestreo*

Parámetro	Resultado	Puntaje de riesgo
pH	7,22	1.5
Color	6 PtCo	6
Turbiedad	0,42 NTU	15
Hierro	0,27	1.5
Cloro residual libre	1,25 mg/l	15
Coliformes Totales	Ausencia	15
Escherichia Coli	Ausencia	25

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Ecuación 3.*Cálculo simulación IRCA 2*

$$IRCA(\%) = \frac{0}{1.5 + 6 + 15 + 1.5 + 15 + 15 + 25} * 100$$

$$IRCA(\%) = \frac{0}{79} * 100 = 0\%$$

Para esta simulación del IRCA se evidencia una disminución total de los parámetros que se encontraban fuera del límite permisible al inicio de las mediciones y como se evidencia en la ilustración 7 no volvieron a presentarse alteraciones significativas en los parámetros de salida.

Por lo cual es agua apta para consumo humano.

Cálculo IT

Para el cálculo del índice de tratamiento – IT del acueducto El Destino se sumarán los puntajes asignados teniendo en cuenta los puntajes máximos definidos en el cuadro N°.8. de la resolución 2115 de 2007. La metodología para calcular este índice consiste en la descripción de las variables de tratamiento a las cuales se les asigna un puntaje de acuerdo con su cumplimiento.

Tabla 4.

Puntajes para el índice de tratamiento del agua para consumo

Descripción Tratamiento	Puntaje Asignado
Si se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo	50
Dotación Básica de Laboratorio en Planta de Tratamiento:	15
La persona prestadora debe contar con los equipos mínimos necesarios para realizar los siguientes ensayos: prueba de jarras, demanda de cloro, turbiedad, color y pH.	
Se le asignará 3 puntos por cada equipo utilizado en los ensayos citados.	
Trabajadores Certificados: La persona prestadora deberá contar en la planta tratamiento con trabajadores certificados de conformidad con las Resoluciones N°s.1076 de 2003 y 1570 de 2004 del MAVDT o las que las modifiquen, adicionen o sustituyan, que hacen referencia al Plan Nacional de Capacitación y Asistencia Técnica para el sector de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiental y sobre el plan de certificación de las competencias laborales de sus trabajadores.	0
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados 0 puntos	

Fuente: Resolución 2115 de 2007 (2022).

Cálculo IC

Para el cálculo del índice de continuidad - **IC** se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

Ecuación 4.

Cálculo del índice de continuidad

$$IC = \left(\frac{\sum(Nhs) * (Ps)j}{(730) * (Pt)} \right) * \left(\frac{24 h}{día} \right)$$

Donde:

(Nhs)_j = Número de horas prestadas en un mes en el sector j

(Ps)_j = población servida del sector j

730 = Número de horas que tiene un mes

(Pt) = población total servida por la persona prestadora.

$$IC = \left(\frac{\sum(700) * (2000)_j}{(730) * (2000)} \right) * \left(\frac{24 h}{día} \right)$$

Ecuación 5.

Simulación cálculo del índice de continuidad

$$IC = \left(\frac{1400000}{1460000} \right) * \left(\frac{24 h}{día} \right) = 23$$

Los valores asignados de acuerdo con las horas de servicio prestado están establecidos en el cuadro N.º 9 de la resolución 2115 de 2007. La continuidad del servicio está en el máximo cumplimiento entre 23.1 - 24 horas/día (continuo) por lo cual obtiene el máximo puntaje otorgado (20 puntos).

Cálculo IRABApp

Para el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp), se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

Ecuación 6.

Cálculo IRABApp

$$IRABA pp = 100 - (IT + IC)$$

Donde:

pp = persona prestadora.

IT = Índice de tratamiento: Es el puntaje que se asigna al evaluar los procesos de tratamiento, ensayos básicos de laboratorio en planta de tratamiento y trabajadores certificados de la persona prestadora. El máximo puntaje equivale a ochenta (80) puntos.

IC = Índice por continuidad: Es el puntaje que se asigna a la persona prestadora, con la información de continuidad de su área de influencia. El máximo puntaje equivale a veinte (20) puntos.

$$IRABA_{pp} = 100 - (65 + 20)$$

$$IRABA_{pp} = 100 - (85)$$

$$IRABA_{pp} = 15\%$$

La clasificación del nivel del riesgo en salud por IRABApp se encuentra en el Cuadro N.º 10 de la resolución 2115 de 2007, en este caso se obtuvo un resultado del 15% un riesgo bajo para la salud y como recomendación indica que la persona prestadora debe eliminar las deficiencias mediante gestión en los procesos que en este acoso aplica directamente en una capacitación más continua del personal que conlleve a la certificación por competencias laborales del mismo para garantizar eficiencia en proceso.

De acuerdo con los resultados obtenidos en simulación de IRCA, IC, IT e IRABApp se evidencia un cumplimiento en conjunto superior al 90% representando en la tabla No 5.

Tabla 5.

Resumen indicadores analizados

Indicador	Puntaje	Total
IRCA	0-5 Sin Riesgo	100 %
IC	15 Suficiente	90%
IT	65	75%
IRABApp	15 Bajo	75%
Total		85%

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

De acuerdo con el porcentaje total de los índices analizados se evidencia un cumplimiento del 85% en el desempeño técnico del acueducto El Destino, para la parte operativa que involucra el proceso de potabilización hace falta realizar mayor acompañamiento en el control operacional para permitir un cumplimiento total de los índices medidos representado en el 15% restante.

Ensayo de Tratabilidad

Curva de demanda de Cloro

Se realizó la prueba de curva de demanda de cloro con el objetivo de calcular las dosis óptimas a aplicar en el sistema de desinfección del agua del acueducto El Destino. Para este ensayo se realizó toma de muestra de agua antes del proceso de desinfección como se evidencia en la ilustración 9 y se midieron los parámetros relacionados en la tabla 5 que permitieron conocer las características iniciales del agua.

Ilustración 9.

Muestra Inicial



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 6.*Características iniciales del agua*

Características iniciales del agua	
Parámetro	Resultado
pH	6,09
Color	14 PtCo
Turbiedad	4,06 NTU

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Después de realizar la toma de muestra se procedió a realizar la preparación de la solución patrón como se detalla en la tabla 6, posteriormente se mezcla la solución patrón con el agua de muestra en los beakers con sus respectivas dosis.

Ilustración 10.*Mezcla solución patrón*

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 7.*Datos preparación solución*

Concentración solución blancox (%p/p)	5,25
Concentración solución cloro blancox (p/p)	5,25
Densidad de la solución (g/mL)	1,05
Concentración en (g/mL)	0,055125
Concentración en (mg/L)	55125
Vinicial solución blancox (mL)	10
Vsl madre patrón (mL)	10000
Concentración sln madre (mg/L)	55,125
Volumen jarra (mL)	500

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Después de realizar la mezcla de la solución patrón con la muestra de agua en los beakers, se dejó en reposo 30 minutos y en una zona aislada y sin contacto directo del sol para evitar evaporación del cloro con el fin de tener los datos más verídicos del ensayo.

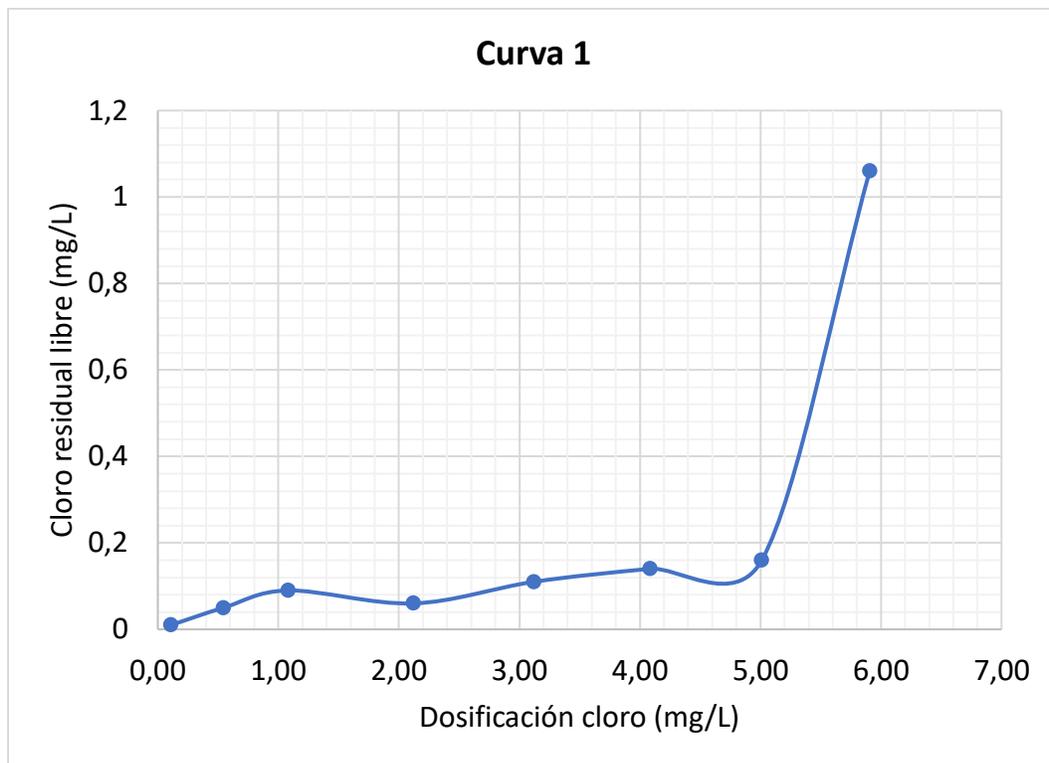
Transcurridos los 30 minutos se procedió a realizar medición de cloro residual presente en las muestras realizadas, los resultados se evidencian en la tabla 8.

Tabla 8.*Resultados curva 1*

Curva 1		
Volumen sln madre (mL)	Concentración patrón (mg/L)	Concentración cloro residual (mg/L)
1,0	0,11	0,01
5,0	0,55	0,05
10	1,08	0,09
20	2,12	0,06
30	3,12	0,11
40	4,08	0,14
50	5,01	0,16
60	5,91	1,06

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Curva 1 (jarra 8) después 2 horas y 15 minutos, se midió una concentración de 0.84 mg/L.

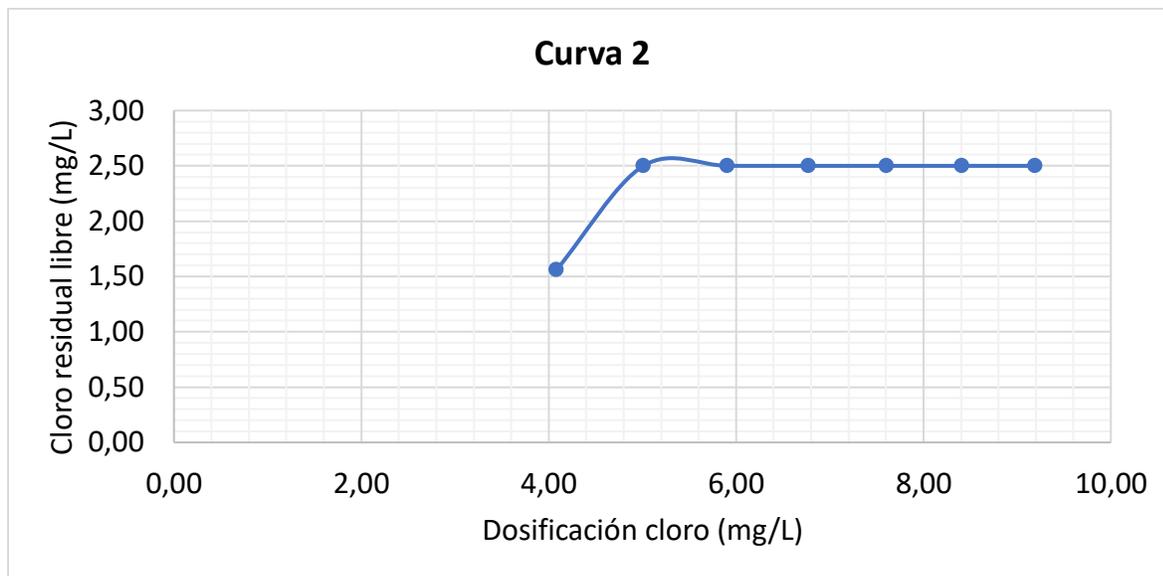
Gráfica 1.*Tabulación primer ensayo*

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 9.*Resultados curva 2*

Curva 2		
Volumen sln madre (mL)	Concentración patrón (mg/L)	Concentración cloro residual (mg/L)
40	4,08	1,56
50	5,01	2,50
60	5,91	2,50
70	6,77	2,50
80	7,60	2,50
90	8,41	2,50
100	9,19	2,50

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 2*Tabulación segundo ensayo*

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Análisis de resultados curva de demanda de cloro

La demanda de cloro es la diferencia entre la concentración de cloro aplicado al agua y la concentración de cloro residual, libre o combinado después de un período de tiempo determinado, la importancia de dosificar el cloro residual libre es que esta forma de cloro tiene un mayor poder desinfectante en el agua. La dosificación de cloro variará de acuerdo con el tipo de agua y de ahí la importancia de conocer por medio de la curva de demanda cuál es la dosis óptima.

Como se evidencia en la tabla 8 las primeras ocho dosis aplicadas alcanzaron un máximo de 1,06 mg/l, si bien es un rango aceptable se busca llegar a un rango más alto para evitar una evaporación acelerada del cloro. En la tabla 9 se replican las dosis de la solución patrón, pero se aumenta gradualmente, llegando al punto de quiebre en la solución de 4,08 ppm equivalente a 1,56 mg/l de cloro residual desde este punto en adelante las dosis ya sobrepasan el rango de medición del equipo por lo cual se establece la dosis de 4,08 ppm como dosis óptima, la cual debe ser aplicada en planta para el proceso de desinfección de la siguiente manera:

Ecuación 7.

Cálculo dosis desinfectante

$$QBD = \frac{\text{Dosis (ppm)} * Q \text{ (l/s)}}{C \text{ (gr/l)}}$$

$$\text{Caudal bomba dosificadora} = \frac{\text{Dosis de oxidante} * \text{Caudal de la planta}}{\text{Concentracion del cloro}}$$

Donde:

Q = Caudal l/s que se tiene en la planta.

ppm = Dosis de hipoclorito a inyectar o suministrar hallado en la curva de demanda de cloro.

C: Concentración del cloro indicada en la hoja de seguridad

Ejemplo:

$$QBD = \frac{4,08 \text{ ppm} * 9,2 \left(\frac{l}{s}\right)}{1200(\text{gr/l})} * 60 = 1,8 \text{ ml/min}$$

Si bien la concentración de cloro residual en el agua potable debe estar entre 0,3 y 2,0 mg/L, se recomienda escoger una dosis óptima que garantice un cloro residual entre 1,0 y 1,5 mg/L ya que es un rango intermedio, no se gasta producto de más pero tampoco está cerca del límite inferior con el riesgo de llegar al incumplimiento.

Es importante que ser lo más precisos posibles al momento de adicionar las dosis de cloro puesto que de esto dependerá el éxito de la prueba. Se recomienda usar una pipeta o micropipeta con el fin de reducir la incertidumbre. Se recomienda tabular los datos en una hoja de cálculo ya que esto facilitará el trabajo a la hora de hacer los cálculos y los registros se guardarán de una manera más organizada.

Para la medición de calidad de agua de las muestras en campo y para el ensayo de demanda de cloro se utilizaron equipos suministrados por el acueducto El Destino y otros por parte de la universidad y laboratorio externo que permitieron levantar la información necesaria para el desarrollo del trabajo. Los equipos para realizar medición de muestras se describen en la tabla 10.

Tabla 10.*Equipos para medición de muestras*

Parámetro	Equipo	Unidades de medición	Reactivo	Marca	Modelo
Cloro Libre	Hanna Checker Free Chlorine	mg/l	HI93701-0	HANNA	HI701
Color	Color Water	PCU	Solución de almacenamiento de electrodos	HANNA	HI727
Sonda multiparamétrica	pH, ORP, Conductividad y Temperatura	mV, μ S/cm, $^{\circ}$ C	KCL conservación electrodo	HANNA	HI 98194
Ubicación	GPS	Coordenadas	N/A	GARMIN	etrex20
Turbidímetro	Turbiedad	NTU	N/A	HANNA	HI93414

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Los métodos utilizados para realizar medición de muestras se describen en la tabla 11.

Tabla 11.

Métodos de Análisis

Métodos de medición de parámetros		
Parámetro	Método	Procedimiento
Alcalinidad mg/l CaCO₃.	Volumétrico	<p>Tomar 100 ml de la muestra de agua con la probeta. Verter los 100 ml de agua de la probeta al Erlenmeyer. Agregar 5 gotas de indicador mixto al agua, agitar el Erlenmeyer con movimientos circulares hasta lograr una coloración azul.</p> <p>Titular la muestra con Ácido Sulfúrico al 0,02 de normalidad hasta pasar del color azul a un color rosa claro o transparente durante este proceso se debe continuar agitando el Erlenmeyer con movimientos circulares hasta obtener el color requerido.</p> <p>Realizar los cálculos (Ecuación 8) de la siguiente manera:</p> $\text{Alc} = \frac{\text{Vol gas} * 0.02 * 50.000}{100 \text{ ml}}$ <p>Vol gas = Mililitros gastados de ácido sulfúrico en la titulación.</p> <p>Tomar lectura de mililitros consumidos teniendo en cuenta que los resultados se expresan en mg/l CaCO₃.</p>
Dureza Total mg/l CaCO₃.	Volumétrico	<p>Tomar 100 ml de la muestra de agua con la probeta.</p> <p>Adicionar 1 ml de Buffer Amoniacal a los 100 ml de la probeta.</p> <p>Verter la muestra de la probeta al Erlenmeyer y agitar con movimientos circulares para que haya una mezcla homogénea.</p> <p>Adicionar al Erlenmeyer 1 pastilla tampón para dureza Agitar con movimientos circulares el Erlenmeyer nuevamente hasta que esta se disuelva completamente la pastilla y presente una coloración Vinotinto</p> <p>Titular la muestra del Erlenmeyer con EDTA contenido en la bureta gota a gota agitando el Erlenmeyer con movimientos circulares continuamente hasta que desaparezca el color Vinotinto y aparezca un color final verde. Realizar los cálculos (Ecuación 9) de la siguiente manera:</p>

$$Dur = \frac{Vol\ gas * N * 100.000}{Vol\ muestra}$$

Vol gas = Mililitros gastados de ácido sulfúrico en la titulación.

Tomar lectura de mililitros consumidos teniendo en cuenta que los resultados se expresan en mg/l CaCO₃.

Microbiológico Presencia/Ausencia en 100cm³

Tomar muestra de agua en el punto a analizar, desinfectando previamente con alcohol al 95%. Llenar la bolsa Whirl-Pak que contiene tiosulfato de sodio para inhibir la acción del cloro, hasta los 100 ml y cerrar.

Guardar la muestra en la nevera para refrigerar a una temperatura entre 0°C y 6°.

Ajuste a una temperatura 40 °C la incubadora

Retirar la bolsa Whirl-Pak de la nevera y espere a que este a temperatura ambiente.

Abrir la bolsa Whirl-Pak y agregue un sobre de Readycult, asegurarse de que los gránulos estén en la parte inferior.

La muestra se tornará de color amarillento, cierre nuevamente agite e ingrese a la incubadora a 40°c por 24 horas.

Luego del tiempo de incubación cualquier cambio de color de la muestra a azul verdoso, incluso en la sección superior de la muestra, confirma la presencia de coliformes totales, si mantiene el color amarillento usencia.

E. coli: compruebe la fluorescencia de los vasos de color verde azulado utilizando una lámpara UV de onda larga (366 mm) enfrente del buque. La fluorescencia azul clara confirma la presencia de E. coli (reacción MUG).

Confirmar la presencia de E.Coli adicionando reactivo Kovacs, la formación de aros rojos indican presencia de E.Coli.

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Ecuación 8.

Cálculo Dureza

Ecuación 9.

Cálculo Alcalinidad

Seguimiento realizado al sistema de potabilización

De acuerdo con el diagnóstico hecho al inicio del proyecto, se realizaron 4 visitas en la bocatoma del acueducto El Destino, para un total de 19 toma de muestras con una frecuencia promedio de 3 muestras por visita alternadas cada 30 minutos y una muestra para análisis externo.

En la entrada y salida de la planta de tratamiento se realizaron 6 visitas, para un total de 51 toma de muestras con una frecuencia promedio de 3 muestras por visita, alternadas cada 30 minutos y dos muestras por visita para análisis externo.

En la red de distribución se tomaron 3 muestras durante todo el desarrollo del proyecto con el fin de evaluar la calidad del agua suministrada por el acueducto, también se tomó una muestra para análisis externo.

El análisis estadístico de estas muestras se realizó con ayuda del programa SPSS, encontrando estimadores, tendencias y/o relaciones entre parámetros de control. Se calcularon los porcentajes de remoción para evaluar el cumplimiento referente a las disposiciones legales.

Para el análisis de los datos tomados se utilizó la versión 28.0.1.1 del software SPSS propiedad de IBM. Se realizó el análisis con los datos obtenidos de los tres puntos donde se tomaron muestras, los resultados se describen a continuación.

VARIABLES BOCATOMA

Recopilación de datos de parámetros ambientales y de calidad de agua.

Ilustración 11.

Datos Parámetros Bocatoma

Visible: 13 de 13 variables

	Fecha	Hora	Temperatura Ambiente	Humedad	Temperatura Agua	pH	Color	Turbiedad	Conductividad	ORP	Alcalinidad	Dureza	Olor	var	var	var
1	06.10.2021	8:30	11,3	60,00	8,90	7,00	5	,76	30	50,5	20	20	ACEP			
2	12.11.2021	9:30	12,2	60,00	8,20	7,50	5	,84	121	53,1	20	20	ACEP			
3	12.11.2021	10:00	12,2	60,00	9,10	7,00	12	,77	.	.	.	.	.
4	12.11.2021	10:30	12,2	60,00	9,20	7,00	10	,93	.	.	.	.	.
5	12.11.2021	11:00	12,1	60,00	9,20	6,50	8	,43	.	.	.	.	.
6	05.02.2022	9:30	10,1	60,00	8,00	7,00	15	,98	142	62,5	26	30	BARRO			
7	05.02.2022	10:00	10,1	60,00	8,10	7,50	17	1,22	.	.	.	.	.
8	05.02.2022	10:30	10,3	60,00	7,80	7,00	22	1,34	.	.	.	.	.
9	05.02.2022	11:00	10,3	60,00	9,00	7,00	16	,88	.	.	.	.	.
10	12.02.2022	10:00	11,0	60,00	8,50	7,00	18	1,01	.	.	.	.	.
11	12.02.2022	10:30	10,9	60,00	9,40	6,50	24	1,32	125	58,4	32	30	BARRO			
12	12.02.2022	11:00	10,9	60,00	8,40	7,00	22	1,05	.	.	.	.	.
13	12.02.2022	11:30	10,8	60,00	8,40	7,00	20	1,11	.	.	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
21	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
24	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Vista de datos Vista de variables

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tendencia entre parámetros ambientales Bocatoma

Tabla 12.

Descripción de modelo parámetros ambientales

Descripción del modelo	
Nombre de modelo	MOD_2
Serie o	1
secuencia	2
	3
Transformación	Ninguno
Diferenciación no estacional	0
Diferenciación estacional	0
Longitud de periodo estacional	Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal	Fecha
Inicios de intervención	Ninguno
Para cada observación	Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_2	

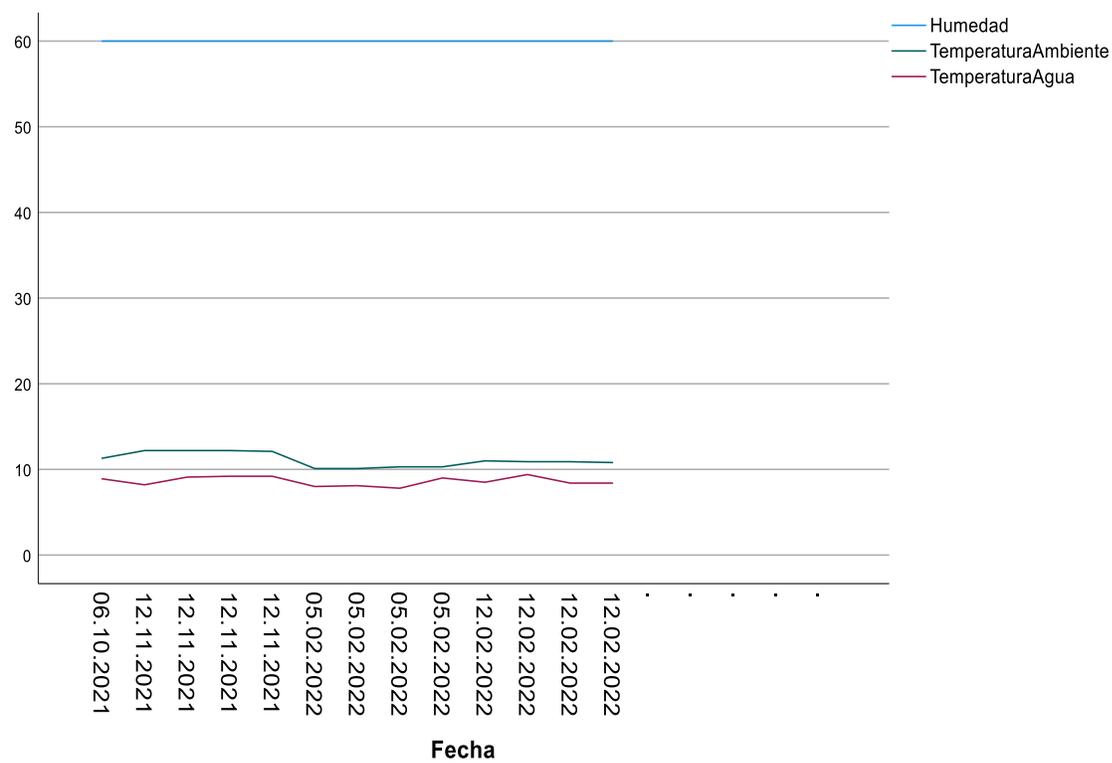
Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 13

Resumen de procesamiento de casos. Parámetros ambientales

Resumen de procesamiento de casos				
		Humedad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua
Longitud de serie o secuencia		18	18	18
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0
	Perdido por el sistema	5	5	5

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 3.*Tendencia de parámetros ambientales*

Fuente: Elaboración propia el proyecto (2022).

Tendencia entre parámetros de calidad de Agua Bocatoma

Tabla 14.

Descripción del modelo parámetros de calidad de Agua

Descripción del modelo	
Nombre de modelo	MOD_1
Serie o	1
secuencia	2
	3
Transformación	Ninguno
Diferenciación no estacional	0
Diferenciación estacional	0
Longitud de periodo estacional	Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal	Fecha
Inicios de intervención	Ninguno
Para cada observación	Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_1	

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 15.

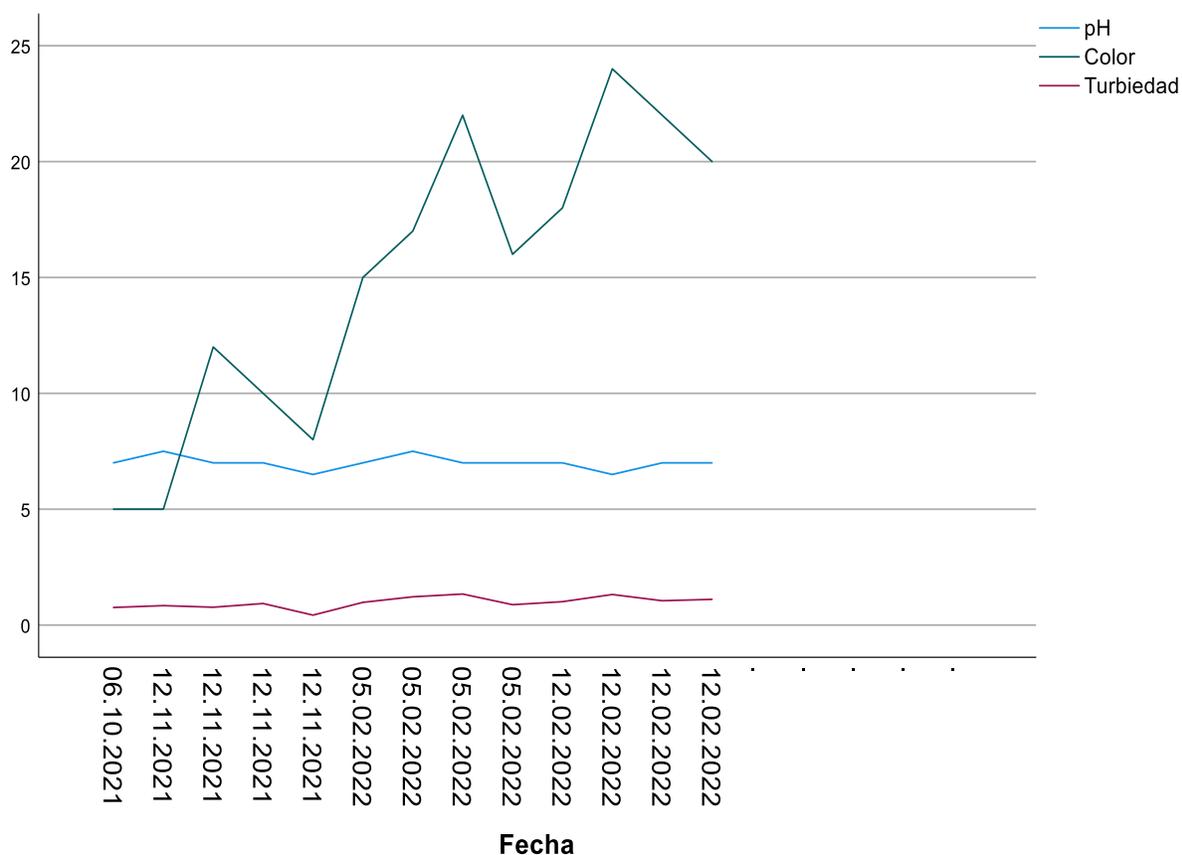
Procesamiento de casos parámetros de calidad de Agua

Resumen de procesamiento de casos				
		pH	Color	Turbiedad
Longitud de serie o secuencia		18	18	18
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0
	Perdido por el sistema	5	5	5

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 4.

Tendencia parámetros calidad del agua bocatoma



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Análisis Variables Bocatoma

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron 4 visitas en la bocatoma del acueducto El Destino divididas en temporada de invierno y verano donde se pudo evidenciar físicamente las diferencias de caudal para cada temporada respectivamente y comparando con los datos encontrados con las estaciones meteorológicas de la zona como se evidencia en la gráfica 11. En total se tomaron 19 muestras con una frecuencia promedio de 3 muestras por visita alternadas cada 30 minutos y una muestra para análisis externo.

Los resultados fueron analizados estadísticamente permitiendo encontrar tendencias en parámetros ambientales puesto que al ser una zona de paramo las temperaturas no fueron superiores a los 15°C y del agua a 12°C. En cuanto a los parámetros de calidad de agua variaron el color y turbiedad siendo en época de invierno los picos más altos dado el aumento de caudal y arrastre de sólidos.

En general los parámetros de calidad de agua y ambientales de la bocatoma son favorables para un adecuado tratamiento en planta, es necesario la puesta en marcha de manera fija del sistema de filtración para optimizar el tratamiento sobre todo en época de invierno donde se incrementan algunos parámetros y se hace indispensable su remoción.

Variables Entrada Planta

Recopilación de datos de parámetros ambientales y de calidad de agua

Ilustración 12.

Datos Parámetros Entrada

Sin título2 [ConjuntoDatos3] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Visible: 14 de 14 variables

	Fecha	Hora	TemperaturaAmb	Humedad	TemperaturaAgua	pH	Color	Turbiedad	Conductividad	Alcalinidad	ORP	Fe	Dureza	Clima	var	var	var	var	var
1	06.10.2021	10:50	11,1	60	9,00	7,81	26,0	,72	120	30	72,40	,22	26	LLUV					
2	12.10.2021	10:00	10,9	60	9,50	6,50	15,0	,98	-	-	-	-	-	-					
3	12.10.2021	10:30	10,9	60	9,80	6,50	5,0	,65	-	-	-	-	-	-					
4	12.10.2021	11:00	10,8	60	9,70	7,00	10,0	,76	-	-	-	-	-	-					
5	12.10.2021	11:30	10,9	60	9,80	6,50	12,0	,70	-	-	-	-	-	-					
6	13.10.2021	10:00	-	-	10,50	7,40	15,0	,88	116	32	53,70	,19	32	LLUV					
7	02.12.2021	10:30	11,4	60	9,60	7,00	12,0	,71	-	-	-	-	-	-					
8	02.12.2021	11:00	11,6	60	9,60	6,50	10,0	,67	-	-	-	-	-	-					
9	02.12.2021	11:30	11,6	60	9,40	6,00	10,0	,56	-	-	-	-	-	-					
10	02.12.2021	12:00	12,0	60	9,60	6,50	5,0	,45	-	-	-	-	-	-					
11	03.12.2021	10:00	-	-	10,00	7,52	7,0	,76	122	30	70,50	,16	30	NUB					
12	09.12.2021	11:00	13,5	60	10,10	7,00	8,0	,52	-	-	-	-	-	-					
13	09.12.2021	11:30	14,0	60	10,10	7,00	10,0	,68	-	-	-	-	-	-					
14	09.12.2021	12:00	13,8	60	10,80	7,00	25,0	,93	-	-	-	-	-	-					
15	10.12.2021	11:00	-	-	10,00	7,37	15,0	1,01	109	30	47,50	,14	30	SOL					
16	05.02.2022	10:30	12,2	60	9,80	6,50	15,0	,85	-	-	-	-	-	-					
17	05.02.2022	11:00	12,2	60	9,70	7,00	10,0	,92	-	-	-	-	-	-					
18	05.02.2022	11:30	12,0	60	9,80	7,50	18,0	,99	-	-	-	-	-	-					
19	05.02.2022	12:00	12,1	60	9,80	7,50	15,0	,67	-	-	-	-	-	-					
20	06.02.2022	22:00	-	-	10,30	7,42	22,0	1,34	131	30	92,90	,21	24	SOL					
21	12.02.2022	9:00	11,5	60	9,50	6,50	20,0	1,02	-	-	-	-	-	-					
22	12.02.2022	10:00	11,7	60	9,20	6,50	24,0	1,11	-	-	-	-	-	-					
23	12.02.2022	10:30	11,4	60	9,80	7,00	22,0	1,25	-	-	-	-	-	-					
24	12.02.2022	11:00	11,2	60	10,00	6,50	20,0	,87	-	-	-	-	-	-					

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tendencia de parámetros ambientales Entrada Planta

Tabla 16.

Descripción de modelo parámetros ambientales entrada

<i>Descripción del modelo</i>	
Nombre de modelo	MOD_15
Serie o secuencia	1 2 3
	Temperatura Ambiente Humedad Temperatura Agua
Transformación	Ninguno
Diferenciación no estacional	0
Diferenciación estacional	0
Longitud de periodo estacional	Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal	Fecha
Inicios de intervención	Ninguno
Para cada observación	Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_15	

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 17.

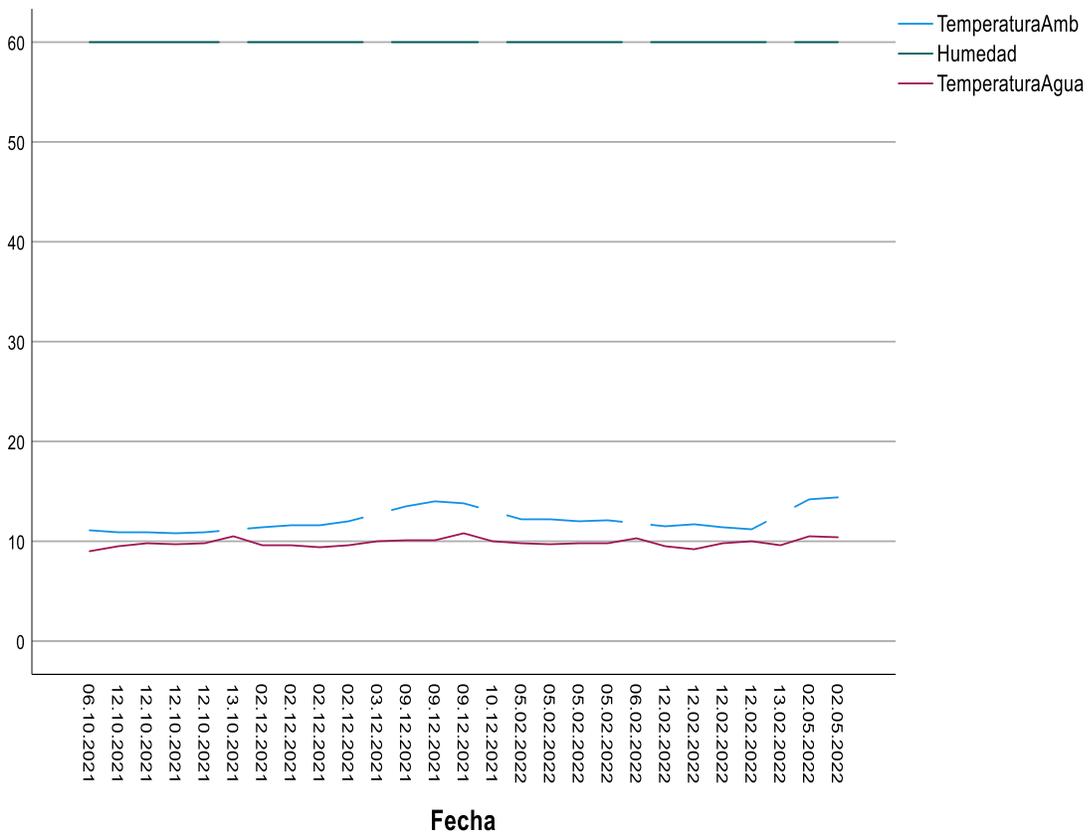
Procesamiento de casos. Parámetros entrada

<i>Resumen de procesamiento de casos</i>				
		Temperatura Ambiente	Humedad	Temperatura Agua
Longitud de serie o secuencia		27	27	27
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0
	Perdido por el sistema	5	5	0

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 5.

Tendencia parámetros ambientales entrada



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tendencia entre parámetros de calidad de Agua Entrada Planta

Tabla 18.

Descripción del modelo parámetros de entrada.

Descripción del modelo	
Nombre de modelo	MOD_12
Serie o	1
secuencia	2
	3
	4
Transformación	Ninguno
Diferenciación no estacional	0
Diferenciación estacional	0
Longitud de periodo estacional	Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal	Fecha
Inicios de intervención	Ninguno
Para cada observación	Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_12	

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 19.

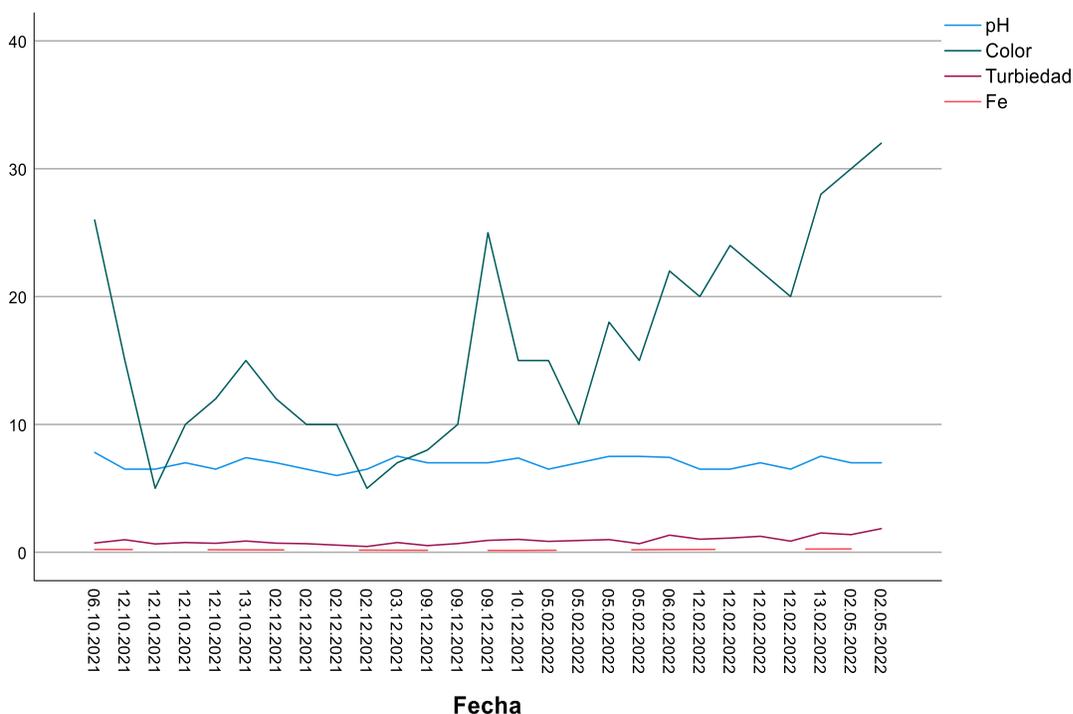
Procesamiento de casos parámetros de entrada

Resumen de procesamiento de casos					
		pH	Color	Turbiedad	Fe
Longitud de serie o secuencia		27	27	27	27
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0	0
	Perdido por el sistema	0	0	0	21

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 6.

Tendencia parámetros entrada



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Análisis Variables Entrada

En la entrada de la planta de tratamiento se realizaron seis visitas durante el desarrollo del proyecto tomando un total de 27 muestras con una frecuencia promedio de tres muestras por visita, alternadas cada 30 minutos y una muestra por visita para análisis externo. Las tendencias de parámetros ambientales fueron muy estables y no variaron significativamente.

En cuanto a los parámetros de calidad de agua se evidencia una variación constante del color que en promedio a la entrada se mantuvo sobre 16 PtCo, generando a su vez aumento en la turbiedad y el hierro.

Variables Salida Planta

Recopilación de datos de parámetros ambientales y de calidad de agua.

Ilustración 13.

Datos parámetros de salida

*Sin título4 [ConjuntoDatos6] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Visible: 15 de 15 variables

	Fecha	Hora	Tempe raturaA mb	Hume dad	Tempe raturaA gua	pH	Color	Turbiedad	Con ducti vida...	CloroRe sidual	Alcalini dad	ORP	Fe	Dureza	Microbiológico	var	var	var
1	06.10.2021	12:00	11,60	60,00	10,20	7,77	20,00	1,48	121,00	,50	20,00	86,50	,31	22,00	.			
2	12.10.2021	10:30	11,20	60,00	10,00	7,00	14,00	1,84	.	,60	.	.	.	.	.
3	12.10.2021	11:00	10,90	60,00	10,40	6,50	19,00	1,52	.	,50	.	.	.	.	.
4	12.10.2021	11:30	11,00	60,00	10,40	6,50	12,00	1,20	.	,56	.	.	.	.	.
5	12.10.2021	12:00	11,20	60,00	10,20	6,50	10,00	1,24	.	,70	.	.	.	.	.
6	13.10.2021	10:00	.	.	10,50	7,42	21,00	1,59	134,00	2,50	30,00	88,40	,25	32,00	,00			
7	02.12.2021	10:00	11,00	60,00	10,00	6,50	11,00	,85	.	2,00	.	.	.	.	.
8	02.12.2021	10:30	11,40	60,00	10,00	6,50	10,00	,92	.	2,40	.	.	.	.	.
9	02.12.2021	11:00	11,20	60,00	10,20	6,50	8,00	,74	.	2,20	.	.	.	.	.
10	02.12.2021	12:00	11,80	60,00	10,40	6,50	10,00	,60	.	2,00	.	.	.	.	.
11	03.12.2021	10:00	.	.	10,00	7,07	8,00	,45	124,00	2,00	30,00	90,20	,19	26,00	.			
12	09.12.2021	11:00	12,80	60,00	10,20	7,00	10,00	,57	.	2,00	.	.	.	.	.
13	09.12.2021	11:30	13,00	60,00	10,40	7,50	12,00	,72	.	1,20	.	.	.	.	.
14	09.12.2021	12:00	12,80	60,00	10,20	6,50	10,00	,58	.	,50	.	.	.	.	.
15	10.12.2021	11:00	.	.	10,00	7,42	5,00	,42	108,00	1,78	30,00	102,40	,28	24,00	,00			
16	05.02.2022	10:30	13,20	60,00	10,80	7,00	8,00	,80	.	1,90	.	.	.	.	.
17	05.02.2022	11:00	13,00	60,00	11,00	7,00	8,00	,77	.	2,00	.	.	.	.	.
18	05.02.2022	11:30	13,40	60,00	11,00	6,50	11,00	,92	.	1,86	.	.	.	.	.
19	05.02.2022	12:00	13,20	60,00	10,80	7,00	10,00	,87	.	2,00	.	.	.	.	.
20	06.02.2022	22:00	.	.	10,30	7,22	6,00	,42	112,00	1,25	30,00	74,20	,27	22,00	.			
21	12.02.2022	9:00	11,00	60,00	10,00	7,00	8,00	,51	.	1,90	.	.	.	.	.
22	12.02.2022	10:00	11,20	60,00	10,20	6,50	8,00	,55	.	1,88	.	.	.	.	.
23	12.02.2022	10:30	11,00	60,00	10,20	7,00	10,00	,85	.	1,92	.	.	.	.	.
24	12.02.2022	11:00	11,00	60,00	10,40	7,00	9,00	,73	.	1,86	.	.	.	.	.

Vista de datos Vista de variables

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tendencia de parámetros ambientales Salida Planta

Tabla 20.

Descripción del modelo parámetros ambientales de salida

Descripción del modelo	
Nombre de modelo	MOD_19
Serie o	1
secuencia	2
	3
Transformación	Ninguno
Diferenciación no estacional	0
Diferenciación estacional	0
Longitud de periodo estacional	Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal	Fecha
Inicios de intervención	Ninguno
Para cada observación	Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_19	

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 21.

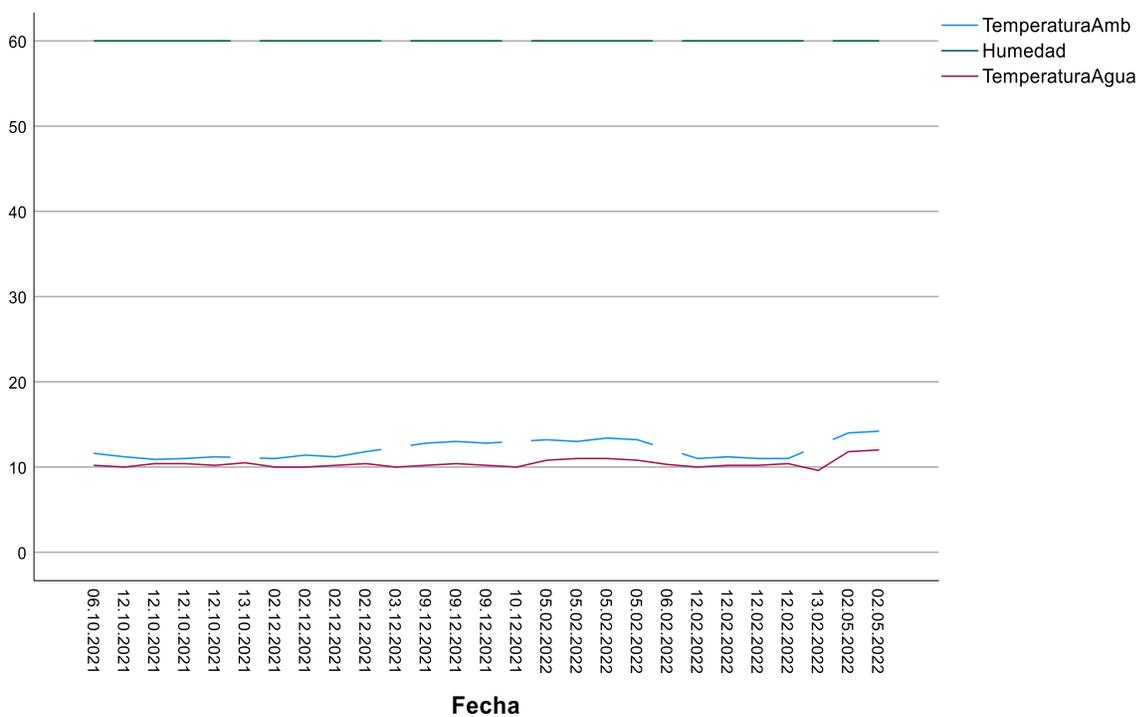
Procesamiento de casos parámetros ambientales de salida

Resumen de procesamiento de casos				
		Temperatura Amb	Humedad	Temperatura Agua
Longitud de serie o secuencia		27	27	27
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0
	Perdido por el sistema	5	5	0

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 7.

Tendencia parámetros ambientales salida



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022)

Tendencia de parámetros calidad de agua Salida Planta

Tabla 22.

Descripción del modelo parámetros calidad de agua salida

Descripción del modelo	
Nombre de modelo	MOD_17
Serie o secuencia	1 2 3 4
	pH Color Turbiedad Fe
Transformación	Ninguno
Diferenciación no estacional	0
Diferenciación estacional	0
Longitud de periodo estacional	Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal	Fecha
Inicios de intervención	Ninguno
Para cada observación	Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_17	

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 23.

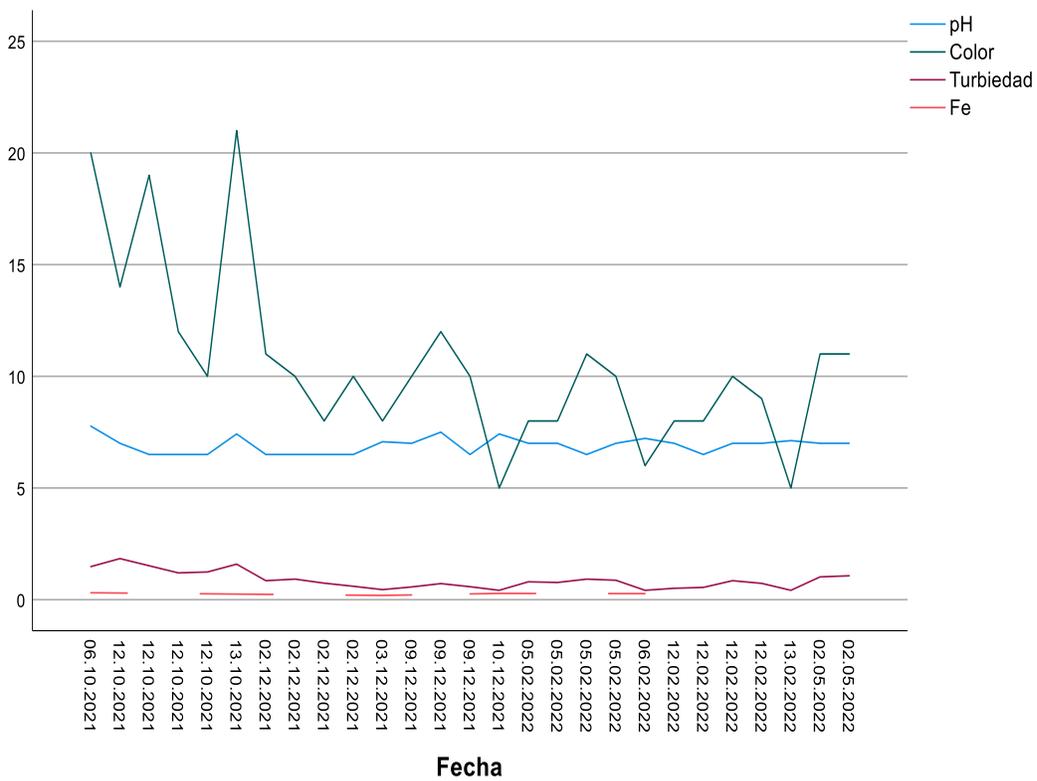
Procesamiento de casos. Parámetros calidad del agua salida

Resumen de procesamiento de casos					
		pH	Color	Turbiedad	Fe
Longitud de serie o secuencia		27	27	27	27
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0	0
	Perdido por el sistema	0	0	0	22

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 8.

Tendencia parámetros salida



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tendencia de parámetros de seguimiento Salida Planta

Tabla 24.

Descripción modelo parámetros de seguimiento

Descripción del modelo		
Nombre de modelo		MOD_18
Serie o secuencia	1	Cloro Residual
	2	Microbiológico
	3	Color
Transformación		Ninguno
Diferenciación no estacional		0
Diferenciación estacional		0
Longitud de periodo estacional		Sin periodicidad
Etiquetas de eje horizontal		Fecha
Inicios de intervención		Ninguno
Para cada observación		Valores no unidos
Aplicando las especificaciones de modelo desde MOD_18		

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tabla 25.

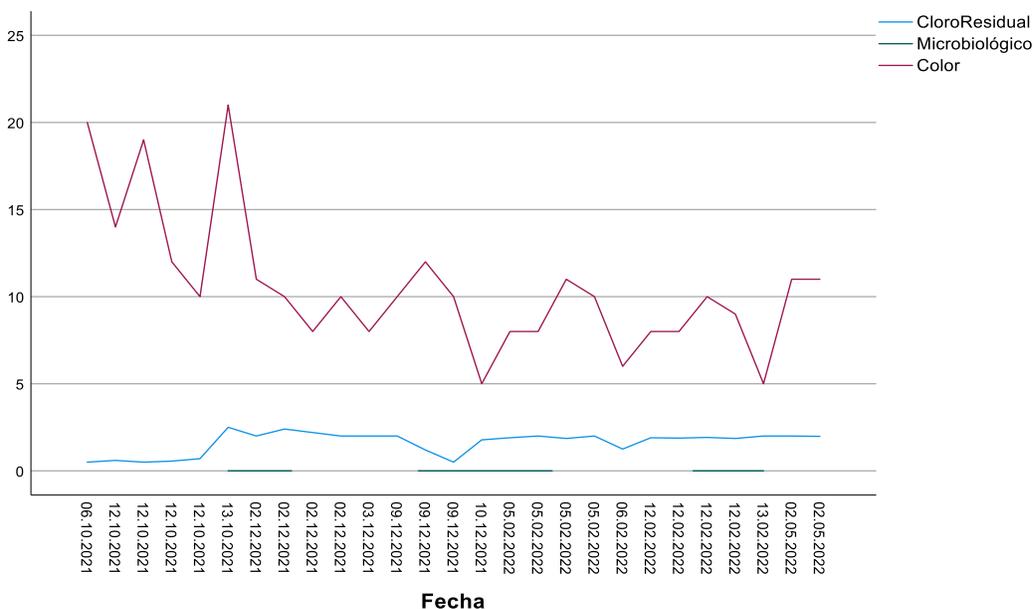
Procesamiento de casos parámetros salida

Resumen de procesamiento de casos				
		Cloro Residual	Microbiológico	Color
Longitud de serie o secuencia		27	27	27
Número de valores perdidos en el gráfico	Perdido por el usuario	0	0	0
	Perdido por el sistema	0	24	0

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 9.

Tendencia parámetros de seguimiento



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Análisis Variables Salida

En la salida de la planta de tratamiento igual que a la entrada se realizaron seis visitas durante el desarrollo del proyecto tomando un total de 27 muestras con una frecuencia promedio de tres muestras por visita, alternadas cada 30 minutos y una muestra por visita para análisis externo donde se incluyó análisis microbiológico los cuales de acuerdo con el método de medición no hubo presencia de microorganismos. Siendo los puntos de muestreo para entrada y salida del tratamiento tan cercanos los parámetros ambientales fueron muy similares y no tuvieron cambios relevantes durante los muestreos realizados.

Si bien la planta de tratamiento del acueducto El Destino no mantuvo en funcionamiento el sistema de filtración durante el desarrollo del proyecto los parámetros de mayor variación como el color y la turbiedad mantuvieron una tendencia a la baja, excepto el hierro dado que el

proceso de desinfección hacia precipitar su concentración, llegando a tener picos superiores a los 0,3 mg/l.

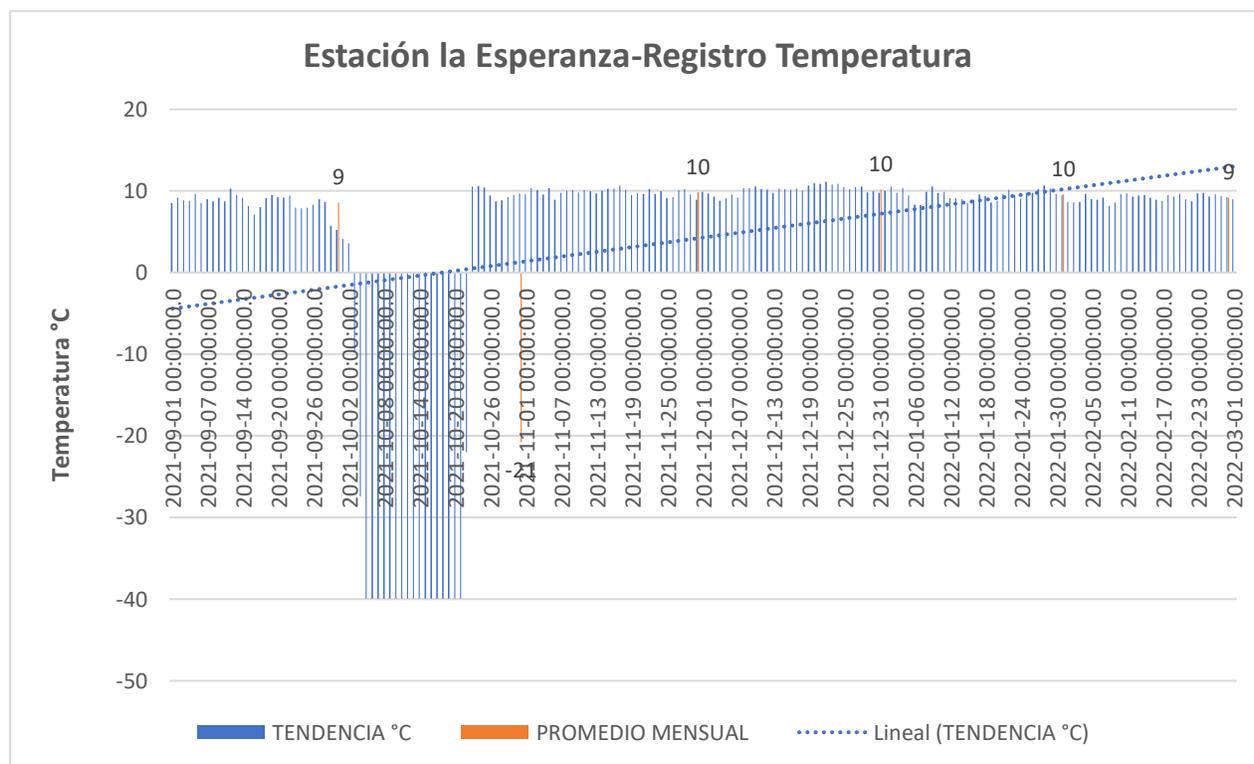
El cloro residual también tuvo variaciones significativas puesto que en las primeras visitas tuvo concentraciones cercanas a los 0,4 mg/l que se fueron incrementando gradualmente hasta llegar a tener datos más estables en promedio de 1,8 mg/l y se desarrolló una curva de demanda de cloro para poder ajustar las dosis de acuerdo con criterios operacionales.

Variables Meteorológicas

En las gráficas se relacionan los datos de temperatura (Gráfica 10) y precipitación (Gráfica 11) respectivamente desde el mes de septiembre del año 2021 hasta el mes de marzo 2022 estaciones meteorológicas de la zona de estudio (La esperanza). Datos extraídos del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático (SIRE). Los cuales sirvieron como base para relacionar la veracidad de los parámetros ambientales tomados en campo.

Gráfica 10.

Datos temperatura estación meteorológica La Esperanza



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Gráfica 11.

Datos precipitaciones estación meteorológica La Esperanza



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Porcentajes de remoción en parámetros

Los cálculos de porcentaje de remoción permiten valorar de manera cuantitativa los parámetros que están presentando alta y baja remoción en el proceso de potabilización y así identificar cuáles parámetros deben ajustarse para que no generen afectación a la calidad del proceso. Los porcentajes de remoción se calculan con la siguiente ecuación:

Ecuación 10.

Cálculo porcentaje de remoción

$$E = (S_o - S)/S_o * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]

S: Carga contaminante de salida

S₀: Carga contaminante de entrada

Teniendo en cuenta los datos tomados de registros de parámetros se calcula el resultado promedio de las muestras y así se calcula el porcentaje de remoción para color, turbiedad y hierro.

Tabla 26.

Resultado promedio de parámetros por puntos

Parámetro	Resultado promedio de muestras entrada	Resultado promedio de muestras salida
Color	16,5 PtCo	10,5 PtCo
Turbiedad	0,92 NTU	0,87 NTU
Hierro	0,20 mg/l	0,24 mg/l

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022)

Ecuación 11.*Cálculo porcentaje de remoción Color*

Porcentaje de remoción color:

$$E = \frac{(16,5 - 10,5)}{16,5} * 100 = 36,3\%$$

El color es un parámetro fundamental dentro del proceso de potabilización de acuerdo con los resultados obtenidos se evidencia que si bien el sistema está garantizando una remoción del 36,3% se deben aplicar medidas de control operacional que permitan una mayor remoción, esas medidas pueden incluir la puesta en marcha de manera continua del sistema de filtración.

Ecuación 12.*Cálculo porcentaje de remoción Turbiedad*

Porcentaje de remoción turbiedad

$$E = \frac{(0,92 - 0,87)}{0,92} * 100 = 5,4\%$$

La turbiedad que consiste en la desestabilización de los sólidos en suspensión y el material coloidal presente en el agua está presentando un porcentaje muy bajo de remoción dentro del proceso, principalmente afectado por la oxidación del hierro en la desinfección y su posterior ingreso al tanque de almacenamiento. Para llegar a tener un porcentaje más alto de remoción de este parámetro se debe iniciar la puesta en marcha de manera continua el proceso de filtración e incluir dentro del cronograma de actividades el lavado del tanque de almacenamiento de agua de manera más periódica.

Ecuación 13.*Cálculo porcentaje de remoción Hierro*

Porcentaje de remoción hierro

$$E = \frac{(0,20 - 0,24)}{0,20} * 100 = -100\%$$

Si bien este parámetro está saliendo dentro de los máximos permisibles establecido por la resolución 2115 de 2007, podrían presentarse eventos puntuales en los que se tengan concentraciones mayores de Hierro (Fe) en el afluente para el tratamiento de agua potable. Para aumentar el porcentaje de remoción se recomienda incluir una etapa de oxidación química o pre-cloración para realizar la oxidación del hierro y su posterior remoción del proceso. La oxidación del hierro consiste en elevar el estado de oxidación del hierro Fe+2, soluble en agua, a hierro Fe+3, el cual es insoluble, y por tanto puede removerse en la filtración.

Para lograr elevar el estado de oxidación del hierro de Fe+2 a Fe+3, se debe dosificar un agente oxidante, por ejemplo, cloro de forma que éste reaccione con el hierro formando hidróxido férrico, el cual precipita en el agua. En el proceso actual el cloro está actuando como agente oxidante y dado que no hay un sistema de coagulación ni filtración está generando un aumento en la concentración de este parámetro a la salida.

Fase final de socialización y capacitación

En cada visita que se realizó al acueducto El Destino se pudo evidenciar los aspectos en los cuales se debía enfocar la mayor parte del trabajo, empezando desde la capacitación del personal operativo no solo de este acueducto, también de otros que están dentro del área rural de Bogotá específicamente El Olarte y Pasquilla.

Para este propósito se brindó una capacitación al personal operativo el día 23 de octubre de 2021 (ilustración 14), sobre normatividad enfocada a control de parámetros y frecuencias de monitoreo expresado tanto en la resolución 2115 de 2007 como en la resolución 0622 de 2020.

Ilustración 14.

Capacitación Normatividad



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

De acuerdo con los resultados obtenidos y con los ajustes realizados en el proceso se procedió a diseñar un manual didáctico para el control y operación del sistema de tratamiento que servirá como instrumento de orientación para un adecuado control operacional.

Se realizaron los instructivos para uso de los equipos con los que cuenta el acueducto, permitiendo tener el paso a paso para el uso de estos y medición de parámetros. También se realizaron seis formatos de control operacional que permitirán llevar registro de variables de control operacional y servirán como herramienta para llevar trazabilidad de datos.

Conclusiones

Se debe ejercer un mayor control al proceso de potabilización incrementando la cantidad de medición y seguimiento a los parámetros críticos hallados en el proyecto puesto que se evidenció que dependiendo el estado del tiempo varían considerablemente afectando la calidad del afluente en la planta.

Si bien el proceso de potabilización cumple con los parámetros exigidos en la normatividad aplicable tanto en la resolución 2115 de 2017 como en la 622 del 2020 se deben tener en cuenta aspectos técnicos y operativos que permitan una mayor eficiencia en el proceso.

Se identifica que el sistema de filtración del acueducto no está en funcionamiento actualmente, por lo cual se propone una puesta en marcha de este sistema en el menor tiempo posible para mejorar la calidad del agua tratada.

Actualmente no existen frecuencias de mantenimiento y limpieza de la planta de tratamiento pues se evidencio deterioro de las unidades y falta de monitoreo y control de las actividades realizadas en planta.

De acuerdo con la variación de la calidad de agua del afluente es importante dentro de la planeación estratégica por parte del acueducto El Destino evaluar la instalación de otras etapas dentro del proceso de potabilización.

Es importante capacitar el personal que está a cargo de la operación de la planta de tratamiento con el objetivo de afianzar conocimientos que permitan mayor eficiencia de control operacional.

Recomendaciones

Se debe realizar un cronograma de calibración de equipos de medición de forma anual con el objetivo de garantizar la certeza de medición de los parámetros medidos en planta, dicha calibración de debe realizar con laboratorios de ensayo acreditados por la ONAC.

La parte operativa debe ser dotada con todas las soluciones de verificación de los equipos de medición con el fin de garantizar el óptimo funcionamiento de estos y de las mediciones hechas en planta.

Se debe generar un cronograma de capacitaciones del personal operativo para consolidar los conocimientos actuales y buscar una mayor eficiencia operativa.

Evaluar la frecuencia con que se realizan caracterizaciones del agua tanto del afluente como del efluente por un laboratorio externo acreditado por el IDEAM.

Realizar un registro de las actividades hechas por el personal operativo tanto en el análisis como en las funciones propias y debe ser consignado en formatos de control y minutas o bitácoras respectivamente, esto con el fin de generar una trazabilidad en los datos de la operación.

Debe haber un mayor acompañamiento de personal técnico en planta para mantener el funcionamiento de las unidades hidráulicas (tanques, tubería, micromedidor) en óptimo estado. Sumado a la puesta en marcha del sistema de filtración de manera fija evitando así cambios en la calidad del agua.

Bibliografía

- Alcaldía Local de Usme. (2016). *Inicio*. <http://www.usme.gov.co/content/upz-barrios-y-veredas>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER. (2018). *Localidad Usme Consejo Local de Gestión del Riesgo y Cambio Climático*. <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/232445/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n+.pdf/3297214a-9582-49d4-8c69-f83c7d8ce46b>
- Instituto Nacional de Salud. (2020). *Instituto Nacional de Salud, Boletín de vigilancia de la calidad*. <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/Boletin-vigilancia-calidad-agua-julio-2020.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). *Plan nacional de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico rural*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/2021-03/9.-plan-nacional-sasbr-vf.pdf>
- Mosquera, J. L. (2019). *Observatorio de Desarrollo Económico*. <https://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/dinamica-economica/la-poblacion-de-usme-disminuyo-203>
- Red Territorial de Acueductos Comunitarios de Bogotá y Cundinamarca (2021, 17 de agosto). *Una nueva entrega de nuestro boletín, con un poco de nuestra historia*. [Publicación]. Facebook. <https://www.facebook.com/416241661891427/posts/pfbid0pP1wLfcxec9HpoaMASwrc9fobfr7oKBzRHZVjd9zZggWntcDQ5mrQzY8wEQWMv24l/>

Rivera, C. (2021). *Pesquisa Javeriana*. <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/el-mito-de-que-colombia-es-un-pais-rico-en-agua/>

Secretaria Distrital de Planeación. (2020). *Habitantes de la ruralidad de Usme le hicieron sus aportes al POT*. <https://www.sdp.gov.co/noticias/habitantes-de-la-ruralidad-de-usme-le-hicieron-sus-aportes-al-pot>

Lista de anexos

Anexo. Manual de control y operación de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto El Destino

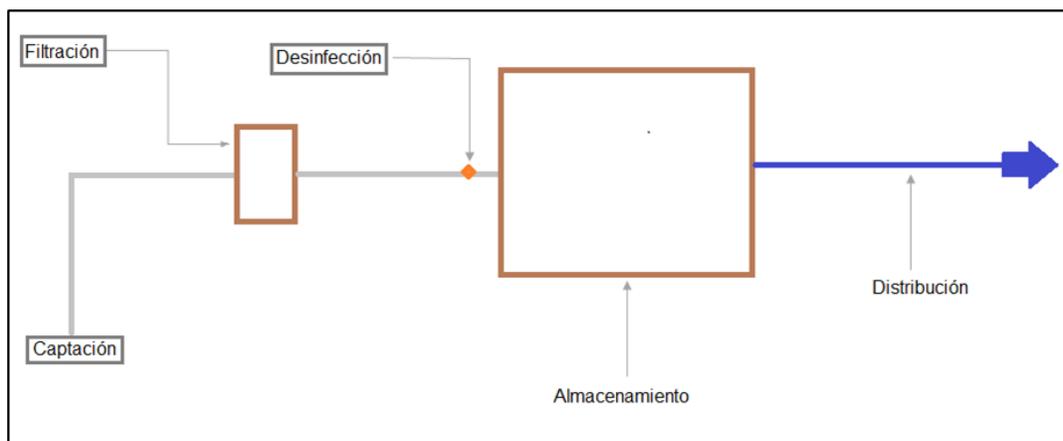
Sistema de tratamiento

En la ilustración 15 se presenta el diagrama de bloques del sistema de tratamiento, el cual consta de los siguientes procesos:

- Captación
- Aducción
- Filtración
- Desinfección
- Almacenamiento
- Distribución

Ilustración 15.

Diagrama de Bloques



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Captación

Para el proceso de tratamiento de agua potable se cuenta un punto de captación en la quebrada piedras gordas, donde se encuentra una rejilla que conduce el agua hasta un tanque de igualación que permite regular el caudal y este a su vez lo conduce a un tanque de almacenamiento de 10 m³ donde se por presión conduce el agua hasta la planta de tratamiento.

Aducción

La línea de aducción es en una tubería de PVC 3" que parte desde el tanque de almacenamiento de 10 m³ hasta 800 metros a la planta de tratamiento de agua potable en manguera de 2".

En este proceso es importante realizar la medición de caudal que está ingresando a la planta, para ello el operador realizara los siguientes pasos:

Ubicar el macromedidor de ingreso

Ilustración 16.

Macromedidor de ingreso



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

El operador debe esperar que el reloj este en cero para activar el cronometro y contar los m³ que pasan por minuto

Una vez terminado el minuto se registra el volumen contabilizado. El operador debe hacer la conversión de metros cúbicos por minuto m³/min a litros por segundo l/s dividiendo 1000/entre el tiempo transcurrido en registrar 1 m³. Tal como se realiza en la ecuación 15.

Ejemplo:

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

Ecuación 6.

Cálculo de caudal

$$Q = \frac{1000 \text{ l}}{72 \text{ seg}} = 13,8 \text{ l/s}$$

Para el caudal de salida se puede calcular en el vertedero con un balde aforado y registrando el tiempo de llenado con un cronometro, posteriormente se realiza el cálculo basado en la ecuación 15. Este caudal se debe registrar en el formato de control de caudal de ingreso o registrar en bitácora.

Filtración

La planta cuenta con un filtro clarificador tipo descendente compuesto de arena y grava con un compartimento interno y un sistema de válvulas actuadas para regular los ciclos de operación y retrolavado permitiendo así retener la mayor cantidad de solidos disueltos presentes en el agua. En la etapa de filtración se remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto por sólidos disueltos, algunos metales y microorganismos. La

remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección, sin embargo, son removibles mediante filtración.

Durante el proceso de filtración se deben mantener las válvulas en la posición adecuada, de acuerdo con lo que se especifica a continuación:

Tabla 27.

Posición válvulas filtro

Valvula	Modo	Operación
Ingreso	Abierta	Normal
Compartimiento lateral 1	Abierta	Normal
Compartimiento lateral 2	Abierta	Normal
Salida	Abierta	Normal
Retrolavado	Cerrada	Normal
Ingreso	Cerrada	Retrolavado
Compartimiento lateral 1	Abierta	Retrolavado
Compartimiento lateral 2	Abierta	Retrolavado
Salida	Cerrada	Retrolavado
Retrolavado	Abierta	Retrolavado

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

La apertura y cierre de estas dependerá de los procesos que se estén realizando en el sistema: Operación normal o Retrolavado Estas operaciones estarán previamente programadas, por lo que el operador podrá iniciarlas o finalizarlas de forma manual.

Desinfección

La última etapa de este proceso es la desinfección, la cual se realiza con el objetivo de destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua tratada al inyectar una solución de cloro en la línea de agua tratada, las dosis deben ajustarse dependiendo de los resultados de los ensayos de tratabilidad realizados en el laboratorio y calculados en la curva de demanda de cloro.

Para esto, se dosifica una solución de hipoclorito de sodio en la línea, mediante una bomba dosificadora de diafragma electromagnético.

Dosificación de Desinfectante

Es importante tener en cuenta que las dosis de desinfectante pueden variar dependiendo de la calidad de agua a tratar. Para definir las dosis óptimas de los del desinfectante se deben realizar diferentes pruebas de laboratorio, conocidas como ensayos de tratabilidad, y una vez determinadas estas dosis, se deben ajustar los caudales de dosificación de la bomba dosificadora.

Después de lograr la clarificación, realizar una curva de demanda de cloro para identificar la dosis ideal de cloro.

Aforo volumétrico de bombas dosificadoras

Dado que las dosis de desinfectante pueden variar, la bomba dosificadora presenta la opción de modificar de forma manual el volumen de producto a aplicar por unidad de tiempo, dependiendo de la dosis que se desee adicionar.

La bomba dosificadora debe aforarse para verificar el caudal de dosificación requerido por el sistema de tratamiento, como se presenta en la ilustración 17. En caso de no tener el aforador volumétrico, se debe realizar el aforo volumétrico en un recipiente graduado como una probeta, introduciendo la manguera de succión y midiendo el tiempo que tarda en pasar de un volumen inicial V_1 a un volumen final V_2 . El caudal de dosificación se determina de la siguiente forma en la ecuación 15:

Ecuación 15. Calculo dosis desinfectante

$$Q(\text{ml/s}) = \frac{V2 - V1}{t}$$

Donde,

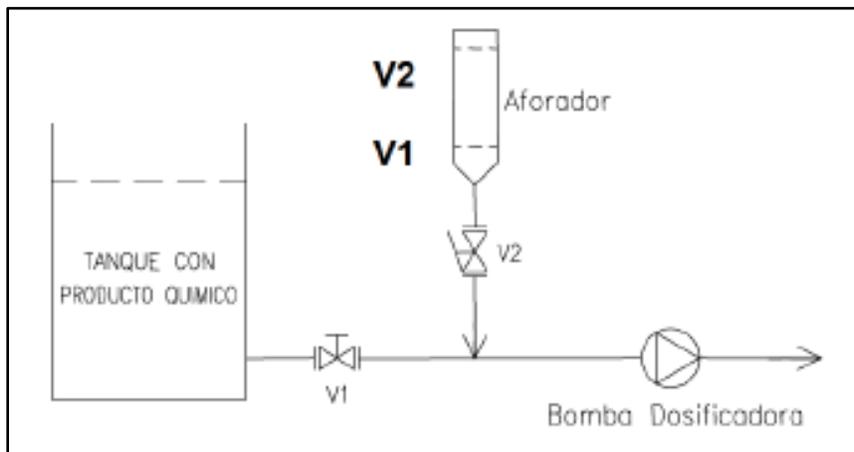
V1: Volumen inicial (ml)

V2: Volumen final (ml)

t: Tiempo para pasar de V1 a V2 (s)

Ilustración 17.

Aforo de bomba dosificadora



Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Almacenamiento

Finalmente, el agua tratada se entrega al tanque de almacenamiento que cuenta con una capacidad de 100m³ para su posterior distribución se impulsa el agua desde el fondo del tanque hasta el vertedero de salida.

Distribución

Se utiliza una bomba tipo lapicero de 2" que impulsa el agua del fondo del tanque de almacenamiento hasta el vertedero donde el agua es distribuida a la red principal por medio de tubería en PVC de 2", la ubicación de la planta permite enviar el agua por gravedad hacia las viviendas.

Diariamente se debe verificar el nivel del tanque de almacenamiento de agua potable. Estas alturas se deben registrar en el formato de control de niveles del tanque de almacenamiento, para verificar los volúmenes.

Control Operacional

Cuando los resultados de las remociones sean estables, se podrá decir que la planta opera normalmente o de forma rutinaria, pues esta se encuentra estable. En este escenario, en la operación del sistema se deberá garantizar seguimiento a los siguientes puntos:

Realizar como mínimo tres recorridos diarios por la planta; uno en la mañana, otro al medio día y por último en la tarde.

En el recorrido inicial se debe verificar el caudal de ingreso a la planta con ayuda del macromedidor.

Verificar el estado de las válvulas del filtro

Durante cada recorrido se debe medir caudal, pH, turbiedad, color, hierro, cloro libre, entre otros.

Diariamente se debe verificar el nivel del tanque de almacenamiento de cloro. Estas alturas se deben registrar en el formato de control de consumo de productos químicos, para

verificar las dosis aplicadas. Es indispensable que el operador esté atento y no deje disminuir el volumen a valores cercanos al mínimo, puesto que la manguera de succión de la bomba puede trabajar en vacío exponiendo a riesgos el tratamiento.

Observar la calidad del agua efluente para evitar cualquier cambio o deterioro en la misma.

Realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo de los equipos que proveen de energía a las bombas.

Hacer limpieza general de la planta.

Tomar las muestras a ser analizadas en laboratorio externo para verificar el cumplimiento de parámetros establecidos en la resolución 2115 de 2007 y la resolución 622 de 2020.

Se debe llevar registro físico y magnético (en lo posible) de los valores obtenidos en la operación y utilizar las herramientas de seguimiento (gráficas) para identificar las desviaciones o deterioros progresivos en las eficiencias del sistema

Control bomba dosificadora

Una vez al mes se debe desocupar completamente el tanque de almacenamiento de cloro, para realizar una limpieza con agua.

Efectuar nueva carga para un tanque completamente vacío (carga del tanque) y realizar aforos después de cada limpieza con el objeto de verificar la curva de la bomba y evaluar el posible desgaste del diafragma.

Semestralmente: Desarmar la bomba y lavarla, teniendo cuidado de no perder las válvulas de cheque, que tienen resortes y bolas pequeñas.

Anualmente: cambiar el Kit de cauchos de la válvula y el diafragma.

Muestreos

La toma de muestras y sus respectivos análisis son muy importantes para la operación del sistema de tratamiento. De esta forma se puede llevar un control sobre el proceso de tratamiento.

Se deben tomar muestras representativas a intervalos de tiempo regulares (Se recomienda realizar muestreos compuestos de 24 horas). Como el sistema es continuo y estable, es recomendable tomar muestras de afluente y efluente independientemente con el objetivo de verificar eficiencias de remoción y el cumplimiento de los parámetros de salida.

Las muestras de los diferentes puntos del proceso de tratamiento deben ser analizados regularmente, aunque se cuenta con una excelente fuente de captación en términos calidad de agua se pueden presentar cambios inesperados. En la Tabla 28 se presenta la programación recomendada para estos análisis. De acuerdo con el horario establecido para la operación, se determinará en campo la periodicidad para la toma de muestras y los análisis in-situ.

Tabla 28.

Frecuencia y análisis de laboratorio para el sistema de tratamiento

Parámetro	Punto de muestreo	Frecuencia
pH	Entada y Salida PTAP	2 veces al día
Color	Entada y Salida PTAP	2 veces al día
Turbiedad	Entada y Salida PTAP	2 veces al día
Hierro	Entada y Salida PTAP	1 vez al día
Cloro libre	Salida PTAP	2 veces al día

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

Tratamiento

Los parámetros del proceso son los elementos principales que deben ser controlados durante sistema de tratamiento. El operador debe diligenciar durante el turno de trabajo los formatos de control operacional y seguimiento del sistema de tratamiento, siguiendo las recomendaciones dadas por en este manual.

Deberán consignarse las medidas directas tales como caudales, parámetros, volumen de agua tratada, consumo de desinfectante y dosis aplicada, entre otros.

Los formatos y los valores de referencia para el sistema de tratamiento son las herramientas con las que se cuenta para garantizar el buen desempeño de las unidades de tratamiento. Los siguientes son los formatos que se recomiendan para realizar un adecuado seguimiento a la operación del sistema de tratamiento:

- Caudal de ingreso
- Control de volumen de desinfectante
- Inventario de productos químicos
- Control de calidad de agua
- Retrolavado de filtro

Anexo. Instructivo de análisis de laboratorio sistema de tratamiento agua potable**acueducto El Destino**

Análisis de parámetros

Determinación de cloro residual***Interferencias***

Dejar la muestra al ambiente puede disminuir el residual de cloro

Equipos y Reactivos:

- Recipiente de 250 ml
- Celdas
- Paño
- Reactivo HI93701-0
- Formato

Procedimiento

Paso No.1:

El operador toma el recipiente mínimo de 250 ml y procede a tomar la muestra en el punto de muestreo establecido

Nota: Realizar la medición en lo posible en el sitio, de lo contrario analizar en el menor tiempo posible

Paso No.2:

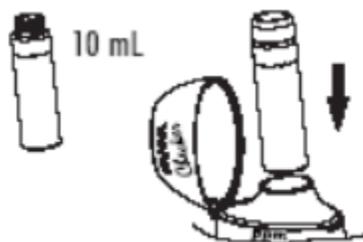
Encienda el equipo presionando el botón:



Luego que todos los segmentos han sido desplegados, “C.1”, “Add” aparecerán parpadeando con “Press”, el medidor está preparado.



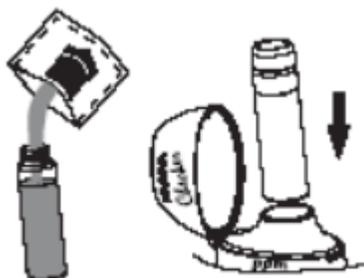
Llene la celda con 10 mL de muestra sin reaccionar y vuelva a colocar la tapa. Coloque la celda dentro del medidor y cierre la tapa del medidor.



Presione el botón. Cuando la pantalla muestre “Add”, “C2” junto con “Press” parpadeando, el medidor está en cero.



Remueva la celda, ábrala y agregue el contenido de un paquete de reactivo HI93701-0. Vuelva a colocar la tapa y agite suavemente por 20 segundos. Vuelva a colocar la celda dentro del medidor.



Espere por 1 minuto y luego presione el botón o presione y sostenga el botón hasta que sea desplegado el medidor de tiempo en la pantalla de LCD.



El instrumento desplegará en forma directa la concentración de cloro libre en ppm.



El medidor se apagará en forma automática luego de unos segundos o mantenga presionado el botón de encendido para apagarlo de forma inmediata.



Registrar el dato en el formato de control asignado.

Aspectos a tener en cuenta:

Es importante que la muestra no contenga suciedad.

Siempre que la celda es colocada dentro de la celda de medición, esta debe estar seca en su exterior y completamente libre de huellas dactilares, aceite o suciedad. Límpiela cuidadosamente con HI 7311318 o con un paño sin pelusas previo a la inserción.

Agitar la celda puede generar burbujas, que causan lecturas más altas. Para obtener lecturas exactas, remueva tales burbujas por medio de agitar o golpear suavemente la celda.

No permita que la muestra reaccionada permanezca mucho tiempo luego que ha sido agregado el reactivo, o se perderá la exactitud.

Luego de la lectura es importante desechar la muestra inmediatamente, de otra manera el vidrio se podrá manchar en forma permanente.

Determinación de color aparente

Interferencias

Equipos y Reactivos:

- Recipiente de 250 ml
- Celdas
- Paño
- Formato

Procedimiento

Paso No.1:

El operador toma el recipiente mínimo de 250 ml y procede a tomar la muestra en el punto de muestreo establecido.

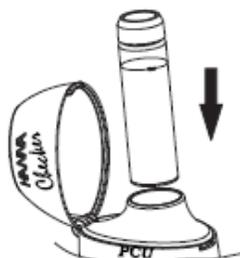
Encienda el medidor presionando el boton. Todos los segmentos serán indicados. Cuando la pantalla indica ‘Add’, ‘C.1’ con ‘Press’ intermitente, el medidor está listo



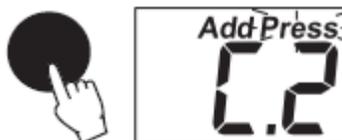
Llene una celda con 10 mL de agua desionizada y coloque la tapa. Este es el blanco



Coloque la celda en el medidor y cierre la tapa del medidor.



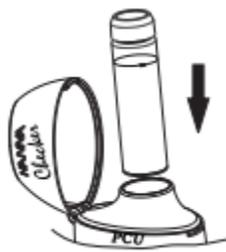
Presione el botón. Cuando la pantalla indica “Add”, “C.2” con “Press” intermitente, el medidor está en cero.



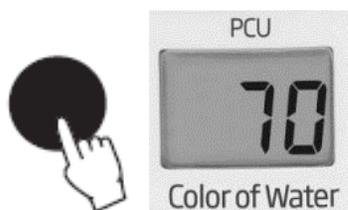
Llene una segunda celda con 10 mL de muestra sin filtrar y coloque la tapa. Este es el color aparente



Inserte la celda de color aparente en el medidor y cierre la tapa del medidor.



Presione el botón y el medidor indica directamente en la pantalla la concentración en unidades de color de color verdadero.



El medidor se apagará en forma automática luego de unos segundos o mantenga presionado el botón de encendido para apagarlo de forma inmediata.

Registrar el dato en el formato de control asignado.

Determinación de turbiedad

Rango de medición

El instrumento HI 93414 tiene el rango de medición:

Turbiedad de 0,00 a 1000 NTU

Equipos y Reactivos:

- Recipiente
- Celda
- Turbidímetro HI 93414
- Formato

Procedimiento

Paso No.1:

El operador toma el recipiente mínimo de 250 ml y procede a tomar la muestra en el punto de muestreo establecido.

Paso No.2:

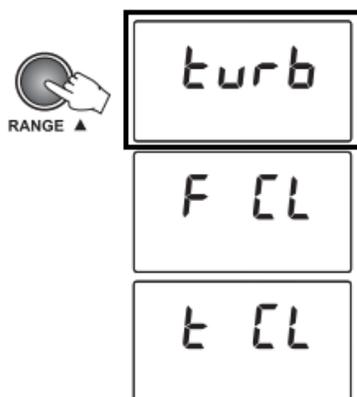
Conecte el instrumento pulsando ON/OFF. Cuando el LCD muestre guiones, el instrumento está listo. La hora actual aparece en el LCD secundario si está seleccionada en el menú SETUP (CONFIGURACIÓN) o “turb” si no se muestra la hora.



Nota: Al ponerlo en marcha, el instrumento muestra durante un segundo el rango en el LCD. El rango que tiene el instrumento al ponerse en marcha es el que ha sido utilizado en último lugar antes de desconectar el instrumento.

Antes de tomar mediciones compruebe que el instrumento esté en el rango correcto o cámbielo.

Para cambiar entre los rangos existentes pulse RANGE. El rango seleccionado se mostrará brevemente en el display primario y el instrumento entrará en el nuevo rango. La selección es circular, el rango cloro total es seguido por el rango turbidez.



Llene una celda limpia y seca con 10 ml de muestra hasta la marca, teniendo cuidado de sujetar celda por la parte superior y coloque la tapa.



Limpie la celda minuciosamente con un paño sin pelusa para eliminar huellas dactilares, suciedad o manchas de agua.

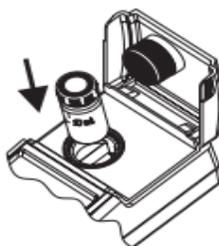


Nota: Es muy importante engrasar la celda, especialmente para valores bajos de turbidez (< 1 NTU) para ocultar las imperfecciones del vidrio que pueden influir en la lectura.

Aplique aceite silicótico sobre la celda y límpiela con un paño sin pelusa para obtener una película uniforme sobre toda la superficie de la celda.



Coloque la celda en el equipo. Alinee la marca de la celda con la señal en la parte superior del instrumento y cierre la tapa



Pulse READ/TIMER para iniciar la medición. El display mostrará guiones parpadeantes y los iconos de celda, detectores y lámpara aparecerán durante la medición. Al final de la medición, el instrumento muestra directamente la turbidez en NTU.



- Registrar el dato en el formato de control asignado.

Seleccione el modo pH mediante el botón SET/HOLD.

Sumerja el electrodo en la solución a analizar. Las mediciones deberán tomarse cuando desaparezca el símbolo de estabilidad en la parte superior izquierda de la pantalla. El valor pH con compensación automática de temperatura se muestra en la pantalla primaria mientras que la pantalla secundaria muestra la temperatura de la muestra

Determinación de pH

Equipos y Reactivos:

- Recipiente
- Agua desionizada
- Paño
- KCL
- Formato

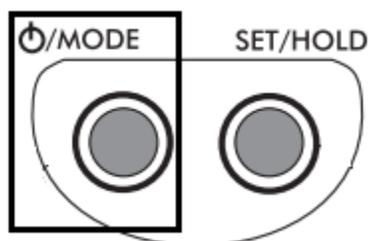
Procedimiento

Paso No.1:

El operador toma el recipiente de 250 ml y procede a tomar la muestra en el punto de muestreo establecido.

Paso No.2:

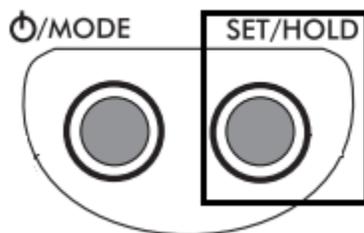
Encienda el equipo prima tecla



Retire el capuchón de protección del electrodo y lávelo con agua destilada.



Seleccione el modo pH mediante el botón SET/HOLD. Sumerja el electrodo en la solución a analizar



Las mediciones deberán tomarse cuando desaparezca el símbolo de estabilidad en la parte superior izquierda de la pantalla.



El valor pH con compensación automática de temperatura se muestra en la pantalla primaria mientras que la pantalla secundaria muestra la temperatura de la muestra.

Registrar el dato en el formato de control asignado.

Anexo. Formatos de control operacional acueducto El Destino

Dentro del sistema de tratamiento de agua potable se debe empezar a realizar un mayor seguimiento en el control operacional, llevando registro de las variables del tratamiento con el fin de tener trazabilidad de los parámetros medidos. Para este fin se realizaron cinco formatos de control operacional que permiten registrar variables del proceso de potabilización del acueducto El Destino.

Ilustración 21

Formato Control de lavado de Filtro

		CONTROL DE LAVADO DE FILTRO				Documento: F-POT-XXX Revisión: XX Fecha: XX/XX/XXXX	
Fecha	Filtro	Tiempo de filtración (h)	Tiempo en minutos			Operador Responsable	Observaciones
			Lavado	Enjuague	Total		
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						
	FD						

Fuente: Elaboración propia del proyecto (2022).

