

Diseño e implementación de herramientas de seguimiento y control de la calidad del agua
suministrada por las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P

Andrés Eduardo Carreño Torres

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Modalidad Practica Empresarial

Director

Giovanni Morales Medina

PhD en Ingeniería Química

Codirector

Paola Andrea Ibáñez Riaño

Esp. en Ingeniería Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios por concederme la sabiduría, fuerza y resiliencia en los momentos más definitivos de mi vida como estudiante y profesional.

A mi madre, Leonor Torres por ser el motor de mi vida, por ser mi ejemplo para seguir adelante, por cuidarme, quererme, aceptarme y luchar conmigo en los grandes proyectos de mi vida.

A mi tía Olga y mis abuelitos por apoyarme en cada etapa de mi vida, ser la mejor compañía, voz de aliento y por demostrarme que nunca es tarde para cumplir sueños.

A Cami, Marce, Junior, Majo, Alejo y demás amigos los cuales conocí en la universidad, sin ustedes no hubiera sido posible disfrutar de una manera tan divertida la experiencia universitaria, gracias por estar en los momentos difíciles que tuve, por aconsejarme de la mejor manera y estar siempre junto a mi, gracias por todo.

A la vida por permitirme compartir estos años de aprendizaje en mi alma mater, por poder coincidir con personas maravillosas que me brindaron su ayuda infinita y una amistad que deseo conservar toda mi existencia.

Gracias infinitas

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Escuela de Ingeniería Química por permitirme el honor de hacer parte de esta gran familia, por su excelente formación académica y sobre todo por aportarme en gran medida a mi crecimiento personal y profesional.

Agradezco de manera especial y sincera al profesor Dr. Giovanni Morales por aceptarme para realizar este proyecto bajo su dirección, por el tiempo dedicado, por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este proyecto, sino también en mi formación como profesional.

A los docentes de mi alma mater, pero en especial a la profesora Sandra Fontecha y a la profesora Marcela Galeano por todo el tiempo compartido desde inicios del pregrado, por el apoyo incondicional, por estar siempre dispuestas a ayudar, motivar e inspirar al compartir todo su conocimiento.

A la Dra. Gloria Cecilia Palacios alcaldesa municipal de Tibasosa y al Ing. Efrain Arias gerente de Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo. Por brindarme siempre su apoyo y experiencia durante el desarrollo de esta práctica. Y a todo el grupo de operarios y personal de la empresa por su amistad y apoyo durante el desarrollo de esta experiencia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Planteamiento del Problema.....	13
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo General	14
2.2. Objetivo Específicos.....	14
3. Descripción de la Empresa	15
4. Marco Conceptual	16
4.1. Información General Del Municipio De Tibasosa	16
4.2. Descripción general planta de tratamiento de agua potable PTAP	16
4.3. Parámetros Físicos.....	18
4.4. Parámetros Químicos	19
4.5. Parámetros Microbiológicos.....	19
5. Descripción Metodológica	21
5.1. Fase I. Diagnóstico del estado actual de los procesos de tratamiento.....	21
5.2. Fase II. Diseño de una herramienta digital de gestión de datos de operación.....	22
5.3. Fase III. Implementación de la herramienta diseñada.....	23
6. Resultados	24
6.1. Resultados Fase I. Diagnóstico del estado actual de los procesos de tratamiento	24
6.2. Resultados Fase II. Diseño de herramientas digitales de gestión de datos de operación	33
6.3. Resultados Fase III. Implementación de la herramienta diseñada	38
7. Conclusiones	40
8. Recomendaciones.....	41

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA... 5

Referencias Bibliografía.....42

Apéndices44

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Límites permisibles establecidos por la Resolución 2115 de 2007</i>	22
Tabla 2. <i>Datos Obtenidos Del Agua Cruda En El Muestreo En Las PTAP</i>	26
Tabla 3. <i>Datos Obtenidos Del Agua Potable En El Muestreo En Las PTAP</i>	27
Tabla 4. <i>Eficiencia Global en las PTAP</i>	29
Tabla 5. <i>Eficiencia Parcial en las PTAP</i>	30
Tabla 6. <i>Resultados de las muestras procesadas por parte del laboratorio externo</i>	32
Tabla 7. <i>Datos balance hídrico</i>	35
Tabla 8. <i>Resultados encuesta realizada a los funcionarios de la empresa</i>	39
Tabla 9. <i>Métodos analíticos utilizados en el muestreo</i>	56

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Diseño final herramienta de seguimiento</i>	35
Figura 2. <i>Secciones diseño final de la herramienta de seguimiento</i>	37
Figura 3. <i>Estructura de Captación fuente Quebrada Grande</i>	45
Figura 4. <i>Estructura de Captación fuente Mana del Padre</i>	45
Figura 5. <i>Estructura del Desarenador</i>	45
Figura 6. <i>Estructura de mezcla rápida constituida por un vertedero triangular</i>	47
Figura 7. <i>Estructura de dosificación</i>	47
Figura 8. <i>Estructura de Coagulación – Flocculación</i>	47
Figura 9. <i>Estructuras de Filtración</i>	48
Figura 10. <i>Sistema de Desinfección</i>	48
Figura 11. <i>Estructura de Captación fuente Rio Chiquito</i>	49
Figura 12. <i>Estructura del Desarenador</i>	50
Figura 13. <i>Estación de Bombeo</i>	50
Figura 14. <i>Estructura de Dosificación canaleta parshall</i>	51
Figura 15. <i>Estructura de mezcla rápida</i>	51
Figura 16. <i>Estructura de Sedimentación</i>	53
Figura 17. <i>Estructura de Filtración</i>	54
Figura 18. <i>Sistema de Desinfección</i>	54
Figura 19. <i>Diagrama sistema de acueducto urbano municipio de Tibasosa</i>	55
Figura 20. <i>Filtros saturados de lodo en la planta La Boyera</i>	57
Figura 21. <i>Filtros saturados de lodo en la planta La Boyera</i>	57
Figura 22. <i>Filtros saturados de lodo en la planta La Boyera</i>	57

Figura 23. <i>Formato control Balance Hídrico planta La Boyera</i>	58
Figura 24. <i>Formato control de procesos planta La Boyera</i>	59
Figura 25. <i>Formato control de procesos y Balance Hídrico planta La Capilla</i>	60
Figura 26. <i>Hoja de resumen formato control de parámetros planta La Capilla</i>	61
Figura 27. <i>Hoja de resumen formato control de parámetros planta La Boyera</i>	61
Figura 28. <i>Hoja de resumen formato Balance Hídrico</i>	61
Figura 29. <i>Primera sección (parámetros del agua cruda)</i>	62
Figura 30. <i>Segunda sección (parámetros del agua potable)</i>	62
Figura 31. <i>Tercera sección (comportamiento y cumplimiento de la normativa)</i>	63
Figura 32. <i>Cuarta sección (eficiencia de remoción)</i>	63
Figura 33. <i>Panel de control herramienta diseñada</i>	63
Figura 34. <i>Conferencia de socialización de la herramienta diseñada</i>	64
Figura 35. <i>Conferencia de socialización de la herramienta diseñada</i>	64
Figura 36. <i>Conferencia de socialización de la herramienta diseñada</i>	64
Figura 37. <i>Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada</i>	65
Figura 38. <i>Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada</i>	65
Figura 39. <i>Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada</i>	65
Figura 40. <i>Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada</i>	66
Figura 41. <i>Opinión sobre la herramienta diseñada</i>	66
Figura 42. <i>Lista de asistencia sobre la herramienta diseñada</i>	67

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Descripción sistema de acueducto	44
Apéndice B. Diagrama sistema de acueducto	55
Apéndice C. Evidencias sobresaturación planta La Boyera.....	56
Apéndice D. Evidencias sobresaturación planta La Boyera	57
Apéndice E. Formatos de control manejados por la empresa	58
Apéndice F. Hojas de resumen de parámetros y balance hídrico	61
Apéndice G. Secciones de la herramienta de control.....	62
Apéndice H. Evidencias de la socialización del proyecto y entrega de la herramienta	64
Apéndice I. Resultados socialización del proyecto y entrega de la herramienta	65

Resumen

Título: Diseño e implementación de herramientas de seguimiento y control de la calidad del agua suministrada por las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P*

Autor: Andrés Eduardo Carreño Torres**

Palabras Claves: Calidad del Agua, Agua Cruda, Potabilización, Herramienta Digital, PTAP.

Descripción:

La Empresa Municipal de Tibasosa E.S.P es la encargada de suministrar el agua potable a la población urbana y a un sector rural del municipio de Tibasosa (Boyacá), como objetivo misional la empresa presta los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo de manera óptima a todos sus usuarios cumpliendo con todo lo establecido por la normativa vigente. Sin embargo, se observó que la prestación del servicio se ve afectada cuando los parámetros del agua cruda varían demasiado generando dificultades técnicas en el desarrollo del tratamiento e intermitencia en la prestación del servicio.

En este trabajo se diseñó una herramienta digital la cual sintetiza los datos de operación recolectados en las plantas de tratamiento presentándolos de forma dinámica. Para este fin, se diagnosticó el estado actual del tratamiento partiendo de la información recolectada en las visitas y el muestreo realizado en las PTAP La Capilla y La Boyera, seguidamente se evaluó el efecto que tienen los parámetros del agua cruda determinando la eficiencia parcial y global del tratamiento; y por último se procedió a realizar el prototipo en un programa de fácil manejo y su posterior implementación en busca de oportunidades de mejora para la compañía. Como resultado, la herramienta facilita el dar seguimiento a la calidad del agua potable además de realizar el balance hídrico en cada planta. Es por esto, que favorece el poder tomar decisiones a la hora de disminuir el efecto que tiene el agua cruda en el tratamiento a fin de mantener la calidad del servicio suministrada a la población.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela De Ingeniería Química. Director: Giovanni Morales Medina. Ingeniero Químico, PhD. Codirector: Paola Andrea Ibáñez Riaño. Ingeniera Química, Esp.

Abstract

Título: Design and implementation of tools for monitoring and controlling the quality of the water supplied by the Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P*

Autor: Andrés Eduardo Carreño Torres**

Palabras Claves: Water Quality, Raw Water, Potabilization, Digital Tool, PTAP.

Descripción:

La Empresa Municipal de Tibasosa E.S.P is in charge of supplying the drinking water to the urban population and to a rural sector of the municipality of Tibasosa (Boyacá), as a missionary objective, the company provides the services of aqueduct, sewerage and toilet in an optimal way to all its users, complying with everything established by current regulations. However, it was observed that the provision of the service is affected when the parameters of raw water vary too much, generating technical difficulties in the development of the treatment and intermittency in the provision of the service.

In this work, a digital tool was designed which synthesizes the operation data collected in the treatment plants presenting them dynamically. To this end, the current state of the treatment was diagnosed based on the information collected in the visits and the sampling carried out in the PTAP La Capilla and La Boyera, then the effect of the raw water parameters was evaluated, determining the partial and overall efficiency of the treatment; and finally, the prototype was made in an easy-to-use program and its subsequent implementation in search of opportunities for improvement for the company. As a result, the tool makes it easier to monitor the quality of drinking water in addition to carrying out the water balance in each plant. That is why it favors being able to make decisions when it comes to reducing the effect that raw water has on treatment to maintain the quality of the service provided to the population.

* Degree Work

** Faculty of Physicochemical Engineering School of Chemical Engineering. Director: Giovanni Morales Medina. Chemical Engineer, PhD. Codirector: Paola Andrea Ibáñez Riaño. Chemical Engineer, Esp.

Introducción

El agua potable es aquella agua que cumple con ciertos parámetros de calidad físicos, químicos y microbiológicos, los cuales conducen a que no genere ninguna afectación a la salud humana en un periodo de tiempo. El proceso de potabilización convencional inicia con la captación del agua cruda desde fuentes ya sean superficiales o subterráneas y a través de múltiples operaciones de tratamiento la vuelve adecuada para el consumo humano. En Colombia la política pública sobre acceso al agua potable como servicio público esencial tiene una larga historia; sin embargo, la Constitución Política de 1991 marca un punto fundamental en el avance hacia la garantía de este derecho para todos los habitantes del territorio (Gutiérrez Martínez J. , 2020). Dentro de este orden de ideas, la calidad del agua se puede controlar mediante una combinación de medidas: protección de las fuentes de agua, control de las operaciones de tratamiento y gestión de la distribución y la manipulación del agua (Organización Mundial de la Salud, 2004).

En el municipio de Tibasosa (Boyacá) Las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P son las encargadas de suministrar el agua potable al casco urbano del municipio. No obstante, se ha notado la influencia que presenta la variación de los parámetros del agua cruda, en el desempeño del tratamiento de potabilización, generando oportunidades en la prestación del servicio. Además, se han tenido una serie de oportunidades en las etapas de toma de muestras y de seguimiento y de control del tratamiento.

Dadas estas oportunidades, el desarrollo de este proyecto se enfocó al diseño de herramientas computacionales dirigidas al procesamiento, al análisis y la presentación de la información de control de parámetros y balance hídrico de las plantas de tratamiento de Las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P. Los datos de seguimiento son presentados de forma gráfica en un programa computacional de fácil manejo, facilitando la interpretación, la toma de decisiones y las acciones a la hora de dar seguimiento y control a la calidad del agua. Con lo anterior se espera contribuir en el crecimiento y el fortalecimiento de la empresa, brindando un mejor servicio a los tibasoseños.

1. Planteamiento del Problema

El agua es fundamental para la existencia de cualquier ser vivo, por lo cual debe ser suministrada en condiciones óptimas para su uso y consumo. Así mismo el agua potable y el saneamiento son reconocidos como derechos humanos básicos, dado que son indispensables para sostener medios de vida saludables y que son fundamentales para mantener la dignidad de todos los seres humanos (Organización de las Naciones Unidas, 2019). Dentro de este orden de ideas, la calidad del agua se puede controlar mediante una combinación de medidas: protección de las fuentes de agua, control de las operaciones de tratamiento y gestión de la distribución y la manipulación del agua (Organización Mundial de la Salud, 2004). De otro lado, una mala calidad del agua afecta directamente a las personas que dependen de estas fuentes como su principal suministro, limitando aún más su acceso y aumentando los riesgos para la salud (Organización de las Naciones Unidas, 2019).

En Colombia la política pública sobre acceso al agua potable como servicio público esencial tiene una larga historia; sin embargo, la Constitución Política de 1991 marca un punto fundamental en el avance hacia la garantía de este derecho para todos los habitantes del territorio (Gutiérrez Martínez J. , 2020). La metodología de vigilancia de la calidad del agua se sustenta en el Decreto 1575 y Resolución 2115 de 2007, que estableció el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Ministerio De Salud Y Protección Social, 2017).

Las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P son las encargadas de suministrar el agua potable al casco urbano del municipio de Tibasosa. En su labor, las empresas han observado diferentes contratiempos, como la variación de los parámetros del agua cruda en la captación ya que presentan altas concentraciones de turbiedad, color, sales por vertimientos de las piscinas termales y, principalmente la variación de la conductividad generando inconvenientes para dar seguimiento y control en el proceso global y parcial del tratamiento. Por esta razón, se propone el diseño e implementación de herramientas digitales de gestión de datos de operación con el objetivo de facilitar el seguimiento y control manual en el tratamiento del agua. Con lo anterior, la pregunta direccionadora de la presente propuesta corresponde a ¿de qué manera se puede dar seguimiento y control a fin de mantener la calidad del agua suministrada por Las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P, cuando las características del agua cruda varían demasiado?

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar herramientas de seguimiento y control de la calidad del agua suministrada por Las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P.

2.2. Objetivo Específicos

Diagnosticar el estado actual de los procesos de tratamiento, mediante la inspección de las etapas, identificando las oportunidades de mejora y el enfoque del tratamiento del agua.

Diseñar una herramienta digital de gestión de datos de operación, utilizando un programa computacional de fácil manejo, facilitando la verificación del cumplimiento de la normativa actual vigente en cuanto a la calidad del agua suministrada.

Implementar la herramienta diseñada, a través de capacitaciones a los operarios, dando seguimiento y verificación en el servicio de agua potable a la comunidad.

3. Descripción de la Empresa

Las Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P. inició el 31 de diciembre de 1997, cuando la Secretaría de Servicios Públicos adoptó la forma jurídica de Empresa Industrial y Comercial del Orden Municipal, con la razón social de “Empresas Municipales de Tibasosa E.S.P.”. El objeto de la formación de Las Empresas correspondió a la prestación de los servicios públicos de acueducto, aseo y alcantarillado en la zona urbana, así como la realización de actividades complementarias necesarias para la prestación eficiente de los mismos (Secretaría de Salud de Boyacá, 2014). La Empresa cuenta con instalaciones administrativas en el parque principal del municipio de Tibasosa y dos sistemas de acueducto que trabajan independientemente, los cuales abastecen el casco urbano y parte de las veredas estos se detallan en el Apéndice A. Asimismo, entre los activos que presenta la empresa se tienen puntos de muestreo, una red de distribución, una estación de bombeo y varios tanques de almacenamiento.

El sistema de acueducto urbano del municipio de Tibasosa está compuesto por 2 bocatomas, una en el río Chicamocha, y otra en los nacimientos Mana del Padre y Quebrada Grande. Cada bocatoma tiene un desarenador y líneas de conducción a 2 plantas de tratamiento La Boyera y La Capilla. La planta La Boyera abastece 4 tanques de almacenamiento, 3 de los cuales son destinados para el suministro del casco urbano y el otra para el suministro de un sector veredal. Por su parte, la planta La Capilla posee un tanque de almacenamiento para la distribución del agua potable a parte del casco urbano; el diagrama del sistema urbano de acueducto es presentado en el Apéndice B. La empresa presta servicio en modo discontinuo a 1811 usuarios de acueducto, 1431 usuarios de alcantarillado y 2057 usuarios de aseo.

4. Marco Conceptual

4.1. Información General Del Municipio De Tibasosa

El municipio de Tibasosa se encuentra localizado en las coordenadas geográficas 05° 45' N 73° 00' W a una altitud media de 2.538 m.s.n.m en el departamento de Boyacá, comprende un área aproximada de 93.24 Km² y se encuentra localizada a 180 km por vía pavimentada de la capital colombiana y cerca de 6.8 Km de la ciudad de Sogamoso (Consortio PSMV Tibasosa, 2016). Está situado al occidente del valle de Iraca o Sogamoso, recostado en las faldas del Guática, en la altiplanicie central del departamento de Boyacá y en la margen izquierda de la hoya del río Chicamocha en la quinta zona de la cordillera de los andes y en el eje vial Duitama – Sogamoso (Consortio PSMV Tibasosa, 2016).

El municipio limita por el norte con los municipios de Duitama y Nobsa, por el sur con el municipio de Firavitoba, por el oeste con los municipios de Paipa y Duitama y por el Oriente con los municipios de Nobsa y Sogamoso; estando rodeado de colinas con una morfología similar a una herradura principalmente hacia el suroccidente y nororiente del municipio (Consortio PSMV Tibasosa, 2016). Debido a la extensión del municipio de Tibasosa la cual comprende entre los 2500 m.s.n.m y 3200 m.s.n.m, las temperaturas que se presentan sobre la cabecera urbana oscilan entre los 13.7 °C y los 14.8 °C (Consortio PSMV Tibasosa, 2016).

4.2. Descripción general planta de tratamiento de agua potable PTAP

Los procesos unitarios efectuados en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) comprenden las siguientes etapas:

- **Captación:** En esta etapa, el agua es captada mediante estructuras que se construyen en las fuentes de abastecimiento, derivando el caudal necesario que garantice agua en cantidad suficiente a la población a servir (Ministerio De Desarrollo Económico, 1999).
- **Aeración:** La aeración es el proceso de tratamiento mediante el cual se incrementa el área de contacto del agua con el aire para facilitar el intercambio de gases y sustancias volátiles (Organización Panamericana de la Salud, 2002).
- **Coagulación:** La coagulación tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y capturar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas (Organización Panamericana de la Salud, 2002).
- **Mezcla Rápida:** Los reactivos químicos se deben distribuir de manera rápida y uniforme por toda la masa líquida. Para lograr este objetivo se debe aumentar la turbulencia del flujo, mediante resaltos hidráulicos, cámaras con deflectores y mezcladores mecánicos, entre otros (Organización Panamericana de la Salud, 2002).
- **Floculación:** La floculación es un proceso de agitación suave y continua del agua con coagulantes con el propósito de que se formen los *flocs*, los cuales capturan la suciedad y disminuyen la turbulencia del agua. Estos *flocs* son removidos por sedimentación (Ministerio De Desarrollo Económico, 1999).
- **La Sedimentación:** Es la remoción de las partículas *flocs* formados en la floculación. Los *flocs* son depositados en el fondo del sedimentador por acción de la fuerza de la gravedad (por su propio peso) (Ministerio De Desarrollo Económico, 1999).
- **Filtración:** La filtración del agua consiste en hacerla pasar por sustancias porosas que puedan retener o remover algunas de sus impurezas. Por lo general, se utiliza como medio poroso la arena soportada por capas de piedras, debajo de las cuales existe un sistema de drenaje (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

- **Desinfección:** La desinfección consiste en la aplicación directa al agua de sustancias químicas o en la utilización de medios físicos para eliminar de ella agentes patógenos, capaces de producir infección o enfermedad en el organismo del ser humano (Ministerio De Desarrollo Económico, 1999).

4.3. Parámetros Físicos

El aspecto físico del agua se considera por su apariencia, la cual puede ser percibida por los sentidos. Entre los parámetros físicos considerados como patrón de calidad del agua se encuentran:

- **Turbidez:** La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua (Organización Panamericana de la Salud, 2002). La escala de medición corresponde a unidades nefelométricas de turbidez (NTU); los valores de calidad solicitados por la Resolución 2115 de 2007 no deberán ser superiores a 2 NTU.
- **Color:** El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas, así como cuerpos vivos presentes, tales como algas (Organización Panamericana de la Salud, 2002). La escala de medición corresponde a unidad platino-cobalto (UPC); los valores de calidad solicitados por la Resolución 2115 de 2007 no deberán ser superiores a 15 UPC.
- **Temperatura:** Es importante por el efecto sobre las propiedades físicas, afecta la velocidad las reacciones químicas y la solubilidad de los gases, amplía sabores y olores del agua y determina el desarrollo de los organismos presentes (Ministerio De Desarrollo Económico, 1999).

4.4. Parámetros Químicos

Se relaciona con los compuestos químicos disueltos en el agua y que pueden modificar sus propiedades. Entre los parámetros químicos de calidad se encuentran:

- pH: El agua siempre se ioniza en pequeñas proporciones, produciendo tanto iones hidrógeno como iones hidroxilo. El pH es la forma de medir el ion de hidrógeno o el ion de hidroxilo (Ministerio De Desarrollo Económico, 1999). Los valores de calidad solicitados por la Resolución 2115 de 2007 están comprendidos entre 6,5 y 9.
- Conductividad: La conductividad eléctrica del agua es una medida de la capacidad de misma para transportar la corriente eléctrica. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica (Solís Castro *et la*, 2018). Los valores de calidad solicitados por la Resolución 2115 de 2007 no deberán ser superiores a 1000 microsiemens/cm.
- Cloro residual: Para obtener una desinfección adecuada del agua se debe agregar suficiente cloro para satisfacer la demanda y asegurar la destrucción de la vida bacteriana. La permanencia de un residuo final indica si tales reacciones químicas y biológicas se completaron (Organización Panamericana de la Salud, 2002). Los valores de calidad solicitados por la Resolución 2115 de 2007 están comprendidos entre 0,3 y 2 mg/L.

4.5. Parámetros Microbiológicos

El mayor riesgo microbiano del agua es el relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición

significativas (Londoño Gaitan, 2014). Los parámetros microbiológicos considerados por la Resolución 2115 de 2007 son:

- Coliformes totales: las bacterias coliformes totales que están más estrechamente relacionados con la contaminación fecal (Organización Panamericana de la Salud, 2002). Estas bacterias pueden conducir a enfermedades con síntomas como fiebre, tos, náusea, cefalea, vómito y diarrea. La escala de medición corresponde a UFC/100 mL el valor de calidad solicitado por norma es de 0 UFC/100 mL.
- *Escherichia coli*: Es el principal indicador bacteriano en el agua. Estudios efectuados han demostrado que la *E. coli* está presente en las heces de humanos y animales (Organización Panamericana de la Salud, 2002). Estas bacterias pueden conducir a enfermedades con síntomas como diarrea, fiebre, cefalea, mialgias, dolor abdominal. La escala de medición corresponde a UFC/100 mL el valor de calidad solicitado por norma es de 0 UFC/100 mL.

5. Descripción Metodológica

Con el fin de lograr los objetivos establecidos en este proyecto, se propuso la siguiente metodología, dividida en tres fases:

5.1. Fase I. Diagnóstico del estado actual de los procesos de tratamiento

• **Inspección de las PTAP:** La inspección fue realizada por medio de visitas a las plantas, con lo cual se recolectó la información de operación, consignadas en planos de diseño, bitácoras de operación y mantenimiento y por entrevistas con los operarios. De igual manera, se realizó la toma de muestras al agua cruda, en las unidades de la PTAP y al agua potable suministrada las cuales fueron procesadas en el laboratorio de la empresa y también por parte del laboratorio externo, las técnicas analíticas utilizadas para cada uno de los parámetros se encuentran en el apéndice C. Además, se realizó el cálculo de la eficiencia de remoción global y parcial utilizando la ecuación (Ec. 1), determinando el desempeño de la operación del sistema de tratamiento.

$$\% \text{ Eficiencia Remocion} = \frac{\text{Valor de Entrada} - \text{Valor de Salida}}{\text{Valor de Entrada}} * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

• **Análisis y comparación de los parámetros del agua respecto a la Resolución 2115 de 2007:** la información recolectada (en las visitas y en los análisis realizados por el laboratorio externo) sobre las características fisicoquímicas fue cotejada con respecto a los límites permisibles establecidos por la Resolución 2115 de 2007. La siguiente tabla establece los valores de referencia establecidos en la resolución.

Tabla 1.

límites permisibles establecidos por la Resolución 2115 de 2007

Parámetro	Unidad	Valor Referencia
pH	unidades	6,5-9,0
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	200
Aluminio	mg Al ³⁺ /L	0,2
Calcio	mg Ca/L	60
Olor	unidades	N/E
Material Flotante	unidades	N/E
Cloro Residual Libre	mg Cl ₂ /L	0,3-2,0
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250
Color Aparente	UPC	15
Conductividad	MS/cm	1000
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	300
Fosfatos	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,5
Fluoruros	mg F ⁻ /L	1
Magnesio	mg Mg/L	36
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	10
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	0,1
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	250
Turbiedad	UNT	2
Coliformes Totales	UFC/100mL	0
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100mL	0

5.2. Fase II. Diseño de una herramienta digital de gestión de datos de operación

- **Diseño de la herramienta:** la herramienta digital de información y seguimiento fue diseñada según las necesidades y requerimientos del tratamiento, a partir de la información recolectada en la Fase I. La herramienta fue codificada en Excel®, programa conocido y de fácil manejo, permitiendo una actualización sencilla y un nivel alto de confianza en su funcionamiento.

- **Validación de las herramientas:** Los códigos definidos en la herramienta fueron depurados con base en los históricos recolectados en la Fase I. Con esto se verificaron los valores del balance hídrico y del monitoreo de las principales variables del proceso.

5.3. Fase III. Implementación de la herramienta diseñada

- **Puesta en marcha de la herramienta diseñada:** en la fase final del proyecto se efectuaron pruebas de puesta en marcha de la herramienta, considerando datos actuales de proceso.

- Capacitaciones al personal operativo. Una capacitación sobre el manejo y aplicación de la herramienta digital fue efectuada al personal operativo de las plantas de tratamiento. Los comentarios y los aportes recibidos en la capacitación fueron considerados en la actualización de las herramientas y como recomendaciones para trabajos posteriores.

6. Resultados

6.1. Resultados Fase I. Diagnóstico del estado actual de los procesos de tratamiento

Se inició con una serie de visitas a las plantas de tratamiento en las cuales se observó las unidades que se utilizan en el sistema, las bitácoras de operación y el histórico de datos recolectados por la empresa. Además, se realizó la medición de parámetros tales como turbiedad, color, alcalinidad, conductividad y pH en el agua cruda y agua potable. Sin embargo, los datos obtenidos para el pH fueron descartados debido a una falla en el sensor del equipo lo que generaba que los datos no correspondieran con el valor real de este parámetro

Para el caso del agua cruda los datos obtenidos son reportados en la Tabla 2. Estos resultados son un promedio mensual para un intervalo de confianza del 95%. Además, en esta tabla se presentan el valor mínimo y máximo obtenido. Los datos presentados en la Tabla 1 corresponden al periodo de tiempo entre abril y junio.

La información presentada en la Tabla 2 evidencia la variación que presentan los parámetros del agua cruda que se capta del río Chicamocha, como consecuencia de los vertimientos de aguas termominerales y residuales de los municipios aledaños al afluente. Es por esto que, a nivel general, el agua de este río presenta altos valores de turbiedad, color y en algunas ocasiones altos valores de conductividad y sales por vertimientos de las piscinas termales de Paipa (Secretaría de Salud de Boyacá, 2014). Estos parámetros tienden a elevar aún más sus valores, en las temporadas de mayor precipitación; los meses con mayor turbiedad mensual están relacionados con alta precipitación mensual, lo cual sugiere la acción de arrastre de sedimentos que ejerce la

escorrentía superficial por lluvia (Ospina Zúñiga *et la*, 2016). Debido a esto, los parámetros presentaron un comportamiento fluctuante en la ventana de muestreo establecida.

De otro lado, el agua cruda proveniente de La Quebrada Grande y La Mana del Padre presento menores variaciones en los valores de sus parámetros por lo cual no se realizó la medición de parámetros como la alcalinidad y conductividad. De manera similar, el agua cruda de estos afluentes presentó una elevación en sus parámetros época de lluvias.

Respecto al agua potable, los datos obtenidos del efluente de las plantas de tratamiento son reportados en la Tabla 3. Estos resultados son un promedio mensual para un intervalo de confianza del 95%, considerando la ventana de operación entre abril y junio.

De la información presentada en la Tabla 3 es posible afirmar que el agua potable producida en la planta La Boyera cumple con lo establecido en cuanto a la calidad para consumo humano; la mayoría del tiempo, el efluente de esta planta presentó cumplimiento del valor de sus parámetros dentro de los intervalos permisibles. Sin embargo, esta planta ha experimentado problemas operativos debido a la gran cantidad de lodo que arrastra el agua cruda, generando sobresaturación en las unidades de tratamiento; también se han presentado fallas con el sistema de desinfección, los cuales han provocado que el contenido de cloro exhiba un comportamiento de inestabilidad en algunos periodos de operación.

Tabla 2.*Datos Obtenidos Del Agua Cruda En El Muestreo En Las PTAP*

Planta de Tratamiento de Agua Potable La Boyera												
	Turbiedad [UNT]			Alcalinidad [$mg CaCO_3/l$]			Color [UPC]			Conductividad [$\mu s/cm$]		
Mes	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	11,4	108,0	38,4 ± 9,5	20,0	90,0	64,8 ± 7,3	49,8	1075,0	208,4 ± 118,7	257,0	711,0	455,4 ± 2,4
Mayo	28,6	169,0	64,7 ± 3,3	50,0	100,0	75,2 ± 4,3	84,2	793,0	184,2 ± 74,6	283,0	590,0	383,8 ± 45,6
Junio	32,1	137,0	60,9 ± 10,9	70,0	90,0	85,0 ± 6,8	85,0	304,0	136,3 ± 22,5	312,0	713,0	499,7 ± 68,5
Planta de Tratamiento de Agua Potable La Capilla												
	Turbiedad [UNT]			Alcalinidad [$mg CaCO_3/l$]			Color [UPC]			Conductividad [$\mu s/cm$]		
Mes	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	0,5	6,2	1,3 ± 0,5	-----	-----	-----	9,0	42,0	22,67 ± 3,2	-----	-----	-----
Mayo	0,5	6,9	1,8 ± 0,6	-----	-----	-----	9,0	110,0	44,35 ± 8,6	-----	-----	-----
Junio	0,6	2,4	1,2 ± 0,3	-----	-----	-----	45,0	74,0	54,43 ± 4,2	-----	-----	-----

Tabla 3.*Datos Obtenidos Del Agua Potable En El Muestreo En Las PTAP*

Planta De Tratamiento De Agua Potable La Boyera									
Mes	Turbiedad [UNT]			Color [UPC]			Cloro [ppm]		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	0,0	0,60	0,17 ± 0,08	0,0	15	2,47 ± 1,21	0,10	1,33	0,59 ± 0,16
Mayo	0,0	0,45	0,12 ± 0,05	0,0	3,9	1,97 ± 0,41	0,23	2,72	0,94 ± 0,22
Junio	0,0	1,09	0,41 ± 0,12	0,1	4,4	2,94 ± 0,36	0,55	2,78	1,32 ± 1,93
Planta De Tratamiento De Agua Potable La Capilla									
Mes	Turbiedad [UNT]			Color [UPC]			Cloro [ppm]		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	0,08	0,48	0,31 ± 0,10	13	30	27,75 ± 4,01	-----	-----	-----
Mayo	0,32	0,50	0,40 ± 0,05	21	36	28,10 ± 4,67	-----	-----	-----
Junio	0,35	1,93	1,05 ± 0,52	25	45,7	31,19 ± 5,83	-----	-----	-----

Por su parte, el efluente de la planta La Capilla reportó valores de turbiedad por debajo del límite, cumpliendo con lo establecido por norma. No obstante, los valores que exhibió el color se encontraron por encima de la norma, lo cual pudo ser provocado por la colmatación de los lechos filtrantes o la falta de calibración del equipo de medición. En todo caso, se aclara que los datos de color y turbiedad en esta planta fueron recolectados antes de la etapa de desinfección por eso no se presenta el valor de este parámetro en la Tabla 3. El cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, el sabor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor, sabor y color), eliminar el fierro y el manganeso y coagular las materias orgánicas (Organización Panamericana de la Salud, 2002). Con esto, la etapa de desinfección ajustó el parámetro de color, según lo exigido en la normatividad.

A fin de determinar la incidencia de los parámetros del agua cruda en el tratamiento de potabilización se realizó la evaluación de la eficiencia de remoción global y parcial en ambas plantas. Para el cálculo de estas se utilizó la Ec. 1. Los datos obtenidos para la eficiencia global y parcial pueden ser analizados en las Tablas 4 y 5, respectivamente. Los valores negativos en estas tablas manifiestan que el valor del parámetro a la salida resultó mayor que el valor a la entrada.

Respecto a la eficiencia global se pudo inferir que, aunque en la planta La Boyera se presentó mayor variabilidad en los parámetros a la entrada del proceso, esto no afectó globalmente la eficiencia de remoción del tratamiento. No obstante, en la planta La Capilla se reportaron valores de eficiencia bajos debido a que el muestreo se realizó en la etapa anterior a la desinfección o también por la falta de calibración del equipo de medición.

En cuanto a la eficiencia parcial se determinó que en la planta La Boyera se consiguieron valores adecuados según la norma, a medida que el agua avanza en el proceso de tratamiento. No obstante, se han presentado dificultades operativas como consecuencia de la gran cantidad de lodos que se generan en las etapas anteriores, provocando sobresaturación y complicaciones a la hora de

recolectar las muestras para su análisis (Apéndice D). Es por ello que, en estas situaciones se aumentan las veces en que se realiza el proceso de retro -lavado en los filtros y el proceso de desinfección, ocasionando intermitencia en la continuidad del servicio.

Por su parte, en la planta La Capilla se determinó que las etapas previas a la etapa de desinfección presentaron bajas eficiencias. De allí, se logró identificar que en el filtro 2, al ser un filtro de flujo ascendente, es común que los lechos presenten problemas de colmatación a medida que transcurre el tiempo de servicio. Por lo anterior, se recomendó realizar mantenimiento con mayor frecuencia, así como la evaluación del cambio de los lechos.

Tabla 4.

Eficiencia Global en las PTAP

Planta De Tratamiento De Agua Potable La Boyera						
Mes	Turbiedad			Color		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	97,2	100	99,5 ± 0,33	94	100	98,1 ± 0,6
Mayo	99,5	100	99,8 ± 0,07	97,2	100	98,6 ± 0,4
Junio	98	100	99,3 ± 0,24	95,8	99,4	97,7 ± 0,4
Planta De Tratamiento De Agua Potable La Capilla						
Mes	Turbiedad			Color		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	44,9	94,3	70,2 ± 17	0	55	17,3 ± 15,9
Mayo	68,9	85,5	76,5 ± 5,5	-9	49	14,3 ± 18,9
Junio	-30,7	84,4	23,4 ± 38,2	21	66	43,8 ± 12,8

Tabla 5.*Eficiencia Parcial en las PTAP*

Planta De Tratamiento De Agua Potable La Boyera												
Sedimentación							Filtro 1					
Turbiedad			Color				Turbiedad			Color		
Mes	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	75,4	92,3	85,8 ± 10,6	80,7	89,1	84,2 ± 5,1	61,7	90,3	73,9 ± 17,1	49,5	69,2	59,7 ± 11,5
Mayo	80,4	87,8	84,1 ± 7,4	91	98	94,5 ± 7,0	73	96,1	84,5 ± 23,1	-4,2	50	22,9 ± 54,2
Junio	48,1	97,7	77,7 ± 24,2	86,1	99,6	92,6 ± 5,7	20	98,8	60,5 ± 45,6	16,7	95,2	53,9 ± 45,5
Filtro 2							Filtro 3					
Turbiedad			Color				Turbiedad			Color		
Mes	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	36	100	76,2 ± 19,8	-27,3	100	38,3 ± 32,1	-18,3	95,1	51,6 ± 70,6	60,4	91,7	74,9 ± 18,2
Mayo	72,2	100	90,7 ± 12,7	-5,1	54,8	20,3 ± 26,1	60,8	86,3	73,5 ± 61,8	-9,4	32	11,3 ± 25,6
Junio	22,5	100	72,1 ± 27,6	-33,3	100	31,5 ± 30,6	-34	95,5	24,8 ± 75,7	-38,9	91,9	46,1 ± 85,1
Planta De Tratamiento De Agua Potable La Capilla												
Filtro 1							Filtro 2					
Turbiedad			Color				Turbiedad			Color		
Mes	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Abril	20,3	85,6	50,3 ± 18,1	32,4	83,7	52,7 ± 13,3	-26,3	38,5	7,8 ± 18,5	-26,3	-100	-42,6 ± 40,9
Mayo	-85,6	50,9	16,8 ± 38,1	36,3	68,6	52,1 ± 8,6	-57,5	7,9	-19,4 ± 17,2	-75,6	-13,6	-38,4 ± 19,8
Junio	34,5	84,4	51,5 ± 10,4	13,2	83,7	55,9 ± 15,3	-61,6	5,9	-30,8 ± 17,6	-80,1	-3,1	-25,4 ± 17,1

Como resultado de esta fase se pudo definir que el agua suministrada por la empresa cumple con lo establecido por la normativa respecto a los límites para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. No obstante, se presentaron algunas ocasiones en la que los valores de algunos parámetros presentaron fluctuaciones mes a mes generando que estos estuvieran por fuera del límite permisible como en el caso del pH. De igual manera, se determinó el valor de cada parámetro en el agua tratada que es distribuida a la población con base en los datos recolectados en el muestreo y los resultados de los análisis realizados por parte del laboratorio externo (Tabla 6).

Tabla 6.*Resultados de las muestras procesadas por parte del laboratorio externo*

Parámetro	Unidad	Valor Limite	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
pH	unidades	6,5-9,0	6,2	6,66	6,16	6,6	6,8	6,7	6,8
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	200	14,9	5,47	9,64	15,4	15,9	15,2	16,4
Aluminio	mg Al ³⁺ /L	0,2	0,17	-----	0,09	0,02	0,05	0,03	0,40
Calcio	mg Ca/L	60	11,9	9,85	11	12	10,7	11	13,1
Olor	unidades	N/E	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Material Flotante	unidades	N/E	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Cloro Residual Libre	mg Cl ₂ /L	0,3-2,0	1,1	1,4	1	0,8	1	1	1,60
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250	4,89	6,36	8,8	22,5	7,34	23	96,4
Color Aparente	UPC	15	1	1	3	3	3	1	0
Conductividad	MS/cm	1000	61,8	58,3	111,6	253	93	100	421
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	300	35,4	33,8	39,9	38,3	35,7	33,5	36,3
Fosfatos	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,5	0	0,01	0,08	0,01	0,17	0,01	0,05
Fluoruros	mg F ⁻ /L	1	0,02	0	0,12	0	0,15	0	0,070
Magnesio	mg Mg/L	36	1,4	2,38	3	2,03	2,2	3	0,893
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	10	5,28	2,64	6,6	5,24	3,52	2,5	4,08
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	0,1	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,05	0,005
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	250	20	14	28	61	19	15	0
Turbiedad	UNT	2	0	0	0	0,05	0,05	0,1	1,90
Coliformes Totales	UFC/100mL	0 UFC/100mL	0	0	0	0	0	0	0
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100mL	0 UFC/100mL	0	0	0	0	0	0	0

6.2. Resultados Fase II. Diseño de herramientas digitales de gestión de datos de operación

El desarrollo de esta fase inició con la identificación de los formatos (balance hídrico y control de procesos) que maneja la empresa en cada planta (Apéndice E). Al mismo tiempo, se identificó la información que los formatos recopilan, así como su frecuencia de diligenciamiento; los formatos son diligenciados a diario reuniendo un compendio mensual por cada PTAP. Para el caso de la planta La Boyera, los formatos son registrados de manera digital en Excel®, mientras que para la planta La Capilla, el registro es realizado de manera manual y los datos son digitalizados al final del mes por la parte administrativa.

Debido a que la información es utilizada en el monitoreo de los parámetros del agua cruda y potable en las PTAP, así como por la gran cantidad de datos que se reúnen mensualmente, se identificó la necesidad de elegir una herramienta que presentará un resumen visual, personalizado y práctico de todos los datos recolectados, facilitando el monitoreo y análisis. Con esto, se definió que la herramienta digital fuese un tablero de control o dashboard. Con este dashboard se procesa, analiza y presenta la información de una manera dinámica en Excel® que es un programa de fácil uso e intuitivo (Marin Ramirez et al., 2017). Además, facilita el seguimiento manual al proceso. Asimismo, el dashboard permite el establecimiento de un puente entre la parte operativa de las dos plantas, la parte administrativa y la parte directiva de la empresa. Este puente puede conducir a la reducción en tiempos de tomas de decisiones, en eventos de alerta. Con esto, la aplicación de la herramienta de manera online es recomendable para futuros trabajos en el tema.

La construcción de la herramienta inició con la estandarización de los formatos de control, unificando un mismo formato para ambas plantas; esto se realizó creando una hoja resumen, la cual

lee de las celdas donde se registran los datos (valor de los parámetros y lecturas de los macromedidores a la entrada y salida del proceso) y las agrupa ordenadamente (Apéndice F). El calcula del balance hídrico se realiza utilizando la ecuación (Ec. 2) este determina la entrada, salida y considera las perdidas en la operación partiendo de los datos reportados en los formatos de control (lecturas de los macromedidores), La información de entrada y salida global se presenta en la hoja resumen para cada PTAP los datos obtenidos se reportan en la Tabla 7. De la información anterior se determinó que los macromedidores a la salida estaban presentando fallas en las lecturas o estaban detenidos es por esto que se recomendó hacerles mantenimiento o en su caso reemplazarlos. Así pues, se deja una herramienta que realiza el cálculo del balance y a partir de esta se generan oportunidades de mejora en cuanto al monitoreo de la cantidad de agua captada, producida y suministrada (Apéndice G). Seguidamente, un libro Excel® fue codificado con macros de VBA, con las cuales se leen los archivos de reporte y se copian los respectivos datos.

$$V_{entrada} + V_{almacenado} - (V_{salida} + (0,9 \times V_{lodos})) = 0 \quad (Ec.2)$$

Complementariamente, una tabla dinámica fue codificada para la actualización de la información. La tabla procesa los datos y esta información es encadenada a los gráficos dinámicos del *dashboard* para la presentación de resultados. Con esto, la interfaz de la herramienta es actualizada de manera dinámica, al mismo tiempo que se carga la nueva información. El diseño final se puede ver en la Figura 1 y 2.

Tabla 7.

Datos balance hídrico

Planta De Tratamiento De Agua Potable La Boyera		
Mes	Entrada global [m ³]	Salida global [m ³]
Mayo	5060	13240
Junio	6510	17877
Julio	9500	27219
Agosto	8680	18865

Planta De Tratamiento De Agua Potable La Capilla		
Mes	Entrada global [m ³]	Salida global [m ³]
Mayo	23768	16803
Junio	19580	13462
Julio	14967	18105
Agosto	16826	14467

Figura 1.

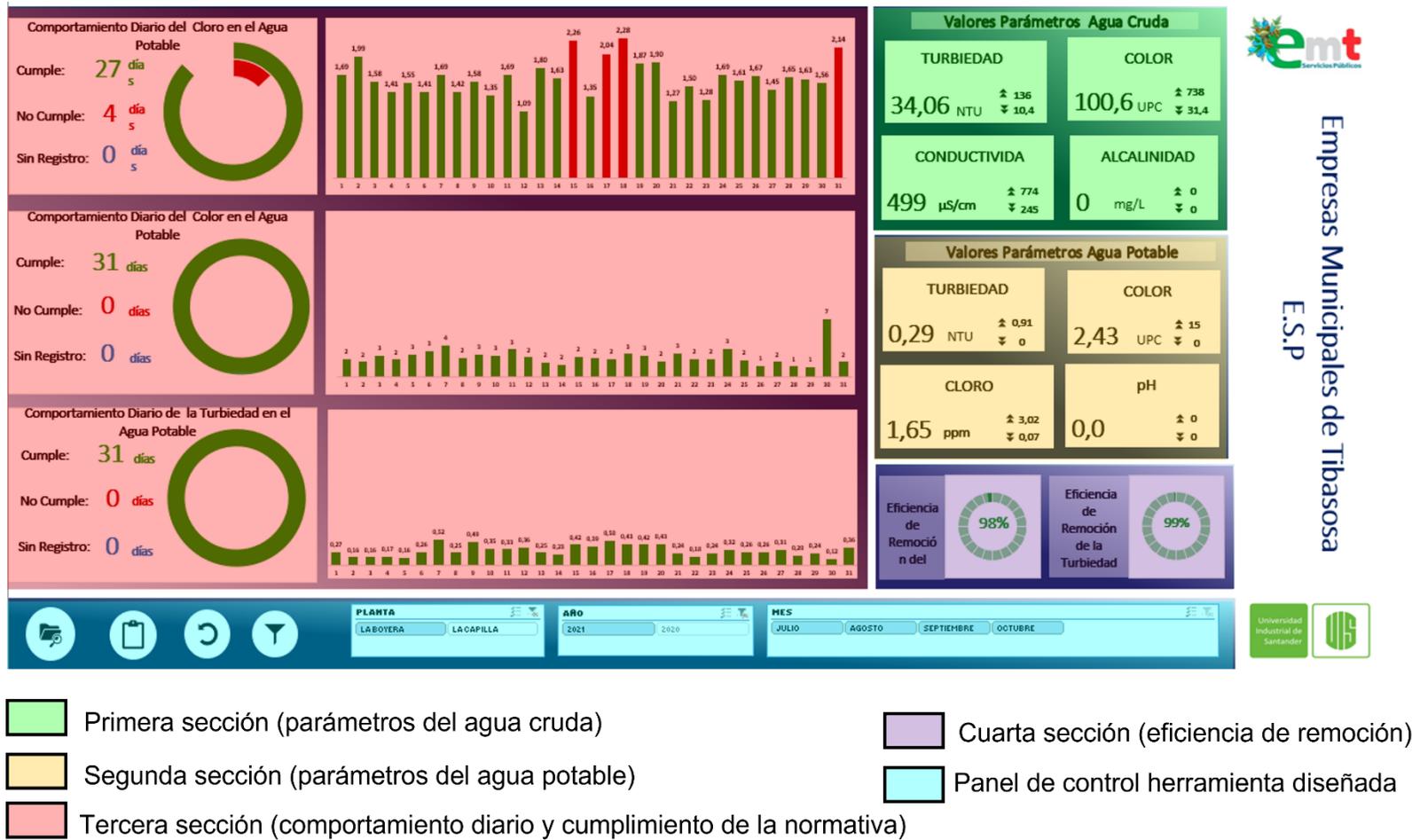
Diseño final herramienta de seguimiento



La interfaz de la herramienta se encuentra dividida en cuatro secciones como se presentan en el Apéndice H. Las secciones son: la primera donde se presentan las propiedades fisicoquímicas del agua cruda (valor promedio, el máximo y el mínimo) en el mes; la segunda sección presenta las propiedades del agua potable (el valor promedio, el máximo y el mínimo) en el mes; la tercera sección presenta un comportamiento diario de los parámetros y su respectivo cumplimiento con la normativa. Además, presenta un recuento de los días en que se cumple, no se cumple y no se tienen registro. Y la cuarta sección presenta la eficiencia de remoción en la planta, aplicando la Ec. 1. Cabe aclarar que, el código de colores que se maneja en las secciones hace referencia al cumplimiento de los parámetros, según la norma. El color verde muestra que cumple el valor, mientras el rojo no cumple. El panel de control de la herramienta se describe en el Apéndice H; el panel está conformado por los botones para cargar los archivos, copiar los datos, actualizar la base de datos y depurar los filtros (los cuales se encuentra por planta, mes y año).

Figura 2.

Secciones diseño final de la herramienta de seguimiento



- Primera sección (parámetros del agua cruda)
- Segunda sección (parámetros del agua potable)
- Tercera sección (comportamiento diario y cumplimiento de la normativa)
- Cuarta sección (eficiencia de remoción)
- Panel de control herramienta diseñada



Con esta herramienta se facilita el procesamiento de los datos obtenidos en el monitoreo mensual. Los ingenieros encargados y los operarios encuentran en esta herramienta un resumen con los datos más relevantes respecto a los parámetros del agua cruda, agua potable y eficiencia de remoción. Además, el personal puede analizar el comportamiento del proceso respecto al cumplimiento de la normativa de los principales parámetros del agua potable a diario, reduciendo los tiempos en la revisión e interpretación de datos y en la toma de acciones correctivas.

Con el diseño final la herramienta se dio paso a su fase de validación. Para esto se realizaron múltiples pruebas de verificación de su correcto funcionamiento (fórmulas en las celdas y conexiones entre celdas y del dashboard con las celdas) con ayuda del histórico recolectado en la fase anterior. De allí, se aprobó el prototipo final de la herramienta y los formatos actualizados para el registro de los datos de operación (control de parámetros y balance hídrico).

6.3. Resultados Fase III. Implementación de la herramienta diseñada

Como fase final, la implementación de la herramienta se realizó mediante una capacitación en la cual se hizo entrega de esta a la empresa, haciendo énfasis en el manejo y uso de la misma (Apéndice I). De igual forma, se realizó una encuesta sobre la percepción que esta herramienta generó en la socialización y los resultados obtenidos se pueden ver en la Tabla 8 y el Apéndice J. En síntesis, los comentarios resaltaron que es una herramienta que facilita la consulta de la información, el seguimiento del proceso y la toma de decisiones en tiempos oportunos. Además, el personal de la compañía destacó su fácil comprensión, manejo y utilidad que esta presenta a la hora dar seguimiento al proceso de tratamiento del agua.

Tabla 8.

Resultados encuesta realizada a los funcionarios de la empresa.

Nro.	Pregunta Realizada	Cantidad de Respuestas	Porcentaje del Si	Porcentaje del No
01	¿Considera que la Herramienta diseñada ayuda a dar control a la calidad del agua suministrada por la empresa?	13	100 %	0 %
02	¿Considera que la Herramienta diseñada facilita el dar seguimiento a la calidad del agua suministrada por la empresa?	13	100 %	0 %
03	¿Considera que los Gráficos de la Herramienta diseñada son los adecuado para una buena interpretación de los resultados?	13	100 %	0 %
04	¿Considera que la Herramienta diseñada es de fácil manejo?	13	100 %	0 %

7. Conclusiones

- Se determinó que el sistema de tratamiento instalado en las PTAP de la Empresa Municipal de Tibasosa E.S.P cuentan con los procesos y estructuras necesarias para prestar un servicio de calidad a sus usuarios. No obstante, se determinó el impacto que provoca la inestabilidad de los parámetros del agua cruda en el sistema generando sobresaturación en los equipos, aumento del tiempo de desarrollo del tratamiento e intermitencia en la prestación del servicio. Sin embargo, esto no ha afectado la calidad del agua suministrada ya que se corroboró que este cumple con lo establecido por la normativa (Resolución 2115 de 2007).

- Basado en el diagnóstico del proceso de tratamiento, la herramienta diseñada facilita la gestión de datos de operación, presentando de forma dinámica la información recolectada mes a mes en cuanto a la calidad del agua. Además, con el diseño de la herramienta se actualizaron y estandarizaron los formatos de control de procesos y de balance hídrico aplicados por el personal de la empresa.

- La implementación de la herramienta reduce los tiempos de interpretación de la información y de toma de decisiones a fin de dar un seguimiento y control constante a la calidad del agua.

- Según los resultados de una capacitación, el personal operativo de la empresa mostró aceptación para la aplicación de la herramienta en sus labores rutinarias.

8. Recomendaciones

- Realizar con mayor frecuencia la prueba de jarras. A fin, de obtener la dosis óptima de coagulante necesario para la dosificación en el proceso. Además, esta dosis sirve como medida para tratar de disminuir el efecto que tiene la variación de los parámetros del agua cruda que ingresa a las plantas durante el desarrollo del tratamiento.
- Efectuar con mayor frecuencia la limpieza e higienización de las estructuras de las plantas de tratamiento sobre todo en los días en que se presenta mayores valores en los parámetros del agua cruda.
- Evaluar el estado de los lechos filtrantes y llegado al caso un posible cambio de estos a fin de mantener una eficiencia de remoción alta.
- La implementación de la herramienta facilita el seguimiento y control a la calidad del agua. Además, que la utilización de esta sea un primer paso para establecer nuevas acciones y directrices en pro de automatizar esta sección de la empresa.
- Es conveniente el remplazo de los macromedidores que ya no funcionan con el fin de mantener el control de la cantidad de agua que ingresa y obtener un balance hídrico de mayor certeza.
- Se recomienda hacer un seguimiento estadístico multivariable para poder predecir las fluctuaciones que presentan los parámetros del agua cruda en temporadas de precipitación.

Referencias Bibliografía

- Londoño Gaitan, O. P. (2014). *Caracterización De Parámetros Microbiológicos Y Fisicoquímicos Del Sistema Para Producir Agua Desionizada Tipo II, En Una Industria Cosmética*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Consortio PSMV Tibasosa. (2016). *Plan De Saneamiento y Manejo De Vertimientos*. Tibasosa: Consorcio PSMV Tibasosa.
- Gutiérrez Martínez, J. (2020). *En La Primera Línea: Agua Potable Y Covid-19*. Bogotá: Dejusticia.
- Gutiérrez Martínez, J. (2020). *En La Primera Línea: Agua Potable Y Covid-19*. Bogotá: Dejusticia.
- Marin Ramirez, A., & Zapata Prado, M. (2017). *Uso y Aplicaciones de Excel*. Santiago de Cali: Universidad ICESI.
- Ministerio De Desarrollo Económico. (1999). *Programa De Capacitación Y Certificación Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico*. Bogota: Impresión Sena Publicaciones.
- Ministerio De Salud Y Protección Social. (2017). *Informe Nacional de la Calidad del Agua Para Consumo Humano – INCA*. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Organizacion de las Naciones Unidas. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. París: UNESCO.
- Organizacion Mundial de la Salud. (2004). *Guías Para la Calidad Del Agua Potable*. Ginebra: Guías Para la Calidad Del Agua Potable.

Organización Panamericana de la Salud. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas*. Lima:

Organización Mundial de la Salud.

Ospina Zúñiga, Ó., García Cobas, G., Gordillo Rivera, J., & Tovar Hernández, K. (2016).

Evaluación de la Turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río combeima (Ibague, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 19-36.

Secretaría de Salud de Boyacá. (2014). *Mapa De Riesgo De La Calidad Del Agua Para Consumo*

Humano Del Rio Chicamocha, (Sector Museo De Arte Religioso) Fuente Abastecedora

Del Casco Urbano Del Municipio De Tibasosa - Boyacá. Tibasosa: Secretaria de Salud de Boyacá.

Solís Castro, Y., Zúñiga Zúñiga, L. A., & Mora Alvarado, D. (2018). La conductividad como

parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica.

Tecnología en Marcha, 35-46.

Apéndices

Apéndice A. Descripción sistema de acueducto

Sistema de acueducto planta de tratamiento de agua potable compacta La Capilla

Captación: En el afloramiento Mana del Padre se capta el agua por medio de dos filtros que están contruidos dentro del nacimiento ver Figura 2, los cuales recogen el agua para ser llevada a una caja recolectora con dimensiones de 1,8 m de largo por 1,2 m de ancho y una profundidad de 1,8 m. donde llega todo el caudal captado y entran tres tuberías y sale una sola tubería en PCV de 3”

En la Quebrada Grande existen dos bocatomas de fondo que se encuentran separadas unos 500 m de longitud. La primera estructura es de concreto reforzado que está compuesta por un canal de aducción de 1 m de longitud por 0,5 m de ancho, el cual está cubierto por una rejilla ver Figura 3. La segunda captación se encuentra 500 m aguas debajo de la primera. Esta estructura está conformada por un canal inicial de 1,5 m de largo por 1 m de ancho. El agua es conducida a un tanque de almacenamiento recolector que opera como desarenador ver Figura 4, cuyas dimensiones son de 5,5 m de largo por 1,5 m de ancho con una profundidad de 2 m.

Figura 3.
Estructura de Captación fuente Quebrada Grande



Figura 4.
Estructura de Captación fuente Mana del Padre



Figura 5.
Estructura del Desarenador



Aducción: La Quebrada Grande tiene una aducción total de 150 m en tubería de PVC de 3” de diámetro y La Mana del Padre tiene una aducción que va de la captación a un tanque de recolección, y de este va directamente a la planta de tratamiento en tubería de PVC de 3”.

Coagulación – Flocculación: En el sitio de llegada del agua, se cuenta con una estructura de mezcla rápida constituida por un vertedero triangular ver Figura 5, el cual origina la turbulencia necesaria para producir la mezcla rápida para el coagulante utilizado. La llegada del agua se produce por medio de dos tuberías de PVC de 4” y 3” provenientes de las cámaras de recolección. Cuenta con instalaciones para la dosificación en solución por gravedad las cuales cuentan con tanques de disolución, los elementos mecánicos necesarios para las mezclas (agitadores eléctricos) ver Figura 6, mangueras para la aplicación de coagulante y las válvulas de control.

El coagulante utilizado es el sulfato tipo B, el cual es aplicado en la caída del agua ocasionada por el vertedero triangular, que es la estructura utilizada para el aforo del agua a la entrada. La Flocculación se realiza en el tanque, por medio de un cilindro menos ancho en la parte superior que en la parte inferior, para utilizar un gradiente de velocidad mayor al principio y menor al final ver Figura 7.

Figura 6.
Estructura de mezcla rápida constituida por un vertedero triangular



Figura 7.
Estructura de dosificación

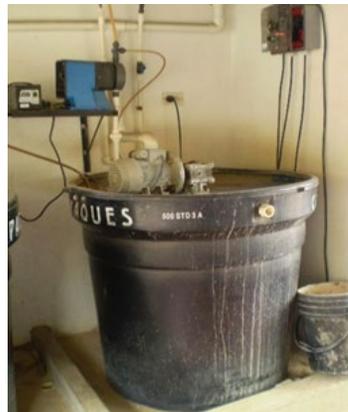


Figura 8.
Estructura de Coagulación – Floculación



Filtración: La filtración se realiza mediante la utilización inicial del filtro ubicado en la parte interior del tanque de la planta compacta mediante flujo ascendente ver Figura 8. El lecho está conformado por grava, arena y antracita. El agua filtrada se recolecta por una tubería de rebose de 4", la cual conduce el agua a un nuevo filtro circular de lámina de acero. El material filtrante es arena y antracita. Las dimensiones son de 3 m de diámetro y 4 m de altura.

Figura 9.
Estructuras de Filtración



Desinfección: El proceso de desinfección se realiza aplicando cloro gaseoso en el tanque de almacenamiento mediante un dosificador automático ver Figura 9.

Figura 10.
Sistema de Desinfección



Sistema de acueducto planta de tratamiento de agua potable La Boyera

Captación: La captación está ubicada en el río Chicamocha y regulado por la represa de la copa. Se trata de un dique transversal a la corriente que tiene 22 m de largo ver Figura 10, el cual posee en uno de sus muros una bocatoma lateral del cual pasa mediante un lecho filtrante que se encuentra instalado en el dique y después es conducida en una tubería de 6" de diámetro a tres cámaras de recolección, así conduciendo hacia un tanque de succión de dimensiones de 3,4 m de largo por 1 m de ancho y 3,6 m de profundo ver Figura 11.

En el tanque de succión se encuentran ubicadas tres bombas cada una con su respectiva tubería de succión de 6", estas bombas trabajan dependiendo el caudal necesario, cada bomba tiene una capacidad de bombeo de 13 l/s y una cabeza dinámica de 210 m. de allí es conducida a la planta de tratamiento.

Figura 11.
Estructura de Captación fuente Rio Chiquito



Figura 12.
Estructura del Desarenador



Estación de Bombeo: La estación de bombeo se encuentra a una altura de 2480 m.s.n.m. esta cuenta con tres bombas cada una con potencia de 75 HP, el bombeo opera para un caudal máximo de 13 l/s y vence una altura estática de 160 m ver Figura 12. La impulsión se realiza mediante tubería de 6" en PVC que se extiende en una longitud de 4620 m, que se extiende desde la estación hasta la planta de tratamiento ubicada a una altura de 2640 m.s.n.m. aproximadamente.

Figura 13.
Estación de Bombeo



Estructura de entrada, mezcla rápida y medición: La entrada se efectúa directamente sobre la estructura de medición canaleta parshall de 9" ver Figura 13. En esta se efectúa el proceso de dosificación del coagulante, seguida de la mezcla rápida y desde este punto pasa a la floculación ver Figura 14. La planta cuenta con macro - medición para el control de caudales a la entrada y la salida con el objeto de realizar el balance de producción. La mezcla rápida se realiza en un cono de 1 m de diámetro, usa la fuerza hidráulica del caudal para obtener una velocidad que oscila entre 100 y 150 rpm.

Figura 14.
Estructura de Dosificación canaleta parshall



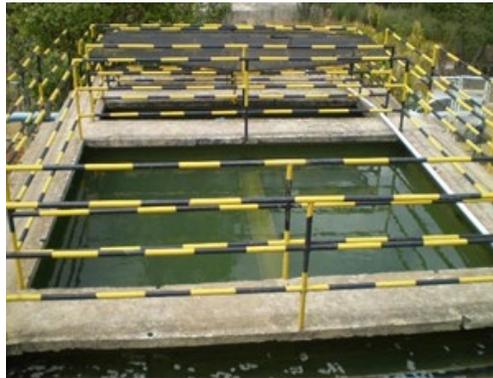
Figura 15.
Estructura de mezcla rápida



Floculación: El tanque floculador de hormigón armado con dimensiones interiores de 4,52 * 3,50 m en planta y 4 m de profundidad total, provisto de una válvula de 6" para el drenaje de los lodos acumulados propios de dicho proceso. La entrada del agua forma tangencial y la conformación del cono de mezcla. El cono esta provisto en su parte inferior de una tubería de 10" de diámetro que conduce el agua al fondo de la estructura del floculador. El agua floculada asciende dentro del cono que conforma la estructura y es recogida superficialmente por una tubería de 10", el agua desciende para ingresar a la zona inferior de la estructura de sedimentación. La estructura esta provista de tuberías de rebose que descargan en una canal de desagüe adosada a los muros de la planta.

Sedimentación: El proceso de sedimentación consta de una unidad de alta tasa, está construida en concreto reforzado, las dimensiones de la estructura son de 4,48 m de largo por 3 m de ancho y 4 m de profundidad total, contiene placas paralelas con una separación de 0,075 m entre ellas, para un total de 40 placas y contiene paneles de tipo colmena, inclinadas a 60° ver Figura 15. El agua sedimentada es recogida superficialmente por medio de una canaleta de recolección conformada por medio tubo de 10" de diámetro, y conducida a las 3 estructuras de filtración. La unidad esta provista de cuatro válvulas para el drenaje de los lodos y las labores de limpieza e higienización.

Figura 16.
Estructura de Sedimentación



Filtración: Este proceso se realiza por medio de 3 unidades de filtración en serie, de tipo descendente-ascendente, cada uno de dimensiones inferiores 1,82 * 4,52 m en planta, y 4 m de profundidad total, con capacidad de filtración de 15 lps. El agua proveniente de la unidad de sedimentación, descarga al primer filtro mediante una tubería de 0,60 m de diámetro que se reduce luego a 0,25 m y que conforma un tanque de carga sobre la estructura del lecho filtrante, de 0,65 m de espesor total, de arena y antracita. Luego de atravesar el lecho, el agua pasa por 9 orificios de 2" de diámetro, hasta un canal recolector de agua, localizado en la parte inferior del filtro, y que conduce al segundo compartimiento, en el que se produce el flujo ascendente que llena la estructura del primer filtro. En la parte superior del mismo, el agua pasa a través de una tubería de 10" de diámetro, a un segundo tanque de carga, igual al inferior, ubicado en la segunda unidad de filtración, dispuesta a un nivel inferior al del anterior, y en la cual se efectúa el mismo proceso que en la primera unidad y la tercera es un filtro circular de lámina de acero ver Figura 16. El agua filtrada en la segunda y tercera unidad son recogidas superficialmente mediante una tubería de 6" de diámetro, y conducida al tanque. Cada compartimiento de la estructura de filtración dispone de tuberías y válvulas para 2" y 3" para el proceso de retro - lavado de los lechos filtrantes.

Figura 17.
Estructura de Filtración



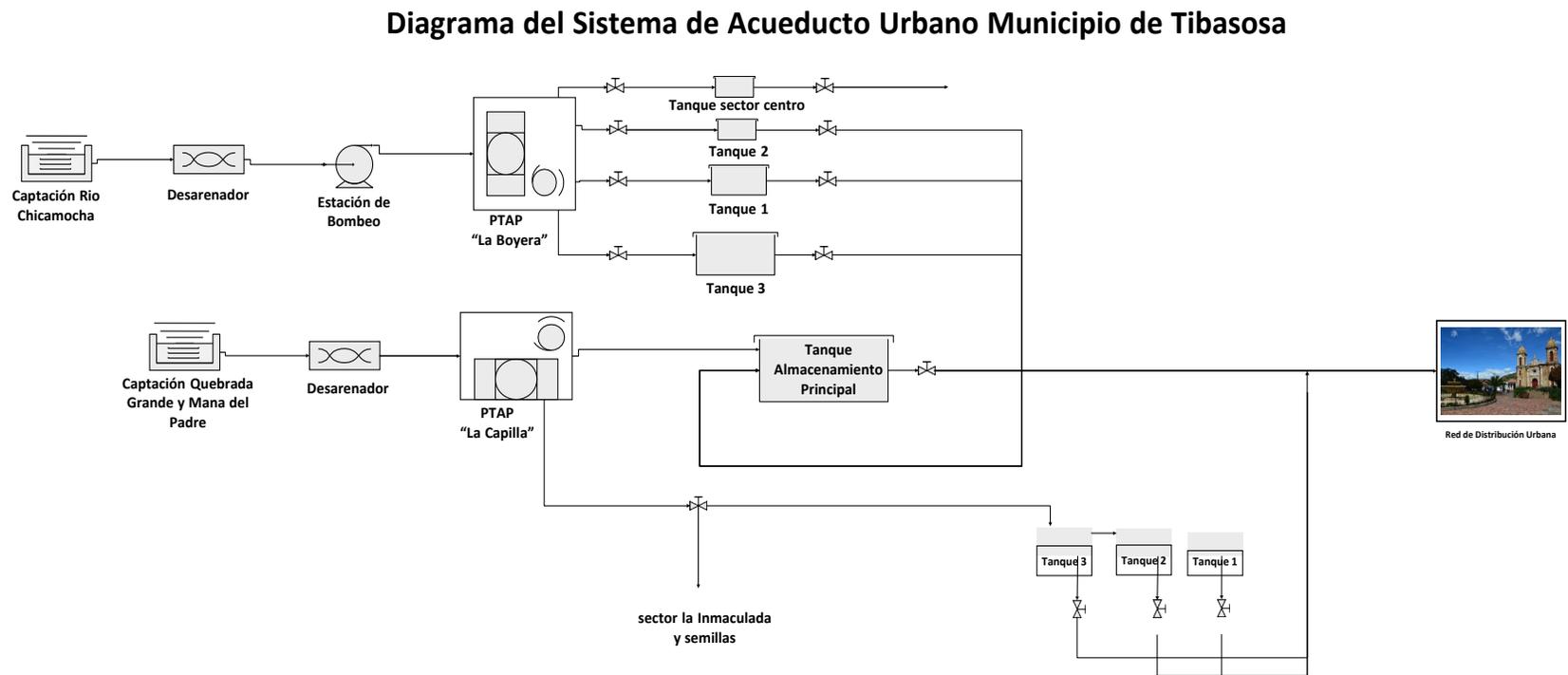
Desinfección: El proceso de desinfección se realiza aplicando cloro gaseoso en el tanque de almacenamiento mediante un dosificador automático ver Figura 17.

Figura 18.
Sistema de Desinfección



Apéndice B. Diagrama sistema de acueducto

Figura 19.
Diagrama sistema de acueducto urbano municipio de Tibasosa



Apéndice C. Evidencias sobresaturación planta La Boyera**Tabla 9.***Métodos analíticos utilizados en el muestreo.*

Parámetro	Unidad	Valor referencia	Técnica	Método Analítico
pH	unidades	6,5-9,0	Electrométrico	SM 4500 – H* B
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	200	Titulométrico - Volumétrico	SM 2320 – B
Aluminio	mg Al ³⁺ /L	0,2	Espectrofotométrico	HACH 8012
Calcio	mg Ca/L	60	Titulométrico - EDTA	SM 3500 – ca B
Olor	unidades	N/E	Cualitativo	CUALITATIVO
Material Flotante	unidades	N/E	Cualitativo	CUALITATIVO
Cloro Residual Libre	mg Cl ₂ /L	0,3-2,0	Comparación Visual	KIT
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250	Titulométrico – Argentométrico	SM 4500 – CR
Color Aparente	UPC	15	Fotométrico	SM 2120 - C
Conductividad	MS/cm	1000	Electrométrico	SM 2510 - B
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	300	Titulométrico - EDTA	SM 2340 - C
Fosfatos	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,5	Espectrofotométrico	HACH 8040
Fluoruros	mg F ⁻ /L	1	Espectrofotométrico	HACH 8029
Magnesio	mg Mg/L	36	Cálculo	SM 3500 – Mg B
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	10	Electrométrico	HACH 8039
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	0,1	Electrométrico	HACH 8507
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	250	Electrométrico	HACH 8051
Turbiedad	UNT	2	Nefelométrico	SM 2130 - B
Coliformes Totales	UFC/100mL	0	Filtración Por Membrana	SM 9222 - B
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100mL	0	Filtración Por Membrana	SM 9222 - D

Apéndice D. Evidencias sobresaturación planta La Boyera

Figura 20.

Filtros saturados de lodo en la planta La Boyera



Figura 21.

Filtros saturados de lodo en la planta La Boyera



Figura 22.

Filtros saturados de lodo en la planta La Boyera



Apéndice E. Formatos de control manejados por la empresa

Figura 23.

Formato control Balance Hídrico planta La Boyera

EMPRESAS MUNICIPALES DE TIBASOSA E.S.P. NIT 826001112-8						
REPORTE DE CONTROL DIARIO - BALANCE HIDRICO PLANTA DE TRATAMIENTO PTAP LA BOYERA RESOLUCIÓN 2115 DE 2007				CÓDIGO: EMT- ACU-FO-07		
				VERSION: 007		
				FECHA: 15/02/2021		
				PAGINA: 1 de 1		
FECHA:				TURNO:		
AGUA CAPTADA						
HORA INICIO	HORA FIN	t OPERACIÓN	LEC. INICIAL MACRO ENTRADA	LEC. FINAL MACRO ENTRADA	VOLUMEN ENTRADA (m ³)	*CAUDAL ENTRADA (L/s)
		00:00:00			0	
		00:00:00			0	
TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN		0:00:00	VOLUMEN TOTAL DE ENTRADA		0	
<small>*Medido en caratela percha</small>						
AGUA SUMINISTRADA						
HORA INICIO	HORA FIN	t SUMINISTRO	LEC. INICIAL MACRO SALIDA	LEC. FINAL MACRO SALIDA	VOLUMEN SALIDA (m ³)	CAUDAL MACRO SALIDA (L/s)
		00:00:00			0	
		00:00:00			0	
		00:00:00			0	
		00:00:00			0	
TIEMPO TOTAL DE SUMINISTRO		0:00:00	VOLUMEN TOTAL DE SALIDA		0	
AGUA USADA EN PLANTA						
RETROLAVADO DE FILTROS					SERV GENERALES	
HORA	FILTRO No.	m ³ USADOS		m ³ USADOS		
TOTAL				0	0	
BALANCE PTAP LA BOYERA						
ENTRADAS						
VOLUMEN ENTRADA (m ³)						
0						
VOLUMEN TOTAL ALMACENADO (m ³)						
SALIDAS						
V SALIDA (m ³)		LODOS F-C (m ³)		LODOS SED (m ³)		
0						
PERDIDAS (m³)						
0						
OBSERVACIONES: _____						
RESPONSABLE: _____				CARGO: _____		
FIRMA: _____						
REVISO/APROBO: _____						

Figura 24.
Formato control de procesos planta La Boyera

EMPRESAS MUNICIPALES DE TIBASOSA E.S.P. NIT 826001112-8										
REPORTE DE CONTROL DIARIO - CONTROL DE PROCESOS PLANTA DE TRATAMIENTO PTAPC LA BOYERA ARTICULO 23 RESOLUCIÓN 2115 DE 2007						CÓDIGO: EMT- ACU-FO-07				
						VERSIÓN: 007				
						FECHA: 15/02/2020				
						PÁGINA: 1 de 1				
FECHA:				TURNO:		1				
PARAMETROS AGUA CRUDA										
HORA	TURBIEDAD (UNT)	COLOR (UPC)	pH	ALCALINIDAD mg CaCO3/L	CONDUCTIVIDAD					
CONTROL DE PROCESOS FISICOQUIMICOS										
COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN						SEDIMENTACIÓN				
HORA	SUSTANCIA	DOSIF mg/L	METODO	DESCARGA ml/seg	pH	TURBIEDAD (UNT)	COLOR (UPC)			
FILTRACION										
HORA	FILTRO 1		FILTRO 2		FILTRO 3					
	TURBIEDAD (UNT)	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	COLOR (UPC)				
CONTROL DE PROCESOS MICROBIOLÓGICOS										
DESINFECCIÓN										
HORA	SUSTANCIA	DESACARGA (lb/día)	DOSIF mg/L	TANQUE	t CONTACTO					
				1						
ALMACENAMIENTO										
HORA	TANQUE 1 116 m ³				TANQUE 2 380 m ³					
	COLOR LIBRE PPM	COLOR TOTAL PPM	COLOR COMBINADO (TOTAL - LIBRE)	NIVEL	COLOR LIBRE PPM	COLOR TOTAL PPM	COLOR COMBINADO (TOTAL - LIBRE)	NIVEL		
HORA	TANQUE 3 477 m ³				TANQUE 22 m ³ VEREDA CENTRO					
	COLOR LIBRE PPM	COLOR TOTAL PPM	COLOR COMBINADO (TOTAL - LIBRE)	NIVEL	COLOR LIBRE PPM	COLOR TOTAL PPM	COLOR COMBINADO (TOTAL - LIBRE)	NIVEL		
SUMINISTRO (AGUA TRATADA)										
HORA	TANQUE N°	TURBIEDAD (UNT)	COLOR (UPC)	COLOR (PPM)	pH	ALCALINIDAD mg CaCO3/L	LECTURA INICIAL MACRO	LECTURA FINAL MACRO	VOLUMEN (m ³)	
									0	
									0	
									0	
									0	
									0	
OBSERVACIONES: _____										
RESPONSABLE: Q.A SANDRA										
FIRMA: <u>MILENA</u>										
REVISO/APROBÓ: _____										
CARGO: TC. PLANTA TTO					BOYERA					

Figura 25.

Formato control de procesos y Balance Hidrico planta La Capilla

REPUBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DE BOYACA EMPRESAS MUNICIPALES DE TIBASOSA E.S.P. NIT 826001112-8										 CODIGO: EMT-ACU-FO-06 VERSION: 006 FECHA: 19/05/2020 PAGINA: 1 de 2							
FECHA:					TURNO:												
CONTROL DE CAUDALES DE ENTRADA										PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS AGUA CRUDA							
HORA	MANA DEL PADRE			SECTOR TOVAR			M ³ /DIA ENTRADA TOTAL	CAUDAL VERTEDERO L/SEG	AGUA DE CONSUMO PLANTA	ALTURA LÁMINA DE AGUA	TURBIEDAD UNT	COLOR U.C.	PH UNIDADES				
	LEC. INICIAL	LEC. FINAL	M3 AL DIA	LEC. INICIAL	LEC. FINAL	M ³ /DIA											
CONTROL DE CAUDALES DE SALIDA																	
HORA	TANQUES DE DISTRIBUCIÓN			INMACULADA			CHORRO GENERAL			M ³ /DIA SALIDA TOTAL	M ³ /DIA PERDIDOS						
	LEC. INICIAL	LEC. FINAL	M ³ /DIA	LEC. INICIAL	LEC. FINAL	M ³ /DIA	LEC. INICIAL	LEC. FINAL	M ³ /DIA								
			0			0			0	0	0						
DEPURACION				COAGULANTE				ESTABILIZADOR DE PH			CONTROL DE PROCESOS						
HORA	DESCARGA Lb/ DIA	DOSIFICACION Mg/Lt	CL. RESID.	CL. RESID.	HORA	TIPO	DOSIFICACION Mg /LT	VEL/%STROK	HORA	CONCENTRACION NaOH % VOL	% STROK	FILTRO 1			FILTRO 2		
			PLANTA PPM	TANQUES PPM				BOMBA				TURBIEDAD UNT	COLOR UC	PH	TURBIEDAD UNT	COLOR UC	PH
RETROLAVADO			STOCK DE INSUMOS QUÍMICOS					PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS AGUA TRATADA TANQUE DE ALMACENAMIENTO									
HORA	FILTRO No.	M ³ USADOS	MOVIMIENTO	SULFATO DE ALUMINIO (Kg)	SODA (LTS)	CL. GAS (Kg)	HIPOCLOR. KG	HORA	CL. RESID. PPM	TURBIEDAD UNT	COLOR U.C.	PH UNIDADES					
			EXISTENCIAS														
			CONSUMO														
			SALDO														
			INGRESO														
			SALDO														
TOTAL																	
OBSERVACIONES:																	
OPERARIO RESPONSABLE:			LUIS CARLOS CACHOPE AVILA				CARGO:			Trabajador oficial semicalificado SC-2			FIRMA:				

Apéndice G. Secciones de la herramienta de control

Figura 29.
Primera sección (parámetros del agua cruda)



Figura 30.
Segunda sección (parámetros del agua potable)



Figura 31.
Tercera sección (comportamiento diario y cumplimiento de la normativa)



Figura 32.
Cuarta sección (eficiencia de remoción)



Figura 33.
Panel de control herramienta diseñada



Apéndice H. Evidencias de la socialización del proyecto y entrega de la herramienta

Figura 34.

Conferencia de socialización de la herramienta diseñada



Figura 35.

Conferencia de socialización de la herramienta diseñada

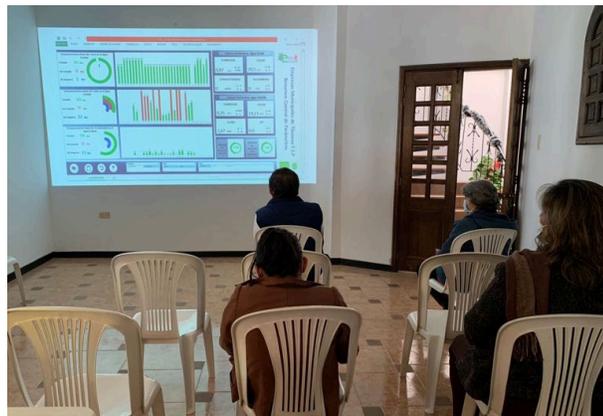


Figura 36.

Conferencia de socialización de la herramienta diseñada



Apéndice I. Resultados socialización del proyecto y entrega de la herramienta

Figura 37.

Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada

Considera que la Herramienta diseñada ayuda a dar control a la calidad del agua suministrada por la empresa?
13 respuestas

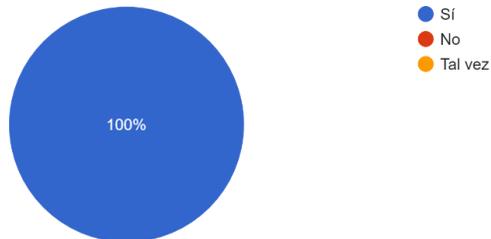


Figura 38.

Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada

Considera que la Herramienta diseñada facilita el dar seguimiento a la calidad del agua suministrada por la empresa?
13 respuestas

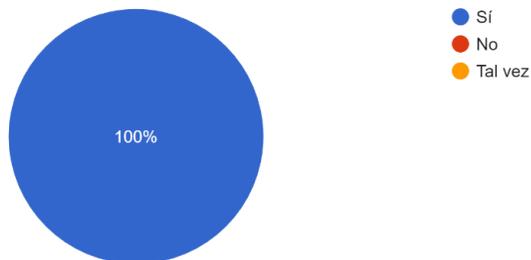


Figura 39.

Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada

Considera que los Gráficos de la Herramienta diseñada son los adecuados para una buena interpretación de los resultados?
13 respuestas

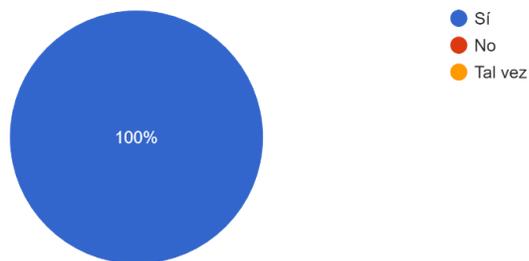


Figura 40.
Resultado encuesta sobre la herramienta diseñada

Considera que la Herramienta diseñada es de fácil manejo?
13 respuestas

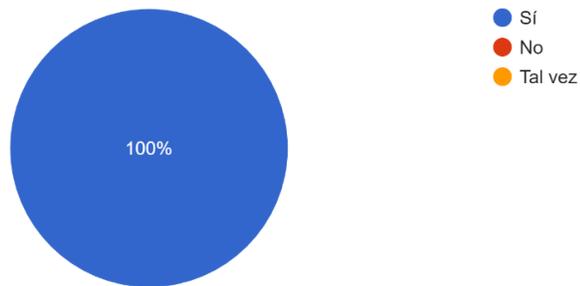


Figura 41.
Opinión sobre la herramienta diseñada

¿En su opinión cree que la herramienta cumple con el objetivo propuesto al facilitar el seguimiento y control de la calidad del agua suministrada por la empresa?

9 respuestas

Si
Es una herramienta que facilita la consulta de la información de seguimiento al proceso de tratamiento del agua, con ello se mejora la toma de decisiones en tiempos oportunos
Si.. Y en ese orden de ideas se va tecnificando y sistematizando la información y vamos dejando de lado la forma manual en que hoy día se hace
Es una excelente herramienta de muy fácil acceso y cumple con lo
Si, gracias a la implementación de esta herramienta facilita el análisis de los datos de la calidad del agua del municipio
Si cumple con su objetivo

Figura 42.*Lista de asistencia sobre la herramienta diseñada*

Nombre

13 respuestas

Angélica Ducon

Karen Dayanna Fonseca Zea

Bernarda Torres Acero

Luz Marina Gutiérrez Corredor

Diego Suárez Ardila

Jessica Alejandra Pacheco

JAVIER ROJAS

Efraín Arias Guarín

Paola Andrea Ibañez Riaño

Cargo

13 respuestas

Apoyo a sst

Pasante

Auxiliar administrativo

Técnico 3

OPS

Asesor MIPG

Apoyo facturación

Gerente

Asesora en ingeniería y medio ambiente