

Evaluación de la eficiencia de remoción de hierro por medio de oxidación con peróxido de hidrógeno como pretratamiento en la planta de potabilización aguas de Barrancabermeja S.A. ESP

Yenised Ahumada Murillo

Adalberto Arrieta Martínez

Trabajo de grado requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente– ECAPMA  
Ingeniería ambiental  
Barrancabermeja  
2020

Evaluación de la eficiencia de remoción de hierro por medio de oxidación con peróxido de hidrógeno como pretratamiento en la planta de potabilización aguas de Barrancabermeja S.A. ESP

Yenised Ahumada Murillo

Adalberto Arrieta Martínez

Trabajo de grado requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Tutora

Diana Marcela Ibarra

Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente– ECAPMA  
Ingeniería ambiental  
Barrancabermeja  
2020

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. OBJETIVOS.....	10
4. MARCO TEÓRICO.....	11
5. METODOLOGÍA.....	13
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	15
6.1. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO DEL MES DE NOVIEMBRE.....	22
6.2. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO EN EL MES DE DICIEMBRE.....	26
6.3. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO EN EL MES DE ENERO.....	29
6.4. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO EN EL MES DE FEBRERO.....	33
6.5. ANÁLISIS GENERAL DEL COMPORTAMIENTO DEL HIERRO.....	33
6.6. ESTANDARIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDROGENO SEGÚN EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE HIERRO POR MEDIO DE OXIDACIÓN CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.....	34
7. APRECIACIONES.....	38
8. CONCLUSIÓN.....	39
9. RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	45

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<i>FIGURA 1. PTAP DE AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A., ESP.</i> .....	15
<i>Figura 2. Diagrama de flujo de los procesos operativos de la PTAP</i> .....	17
<i>Figura 3. Prueba de jarra sin peróxido de hidrógeno.</i> .....	19
<i>Figura 4. Prueba de jarras, semana 1, noviembre</i> .....	19
<i>Figura 5. Comportamiento de hierro, semana 1, noviembre.</i> .....	19
<i>Figura 6. Prueba de jarras, semana 2, noviembre</i> .....	20
<i>Figura 7. Comportamiento de hierro, semana 2, noviembre. Pruebas de jarras</i> .....	20
<i>Figura 8 Pruebas de jarras, semana 3, noviembre.</i> .....	21
<i>Figura 9. Comportamiento del hierro, semana 3, noviembre.</i> .....	21
<i>Figura 10. Comportamiento del hierro durante el mes de noviembre.</i> .....	22
<i>Figura 11. Pruebas de jarras, semana 1, diciembre.</i> .....	23
<i>Figura 12. Comportamiento del hierro, semana 1, diciembre.</i> .....	23
<i>Figura 13. Pruebas de jarras, semana 2, diciembre.</i> .....	24
<i>Figura 14. Comportamiento del hierro, semana 2, diciembre.</i> .....	24
<i>Figura 15. Pruebas de jarras, semana 3, diciembre.</i> .....	25
<i>Figura 16. Comportamiento del hierro, semana 3, diciembre. Pruebas de jarras</i> .....	25
<i>Figura 17. Comportamiento del hierro en el mes de diciembre.</i> .....	26
<i>Figura 18. Pruebas de jarras, semana 1, enero.</i> .....	26
<i>Figura 19. Comportamiento del hierro, semana 1, enero.</i> .....	27
<i>Figura 20. Pruebas de jarras, semana 2, enero.</i> .....	27
<i>Figura 21. Comportamiento del hierro, semana 2, enero.</i> .....	28
<i>Figura 22. Pruebas de jarras, semana 3, enero.</i> .....	28
<i>Figura 23. Comportamiento del hierro semana 3, enero.</i> .....	28
<i>Figura 24. Comportamiento del hierro en el mes de enero.</i> .....	29
<i>Figura 25. Pruebas de jarras, semana 1, febrero.</i> .....	30
<i>Figura 26. Comportamiento del hierro, semana 1, febrero.</i> .....	30
<i>Figura 27. Pruebas de jarras, semana 2, febrero.</i> .....	31
<i>Figura 28. Comportamiento del hierro, semana 2, febrero.</i> .....	31
<i>Figura 29. Pruebas de jarras, semana 3, febrero.</i> .....	32
<i>Figura 30. Comportamiento del hierro, semana 3, febrero.</i> .....	32
<i>Figura 31. Comportamiento del hierro en el mes de febrero.</i> .....	33
<i>Figura 32. grafica de remoción de hierro general.</i> .....	34
<i>Figura 33.torre de aireación.</i> .....	45
<i>Figura 34. Torre de aireación, parte posterior.</i> .....	45
<i>Figura 35. Zona de clarificación.</i> .....	46
<i>Figura 36. Zona de cloración.</i> .....	46
<i>Figura 37.Zona de polimerización y aplicación de carbón activado.</i> .....	47
<i>Figura 38. Zona de polimerización y aplicación de carbón activado.</i> .....	47
<i>Figura 39. Zona de polimerización y aplicación de carbón activado.</i> .....	48
<i>Figura 40. Aseguramiento de variables fisicoquímicas</i> .....	48
<i>Figura 41. Aseguramiento de variables fisicoquímicas.</i> .....	49

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<i>Cuadro 1. Consolidada calidad de agua cruda 2019 .....</i>	<i>18</i>
<i>Cuadro 2. Tabla de dosificación de peróxido de hidrogeno .....</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro 3: Resumen de resultados de gráficas.....</i>	<i>34</i>
<i>Cuadro 4. Dosificación de peróxido de hidrógeno, semana 1, noviembre. ....</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro 5. Remoción de hierro, semana 1, noviembre.....</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro 6. Dosificación d peróxido de hidrógeno, semana 2, noviembre.....</i>	<i>51</i>
<i>Cuadro 7. Remoción de hierro, semana 2, noviembre.....</i>	<i>51</i>
<i>Cuadro 8. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 3, noviembre.....</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 9. Remoción de hierro, semana 3, noviembre.....</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 10. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 1, diciembre.....</i>	<i>52</i>
<i>Cuadro 11. Remoción de hierro, semana 1, diciembre.....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 12. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, diciembre.....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 13. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, diciembre.....</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro 14. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 3, diciembre.....</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro 15. Remoción de hierro, semana 3, diciembre.....</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 16. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 1, enero.....</i>	<i>55</i>
<i>Cuadro 17. Remoción de hierro, semana 1, enero.....</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 18. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, enero.....</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 19. Remoción de hierro, semana 2, enero.....</i>	<i>57</i>
<i>Cuadro 20. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 3, enero.....</i>	<i>57</i>
<i>Cuadro 21. Remoción de hierro, semana 3, enero.....</i>	<i>58</i>
<i>Cuadro 22. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 1, febrero.....</i>	<i>58</i>
<i>Cuadro 23. Remoción de hierro, semana 1, febrero.....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 24. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, febrero.....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 25. Remoción de hierro, semana 2, febrero.1 .....</i>	<i>60</i>
<i>Cuadro 26. Dosificación de peróxido de hidrógeno, semana 3, febrero.....</i>	<i>60</i>
<i>Cuadro 27. Remoción de hierro, semana 3, febrero.....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 28. Síntesis de análisis cualitativo y cuantitativo del proceso de tratamiento de agua.....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 29. Tabla de resumen de resultados de datos de remoción.....</i>	<i>66</i>

## 1. RESUMEN

La empresa Aguas de Barrancabermeja es la encargada de realizar los procesos de potabilización del agua en el distrito de Barrancabermeja, por medio de procesos estandarizados que le permiten entregar un producto que cumple con la normatividad y apto para el consumo humano. En 16 puntos de la ciudad se toman muestras para análisis fisicoquímico de sus propiedades, análisis de hierro y cloro y se detectó que la concentración de hierro (mg/L) estaba por encima de la normatividad (Resolución 2115 de 2007). Por lo cual la problemática de este proyecto se ha centrado en la evaluación de la eficiencia de la remoción de hierro por la aplicación del Peróxido de hidrógeno, agente que acelera el proceso de oxidación.

Se llevó una evaluación durante los meses de noviembre y diciembre del año 2019, enero y febrero del presente año analizando las entradas de hierro desde la captación y luego sus concentraciones en los procesos de sedimentación y filtración al ser ya tratada teniendo en cuenta los procesos de aireación los cuales son los que permitían una mayor remoción del metal.

Actualmente la empresa realiza tres (3) procedimientos para la remoción del Fe según los valores de entrada del mismo, el primero consiste en inyectar aire al agua cruda a través de la torre de aireación, el segundo proceso de micro burbujeo (aireación reforzada) y de este modo ayuda a oxidar el hierro en el canal de unificación; el tercero es que vamos analizar dosificación de peróxido de hidrogeno se realiza al momento que el agua pasa por el canal de unificación y se inicia en planta cuando el agua cruda ingresa con un nivel de hierro de 4.0 mg/L que de igual manera oxida el Fe hasta que alcanza valores por debajo del rango establecido en la norma (Resolución 2115 de 2007). Las redes de distribución son un factor que incide en el cumplimiento de la norma, ya que la gran mayoría de la red cuenta con un tiempo de más de 20 años de uso lo cual la ha deteriorado y por consecuente también por el largo tiempo en funcionamiento se han corroído y acumulado hierro.

De igual forma se logró determinar la alta incidencia del pH en la efectividad del peróxido de Hidrógeno, ya que esté condiciona la rapidez con la cual puede ser oxidado el Fe. El estudio aplicado y sus resultados no presentaron ningún tipo de condicionamiento al proceso en sus etapas posteriores, razón por la cual se considera adecuado y de vital importancia a nivel de pretratamiento.

**Palabras clave:** Evaluación, remoción, hierro, potabilización, calidad de agua.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua ha sido una de las mayores preocupaciones de la humanidad y el desarrollo de sistemas que permitan un acceso a este líquido no ha sido rápido, no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas hasta finales del siglo XIX; hoy en día se reconoce la importancia del tratamiento y potabilización del agua por medio de la creación de leyes y normas a nivel nacional e internacional y es un tema que es de interés de los diferentes países, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población, por esto se ha convertido en una necesidad obligada para todos los seres humanos (OMS, 2014).

De acuerdo con el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y su censo nacional de población y vivienda realizada en el año 2018 (resultado de censo nacional de población y vivienda) existen 14.243.223 hogares a nivel nacional, de los cuales el 86,4% cuentan con servicio de acueducto (relacionado a disposición de agua potable) y 76,6% cuentan con servicio de alcantarillado (relacionado con servicio de tratamiento de aguas residuales). Ante este desafío de ofrecer servicios públicos de calidad para la población está la necesidad de perfeccionar los procesos de potabilización de agua de modo que estos sean lo más eficientes y ajustados a la normatividad vigente (DANE, 2018).

Cada cuerpo de agua del mundo posee características fisicoquímicas y microbiológicas que lo hacen único y diferente a los demás, entre los principales factores que influyen en sus características están el tipo de suelo, las actividades antrópicas relacionadas al espejo de agua y su carga contaminante respectiva, las condiciones climáticas y de relieve entre otros. Así mismo, las características anteriormente mencionadas pueden variar a través del tiempo, lo cual modifica la aptitud de un cuerpo de agua para ser fuente de captación de agua para su posterior potabilización; en este orden de ideas, es indispensable que las empresas prestadoras del servicio de agua dispongan de las herramientas y elementos necesarios para contrarrestar estas posibles alteraciones dentro del espejo de agua, de modo que exista una garantía de consumo de agua en óptimas condiciones para la población.

El agua que se capta de la bocatoma además de que presente hierro también metales como manganeso, que alteran las características como el olor, color, sabor por lo cual en procesos durante el tratamiento del agua hacen posible que se pueda retirar un porcentaje alto de este metal, el peróxido de hidrógeno permite una mayor oxidación, es decir, se convierte en un catalizador el cual además de acelerar el proceso de oxidación, permite una mayor oxidación en el agua cruda, lo cual más adelante permitirá una mayor remoción del metal.

Debido a que los parámetros fisicoquímicos del agua de la ciénaga san silvestre presentan variaciones durante las diferentes temporadas climáticas del año. En verano los niveles de hierro en el agua cruda baja presentando remoción de hierro por medio de los mecanismo de oxidación fijo que tiene la empresa y se elevan en temporadas de lluvias por lo que se hace necesario realizar ajustes en los procesos de oxidación con el fin de que se remueva un gran porcentaje de hierro en agua

clarificada y que el agua tratada cumplan con los parámetros establecidos por normatividad vigente , cuando estos valores de remoción no son efectivos no solo es percibido por los funcionarios de la PTAP Aguas de Barrancabermeja, sino también por los ciudadanos que perciben características en agua las cuales no son la ideales y afectaciones en sus actividades por la calidad del líquido. A través de este proyecto aplicado se evaluará los procesos que inciden en la remoción del hierro para mejorar los procesos de remoción del mismo, teniendo en cuenta lo establecido en la norma la resolución 2115 de 2007 la cual en el artículo 7° establece valores permisibles de diferentes compuestos incluido el hierro con un valor de 0,3 mg/L.

Instrumentos básicos como el IRCA permite una evaluación de la calidad del agua, por medio de la evaluación de diferentes factores dentro de los cuales se encuentra el Hierro y sus diferentes efectos por presencia en el líquido (color aparente, olor, sabor, etc.).

La calidad del agua es un factor importante en producto final ya que es el agua tratada que será distribuida a los hogares, por lo cual se tomaron muestras en diferentes puntos de la ciudad donde se realizan muestras fisicoquímicas a las diferentes muestras para llevar un seguimiento, en lo cual se detectó un nivel por encima de la normal (nivel permisible de hierro 0.3 mg/L).

Puntos críticos de la ciudad como betlemitas, parnasos, pinos y el sector comercial donde se toman muestras y se han encontrado niveles críticos de hierro, por lo cual se comenzó a hacer una evaluación en el proceso de oxidación que es el que favorece al proceso de remoción de hierro en la fase de clarificación (coagulación, floculación y sedimentación).

La presencia de hierro en el agua provoca que presente un color amarillo dependiendo de la cantidad presente en el agua, sabor y olores indeseables, también las prendas reciben todos estos metales por lo cual causan manchas.

Cabe recordar que, en la ciudad de Barrancabermeja gran parte de la red de distribución es demasiado obsoleta (entre 20 y 25 años) y de un material altamente corrosivo como lo es el hierro, el cual genera un gran incremento en el nivel de hierro por causa de la fricción a causa del caudal y la presión que manejan estas tuberías. La empresa viene adelantando labores de rehabilitación (cambio) de la tubería que ya cumplió su vida útil, sin embargo, este proceso es altamente costoso, lento y con un gran impacto social (Comunicaciones, S,f).

En la Resolución 2115 de 2007 en el artículo 7° menciona al hierro como un agente que tiene consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana, por lo cual establece un valor permisible (0,3mg/L) de hierro en el agua, por lo cual el presente trabajo permitirá evaluar y en su defecto mejorar los procesos que

Además, que los niveles de hierro en diferentes puntos de la ciudad han estado por encima de lo permitido ha generado molestias dentro de la comunidad por las características que presenta el agua como color aparente la cual según la resolución la convierte en agua no apta para el consumo humano y susceptible, suciedad en las prendas, sabor y olor.



También la Resolución 2115 de 2007 en el artículo 13° establecen instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para el consumo humano, como lo es el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para el consumo humano (IRCA), por medio del cual se asigna un puntaje teniendo en cuenta diferentes características que pueda presentar el agua y/o compuestos presentes y regulados en esta resolución por medio de valores permisibles.

El no cumplimiento con estos valores permisibles en el agua está sujeto al aumento de la puntuación del índice de riesgo de la calidad del agua, y por consiguiente una clasificación de riesgo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Evaluar la eficiencia de remoción de hierro por medio de oxidación con peróxido de hidrógeno como pre- tratamiento en la planta de potabilización Aguas de Barrancabermeja S.A

#### **Objetivos específicos**

- Evaluar las condiciones actuales de los procesos de remoción de hierro en el sistema de potabilización de aguas de Barrancabermeja.
- Establecer las condiciones para mejorar la remoción de hierro del agua cruda que ingresa al sistema de potabilización de Aguas de Barrancabermeja, mediante la aplicación de peróxido de hidrógeno.

#### 4. MARCO TEÓRICO

El agua es indispensable para la supervivencia y para la gran mayoría de las actividades. El agua además de ser un líquido esencial para los seres vivos también para diferentes procesos tanto biológicos, industriales y ciclos en el entorno. Cabe recordar que aproximadamente el 97% del agua del mundo es agua salada, el 3% corresponde a agua dulce, la cual en su mayoría se encuentra congelada o en lugares como capas subterráneas inaccesibles para el hombre (González, 2012).

La potabilización del agua es una secuencia de procedimientos que permiten la desinfección, limpieza del agua la cual permite usar para el consumo humano y diferentes usos más. Estos procesos permiten retirar las impurezas, microorganismos y metales que el agua captada (generalmente de una fuente de agua dulce) por medio de la aplicación de técnicas que permiten la purificación del agua. Procesos como el de aireación el cual permite la oxidación del hierro presente en el agua permite mejorar la calidad del agua tratada sea mayor. En el proceso de aireación se eliminan los colores, olores y sabores por medio de la oxigenación del agua. El hierro no permite cumplir con características como “incoloro, inodoro e insípido”, este se precipita en la piscina de quietamiento. (ASOCIACIÓN DE MÉDICOS DE SANIDAD EXTERIOR, s.f.).

El peróxido de hidrógeno es un compuesto químico conocido como agua oxigenada, es altamente oxidante y desinfectante. Es usado para la oxidación del hierro presente en el agua captada para su tratamiento. Lo que se busca es que en el proceso de aireación y micro burbujeo este metal pasa a un estado de oxidación para que en el proceso de adicionar los compuestos floculantes pueda ser removido como sedimento. (ASOCIACIÓN DE MÉDICOS DE SANIDAD EXTERIOR, s.f.).

Este compuesto actúa como un catalizador en el proceso de oxidación de los metales presentes en el agua especialmente de hierro, teniendo en cuenta esto aumenta el rango de metales oxidados en el agua captada, lo cual permite una mayor captación y remoción de hierro en la floculación y sedimentación. Además del poder oxidante con el que cuenta este compuesto también actúa como un desinfectante y antimicrobiano. (aguilar Muñoz & Duran Torres, 2011)

La calidad del agua viene determinada por su composición fisicoquímica y biológica. La calidad del agua es un concepto dinámico, ya que, por un lado, se produce un progreso constante en las técnicas de valoración y cuantificación de los distintos parámetros relativos a la calidad, y por otro se produce la incorporación al medio de nuevos productos y contaminantes que pueden llegar al agua (Lazo, 2012).

La gestión integral del agua, que hace referencia a su conservación, manejo y uso sostenible, parte del conocimiento del recurso, de los diferentes usuarios que lo demandan y de los diversos usos para los cuales está destinada; a partir de este conocimiento se determina la regulación normativa y se establecen los instrumentos de planificación para que la sociedad en su conjunto determine la más óptima asignación del recurso hídrico, así como su administración y manejo de modo que permita satisfacer las necesidades ecológicas, productivas y sociales. En esta forma, la gestión integral del

recurso hídrico propende por la ejecución armónica y coordinada de las actividades y acciones que conduzcan a lograr una oportuna disponibilidad del agua para satisfacer las necesidades propias del desarrollo económico y social con sostenibilidad ambiental. (Ortega, 2007)

Para hacer referencia a los procesos unitarios que normalmente se desarrollan en la potabilización de agua, se tiene como base teórica los aportes descritos por (Sánchez & Bernal, 2011) dentro de su proyecto de investigación, los cuales son expuestos a continuación. El hierro en concentraciones por encima del valor permisible puede 0.3 mg/l puede afectar el sabor del agua. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbidez y el color del agua (color aparente).

El Hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos (Castillo, 2015).

El hierro puede darle al agua un sabor, olor y color indeseable. El hierro causa manchas rojizos-café en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto. Los depósitos de hierro se acumulan en los tubos de cañerías, tanques de presión, calentadores de agua y equipo ablandador de agua. Estos depósitos restringen el flujo del agua y reducen la presión del agua. Más energía se requiere para bombear agua a través de tubos tapados y para calentar agua si los rodos de los calentadores están cubiertos con depósitos minerales (Macfarland & Dozier, 2001).

La presencia de hierro en la ciénaga San Silvestre está asociada a diversos factores antrópicos como lo son los vertidos industriales, las descargas de aguas residuales domésticas, las escorrentías con alto contenido de sustancias agroquímicas y la alta presencia de materia orgánica en el agua afluente de los cuerpos hídricos. Una de las principales causas del aumento de Hierro en las aguas de la ciénaga está asociada a la presencia de rellenos sanitarios cerca del espejo de agua; se presume que dichos rellenos no están realizando un control efectivo de sus lixiviados, los cuales por procesos de escorrentía están cayendo en algunos cuerpos de agua (PROCURADURÍA, 2017).

En el decreto 2115 de 2007 se establecen parámetros los cuales deben ser tenidos en cuenta al momento de la potabilización para obtener un agua apta para el consumo humano.

## 5. METODOLOGÍA

**FASE I.** Evaluación de las condiciones actuales de los procesos de remoción de hierro en el sistema de potabilización de aguas de Barrancabermeja.

Se visitó la planta con el fin de evidenciar los diferentes procesos de transformación de agua cruda a agua potable para los usuarios del distrito de Barrancabermeja, entre los cuales logramos observar el subproceso de oxidación de hierro con peróxido de hidrogeno torres de aireación y aireación reforzada (microburbuja sopladores lobulares) el cual se realiza en pretratamiento. En el anexo 1 se puede evidenciar el recorrido que se hizo visitando cada uno de los procesos y etapas de potabilización del agua en la PTAP. Se inspeccionaron las diferentes zonas de los procesos y se realizó una caracterización cuantitativa y cualitativa (anexo 3).

**FASE II.** Establecimiento de las condiciones para mejorar la remoción de hierro del agua cruda que ingresa al sistema de potabilización de Aguas de Barrancabermeja, mediante la aplicación de peróxido de hidrógeno.

Inicialmente se evaluó el valor del hierro del agua cruda de entrada tratada a través de los datos históricos entregados de la planta y el análisis de hierro realizado por medio de equipo portátil de laboratorio para medición de hierro. (Tabla histórica)

Test de jarras sin peróxido: esta prueba se realizó simultáneamente para observar la remoción de hierro sin peróxido, se realizó seguimientos a diferentes variables pH, turbiedad, color y hierro.

La prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones, etc. (el agua, 2016).

Por medio de la toma de datos durante los meses de noviembre y diciembre del año 2019 y enero y febrero del año 2020 se hará una evaluación a las variables de hierro de entrada, clarificada y tratada, para luego realizar un análisis del comportamiento del hierro. Se dividió el mes en 3 secciones (10 días) teniendo en cuenta que es el periodo en que se mantiene el valor de hierro (promedio).

La medición del hierro se hace por medio de un dispositivo electrónico (Pocket ferro métrico) mediante el cual se puede conocer la cantidad de hierro presentes en la muestra de agua.

Las tomas de las muestras se realizaron en diferentes puntos del proceso:

**Agua de entrada (TM1):** Es el agua captada desde la bocatoma y llega a la planta por tubos que

comunican la bocatoma y la PTAP, en este punto del proceso se toma la primera muestra para conocer el estado del agua de entrada (nivel de Fe).

**Agua clarificada (TM2):** Es la fase del proceso en el cual se agrega el floculante para remover el hierro, en esta fase se toma la muestra para conocer el porcentaje de hierro removido en comparación con el hierro de entrada.

**Agua tratada (TM3):** En este punto del proceso el agua está lista para el proceso de distribución.

**Puntos de distribución (TM4):** Existen 16 puntos de muestreo en la ciudad donde se evalúa la calidad del agua.

También la aplicación del peróxido de hidrogeno es importante dentro del proceso, por lo cual existe un punto de aplicación en el proceso de aireación.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La siguiente información ha sido sustraída de un estudio sobre la dinámica demográfica de la ciudad de Barrancabermeja, realizado por el Centro de Estudios Regionales del Magdalena Medio – CER, (CER, 2011) el cual aporta lo siguiente:

Las características estructurales del comportamiento económico y social de la ciudad de Barrancabermeja giran en torno a la industria petrolera, esto se debe a las operaciones que ha desarrollado la empresa más grande del país ECOPETROL junto con su refinería, la cual tiene la mayor producción de combustibles del país. Desde 1918 con las primeras explotaciones de crudo (petróleo) se fue desarrollando de manera consolidada la industria petrolera en la región. Las connotaciones que surgen a raíz de la alta dependencia económica que el municipio posee de este sector como ancla de la economía local, donde todos los recursos y factores de producción fueron abocados, en su mayoría, a la industria del petróleo, generando como resultado una economía poco diversificada e incapaz de responder positivamente a las dinámicas oportunas de alto impacto (García, 2017).

FIGURA 1. PTAP DE AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A., ESP.



Fuente: Aguas de Barrancabermeja

**Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Barrancabermeja.** Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. es una empresa estatal colombiana que provee servicios de agua potable y alcantarillado para clientes residenciales, comerciales y algunos industriales. La empresa realiza estudios, diseña y construye redes de agua potable y alcantarillado, así como plantas de tratamiento de agua potable y de aguas residuales (Bnaméricas, S,f). La PTAP de la empresa se encuentra ubicada en el barrio El Boston, en la antigua vía que comunica a la ciudad con el relleno clausurado la esmeralda. La PTAP posee actualmente un caudal de trabajo de 1000l/seg y aproximadamente bombea o distribuye agua a la población de Barrancabermeja a razón de 800l/seg.

La PTAP de Barrancabermeja comenzó operaciones en el año 1976 y dentro de su planificación fue proyectada para operar durante 30 años; dado que con el pasar del tiempo la planta fue perdiendo su capacidad operativa la empresa recurrió a la realización de modificaciones por fase que permitieran garantizar la operación de la PTAP y la correcta prestación del servicio público.

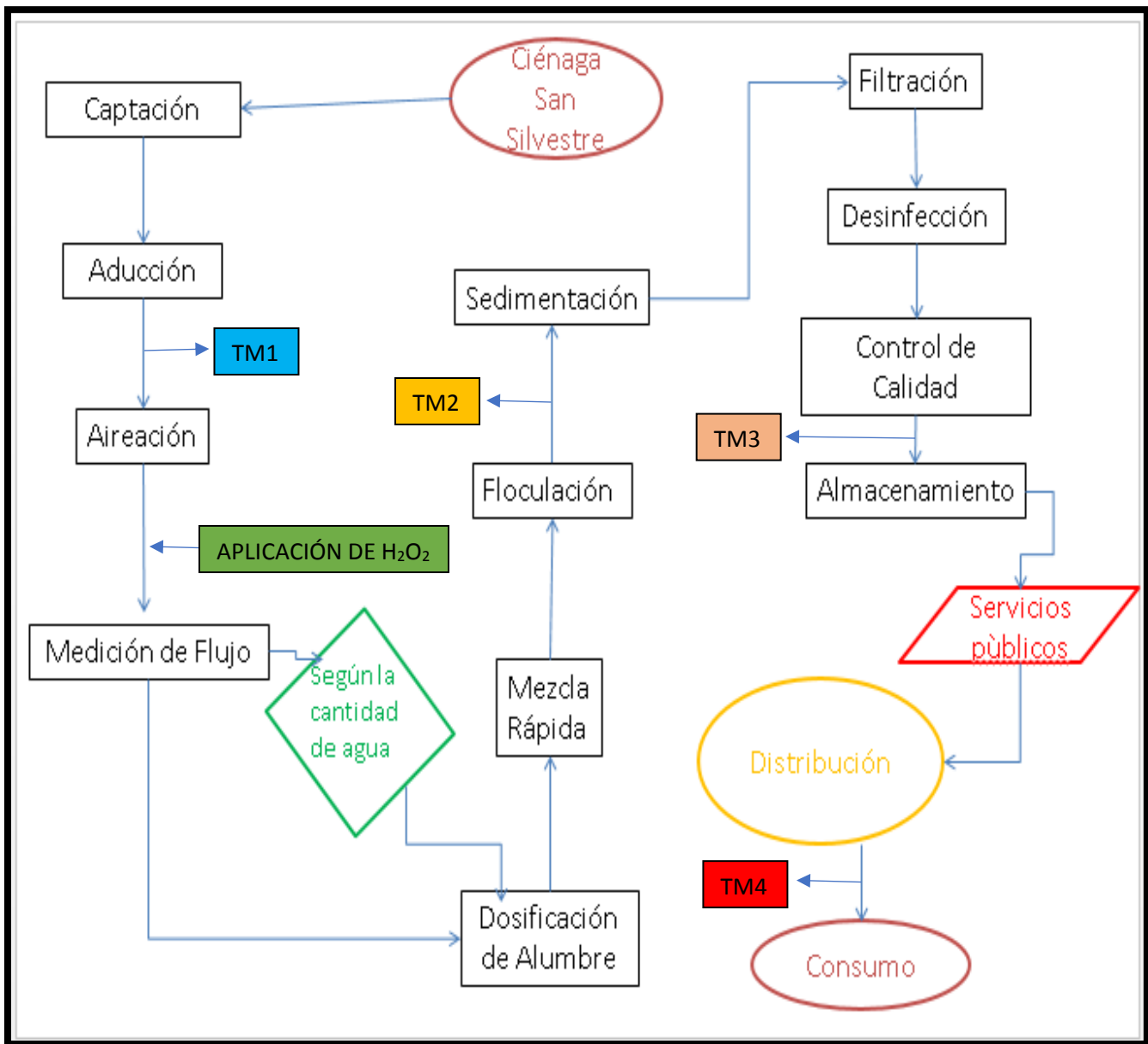
La siguiente imagen describe por medio de un diagrama de flujo los procesos operativos realizados en la PTAP.

El proyecto se realizó en las instalaciones de la PTAP de la empresa Aguas de Barrancabermeja, principalmente en el área de laboratorio de calidad donde se realizaron las pruebas; se gestionaron los permisos respectivos para darle continuidad al proceso.

El diagnóstico cualitativo y cuantitativo se validó con el personal encargado del área de procesos químicos de la empresa, los cuales servirán de apoyo al momento de la realización de las pruebas.




Figura 2. Diagrama de flujo de los procesos operativos de la PTAP.



Fuente: Autores

La remoción de hierro se lleva a cabo en el proceso de aireación a través de dos torres instaladas al final de las líneas de 30" y 28", aireación reforzada a través de 2 equipos mecánico (sopladores lobulares) micro burbujeo, dependiendo del hierro de entrada se oxida con peróxido de hidrógeno.

También se presenta los puntos donde se aplicó el peróxido de hidrogeno y donde también se tomaron las muestras para el estudio. En el anexo 3 se encuentra más detallado las fases del proceso encuentra el detalle de cada fase.

AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P.													
SUBGERENCIA DE OPERACIONES													
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA													
 AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P. Nit. 900.045.408-1													
CALIDAD DEL AGUA CRUDA DEL AÑO 2019													
FUENTE: CIENAGA SAN SILVESTRE													
PUNTO DE TOMA: BOCATOMA													
MES	PARAMETROS FISICOQUIMICOS							PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS					% DE INCIDENCIA FRENTE AL AÑO ANTERIOR FLORA BACTERIANA
	Turbiedad (NTU)	Color (UPC) Aparente	pH	Alcalinidad mg/l	Cloruros mg/l	Nitritos mg/l	Dureza Total mg/l	Hierro mg/l	Oxígeno disuelto mg/l	COLIFORMES TOTALES UFC	ESCHERICHIA COLI UFC		
ENERO	44	299	6,27	13,0	2,90	0,30	10,00	2,37	6,40	8000	2000	2,0%	
FEBRERO	50	350	6,35	14,0	3,85	0,21	11,00	3,11	8,15	6000	3000	2,0%	
MARZO	61	399	6,15	12,0	4,65	0,24	18,00	3,45	6,15	9000	1000	2,0%	
ABRIL	65	582	6,05	12,0	5,65	0,40	17,00	4,25	6,45	7000	2000	2,0%	
MAYO	60	658	6,08	13,0	4,52	0,30	16,00	4,65	4,56	9000	2000	2,0%	
JUNIO	55	754	6,51	14,0	3,56	0,19	15,00	3,85	6,50	10000	3000	2,0%	
JULIO	47	508	6,33	15,0	3,20	0,45	12,00	2,65	6,10	9000	1000	2,0%	
AGOSTO	30	378	6,42	14,0	3,80	0,33	11,00	2,40	5,5	8000	2000	2,0%	
SEPTIEMBRE	92	892	5,98	14,0	4,00	0,25	18,00	3,91	6,20	7000	2000	2,0%	
OCTUBRE	79	876	6,20	13,0	3,95	0,26	15,00	3,98	7,10	9000	1000	2,0%	
NOVIEMBRE	106	1014	6,10	15,0	4,09	0,45	19,00	3,72	6,40	8000	1000	2,0%	
DECIEMBRE	110	1015	6,30	15,0	4,00	0,38	18,00	3,36	6,90	10000	2000	2,0%	

#### Histórico de hierro de agua cruda en planta de tratamiento año 2019

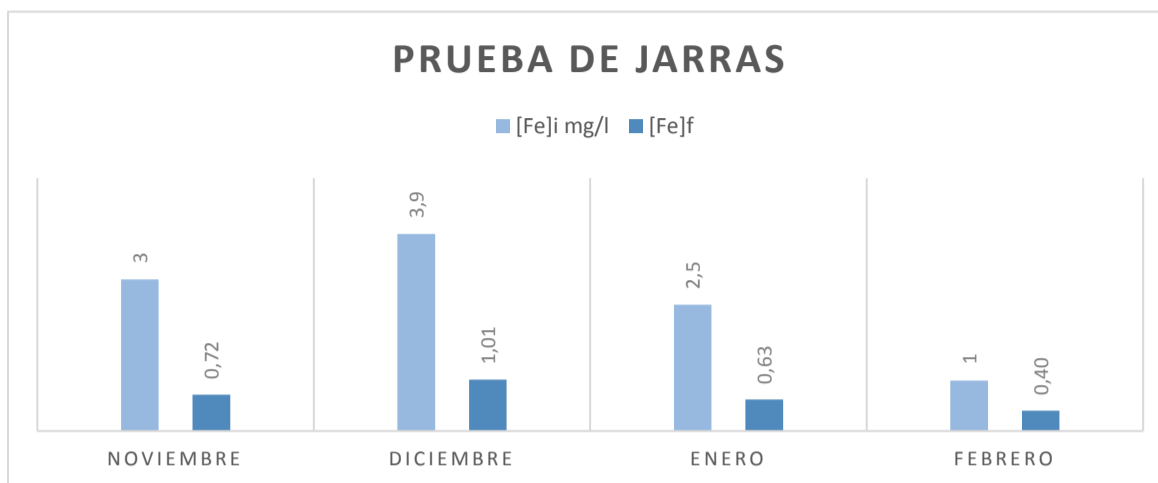
El tipo de estudio de este trabajo es aplicado ya que, para lograr la evaluación del proceso de remoción de Fe presente en el agua a tratar en la PTAP de Aguas de Barrancabermeja S.A., ESP se realizaron varios ensayos de laboratorio en los cuales se varió las concentraciones de Peróxido de Hidrógeno para determinar la cantidad óptima de peróxido de hidrogeno; de igual forma, a los ensayos se les evaluó la concentración de Fe presente en el agua para la realización del respectivo proceso aplicativo. En estas variaciones las concentraciones permitieron la obtención de valores ajustados a los distintos escenarios que se presentan dentro de la ciénaga San Silvestre, ya que las condiciones ambientales influyen en la fluctuación de la concentración del metal. Se realizará un seguimiento a variables como pH, conductividad, concentración de sólidos suspendidos y disueltos para determinar algún tipo de relación positiva o negativa con el peróxido de Hidrógeno y su aplicación al tratamiento del agua.

Las actividades realizadas comprenden:

- Pruebas de laboratorio (Prueba de jarras) para lograr determinar la dosis necesaria para remover el Fe.
- Ensayos en la PTAP con las nuevas concentraciones evaluadas en laboratorio.
- Realizar comparativos de aplicación de insumos / Remoción de Concentración de Fe con los registros anteriores a la aplicación de la(s) nueva(s) dosis.

## PRUEBA DE JARRAS SIN PEROXIDO DE HIDRÓGENO

Figura 3. Prueba de jarra sin peróxido de hidrógeno.



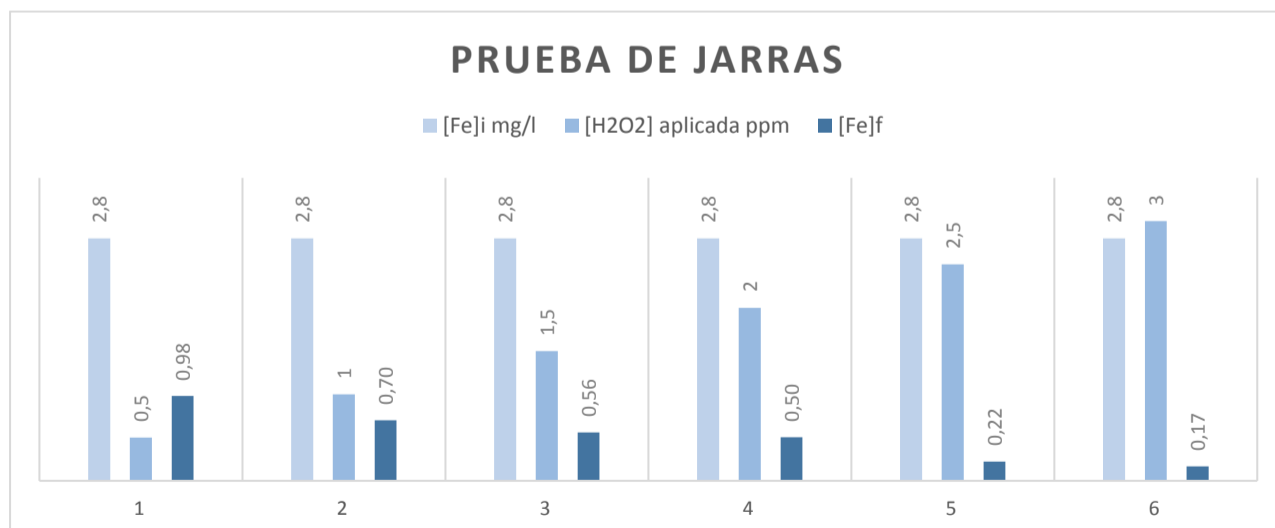
Se observó el promedio mensual de hierro de entrada y el resultado de la baja remoción de hierro en el agua clarificada sin la dosificación de ( $H_2O_2$ ) durante los meses de la evaluación, esta evaluación se realizó con el hierro en diferentes concentraciones en el agua cruda, , cabe aclarar que estos datos se recopilaban cuando no se estaba dosificando peróxido en el pre tratamiento y se realizaba la evaluación diaria de la remoción de hierro en planta de tratamiento por medio de los dos sistemas de oxidación permanentes en planta torres de aireación y aireación forzada (microburbuja sopladores lobulares) Los datos arrojados son recopilados por el personal operativo y almacenados en las planillas de control.

## PRUEBA DE JARRAS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

### MES DE NOVIEMBRE

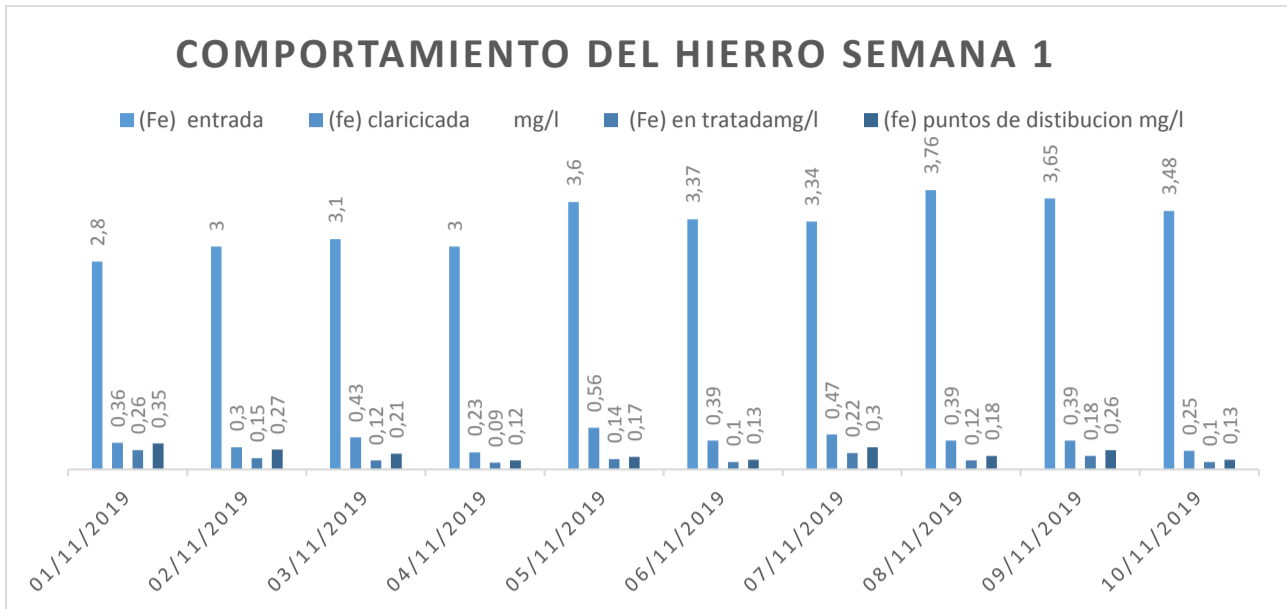
#### NOVIEMBRE - SEMANA 1

Figura 4. Prueba de jarras, semana 1, noviembre.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 2,8 ppm el día 1 de noviembre se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 0,5 ppm ( $H_2O_2$ ) hasta de 3 ppm ( $H_2O_2$ ), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 2,5 ppm ( $H_2O_2$ ) jarra (5) con la cual se inició la prueba.

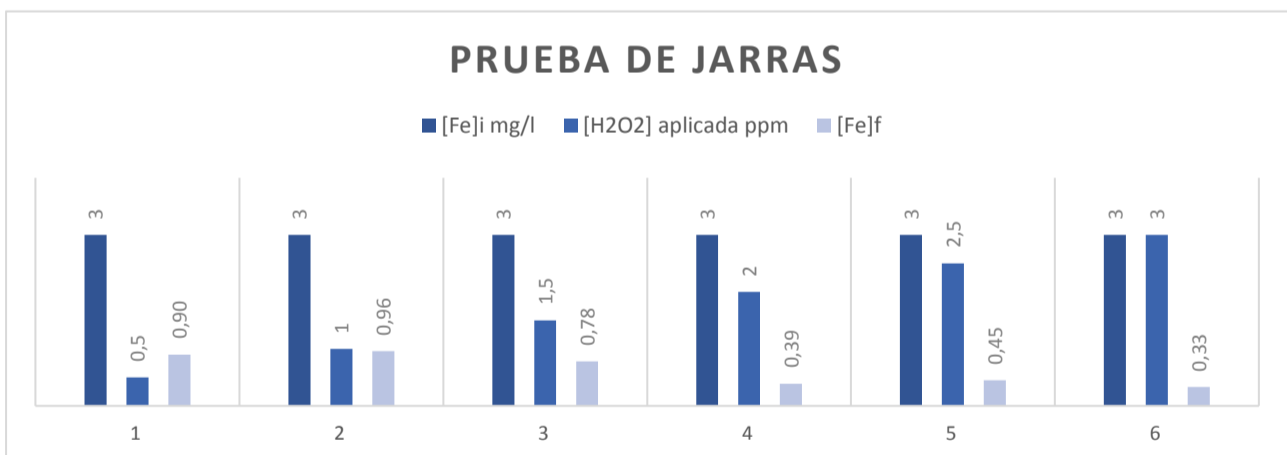
Figura 5. Comportamiento de hierro, semana 1, noviembre.



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la primera semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 2,8 ppm y oscilo hasta 3,7 ppm, se mantuvo una dosis de peróxido de 2,5ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, en los días que el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm) .

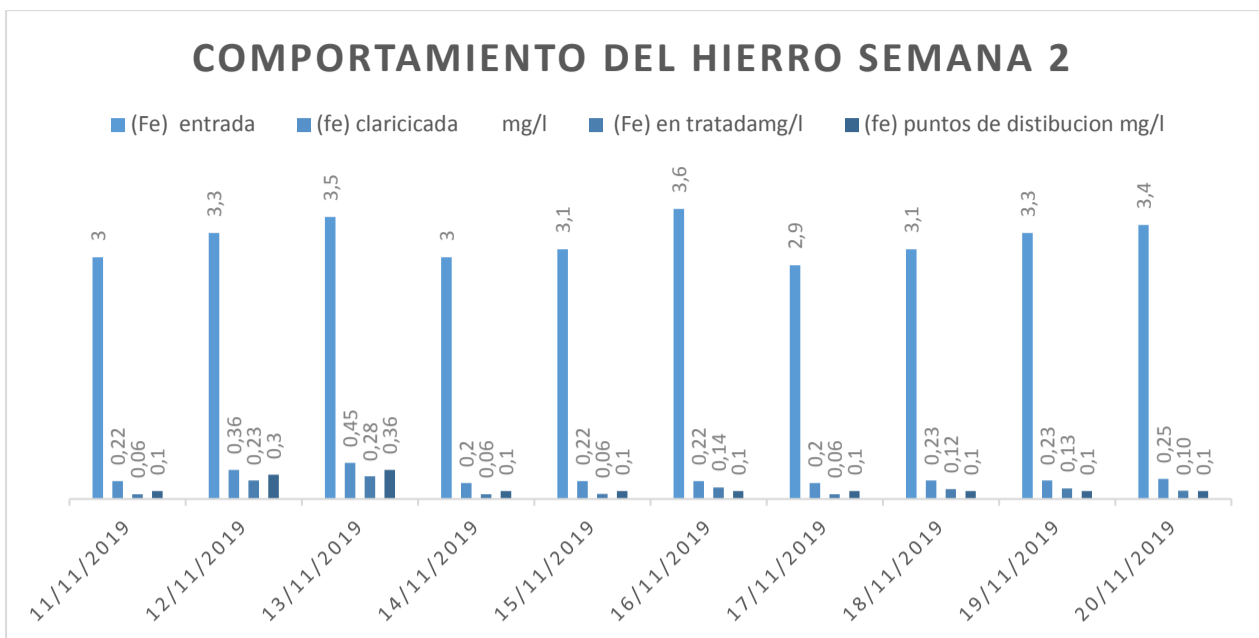
#### NOVIEMBRE - SEMNANA 2

Figura 6. Prueba de jarras, semana 2, noviembre.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 3,0 ppm, el día 11 de noviembre se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 05 ppm ( $H_2O_2$ ) hasta de 3 ppm ( $H_2O_2$ ), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 3 ppm( $H_2O_2$ ) jarra (4), debido a que la dosis de 2ppm ( $H_2O_2$ ) presento un comportamiento similar a la de 3ppm( $H_2O_2$ ) en cuanto a remoción con una diferencia de 2% se determinó escoger la dosis de 2ppm( $H_2O_2$ ) con el fin de ahorrar la dosificación de ( $H_2O_2$ .) Se realizó la modificación de la aplicación de dosis en la evaluación de hierro en planta.

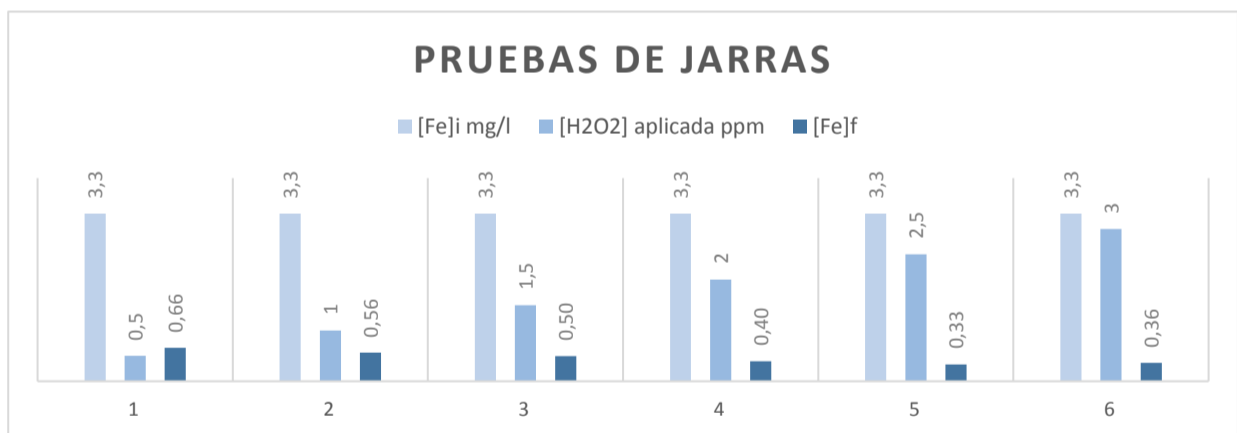
Figura 7. Comportamiento de hierro, semana 2, noviembre. Pruebas de jarras



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3 ppm y oscilo hasta 3,6 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 2 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, el día 3 de evaluación el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada 0,36ppm de Fe, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm).

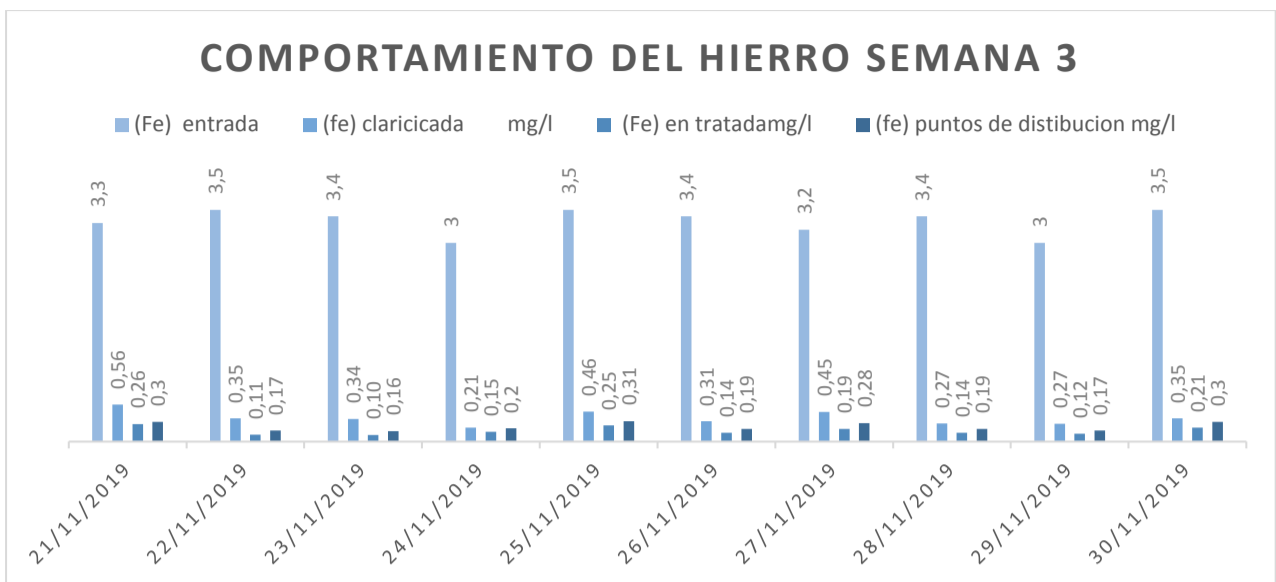
### NOVIEMBRE - SEMANA 3

Figura 8 Pruebas de jarras, semana 3, noviembre.



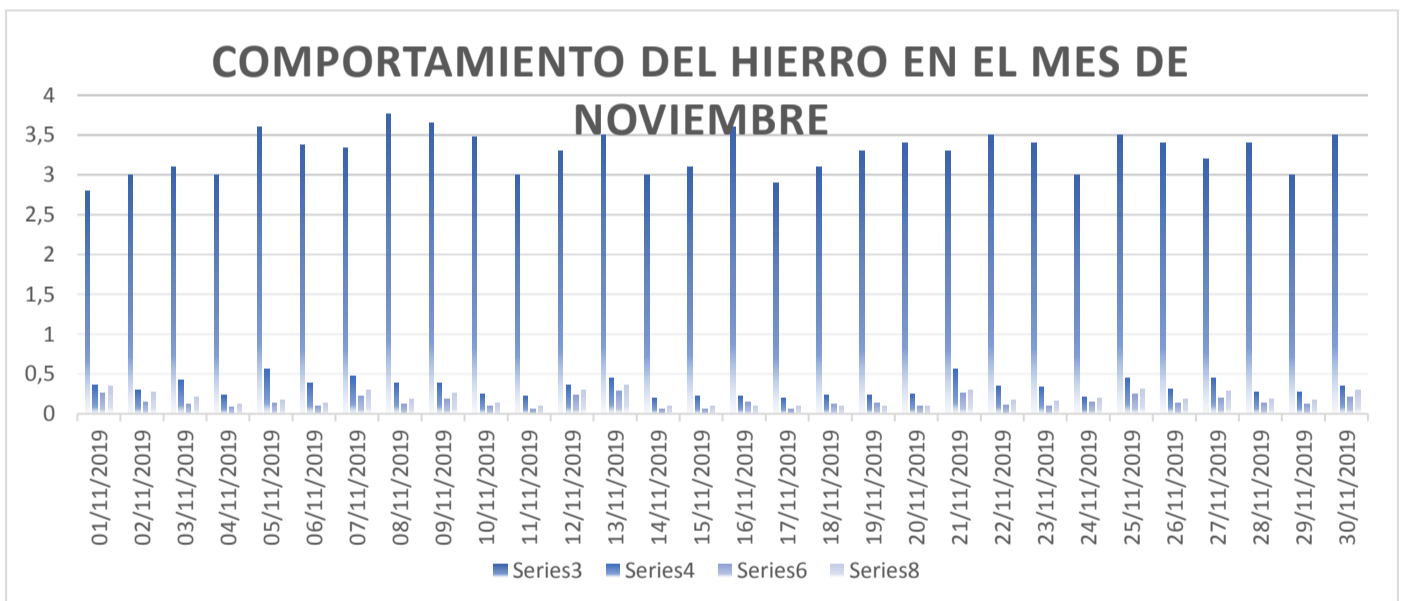
Con base en los resultados de hierro de entrada de 3,3 ppm el día 21 de noviembre se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 0,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 2,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (5) con la cual se continuo con la evaluación.

Figura 9. Comportamiento del hierro, semana 3, noviembre.



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,3 ppm y oscilo hasta 3,5 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

Figura 10. Comportamiento del hierro durante el mes de noviembre.



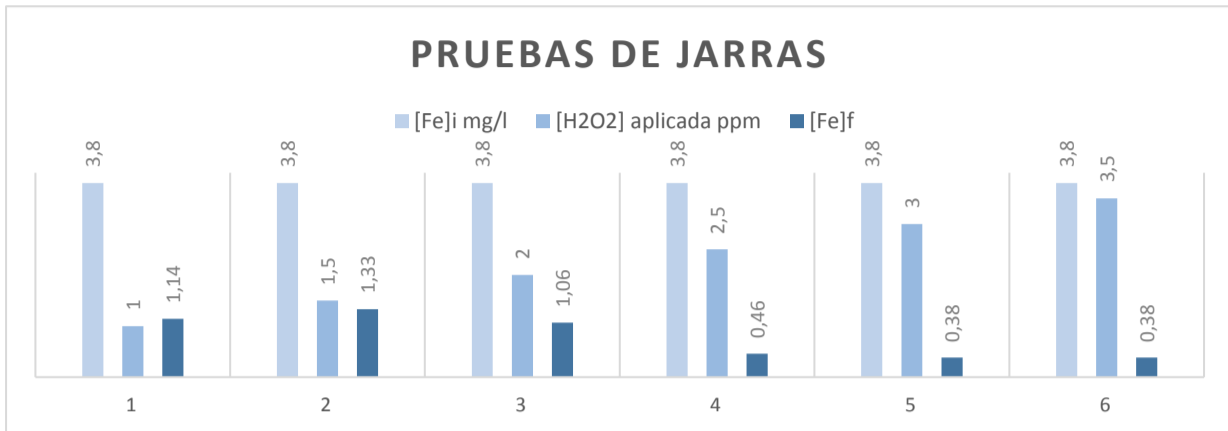
#### 6.1. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO DEL MES DE NOVIEMBRE

Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en noviembre con una dosis de peróxido de 2ppm a 2,5ppm, aunque en la mayoría del mes el agua cumple con los parámetros físico-químico exigido por la norma, se puede observar que en algunos días donde el pH de agua cruda estuvo por debajo de 7 altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm ) y color ya que el hierro cuando está incumpliendo la norma le da apariencia de color rojizo al agua en las líneas de distribución.

## MES DE DICIEMBRE

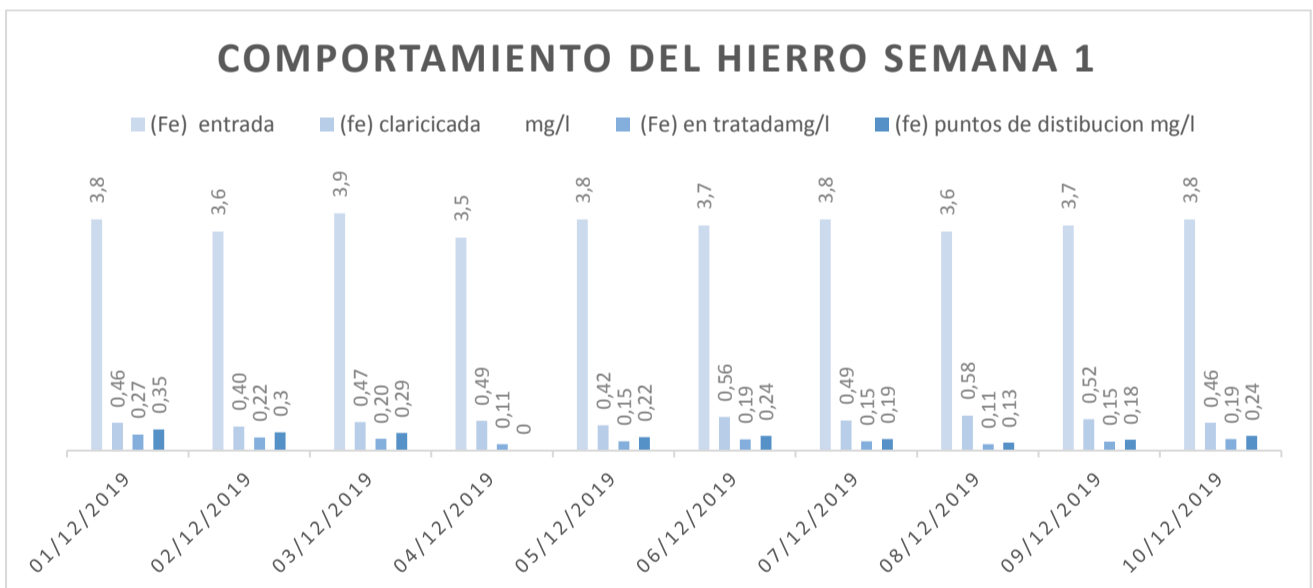
### DICIEMBRE - SEMANA 1

Figura 11. Pruebas de jarras, semana 1, diciembre.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 3,8 ppm el día 1 de diciembre se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 3 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (5) con la cual se continuo con la evaluación

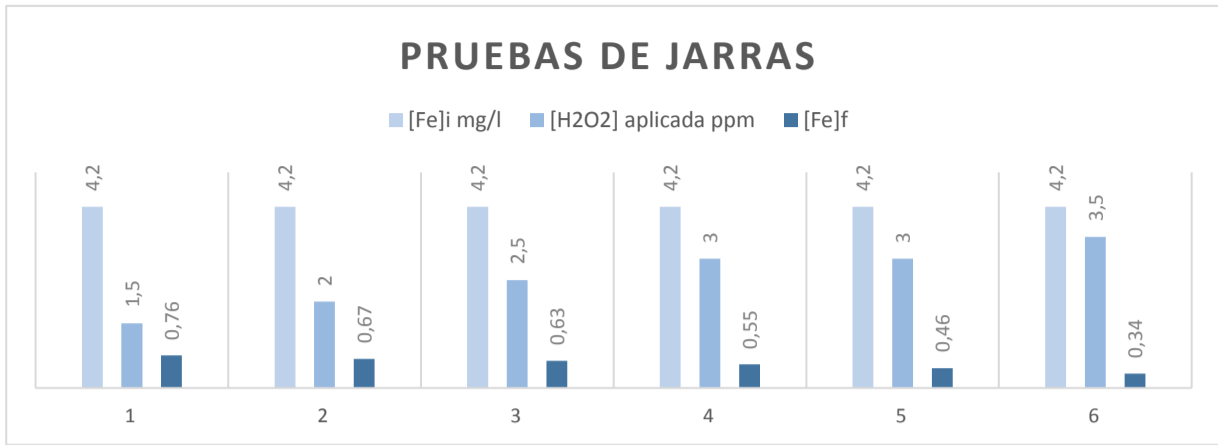
Figura 12. Comportamiento del hierro, semana 1, diciembre.



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la primera semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,8 ppm y oscilo hasta 3,9 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 3 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 de la evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, el primer de esta semana de evaluación el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada 0,35ppm de Fe, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm).

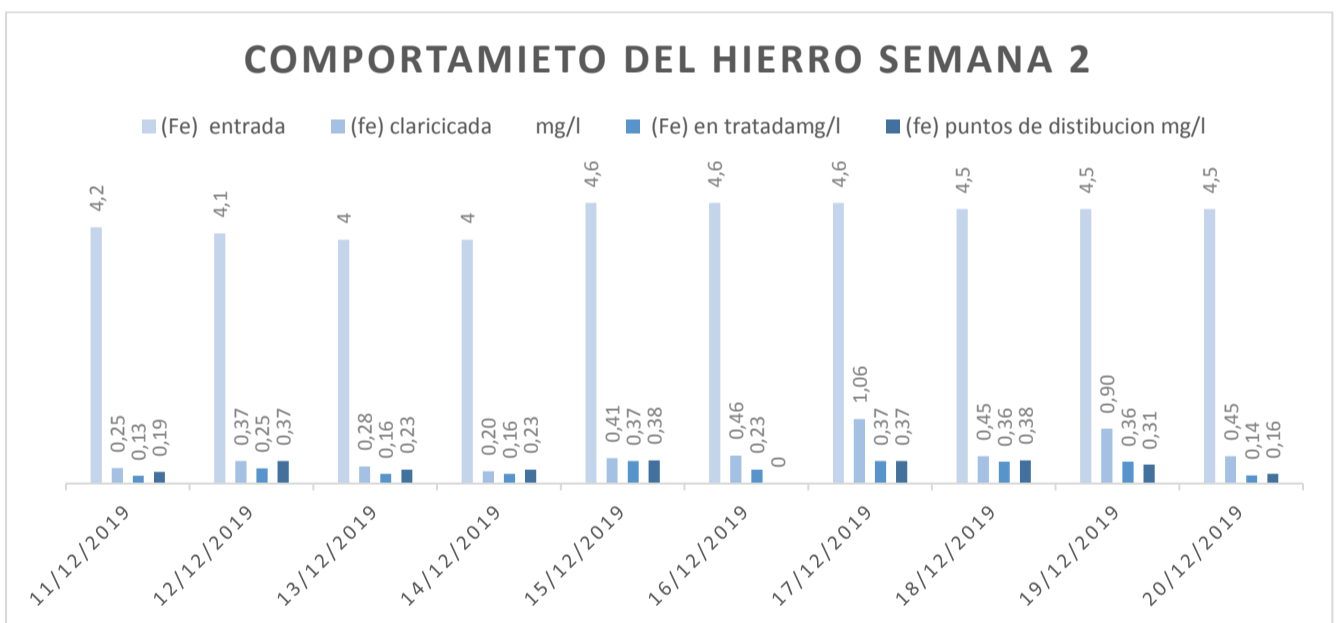
### DICIEMBRE - SEMANA 2

Figura 13. Pruebas de jarras, semana 2, diciembre.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 4,2 ppm el día 11 de diciembre se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (6) con la cual se continuo con la evaluación en planta.

Figura 14. Comportamiento del hierro, semana 2, diciembre.

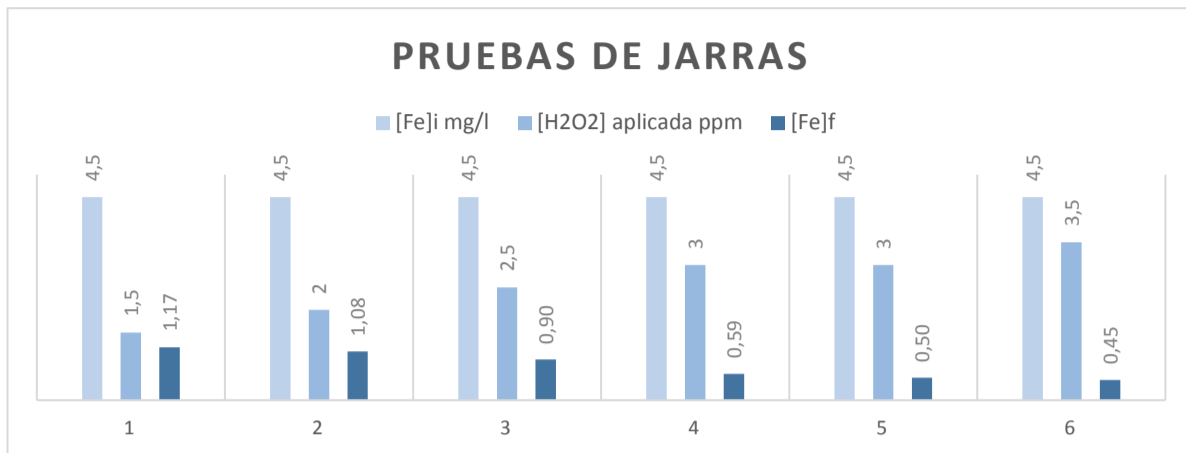


Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de diciembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 4,2 ppm y oscilo hasta 4,6 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 3,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, los día 17,18 y19 de diciembre de evaluación el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada 0,36ppm de Fe, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm).



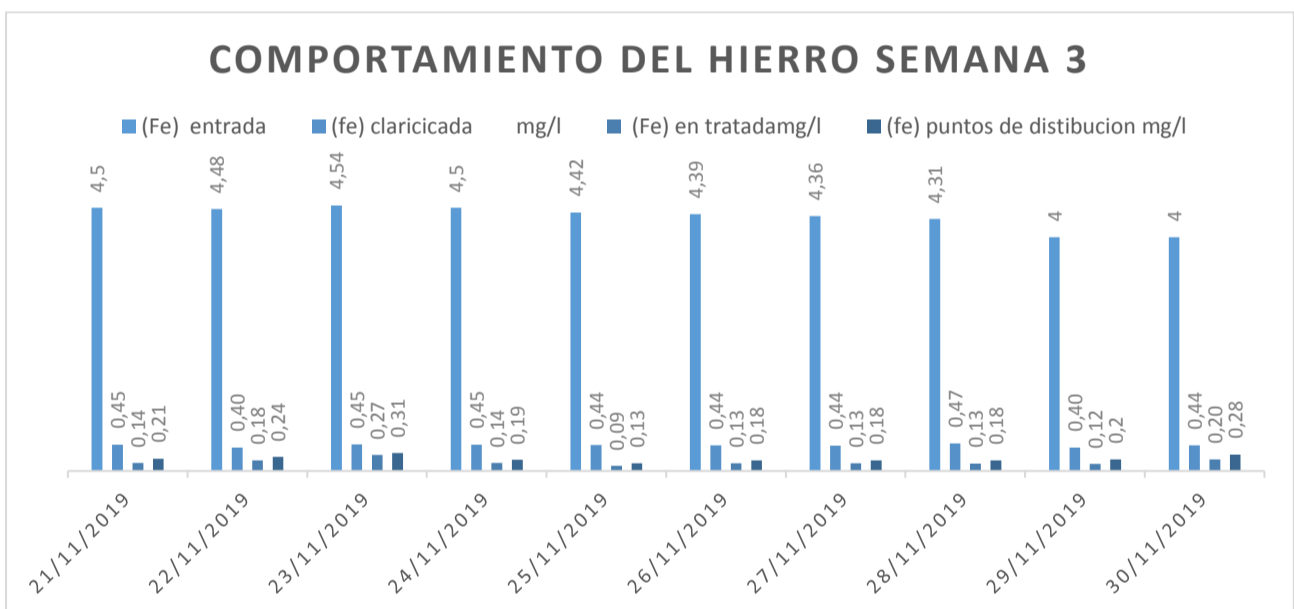
## DICIEMBRE - SEMANA 3

Figura 15. Pruebas de jarras, semana 3, diciembre.



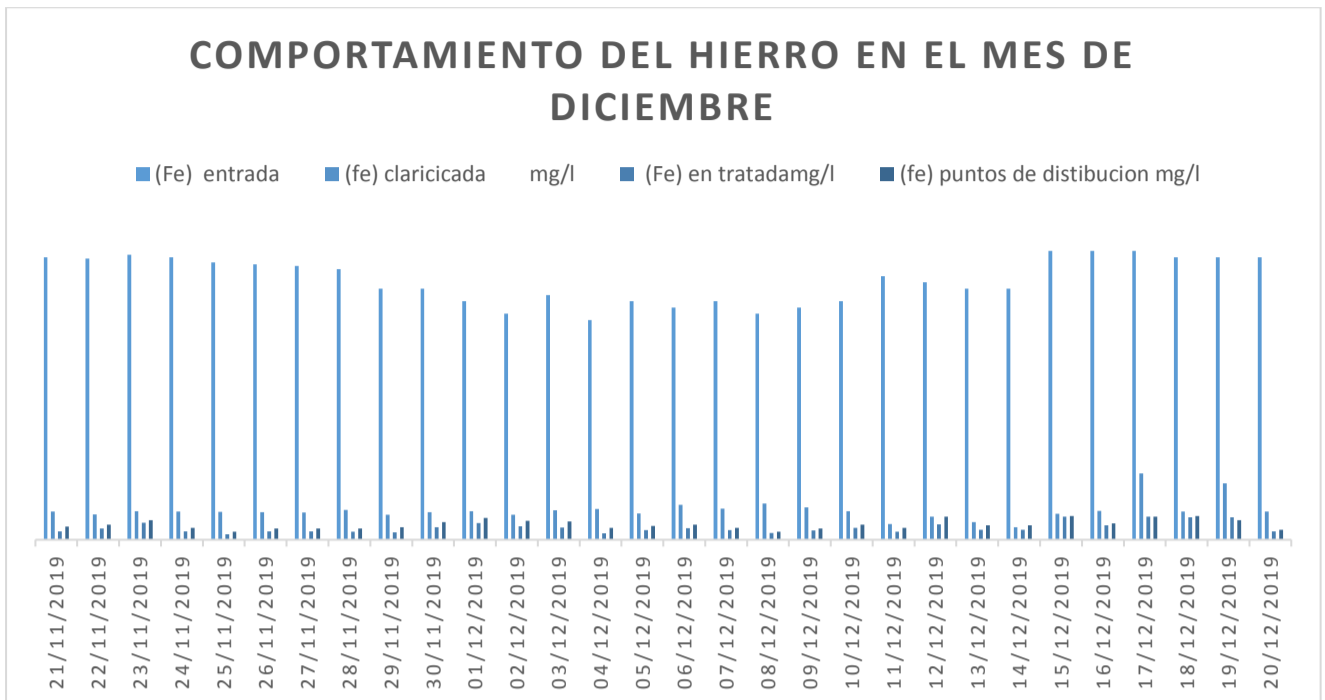
Con base en los resultados de hierro de entrada de 4,5 ppm el día 21 de diciembre se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (6) con la cual se continuo con la evaluación en planta.

Figura 16. Comportamiento del hierro, semana 3, diciembre. Pruebas de jarras



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de diciembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 4,5 ppm y oscilo hasta 4 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 3,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm a la salida de planta. El día 23 de diciembre se presentó un hierro residual de hierro en un punto de distribución por fuera de la norma (0,31 ppm Fe) lo cual nos da como referencia que como mínimo la salida de planta debe estar en 0,2 ppm de Fe para garantizar la calidad de agua en red.

Figura 17. Comportamiento del hierro en el mes de diciembre.



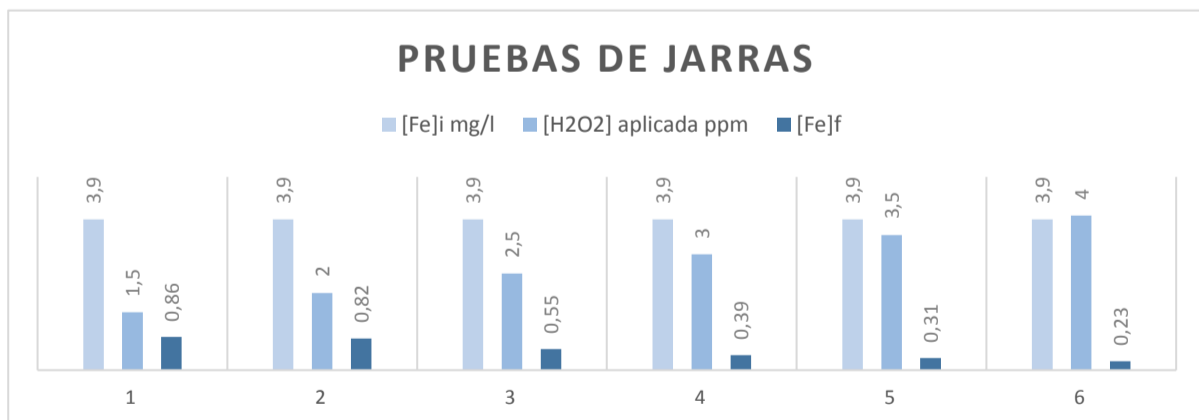
## 6.2. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO EN EL MES DE DICIEMBRE

Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en diciembre con una dosis de peróxido de 3ppm a 3,5ppm, en este mes hay mayor remoción de hierro y aunque en la mayoría del mes cumple con los parámetros físico-químico exigido por la norma, se puede observar que en algunos días donde el pH de agua cruda estuvo por debajo de 7 altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm ) y color ya que el hierro cuando está incumpliendo la norma le apariencia de color rojizo al agua en las líneas de distribución este comportamiento es muy similar al mes de noviembre.

## MES DE ENERO

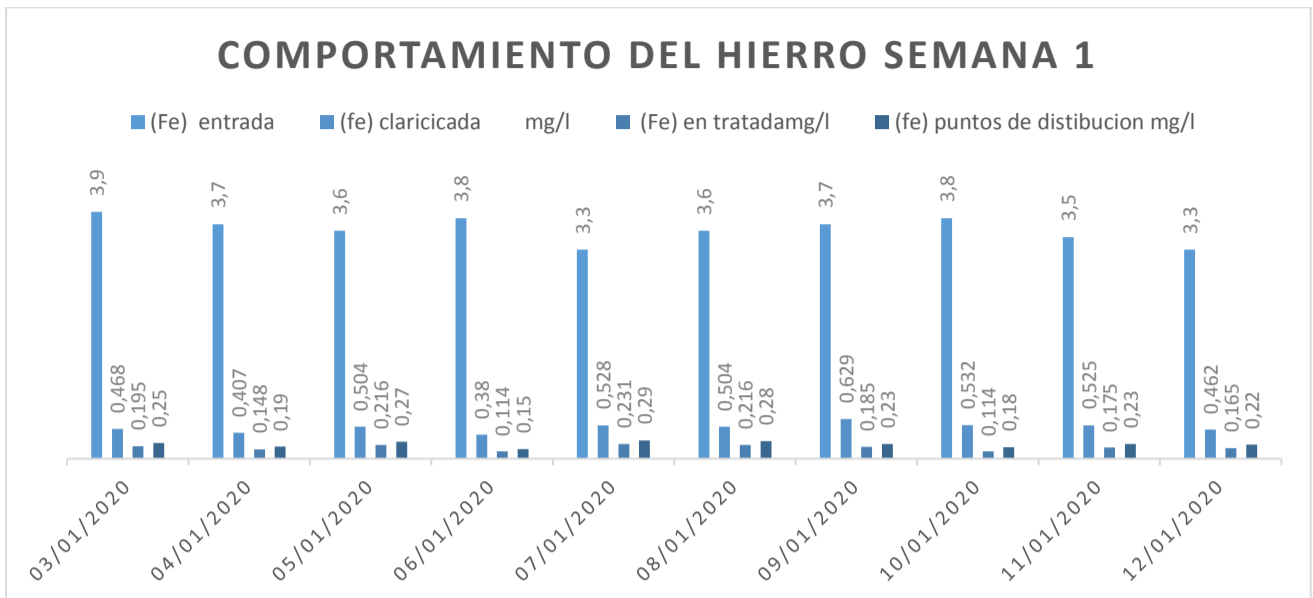
### ENERO - SEMANA 1

Figura 18. Pruebas de jarras, semana 1, enero.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 3,9 ppm, el día 1 de enero de 2020 se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 4 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 4 ppm(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (4), debido a que la dosis de 3ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) presento un comportamiento similar a la de 4ppm(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en cuanto a remoción con una diferencia de 3% se determinó escoger la dosis de 3ppm(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con el fin de ahorrar la dosificación de (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.) Se realizó la modificación de la aplicación de dosis en la evaluación de hierro en planta.

Figura 19. Comportamiento del hierro, semana 1, enero.

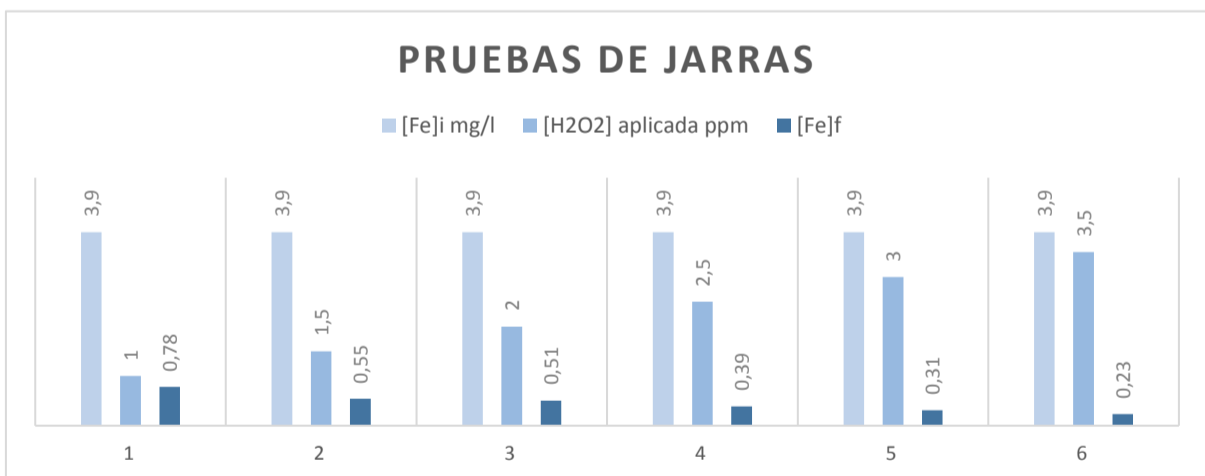


Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la primera semana de enero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,9 ppm y oscilo hasta 3,3 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 3 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

### MES DE ENERO

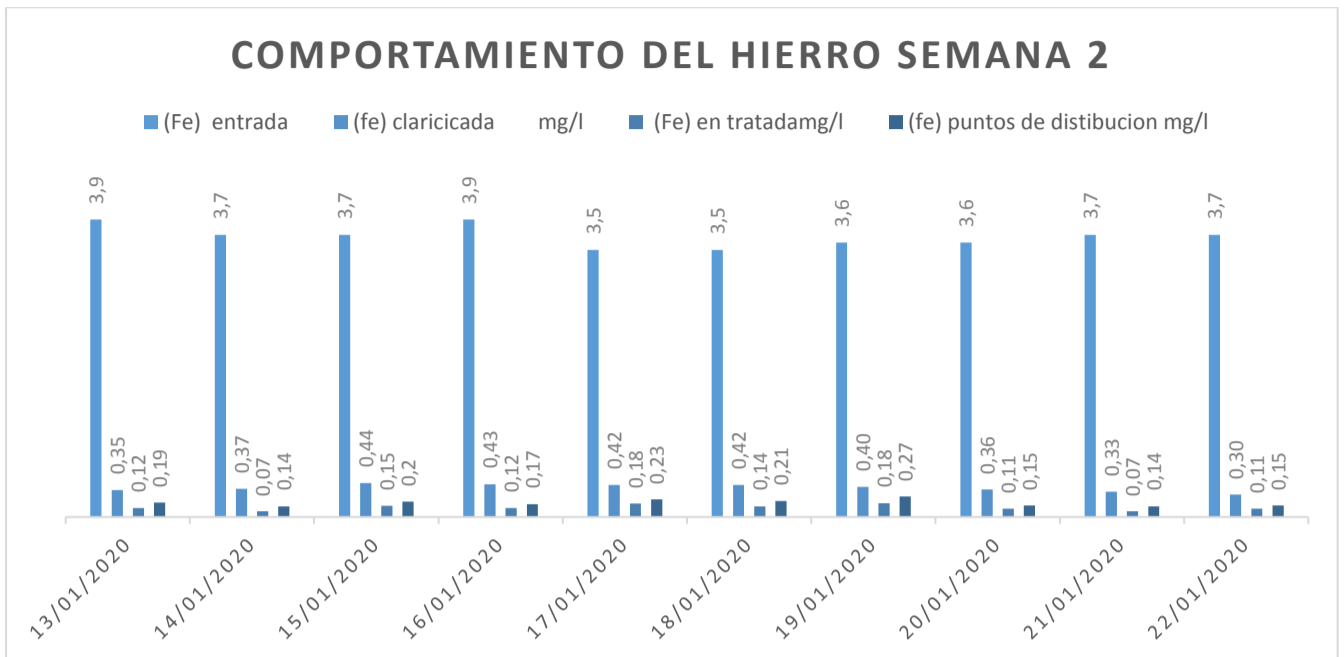
#### ENERO - SEMANA 2

Figura 20. Pruebas de jarras, semana 2, enero.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 3,9 ppm el día 13 de enero de 2020 se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1, ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 2,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (4) la cual se aplicó y se continuo con la evaluación en planta.

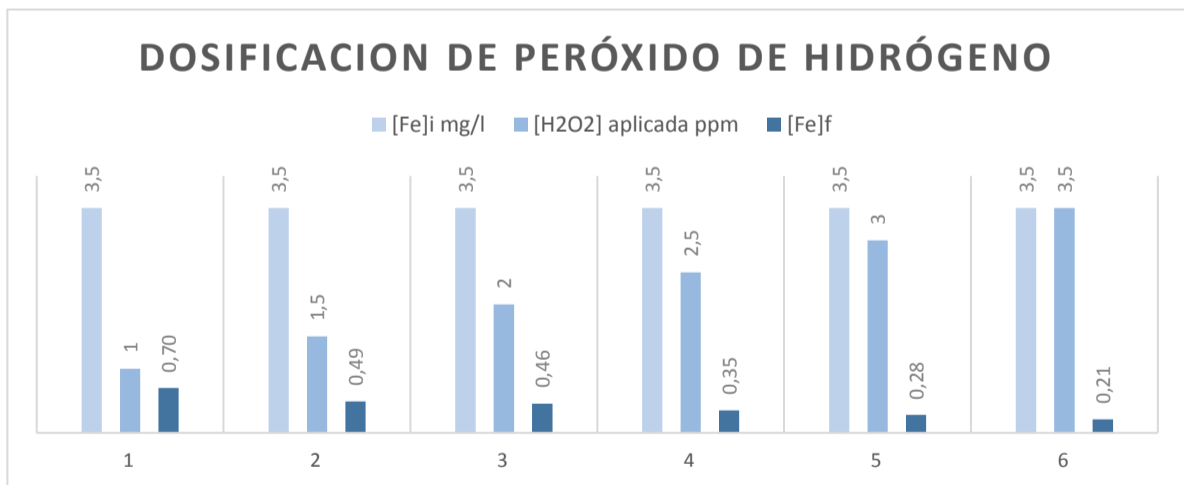
Figura 21. Comportamiento del hierro, semana 2, enero.



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de enero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,9 ppm y oscilo hasta 3,5 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

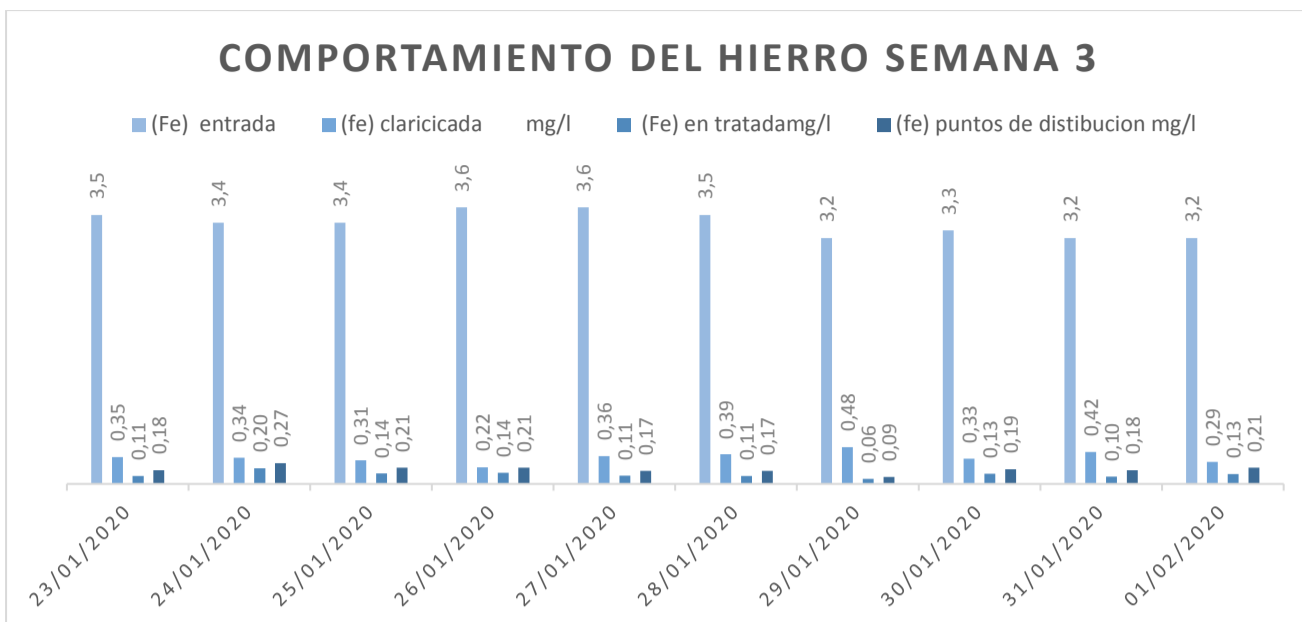
### ENERO - SEMANA 3

Figura 22. Pruebas de jarras, semana 3, enero.



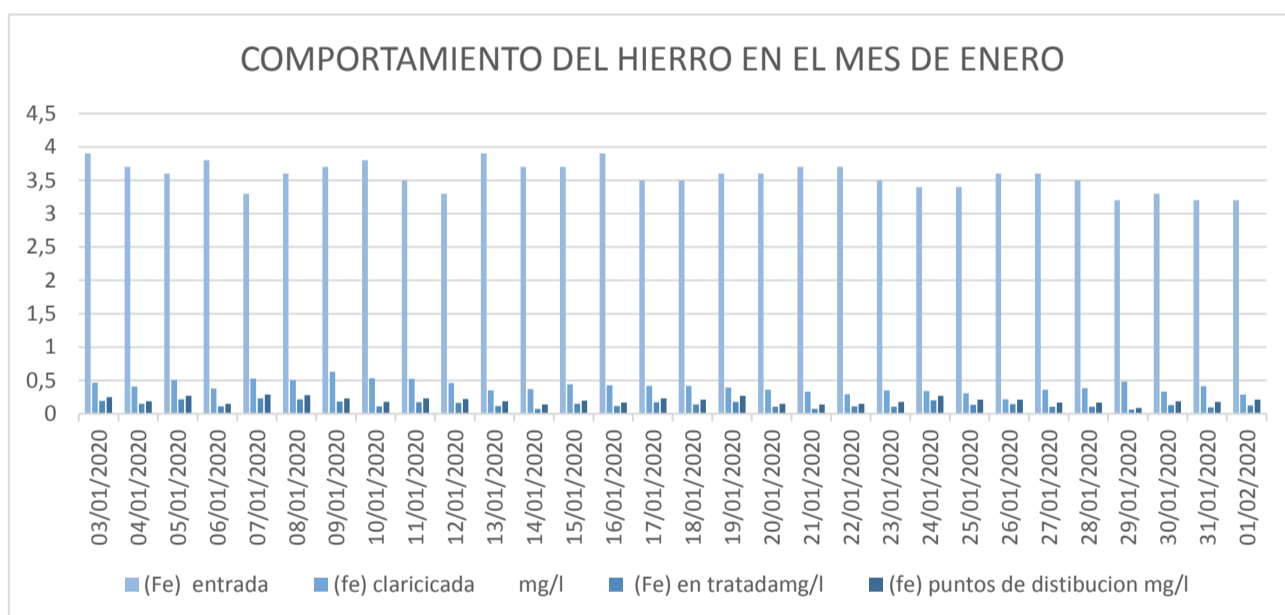
Con base en los resultados de hierro de entrada de 3,5 ppm el día 23 de enero de 2020 se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1, ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 2,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (4) la cual se aplicó y se continuo con la evaluación en planta.

Figura 23. Comportamiento del hierro semana 3, enero.



Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de enero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,5 ppm y oscilo hasta 3,2 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

Figura 24. Comportamiento del hierro en el mes de enero.



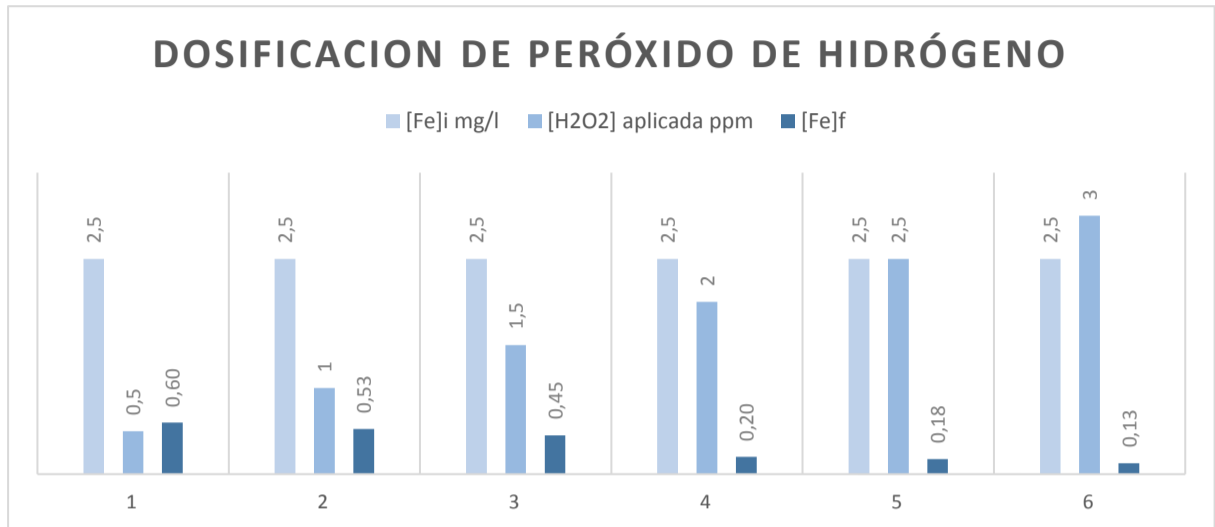
### 6.3. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO EN EL MES DE ENERO

Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en enero con dosis de peróxido 3ppm a 3,5ppm, en este mes se analiza que el agua cumple con los parámetros físico químico exigido por la normatividad durante todo el mes, se puede observar que la mayor remoción de hierro ocurre cuando se incrementa el pH en pre tratamiento por encima de 7,5 unidades da como resultado que el agua tratada y el agua en puntos de distribución están en los parámetros exigido por normatividad vigente.

## MES DE FEBRERO

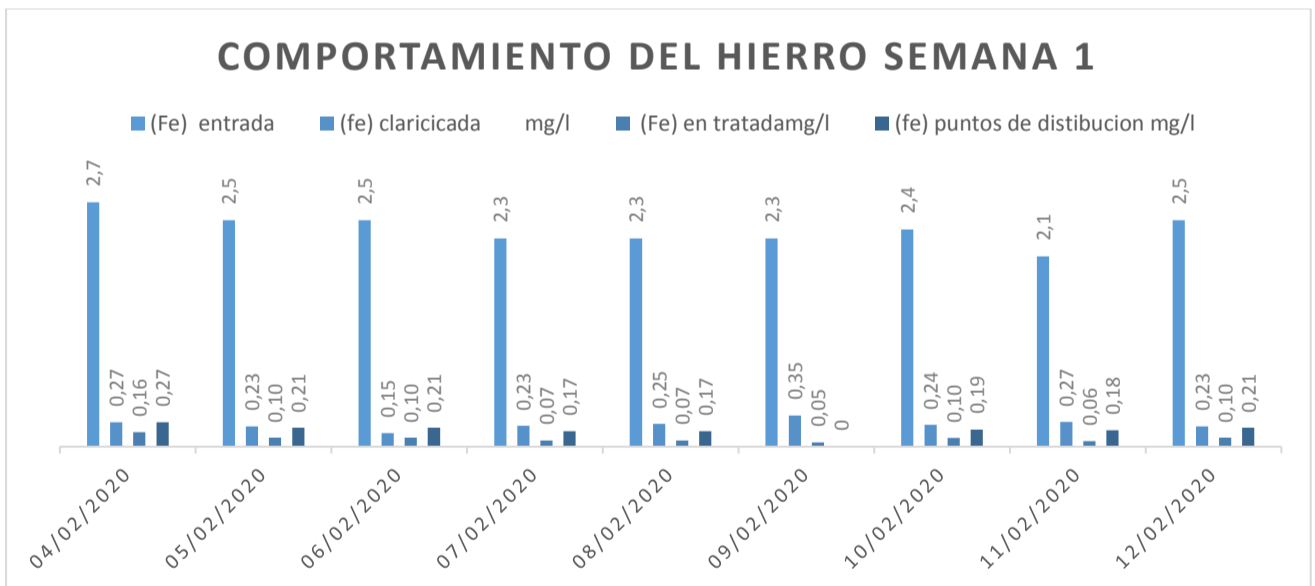
### FEBRERO – SEMANA 1

Figura 25. Pruebas de jarras, semana 1, febrero.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 2,5 ppm el día 3 de febrero de 2020 se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1, ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 2 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (4) la cual se aplicó y se continuo con la evaluación en planta.

Figura 26. Comportamiento del hierro, semana 1, febrero.

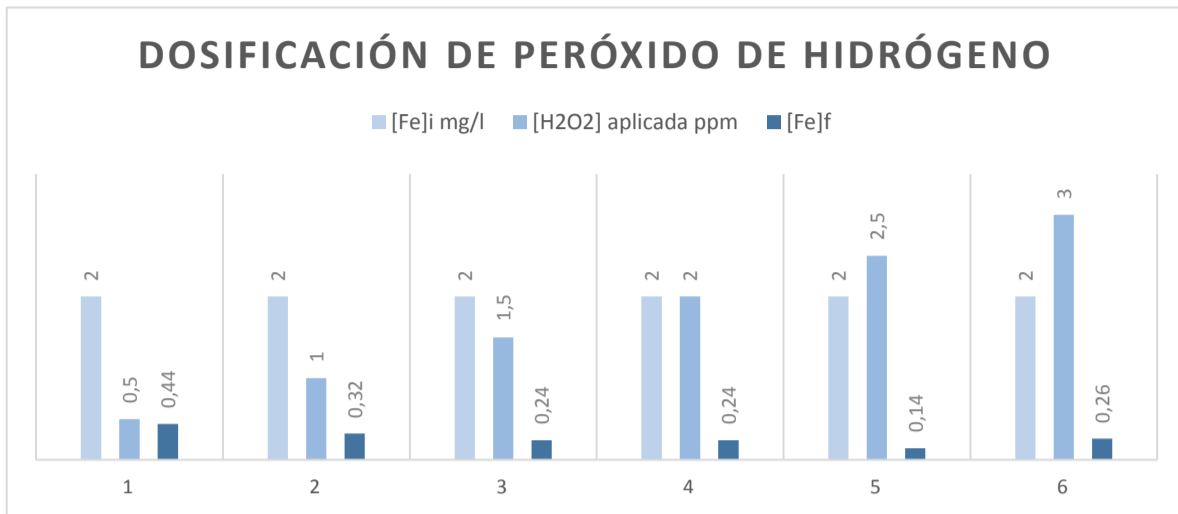


Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la primera semana de febrero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 2,7 ppm y oscilo hasta 2,1 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 2 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

El pH de agua cruda para el proceso de remoción de hierro a través de peróxido de hidrogeno da como mejor resultado por encima de 7 unidades.

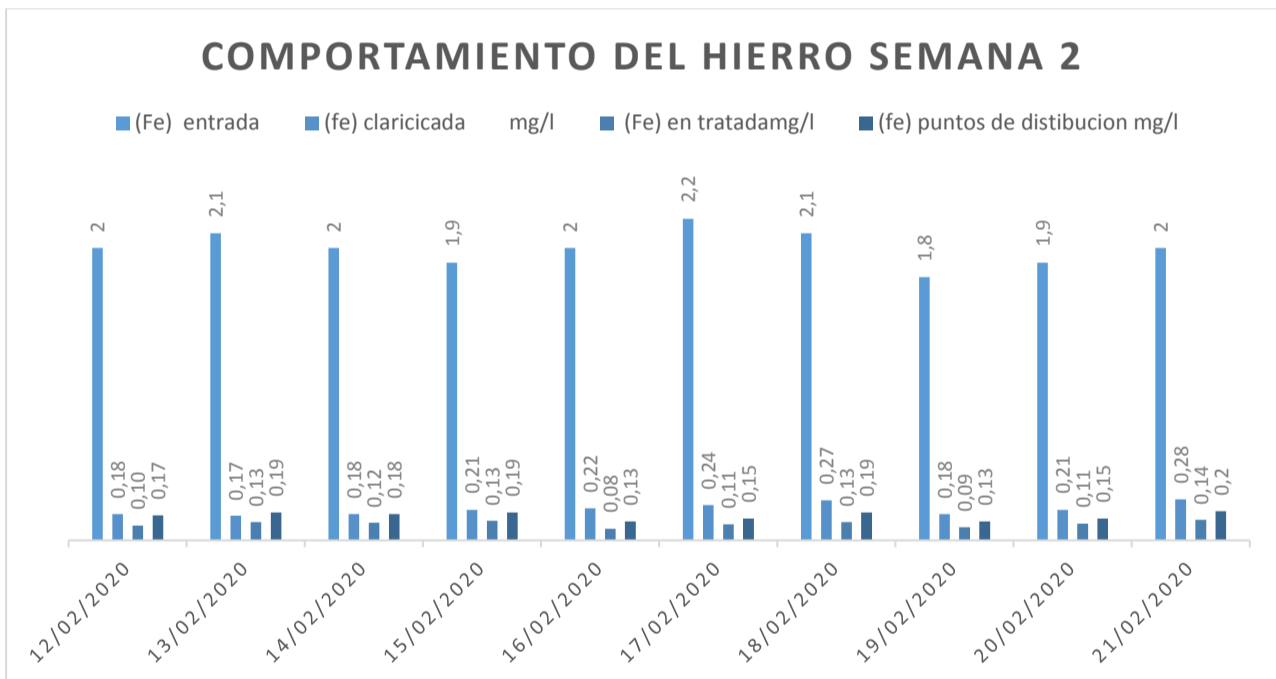
**FEBRERO - SEMANA 2**

Figura 27. Pruebas de jarras, semana 2, febrero.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 2 ppm el día 12 de febrero de 2020 se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 1, ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 3 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis optima 1,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (3) la cual se aplicó y se continuo con la evaluación en planta.

Figura 28. Comportamiento del hierro, semana 2, febrero.

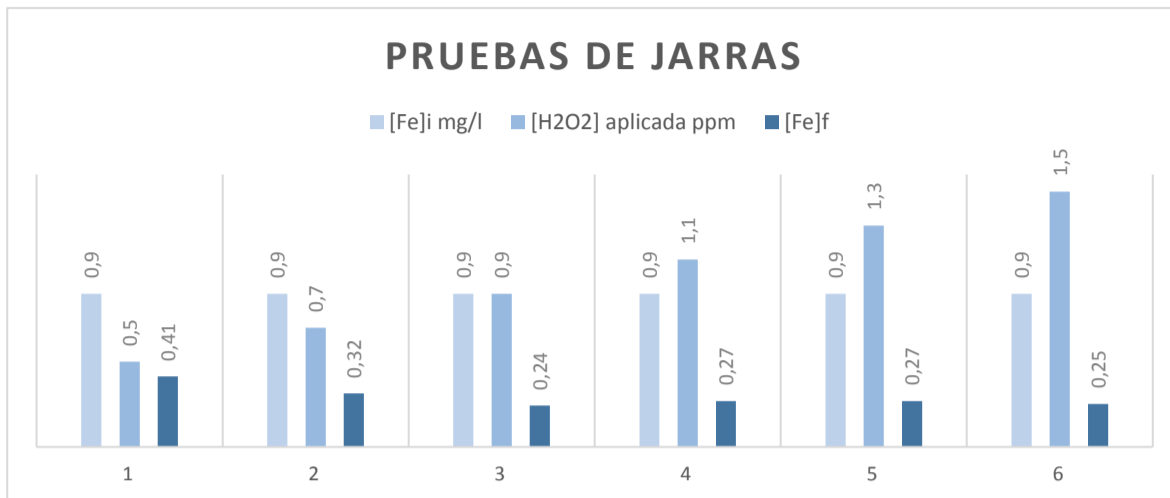


Esta grafica muestra el comportamiento la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de febrero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 2 ppm y oscilo hasta 2,2 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 1,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

El pH de agua cruda para el proceso de remoción de hierro a través de peróxido de hidrogeno da como mejor resultado por encima de 7 unidades.

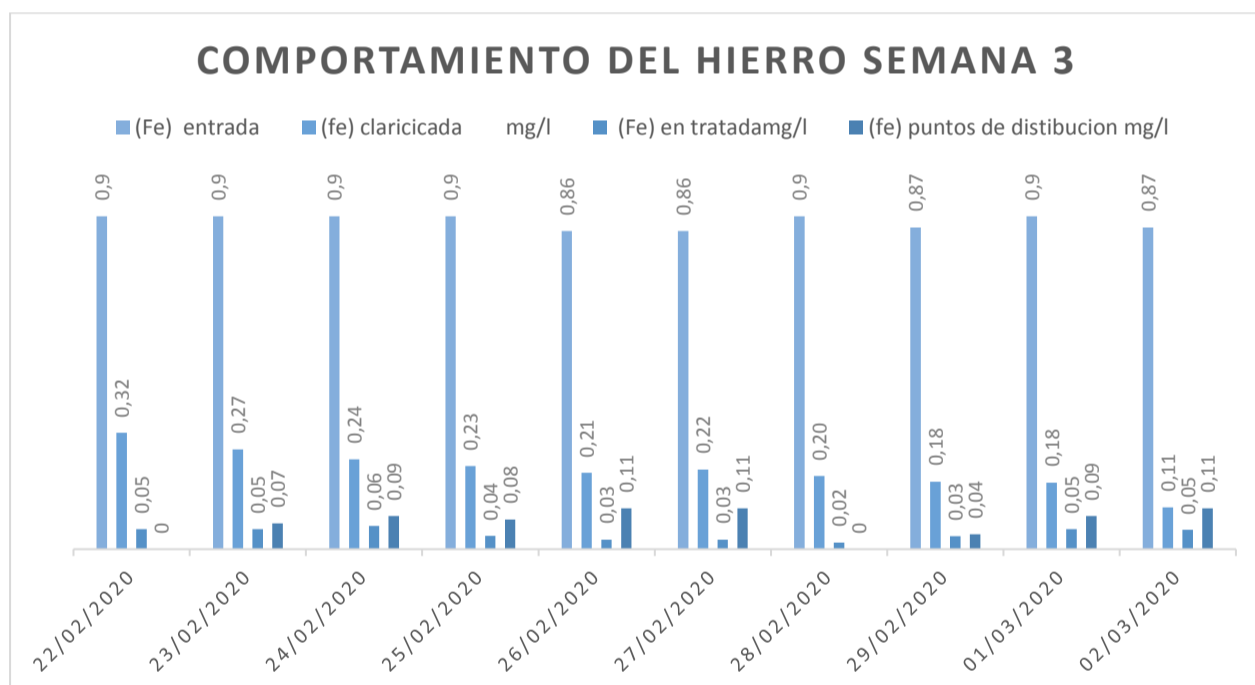
## FEBRERO - SEMANA 3

Figura 29. Pruebas de jarras, semana 3, febrero.



Con base en los resultados de hierro de entrada de 0,9 ppm el cual fue el hierro más bajo durante la evaluación debido a los niveles bajos de la ciénaga el día 22 de febrero de 2020 se realizaron pruebas de jarra en la que se inició la dosis a partir de 0,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) hasta de 1,5 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), se realiza los respectivos análisis de remoción arrojando como dosis óptima 0,9 ppm (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) jarra (3) la cual se aplicó y se continuó con la evaluación en planta.

Figura 30. Comportamiento del hierro, semana 3, febrero.



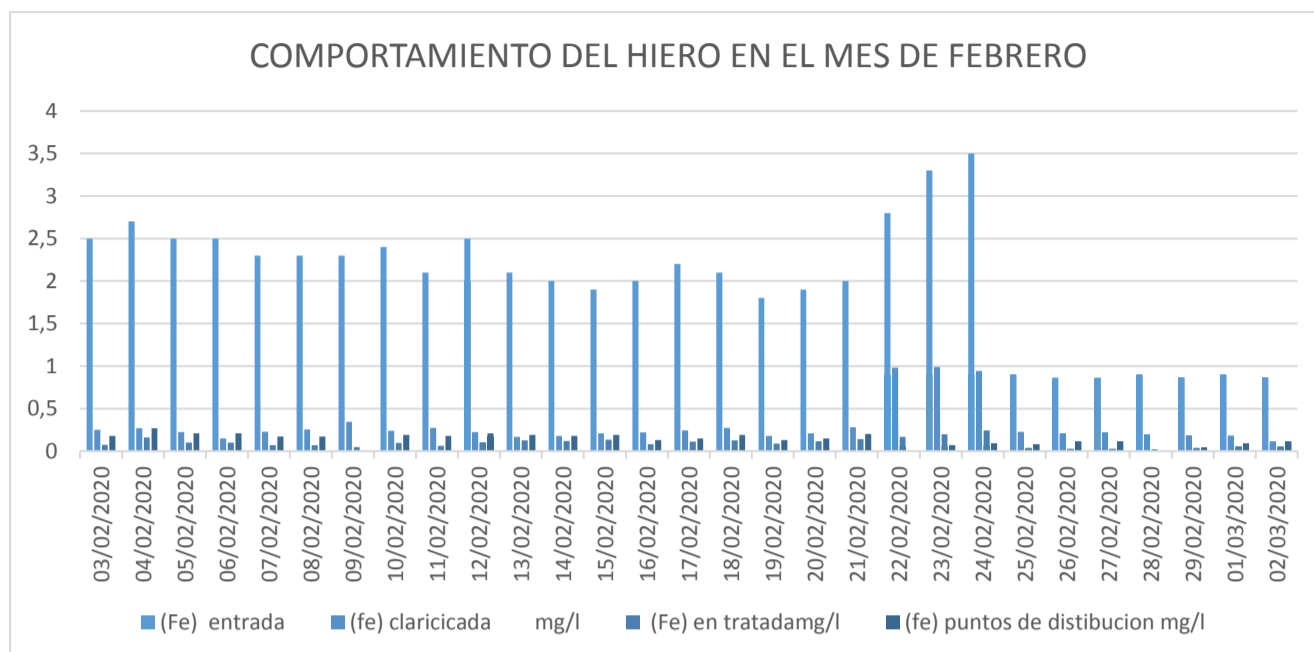
Esta gráfica muestra el comportamiento de la remoción del (Fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de febrero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 0,9 ppm y osciló hasta 0,8 ppm, se logró mantener una dosis de peróxido de 0,9 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red.

Cabe recordar que esta última evaluación de hierro se hizo con el fin de continuar con la prueba ya que el hierro de entrada es muy bajo y se puede remover presentando valores aceptables por norma con los dos sistemas de aireación fijos que hay en planta.

El pH de agua cruda para el proceso de remoción de hierro a través de peróxido de hidrógeno da como mejor resultado por encima de 7 unidades.



Figura 31. Comportamiento del hierro en el mes de febrero.



#### 6.4. COMPORTAMIENTO DEL HIERRO EN EL MES DE FEBRERO

Esta grafica muestra el comportamiento de la remoción del (Fe) en febrero con dosis de peróxido 0,9ppm a 1,5ppm, en este mes se analiza que las dosis de peróxido fueron baja con referencia los meses anteriores ya que el hierro entrada del agua cruda presentaba valores relativamente bajo, esta prueba se hizo con el objetivo de revisar el comportamiento del hierro en el agua ,aunque no era necesario la remoción con este agente oxidante por los niveles de hierro de entrada, sin embargo continuo con el análisis en este mes el agua cumple con los parámetros físico químico exigido por la normatividad durante todo el mes ,se puede observar que la mayor remoción de hierro ocurre cuando se incrementa el pH en pre tratamiento por encima de 7,0 unidades da como resultado que el agua tratada y el agua en puntos de distribución están en los parámetros exigido por normatividad vigente.

#### 6.5. ANÁLISIS GENERAL DEL COMPORTAMIENTO DEL HIERRO

Con base a los resultados de hierro arrojados durante la evaluación de la remoción de hierro a través del proceso de oxidación con peróxido de hidrogeno en planta de tratamiento del distrito de Barrancabermeja, se logró determinar el promedio de las dosis de peróxido en el pretratamiento que permita obtener mayor remoción del Fe en el agua cruda, clarificada y tratada.

Se observa que la variación del pH, hierro, turbiedad en la ciénaga san silvestre está a condicionada por las diferentes épocas del año, en invierno el hierro de agua cruda se incrementa junto con la turbiedad de entrada de agua cruda. El pH de agua cruda baja a medida que se incrementó el hierro y la turbiedad.

Se analizó que el aumento de las unidades pH en agua cruda mejora el proceso de oxidación logrando una mejor remoción de hierro en el agua clarificada y tratada. Se observa variación del pH, hierro, turbiedad, en donde se analizó que la disminución de las unidades pH (<7) en agua cruda alteran el proceso de oxidación desmejorando la remoción de hierro en el agua clarifica y tratada.

Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado lo cual incrementa el riesgo de que el agua tratada este por fuera de parámetro en el

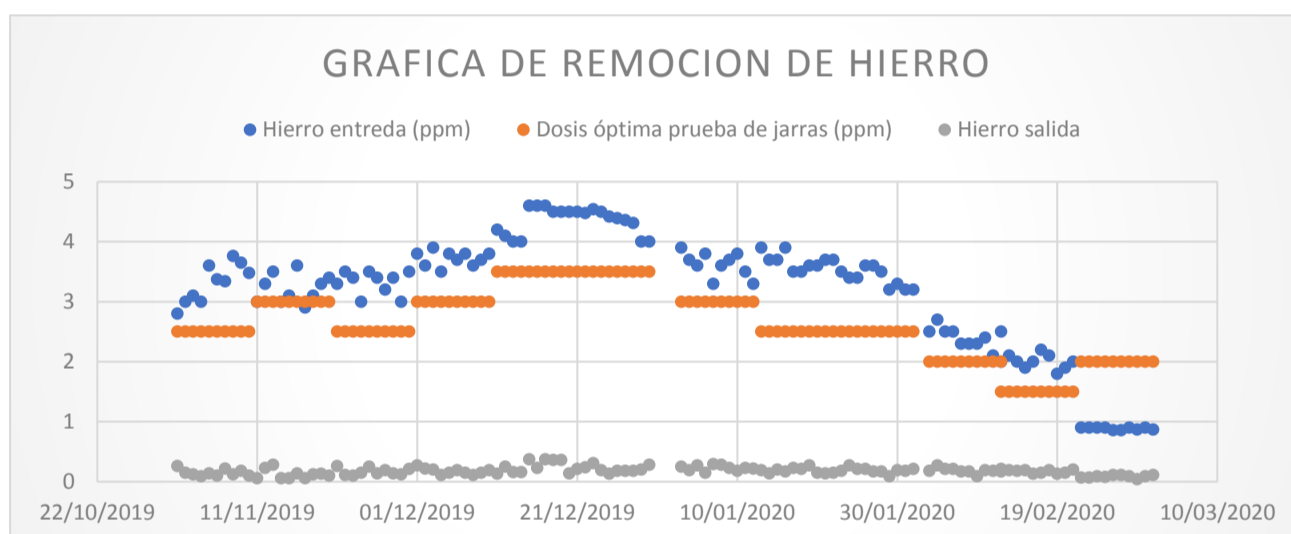
color. A medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda son dos parámetros que son directamente proporcional en la ciénaga san silvestre.

Se analizó que a mayor oxidación hay un mejor porcentaje de remoción en agua clarificada y tratada. Cuando los porcentajes de remoción en clarificada es mayor al 90%, la calidad de agua tratada y en puntos de distribución cumple con lo establecido por normatividad (color y hierro).

Cuando la remoción de hierro en agua clarificada es menor al 89%, los niveles de hierro presentes en el agua tratada se elevan permaneciendo dentro de la normatividad. Posteriormente en el proceso de distribución el residual de hierro se incrementa por las líneas de conducción afectando la calidad en los puntos de muestreo. Dando como resultado agua por fuera de la normatividad (hierro > 0.30mg/l color > 15 upc), es decir se precisa garantizar la remoción del hierro en agua clarificada mayor o igual al 90% para garantizar la calidad de agua en los diferentes puntos del distrito Barrancabermeja.

De igual manera la reducción de la concentración de Fe con peróxido de hidrogeno permite que se realicen los procesos unitarios con la confianza de tener un agua con contenidos mínimos de Hierro, el cual es un metal altamente corrosivo que podría afectar las redes de distribución y los mismos equipos dentro de la PTAP.

Figura 32. grafica de remoción de hierro general.



### 6.6. ESTANDARIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDROGENO SEGÚN EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE HIERRO POR MEDIO DE OXIDACIÓN CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.

Estas dosificaciones se hacen con respecto a la evaluación que se hicieron durante los cuatro meses, teniendo en cuenta las tendencias altas de remoción con factores como la presencia del hierro, dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y pH (Anexo No. 3).

Cuadro 2. Tabla de dosificación de peróxido de hidrogeno.

Fe	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	pH
Menor a 2ppm	0	7,5
2ppm a 2,99ppm	2,5ppm	7,5
3ppm a 4,5ppm	2,5 ppm a 3,5ppm	7,5

Cuadro 3: Resumen de resultados de gráficas.

NOVIEMBRE	
Primera semana de noviembre	En esta evaluación se muestra el comportamiento de la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la primera semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 2,8 ppm y oscilo hasta 3,7 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 manteniendo la remoción de hierro necesaria, condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, en los días que el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm ).se observa que a mayor hierro detectado en la muestra mayor color se ve reflejado.
Segunda semana de noviembre	En esta evaluación se muestra el comportamiento de la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3 ppm y oscilo hasta 3,6 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 2 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, el día 3 de evaluación el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada 0,36ppm de Fe, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm ). Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua calificada y tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de noviembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,3 ppm y oscilo hasta 3,5 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
DICIEMBRE	
Primera semana de diciembre	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la primera semana de diciembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,8 ppm y oscilo hasta 3,9 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 3 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 de la evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, el primer de esta semana de evaluación el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada 0,35ppm de Fe, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm ). Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
Segunda semana de diciembre	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de diciembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 4,2 ppm y oscilo hasta 4,6 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 3,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria condicionada al pH de agua cruda por encima de 7 unidades, los día

	17,18 y19 de diciembre de evaluación el pH estuvo por debajo de este rango altero la remoción de hierro en agua clarificada lo cual a su vez altero la calidad de agua tratada 0,36ppm de Fe, incumpliendo la normatividad en cuanto al parámetro físico de hierro (0,3 ppm ). Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
Tercera semana de diciembre	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de diciembre aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 4,5 ppm y oscilo hasta 4 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 3,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm a la salida de planta. El día 23 de diciembre se presentó un hierro residual de hierro en un punto de distribución por fuera de la norma (0,31ppm Fe) lo cual nos da como referencia que como mínimo la salida de planta debe estar en 0,2ppm de Fe para garantizar la calidad de agua en red. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
<b>ENERO</b>	
Primera semana de enero	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la primera semana de enero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,9 ppm y oscilo hasta 3,3 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 3 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 de evaluación, manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
Segunda semana de enero	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de enero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,9 ppm y oscilo hasta 3,5 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
Tercera semana de enero	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de enero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 3,5 ppm y oscilo hasta 3,2 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 2,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.
<b>FEBRERO</b>	
Primera semana de febrero	En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la primera semana de febrero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 2,7 ppm y oscilo hasta 2,1 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 2 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 1 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el

	<p>agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. El pH de agua cruda para el proceso de remoción de hierro a través de peróxido de hidrogeno da como mejor resultado por encima de 7 unidades. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.</p>
Segunda semana de febrero	<p>En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la segunda semana de febrero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 2 ppm y oscilo hasta 2,2 ppm estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 1,5 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 2 de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. El pH de agua cruda para el proceso de remoción de hierro a través de peróxido de hidrogeno da como mejor resultado por encima de 7 unidades. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.</p>
Tercera semana de febrero	<p>En esta evaluación se muestra el comportamiento la remoción del (fe) en planta de tratamiento de la tercera semana de febrero aunque el hierro de entrada inicialmente fue de 0,9ppm y oscilo hasta 0,8 ppm, estos fueron los promedios con el cual se logró mantener una dosis de peróxido de 0,9 ppm arrojada por la prueba de jarras del primer día de la semana 3de evaluación manteniendo la remoción de hierro necesaria en el agua clarificada y tratada cumpliendo con lo establecido por normatividad vigente en cuanto al parámetro de hierro de 0,3 ppm mínimo en red. Se observa que a mayor hierro detectado en la muestra de agua tratada mayor color se ve reflejado a medida que la turbiedad de entrada sube incrementa el hierro en el agua cruda.</p>

## 7. APRECIACIONES

Los resultados obtenidos de la variable de interés resultan satisfactorios en cuanto a la remoción de la [Fe] presente en el agua cruda de la ciénaga San Silvestre, ya que se ajustan a la resolución 2115 de 2007. De igual manera el cruce de datos de fase 1 y fase 2 determinan una relación directa entre el pH y la eficiencia de la [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] en la remoción de Fe del agua cruda. Las tablas y gráficas muestran el comportamiento del hierro durante los respectivos muestreos bajo las condiciones establecidas, lo cual permite la realización de las siguientes apreciaciones:

- El proceso es altamente dependiente del pH, esto debido a que la reacción de oxidación del Fe posee ciertos rangos de pH óptimos, los cuales han sido estudiados anteriormente; (Fair et al, 1984), como se citó en (Marín, 2011) indica que “con respecto a la cinética de la oxidación del Hierro (II) es correcto afirmar que la oxidación del hierro es completamente rápida a pH 7.2”.
- La cantidad de peróxido de Hidrógeno incide relativamente en la velocidad de reacción de la oxidación de hierro; sin embargo, según la literatura, la reacción es hasta cierto punto independiente de la [ ] de los reactivos y por otro lado, la reacción es bastante sensible a un cambio de pH o temperatura (Petrucci et al, 2003), como se citó en (Marín, 2011, pág. 76).
- Se requiere de un tiempo suficiente de contacto entre el metal y el químico para que se logre la mayor remoción posible, este tiempo de retención es cercano a los 30 minutos.
- Se pudo determinar que existe una relación positiva entre la aplicación de Peróxido de Hidrógeno y la reducción de los valores de color (UPC) y turbiedad (UNT), esto puede estar relacionado a que, químicamente el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reaccione con algunos componentes del agua cruda y facilite la precipitación de sólidos presentes en el agua.
- La concentración que debe utilizarse en el pretratamiento del agua cruda con peróxido de Hidrógeno no debe superar los 5mg/l dado que, por encima de este valor se presentaría un exceso del compuesto químico en el agua, lo cual implica costos financieros elevados por la incorrecta aplicación del insumo.

## 8. CONCLUSIÓN

El desarrollo del proyecto aplicado permitió determinar que la aplicación de peróxido de Hidrógeno como agente oxidante del Fe presente en el agua cruda de la ciénaga San Silvestre resulta ser de gran utilidad para el proceso en general, puesto que reduce la concentración del metal a niveles ajustados a la resolución 2115 de 2007 (0.3 ppm).

El análisis cualitativo y cuantitativo de los procesos realizados dentro de la PTAP de la empresa Aguas de Barrancabermeja S.A, ESP permitió realizar la evaluación de la incidencia de la aplicación del reactivo oxidante ( $H_2O_2$ ) dentro del proceso de tratamiento del agua de la empresa, puesto que por medio de la descripción al detalle de cada uno de los procesos se pudo conocer los requerimientos técnicos, operativos y las condiciones mínimas que debe tener el agua a tratar para el perfecto andamiaje de cada proceso unitario. De igual manera se pudo corroborar el alto grado de interés de la empresa de actualizar y/o mejorar sus procesos para brindar un agua potable de calidad.

La oscilación de pH para obtener los mayores valores de oxidación de Fe y a su vez remoción está entre el rango de 7,2 y 7,8, dato que fue validado por la literatura existente y algunos datos de investigaciones relacionadas al tema de remoción de Fe en agua para posterior potabilización.

El peróxido de Hidrógeno, aparte de ser el agente oxidante del Fe es útil en la inactivación del microorganismo dentro del agua, lo cual permite ofrecer un valor agregado al insumo dentro de sus capacidades operativas en pro del proceso de potabilización.

## 9. RECOMENDACIONES

A modo de recomendaciones se tiene las siguientes consideraciones:

- Cuando la remoción de hierro en agua clarificada es menor al 89%, los niveles de hierro presentes en el agua tratada se elevan permaneciendo dentro de la normatividad. Posteriormente en el proceso de distribución el residual de hierro se incrementa por las líneas de conducción afectando la calidad en los puntos de muestreo. dando como resultado agua por fuera de la normatividad (hierro > 0.30mg/l) color > 15 upc), es decir necesitamos garantizar la remoción del hierro en agua calificada mayor o igual al 90% para garantizar la calidad de agua en los diferentes puntos del distrito Barrancabermeja.
- Es indispensable realizar un estudio que permita determinar qué factores inciden en el aumento o descenso de la concentración de Fe en el agua de la ciénaga San Silvestre y, evaluar si es posible la realización de algún proceso de mitigación de estos procesos en pro de la calidad del agua del espejo de agua y del proceso de potabilización como tal.
- Actualmente las universidades están aportando mucho material de investigación en cuanto a los procesos de potabilización de agua por medio de métodos no convencionales pero efectivos; en este orden de ideas es vital la realización de convenios de cooperación institucional que permita que muchas de estas alternativas sean viabilizadas y estudiadas a nivel de planta en la PTAP de la empresa.
- Se recomienda supervisar que los operarios apliquen la dosis óptima de reactivos en el pretratamiento, como compromiso ambiental y económico, de modo que no existan gastos innecesarios de insumos que impliquen gastos adicionales de dinero y que ambientalmente no se altere aún más la composición fisicoquímica del agua.
- Se recomienda a la empresa Aguas de Barrancabermeja realizar la actualización de la matriz de identificación de riesgo con referencia al parámetro físico del hierro, ya que se tiene como plan de contingencia para la oxidación del hierro a partir de 4,0mg/l en el agua cruda, en esta evaluación se encontró que el valor mínimo para realizar la oxidación de hierro en agua cruda debe de ser a partir de 2 0mg/l para garantizar la calidad del agua mediante la reducción del hierro presente.



## BIBLIOGRAFÍA

- AGUAS DE BARRANCABERMEJA . (s.f.). *SEDIMENTACION*. Obtenido de SEDIMENTACION:  
<http://www.aguasdebarrancabermeja.gov.co/index.php/nuestro-proceso/sedimentacio>
- AGUAS DE BARRANCABERMEJA. (s.f.). *AIREACION*. Obtenido de AIREACIÓN:  
<http://www.aguasdebarrancabermeja.gov.co/index.php/nuestro-proceso/aireacion>
- aguilar muñoz, L., & Duran Torres, C. (01 de 2011). *Química recreativa con agua oxigenada*.  
Obtenido de Química recreativa con agua oxigenada:  
<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/download/2737/2385/>
- Anónimo. (21 de Abril de 2017). <https://fandelagua.com/por-que-es-importante-el-tratamiento-d>.  
Obtenido de <https://fandelagua.com/por-que-es-importante-el-tratamiento-d>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la purificación del agua* (3ra ed., Vols. 1-2-3).
- ASOCIACIÓN DE MÉDICOS DE SANIDAD EXTERIOR. (s.f.). *MÉTODOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA*. Obtenido de MÉTODOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA: <https://amse.es/informacion-salud-y-viajes/recom-generales/273-potabilizacion-del-agua>
- Bnaméricas. (S,f). Obtenido de <https://www.bnamericas.com/es/perfil-empresa/aguas-de-barrancabermeja-sa-e-sp-aguas-de-barrancabermeja>
- Castillo, C. (02 de Mayo de 2015). *Literatura química del Hierro*. Obtenido de [http://literaturaquimicaelhierro.blogspot.com/2015/05/problemas-ambientales-de-su-uso\\_49.html](http://literaturaquimicaelhierro.blogspot.com/2015/05/problemas-ambientales-de-su-uso_49.html)
- CER. (2011). *Dinámica demográfica de la ciudad de Barrancabermeja*. Barrancabermeja. Obtenido de <https://www.barrancabermeja.gov.co/sites/default/files/opendata/Estudio%20sobre%20la%20Din%20%C3%A1mica%20Demogr%C3%A1fica%20de%20la%20ciudad%20de%20Barrancabermeja.pdf>
- Cipagauta, N. (29 de Mayo de 2019). *RCN radio*. Obtenido de <https://www.rcnradio.com/colombia/santanderes/agua-que-consume-barrancabermeja-tiene-bacteria-e-coli-segun-estudio>
- Comunicaciones. (S,f). *Aguas de Barrancabermeja S.A. ESP*. Recuperado el 07 de Octubre de 2019, de <http://www.aguasdebarrancabermeja.gov.co/index.php/2-uncategorised/112-boletin-47>
- Durán, J. C. (2016). *REMOCIÓN DEL ALUMINIO, MANGANESO Y HIERRO DE LAS AGUAS DEL RÍO AUQUI, PARA SU POTABILIZACIÓN, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELLAVISTA; HUARAZ-ANCASH*. Facultad de Ciencias del Ambiente. Huaraz -Ancash, Perú.: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Recuperado el 07 de Octubre de 2019

- ECOPETROL. (S,f). *Empresa Colombiana de Petroleos - ECOPETROL*. Obtenido de [https://www.ecopetrol.com.co/red\\_territorial\\_fichas/Ficha%20PDM%20Barrancabermeja.pdf](https://www.ecopetrol.com.co/red_territorial_fichas/Ficha%20PDM%20Barrancabermeja.pdf)
- el agua . (30 de 09 de 2016). *prueba de jarras* . Obtenido de prueba de jarras : <https://sistemajpii.blogspot.com/2016/10/prueba-de-jarras.html>
- ESAP. (2009). *Sistema hidrográfico de Barrancabermeja*. Bogotá.: Escuela Superior de Administración Pública. Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/sistema\\_hidrogr%C3%A1fico\\_\(39\\_pag\\_129\\_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/sistema_hidrogr%C3%A1fico_(39_pag_129_kb).pdf)
- García, K. (2017). *IMPACTO SOCIO ECONOMICO EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA, A CAUSA DE LA NO MODERNIZACION DE LA REFINERIA DE ECOPETROL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA*. [Tesis] Especialización en Gestión Pública, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Barrancabermeja. Recuperado el 11 de Octubre de 2019, de <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/17809/1/32790541.pdf>
- González, D. (29 de Noviembre de 2012). *24 horas*. Recuperado el 07 de Octubre de 2019, de <https://www.24horas.cl/tendencias/salud-bienestar/cuanta-agua-dulce-existe-en-la-tierra-411057>
- Lazo, L. (2012). *REMOCION DEL MANGANESO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN LA LAGUNA AZULCOCHA*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1084/1/lazo\\_cl.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1084/1/lazo_cl.pdf)
- Lentech. (S,f). *Lentech.es*. Recuperado el 09 de Octubre de 2019, de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm>
- Loaiza, J. (2018). *DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) GUACAVÍA EN EL MUNICIPIO DE CUMARAL, DEPARTAMENTO DEL META*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12021/2018juanloaiza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Macfarland, M., & Dozier, M. (2001). *Texas Water*. Obtenido de <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/15451sironandman.pdf>
- Marín, L. (2011). *REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO POR OXIDACIÓN CON CLORO Y FILTRACIÓN EN GRAVA*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7730/2/7720-0445517.pdf>
- MinVivienda. (08 de Junio de 2017). *Ministerio de Vivienda de Colombia*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>

- Mora, M., & Cañón, D. (2016). *Propuesta de un sistema de abastecimiento de agua potable para el sector c de la vereda basconta, municipio de Icononzo, Tolima*. Bogotá: Universidad Distrital. Recuperado el 09 de Octubre de 2019
- OMS. (2014). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 28 de Febrero de 2020, de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)
- OMS. (14 de Junio de 2019). *Organización Mundial de la Salud - OMS*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ortega, W. (2007). *Propuesta de mejoramiento de la calidad del agua en el municipio de Cuaspud - Carlosama, Nariño*. Escuela Superior de Administración Pública - ESAP, Bogotá. Recuperado el 09 de Octubre de 2019, de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/a6579%20-%20propuesta%20de%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20\(pag%2061%20-%20636%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/a6579%20-%20propuesta%20de%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20(pag%2061%20-%20636%20kb).pdf)
- PROCURADURÍA. (14 de Marzo de 2017). Obtenido de [https://www.procuraduria.gov.co/portal/Procuraduria-alerta\\_por\\_grave\\_impacto\\_ambiental\\_en\\_la\\_Ciénaga\\_de\\_San\\_Silvestre\\_\\_Barrancabermeja\\_\\_Santander\\_.news](https://www.procuraduria.gov.co/portal/Procuraduria-alerta_por_grave_impacto_ambiental_en_la_Ciénaga_de_San_Silvestre__Barrancabermeja__Santander_.news)
- Sánchez, S., & Bernal, M. P. (2011). *PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE BITUIMA, CUNDINAMARCA*. Bogotá: Universidad de La Salle. Recuperado el 09 de Octubre de 2019, de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15022/T41.11%20S55p.pdf?sequence=2>
- SENA. (27 de 05 de 2015). *TEST DE JARRAS*. Obtenido de TEST DE JARRAS: <http://laboratoriosaguasena.blogspot.com/2015/05/test-de-jarras.html>
- Sharma, S., Petruskevsky, J., & Schippers, J. (2005). Biological Iron removal from ground water; a review. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 4, 239-246. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n66/n66a03.pdf>
- Teopanta, G. (2018). *Aplicación de peróxido de hidrógeno para el control de oídio (Oidium sp.) en el cultivo de mora (Rubus glaucus Benth.) bajo cubierta plástica*. Cevallos, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Obtenido de [https://www.poscosecha.com/es/noticias/peroxido-de-hidrogeno-el-unico-agente-germicida-compuesta-solo-de-agua-y-oxigeno/\\_id:80724/](https://www.poscosecha.com/es/noticias/peroxido-de-hidrogeno-el-unico-agente-germicida-compuesta-solo-de-agua-y-oxigeno/_id:80724/)
- Vanguardia. (21 de Agosto de 2019). *2019*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/revelan-estudio-de-la-calidad-del-agua-de-la-ciénaga-san-silvestre-XF1326536>



## ANEXOS

### ANEXO No. 1. Registro fotográfico de visita a la PTAP

*Figura 33. torre de aireación.*



Fuente: Autores

*Figura 34. Torre de aireación, parte posterior.*



Fuente: Autores

Figura 35. Zona de clarificación.



Fuente: Autores

Figura 36. Zona de cloración.



Fuente: Autores

*Figura 37. Zona de polimerización y aplicación de carbón activado.*



Fuente: Autores

*Figura 38. Zona de polimerización y aplicación de carbón activado.*



Fuente: Autores

Figura 39. Zona de polimerización y aplicación de carbón activado.



Fuente: Autores

Figura 40. Aseguramiento de variables fisicoquímicas



Fuente: Autores



*Figura 41. Aseguramiento de variables fisicoquímicas.*



Fuente: Autores

## ANEXO No.2

### MES DE NOVIEMBRE

Cuadro 4. Dosificación de peróxido de hidrógeno, semana 1, noviembre.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora (am)	(fe) remoción %	pH
2,8	0.5	1000	31	0,98	7:00	65	7
2,8	1	1000	31	0,70	7:00	75	7
2,8	1.5	1000	31	0,56	7:00	80	7
2,8	2	1000	31	0,50	7:00	82	7
2,8	2.5	1000	31	0,22	7:00	92	7
2,8	3	1000	31	0,17	7:00	94	7

Cuadro 5. Remoción de hierro, semana 1, noviembre.

Caudal de entrada(L/S)	T de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% de remoción mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora am	fecha	Norma 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2,5	6,8	101	2,8	0,36	87,1	0,26	90,7	0,35	7:00 a. m.	01/11/2019	0-3	16
1000	31	2,5	7,4	98	3	0,3	90,0	0,15	95,0	0,27	9:00 a. m.	02/11/2019	0-3	14
1000	31	2,5	7,7	86	3,1	0,43	86,1	0,12	96,1	0,21	11:00 a. m.	03/11/2019	0-3	11
1000	31	2,5	7,8	84	3	0,23	92,3	0,09	97,0	0,12	1:00 p. m.	04/11/2019	0-3	6
1000	31	2,5	7,3	90	3,6	0,56	84,4	0,14	96,1	0,17	3:00 p. m.	05/11/2019	0-3	9
1000	31	2,5	7,5	90	3,37	0,39	88,4	0,1	97,0	0,13	5:00 p. m.	06/11/2019	0-3	11
1000	31	2,5	6,9	89	3,34	0,47	85,9	0,22	93,4	0,3	7:00 p. m.	07/11/2019	0-3	15
1000	31	2,5	7,6	94	3,76	0,39	89,6	0,12	96,8	0,18	9:00 p. m.	08/11/2019	0-3	10
1000	31	2,5	7,4	98	3,65	0,39	89,3	0,18	95,1	0,26	11:00 p. m.	09/11/2019	0-3	13
1000	31	2,5	7	97	3,48	0,25	92,8	0,1	97,1	0,13	1:00 a. m.	10/11/2019	0-3	9

Cuadro 6. Dosificación d peróxido de hidrógeno, semana 2, noviembre.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
3	0.5	1000	31	0,90	7:00am	70	7,3
3	1	1000	31	0,96	7:00am	68	7,3
3	1.5	1000	31	0,78	7:00am	74	7,3
3	2	1000	31	0,39	7:00am	87	7,3
3	2.5	1000	31	0,45	7:00am	85	7,3
3	3	1000	31	0,33	7:00am	89	7,3

Cuadro 7. Remoción de hierro, semana 2, noviembre.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% de remoción mg/l	(fe) puntos de distribucio n mg/l	hora	fecha	Normativida d 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2	7,75	88	3	0,22	83,0	0,06	98	0,1	7:00 a. m.	11/11/2019	0-3	11
1000	31	2	6,9	84	3,3	0,36	89,1	0,23	93	0,3	9:00 a. m.	12/11/2019	0-3	15
1000	31	2	6,,8	76	3,5	0,45	87,1	0,28	92	0,36	11:00 a. m.	13/11/2019	0-3	17
1000	31	2	7,8	92	3	0,2	93,3	0,06	98	0,1	1:00 p. m.	14/11/2019	0-3	8
1000	31	2	7	94	3,1	0,22	92,9	0,06	98	0,1	3:00 p. m.	15/11/2019	0-3	8
1000	31	2	7,5	90	3,6	0,22	93,9	0,14	96	0,1	5:00 p. m.	16/11/2019	0-3	11
1000	31	2	7,6	95	2,9	0,2	93,1	0,06	98	0,1	7:00 p. m.	17/11/2019	0-3	8
1000	31	2	7,3	94	3,1	0,23	92,6	0,12	96	0,1	9:00 p. m.	18/11/2019	0-3	10
1000	31	2	7,1	93	3,3	0,23	93,0	0,13	96	0,1	11:00 p. m.	19/11/2019	0-3	10
1000	31	2	7,2	92	3,4	0,25	92,6	0,10	97	0,1	1:00 a. m.	20/11/2019	0-3	9

Cuadro 8. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 3, noviembre.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
3,3	0.5	1000	31	0,66	7:00am	80	7,4
3,3	1	1000	31	0,56	7:00am	83	7,4
3,3	1.5	1000	31	0,50	7:00am	85	7,4
3,3	2	1000	31	0,40	7:00am	88	7,4
3,3	2.5	1000	31	0,33	7:00am	90	7,4
3,3	3	1000	31	0,36	7:00am	89	7,4

Cuadro 9. Remoción de hierro, semana 3, noviembre.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% de remoción mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2.5	6.8	82	3,3	0,56	83	0,26	92	0,3	7:00 a. m.	21/11/2019	0-3	17
1000	31	2.5	7.4	76	3,5	0,35	90	0,11	97	0,17	9:00 a. m.	22/11/2019	0-3	11
1000	31	2.5	7.7	74	3,4	0,34	90	0,10	97	0,16	11:00 a. m.	23/11/2019	0-3	10
1000	31	2.5	7.8	88	3	0,21	93	0,15	95	0,2	1:00 p. m.	24/11/2019	0-3	13
1000	31	2.5	7.3	85	3,5	0,46	87	0,25	93	0,31	3:00 p. m.	25/11/2019	0-3	18
1000	31	2.5	7.5	79	3,4	0,31	91	0,14	96	0,19	5:00 p. m.	26/11/2019	0-3	13
1000	31	2.5	6.9	80	3,2	0,45	86	0,19	94	0,28	7:00 p. m.	27/11/2019	0-3	14
1000	31	2.5	7.6	82	3,4	0,27	92	0,14	96	0,19	9:00 p. m.	28/11/2019	0-3	10
1000	31	2.5	7.4	76	3	0,27	91	0,12	96	0,17	11:00 p. m.	29/11/2019	0-3	10
1000	31	2.5	7,2	79	3,5	0,35	90	0,21	94	0,3	1:00 a. m.	30/11/2019	0-3	17

## MES DE DICIEMBRE

Cuadro 10. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 1, diciembre.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
3,8	1	1000	31	1,14	7:00am	70	7,7
3,8	1,5	1000	31	1,33	7:00am	65	7,7
3,8	2	1000	31	1,06	7:00am	72	7,7
3,8	2,5	1000	31	0,46	7:00am	88	7,7
3,8	3	1000	31	0,38	7:00am	90	7,7
3,8	3,5	1000	31	0,38	7:00am	90	7,7

Cuadro 11. Remoción de hierro, semana 1, diciembre.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% de remoción mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	3	6,8	67	3,8	0,46	88	0,27	93	0,35	7:00 a. m.	01/12/2019	0-3	18
1000	31	3	7,8	65	3,6	0,40	89	0,22	94	0,3	9:00 a. m.	02/12/2019	0-3	15
1000	31	3	7,7	62	3,9	0,47	88	0,20	95	0,29	11:00 a. m.	03/12/2019	0-3	15
1000	31	3	7,7	78	3,5	0,49	86	0,11	97	0,19	1:00 p. m.	04/12/2019	0-3	12
1000	31	3	7,9	63	3,8	0,42	89	0,15	96	0,22	3:00 p. m.	05/12/2019	0-3	13
1000	31	3	7,7	69	3,7	0,56	85	0,19	95	0,24	5:00 p. m.	06/12/2019	0-3	14
1000	31	3	7,8	65	3,8	0,49	87	0,15	96	0,19	7:00 p. m.	07/12/2019	0-3	13
1000	31	3	7,7	75	3,6	0,58	84	0,11	97	0,13	9:00 p. m.	08/12/2019	0-3	9
1000	31	3	7,7	72	3,7	0,52	86	0,15	96	0,18	11:00 p. m.	09/12/2019	0-3	13
1000	31	3	7,6	69	3,8	0,46	88	0,19	95	0,24	1:00 a. m.	10/12/2019	0-3	13

Cuadro 12. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, diciembre.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
4,2	1,5	1000	31	0,76	7:00am	82	7,8
4,2	2	1000	31	0,67	7:00am	84	7,8
4,2	2,5	1000	31	0,63	7:00am	85	7,8
4,2	3	1000	31	0,55	7:00am	87	7,8
4,2	3	1000	31	0,46	7:00am	89	7,8
4,2	3,5	1000	31	0,34	7:00am	92	7,8

Cuadro 13. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, diciembre.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% remoción de	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	3,5	7,8	53	4,2	0,25	94,0	0,13	97,0	0,19	7:00 a. m.	11/12/2019	0-3	12
1000	31	3,5	7,8	78	4,1	0,37	91,0	0,25	94,0	0,37	9:00 a. m.	12/12/2019	0-3	14
1000	31	3,5	7,6	75	4	0,28	93,0	0,16	96,0	0,23	11:00 a. m.	13/12/2019	0-3	11
1000	31	3,5	8	74	4	0,20	95,0	0,16	96,0	0,23	1:00 p. m.	14/12/2019	0-3	10
1000	31	3,5	7,9	70	4,6	0,41	91,0	0,37	92,0	0,38	3:00 p. m.	15/12/2019	0-3	16
1000	31	3,5	7,7	76	4,6	0,46	90,0	0,23	95,0	0,26	5:00 p. m.	16/12/2019	0-3	12
1000	31	3,5	6,8	75	4,6	1,06	77,0	0,37	92,0	0,37	7:00 p. m.	17/12/2019	0-3	17
1000	31	3,5	6,7	74	4,5	0,45	90,0	0,36	92,0	0,38	9:00 p. m.	18/12/2019	0-3	10
1000	31	3,5	6,9	79	4,5	0,90	80,0	0,36	92,0	0,31	11:00 p. m.	19/12/2019	0-3	13
1000	31	3,5	7,9	78	4,5	0,45	90,0	0,14	97,0	0,16	1:00 a. m.	20/12/2019	0-3	9

Cuadro 14. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 3, diciembre.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
4,5	1,5	1000	31	1,17	7:00am	74	7,8
4,5	2	1000	31	1,08	7:00am	76	7,8
4,5	2,5	1000	31	0,90	7:00am	80	7,8
4,5	3	1000	31	0,59	7:00am	87	7,8
4,5	3	1000	31	0,50	7:00am	89	7,8
4,5	3,5	1000	31	0,45	7:00am	90	7,8

Cuadro 15. Remoción de hierro, semana 3, diciembre.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% remoción de mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	3,5	7,8	79	4,5	0,45	90	0,14	97	0,21	7:00 a. m.	21/11/2019	0-3	12
1000	31	3,5	7,8	79	4,48	0,40	91	0,18	96	0,24	9:00 a. m.	22/11/2019	0-3	13
1000	31	3,5	7,6	86	4,54	0,45	90	0,27	94	0,31	11:00 a. m.	23/11/2019	0-3	19
1000	31	3,5	8	84	4,5	0,45	90	0,14	97	0,19	1:00 p. m.	24/11/2019	0-3	11
1000	31	3,5	7,9	87	4,42	0,44	90	0,09	98	0,13	3:00 p. m.	25/11/2019	0-3	11
1000	31	3,5	7,9	83	4,39	0,44	90	0,13	97	0,18	5:00 p. m.	26/11/2019	0-3	14
1000	31	3,5	7,9	83	4,36	0,44	90	0,13	97	0,18	7:00 p. m.	27/11/2019	0-3	14
1000	31	3,5	7,4	89	4,31	0,47	89	0,13	97	0,18	9:00 p. m.	28/11/2019	0-3	14
1000	31	3,5	7,7	79	4	0,40	90	0,12	97	0,2	11:00 p. m.	29/11/2019	0-3	15
1000	31	3,5	7,6	79	4	0,44	89	0,20	95	0,28	1:00 a. m.	30/11/2019	0-3	16

## MES DE ENERO

Cuadro 16. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 1, enero.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
3,9	1,5	1000	31	0,86	7:00am	78	7,7
3,9	2	1000	31	0,82	7:00am	79	7,7
3,9	2,5	1000	31	0,55	7:00am	86	7,7
3,9	3	1000	31	0,39	7:00am	90	7,7
3,9	3,5	1000	31	0,31	7:00am	92	7,7
3,9	4	1000	31	0,23	7:00am	94	7,7

Cuadro 17. Remoción de hierro, semana 1, enero.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% remoción mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	3	7,7	74	3,9	0,468	88,0	0,195	95,0	0,25	7:00 a. m.	03/01/2020	0-3	14
1000	31	3	7,8	71	3,7	0,407	89,0	0,148	96,0	0,19	9:00 a. m.	04/01/2020	0-3	13
1000	31	3	7.6	68	3,6	0,504	86,0	0,216	94,0	0,27	11:00 a. m.	05/01/2020	0-3	15
1000	31	3	7.8	70	3,8	0,38	90,0	0,114	97,0	0,15	1:00 p. m.	06/01/2020	0-3	11
1000	31	3	7.3	71	3,3	0,528	84,0	0,231	93,0	0,29	3:00 p. m.	07/01/2020	0-3	16
1000	31	3	7.5	69	3,6	0,504	86,0	0,216	94,0	0,28	5:00 p. m.	08/01/2020	0-3	15
1000	31	3	7,4	66	3,7	0,629	83,0	0,185	95,0	0,23	7:00 p. m.	09/01/2020	0-3	13
1000	31	3	7.6	69	3,8	0,532	86,0	0,114	97,0	0,18	9:00 p. m.	10/01/2020	0-3	11
1000	31	3	7.4	70	3,5	0,525	85,0	0,175	95,0	0,23	11:00 p. m.	11/01/2020	0-3	14
1000	31	3	7,4	66	3,3	0,462	86,0	0,165	95,0	0,22	1:00 a. m.	12/01/2020	0-3	10

Cuadro 18. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, enero.



[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
3,9	1	1000	31	0,78	7:00am	80	7,5
3,9	1,5	1000	31	0,55	7:00am	86	7,5
3,9	2	1000	31	0,51	7:00am	87	7,5
3,9	2,5	1000	31	0,39	7:00am	90	7,5
3,9	3	1000	31	0,31	7:00am	92	7,5
3,9	3,5	1000	31	0,23	7:00am	94	7,5

Cuadro 19. Remoción de hierro, semana 2, enero.

Caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% de remoción mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2,5	7,5	67	3,9	0,35	91	0,12	97	0,19	7:00 a. m.	13/01/2020	0-3	11
1000	31	2,5	7,9	65	3,7	0,37	90	0,07	98	0,14	9:00 a. m.	14/01/2020	0-3	7
1000	31	2,5	7.66	57	3,7	0,44	88	0,15	96	0,2	11:00 a. m.	15/01/2020	0-3	12
1000	31	2,5	7.80	59	3,9	0,43	89	0,12	97	0,17	1:00 p. m.	16/01/2020	0-3	14
1000	31	2,5	7.3	59	3,5	0,42	88	0,18	95	0,23	3:00 p. m.	17/01/2020	0-3	15
1000	31	2,5	7.5	57	3,5	0,42	88	0,14	96	0,21	5:00 p. m.	18/01/2020	0-3	11
1000	31	2,5	7.4	58	3,6	0,40	89	0,18	95	0,27	7:00 p. m.	19/01/2020	0-3	10
1000	31	2,5	7.6	57	3,6	0,36	90	0,11	97	0,15	9:00 p. m.	20/01/2020	0-3	9
1000	31	2,5	7.8	57	3,7	0,33	91	0,07	98	0,14	11:00 p. m.	21/01/2020	0-3	18
1000	31	2,5	7.7	55	3,7	0,30	92	0,11	97	0,15	1:00 a. m.	22/01/2020	0-3	18

Cuadro 20. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 3, enero.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
3,5	1	1000	31	0,70	7:00am	80	7,7
3,5	1,5	1000	31	0,49	7:00am	86	7,7
3,5	2	1000	31	0,46	7:00am	87	7,7
3,5	2,5	1000	31	0,35	7:00am	90	7,7
3,5	3	1000	31	0,28	7:00am	92	7,7
3,5	3,5	1000	31	0,21	7:00am	94	7,7

Cuadro 21. Remoción de hierro, semana 3, enero.

caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% remoción de mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2.5 ppm	7,8	56	3,5	0,35	90,0	0,11	97,0	0,18	7:00 a. m.	23/01/2020	0-3	12
1000	31	2.5 ppm	7,7	58	3,4	0,34	90,0	0,20	94,0	0,27	9:00 a. m.	24/01/2020	0-3	15
1000	31	2.5 ppm	7,7	54	3,4	0,31	91,0	0,14	96,0	0,21	11:00 a. m.	25/01/2020	0-3	13
1000	31	2.5 ppm	7,8	52	3,6	0,22	94,0	0,14	96,0	0,21	1:00 p. m.	26/01/2020	0-3	12
1000	31	2.5 ppm	7,3	50	3,6	0,36	90,0	0,11	97,0	0,17	3:00 p. m.	27/01/2020	0-3	13
1000	31	2.5 ppm	7,5	48	3,5	0,39	89,0	0,11	97,0	0,17	5:00 p. m.	28/01/2020	0-3	12
1000	31	2.5 ppm	6,9	48	3,2	0,48	85,0	0,06	98,0	0,09	7:00 p. m.	29/01/2020	0-3	7
1000	31	2.5 ppm	7,6	49	3,3	0,33	90,0	0,13	96,0	0,19	9:00 p. m.	30/01/2020	0-3	11
1000	31	2.5 ppm	7,4	47	3,2	0,42	87,0	0,10	97,0	0,18	11:00 p. m.	31/01/2020	0-3	13
1000	31	2.5 ppm	7,9	43	3,2	0,29	91,0	0,13	96,0	0,21	1:00 a. m.	01/02/2020	0-3	14

## MES DE FEBRERO

Cuadro 22. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 1, febrero.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
2,5	0,5	1000	31	0,60	7:00am	76	7,4
2,5	1	1000	31	0,53	7:00am	79	7,4
2,5	1,5	1000	31	0,45	7:00am	82	7,4
2,5	2	1000	31	0,20	7:00am	92	7,4
2,5	2,5	1000	31	0,18	7:00am	93	7,4
2,5	3	1000	31	0,13	7:00am	95	7,4

Cuadro 23. Remoción de hierro, semana 1, febrero.

caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% remoción de	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2	7,4	44	2,5	0,25	90,0	0,08	97,0	0,18	7:00 a. m.	03/02/2020	0-3	12
1000	31	2	7,6	40	2,7	0,27	90,0	0,16	94,0	0,27	9:00 a. m.	04/02/2020	0-3	15
1000	31	2	7,5	40	2,5	0,23	91,0	0,10	96,0	0,21	11:00 a. m.	05/02/2020	0-3	13
1000	31	2	7,5	41	2,5	0,15	94,0	0,10	96,0	0,21	1:00 p. m.	06/02/2020	0-3	12
1000	31	2	7,3	39	2,3	0,23	90,0	0,07	97,0	0,17	3:00 p. m.	07/02/2020	0-3	13
1000	31	2	7,2	39	2,3	0,25	89,0	0,07	97,0	0,17	5:00 p. m.	08/02/2020	0-3	12
1000	31	2	7	33	2,3	0,35	85,0	0,05	98,0	0,09	7:00 p. m.	09/02/2020	0-3	7
1000	31	2	7,6	32	2,4	0,24	90,0	0,10	96,0	0,19	9:00 p. m.	10/02/2020	0-3	11
1000	31	2	7,4	32	2,1	0,27	87,0	0,06	97,0	0,18	11:00 p. m.	11/02/2020	0-3	13
1000	31	2	7,1	32	2,5	0,23	91,0	0,10	96,0	0,21	1:00 a. m.	12/02/2020	0-3	14

Cuadro 24. Dosificación peróxido de hidrógeno, semana 2, febrero.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
2	0,5	1000	31	0,44	7:00am	78	7,4
2	1	1000	31	0,32	7:00am	84	7,4
2	1,5	1000	31	0,24	7:00am	88	7,4
2	2	1000	31	0,24	7:00am	88	7,4
2	2,5	1000	31	0,14	7:00am	93	7,4
2	3	1000	31	0,26	7:00am	87	7,4

Cuadro 25. Remoción de hierro, semana 2, febrero.1

caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada Mg/l	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% remoción de mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	1,5	7,4	48	2	0,18	91,0	0,10	95,0	0,17	7:00 a. m.	12/02/2020	0-3	9
1000	31	1,5	7,5	45	2,1	0,17	92,0	0,13	94,0	0,19	9:00 a. m.	13/02/2020	0-3	13
1000	31	1,5	7,4	41	2	0,18	91,0	0,12	94,0	0,18	11:00 a. m.	14/02/2020	0-3	12
1000	31	1,5	7,3	43	1,9	0,21	89,0	0,13	93,0	0,19	1:00 p. m.	15/02/2020	0-3	11
1000	31	1,5	7,5	39	2	0,22	89,0	0,08	96,0	0,13	3:00 p. m.	16/02/2020	0-3	8
1000	31	1,5	7,4	35	2,2	0,24	89,0	0,11	95,0	0,15	5:00 p. m.	17/02/2020	0-3	14
1000	31	1,5	7,2	35	2,1	0,27	87,0	0,13	94,0	0,19	7:00 p. m.	18/02/2020	0-3	11
1000	31	1,5	7,6	32	1,8	0,18	90,0	0,09	95,0	0,13	9:00 p. m.	19/02/2020	0-3	10
1000	31	1,5	7,4	35	1,9	0,21	89,0	0,11	94,0	0,15	11:00 p. m.	20/02/2020	0-3	10
1000	31	1,5	7,1	34	2	0,28	86,0	0,14	93,0	0,2	1:00 a. m.	21/02/2020	0-3	12

Cuadro 26. Dosificación de peróxido de hidrógeno, semana 3, febrero.

[Fe] <sub>i</sub> mg/l	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] aplicada ppm	Volumen experimental ml	Duración (min)	[Fe] <sub>f</sub>	hora	(fe) remoción %	pH
0,9	0,5	1000	31	0,41	7:00am	54	7,2
0,9	0,7	1000	31	0,32	7:00am	65	7,2
0,9	0,9	1000	31	0,24	7:00am	73	7,2
0,9	1.1	1000	31	0,27	7:00am	70	7,2
0,9	1.3	1000	31	0,27	7:00am	70	7,2
0,9	1,5	1000	31	0,25	7:00am	72	7,2

Cuadro 27. Remoción de hierro, semana 3, febrero.

caudal de entrada(L/S)	Tiempo de contacto(min)	Dosis ppm	pH	Turbiedad entrada ntu	(Fe) entrada	(fe) clarificada mg/l	% de remoción (Fe) mg/l	(Fe) en tratada mg/l	(fe)% de remoción mg/l	(fe) puntos de distribución mg/l	hora	fecha	Normatividad 0.3 mg/l	Color (upc) tratada
1000	31	2	7,1	20	0,9	0,32	65,0	0,05	94,0	0,07	7:00 a. m.	22/02/2020	0-3	3
1000	31	2	7	24	0,9	0,27	70,0	0,05	94,0	0,07	9:00 a. m.	23/02/2020	0-3	3
1000	31	2	6,8	24	0,9	0,24	73,0	0,06	93,0	0,09	11:00 a. m.	24/02/2020	0-3	5
1000	31	2	7,1	20	0,9	0,23	75,0	0,04	96,0	0,08	1:00 p. m.	25/02/2020	0-3	4
1000	31	2	7,3	18	0,86	0,21	76,0	0,03	97,0	0,11	3:00 p. m.	26/02/2020	0-3	2
1000	31	2	7,2	18	0,86	0,22	75,0	0,03	97,0	0,11	5:00 p. m.	27/02/2020	0-3	2
1000	31	2	7	24	0,9	0,20	78,0	0,02	98,0	0,09	7:00 p. m.	28/02/2020	0-3	5
1000	31	2	7,1	25	0,87	0,18	79,0	0,03	96,0	0,04	9:00 p. m.	29/02/2020	0-3	3
1000	31	2	6,98	24	0,9	0,18	80,0	0,05	94,0	0,09	11:00 p. m.	01/03/2020	0-3	2
1000	31	2	7	18	0,87	0,11	87,0	0,05	94,0	0,11	1:00 a. m.	02/03/2020	0-3	6

### ANEXO No. 3

Cuadro 28. Síntesis de análisis cualitativo y cuantitativo del proceso de tratamiento de agua.

<i>Proceso</i>	<i>Finalidad</i>	<i>Recurso Humano</i>	<i>Maquinaria/Equipo</i>	<i>Insumos químicos</i>	<i>Caudal</i>	<i>Variables de seguimiento</i>	<i>Duración</i>	<i>Observaciones</i>
Captación	El sistema de captación ubicado lateralmente en la Ciénaga es fijo cuyo fin es abastecer la planta de tratamiento de agua las 24 horas del día.	Operador y auxiliares en los tres turnos , 6:00 am - 2:00pm 2:00pm-10:00 pm 10:00 pm-6:00 am	Está compuesto por una estructura de captación, un canal de aducción, un pozo de succión, una estación de bombeo y una subestación eléctrica., a través de una estación de bombeo conformada por 5 conjuntos bomba-motor en funcionamiento (una en stand by); cada uno de ellos con un caudal nominal de 375 LPS	No aplica	La capacidad de captación nominal es de 1875 LPS, En turnos de 10:00 pm-6:00 am el caudal de promedio es de 600 LT por segundos, y en los turno de 6:00 am - 2:00pm 2:00pm-10:00 pm	-Oxígeno disuelto -nivel de ciénaga -frecuencia de la corriente eléctrica -voltaje -presión equipos de bombeo -vibración de los equipos de bombeo	24 horas	Personal de mantenimiento realiza labores de mantenimiento de los equipos rotativos y de las instalaciones diariamente
Aducción	2 kilómetros de distancia por medio de dos tuberías de impulsión una de 28 “y la otra de 30 “con 6 ventosas en todo el trayecto.1.000 lps, con 6 ventosas en todo el trayecto.	Personal de redes	La primera tiene un diámetro de 30”, con una longitud de 1880 m y es de material CCP (Tubería cilindro de acero con refuerzo de varilla y revestimientos de mortero de cemento), La segunda tiene un diámetro de 28”, con una capacidad para transportar hasta 900 lps y es de material HD (Hierro Dúctil). Esta última fue puesta en funcionamiento en el mes de julio de 2004	No aplica	con capacidad para transportar hasta 1.000 lps,	-presión de líneas	24 horas	Personal de redes realiza labores de limpieza y mantenimiento a redes de conducción
Aireación/ oxidación/ Ajuste de pH	El agua cruda llega a dos torres de aireación (una por cada línea de impulsión), en la cual es adicionada una primera dosis de cal. Luego el agua pasa a unas cámaras de aquietamiento donde las aguas de las dos torres se encuentran en un canal que las conduce hacia los floculadores.	Coordinador de proceso, auxiliar, operador de planta, analista químico	Bombas dosificadoras, compresores. agitadores Tanque de 2000 litros <b>SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN</b>	Peróxido de hidrogeno, cal. aire comprimido	350,700,1050 litros/segundos	pH, hierro, turbiedad, color, Temperatura, alcalinidad	24 horas	Estas variables son monitoreadas por personal de operaciones y laboratorio.
Clarificación	<b>Clarificación</b> es ampliamente difundida en la remoción de turbiedad y color del <b>agua</b> e implica la utilización de coagulantes o poli electrolitos. Estos provocan que las finas partículas que determinan la turbiedad se agrupen, formando flóculos cuya precipitación y remoción son mucho más simples	Personal operativo, (auxiliar, operador, coordinador de proceso)	El sistema de dosificación del Sulfato de Aluminio Tipo B está compuesto por cuatro tanques de dilución de reactivo, un tanque de dosificación de sulfato con facilidad de aire para agitación, cuatro bombas de desplazamiento positivo, cuatro agitadores para dilución de reactivos y dos agitadores en el tanque de dosificación de	En la actualidad la planta está trabajando con cuatro sistemas de dosificación principales los cuales se describen a continuación:	350,700,1050 litros/segundos	pH, hierro, turbiedad, color, Temperatura, alcalinidad, aluminio residual, hierro, cloro residual.	24 horas	Estas variables son monitoreadas por personal de operaciones y laboratorio.

			<p>sulfato, dos tableros de control eléctrico compuesto por cuatro variadores de frecuencia para las bombas y la distribución eléctrica necesaria. streamingcurrent, bombas dosificadoras sulfato líquido, bombas sumergible</p> <p>Micro burbujeo a través de dos sopladores lobulares.</p> <p><b>SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN</b></p>	<p>Dosificación de Sulfato líquido de Aluminio tipo B especial: El sulfato tipo B es utilizado como coagulante, dosificado en la canaleta Parshall para lograr la formación de floc, y la sedimentación de este en las etapas de coagulación y sedimentación.</p> <p>Dosificación de dilución de Cal de alta concentración: La cal es dosificada etapas, antes de la dosificación del coagulante para el ajuste de pH a 7,2 alcanzando la máxima eficiencia del coagulante.</p> <p>Dosificación de pre oxidante, Peróxido de Hidrogeno: En las torres de aireación y el canal de unificación. Carbón activado para ayudar a la biodegradación y adsorción de la materia orgánica.</p>				
Ajuste de pH/oxidación	<p>Esto subproceso se realiza con el fin de ajustar el pH de agua clarificada con el objetivo de que el agua cumpla con los estándares de calidad exigido por el decreto 1575 del 2007, la oxidación se realiza con concentraciones más bajas del oxidante debido que ya ha sido removido la mayor parte de metales El <b>pH</b> o potencial de hidrogeno, es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en</p>	<p>Personal operativo, (auxiliar, operador, coordinador de proceso.</p>	<p>Sistema de dosificación de cal, bombas variadores, agitadores, tolvas, tanques saturadores, líneas de conducción, contenedores de cloro, tanque de almacenamiento de peróxido de hidrogeno</p> <p>La dosificación de Pre oxidante se realiza para oxidar materia orgánica, en apoyo a los procesos de oxidación realizados por las torres de aireación y los sopladores lobulares, el sistema cuenta con tres tanques Perdurit doble capa. <b>SISTEMA</b></p>	<p>Peróxido de hidrogeno, cloro gaseoso, cal hidratada</p>	<p>350,700,1050 litros/segundos</p>	<p>pH, hierro, turbiedad, color, Temperatura, alcalinidad, aluminio residual, hierro, cloro residual.</p>	<p>24 horas</p>	<p>Estas variables son monitoreadas por personal de operaciones y laboratorio</p>

	determinadas sustancias (Wikipedia, 2014). Influye en el proceso de coagulación de las partículas coloidales, para una buena coagulación es deseado un pH cercano a 7,2. El pH requerido por la resolución 2115 de 2007 en el agua potable deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.		<b>DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN</b>					
Filtración	El sistema de filtración es de rata de filtración constante, y se encuentra conformado por ocho unidades de filtros dispuestas en dos series paralelas de cuatro unidades cada una, a las cuales ingresa el agua sedimentada o clarificada por el canal de recolección con el fin de remover toda la turbiedad que quedo después del proceso de clarificación.	Personal operativo, (auxiliar, operador, coordinador de proceso.	Aguas de Barrancabermeja tiene 8 filtros, cada filtro comprende dos áreas filtrantes separadas por un canal central que sirve tanto de cámara receptora de agua clarificada como de canal de desagüe de las áreas de lavado. <b>SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN</b> El lecho filtrante está compuesto por un falso fondo con lechos Leopoldo. Sobre el falso fondo se colocan 0,30 metros de grava con sus diferentes granulometrías que sirve de soporte al medio filtrante. El medio filtrante está constituido por un lecho de arena de 0,20 metros de espesor y de antracita de 0,40 metros de espesor, cuyas características granulométricas son las aconsejadas para filtros rápidos. El agua sale del filtro en una tubería de 24" de diámetro por el conducto de agua de lavado ascensional de donde se desprende la tubería efluente propiamente dicha de 14" de diámetro. En esta tubería de 14" está instalada una válvula de compuerta y un controlador de gasto y descarga antes de la entrega al tanque de agua filtrada.	Hipoclorito de calcio para su desinfección	700 y 1000 litros por segundos	pH, hierro, turbiedad, color, Temperatura, alcalinidad, aluminio residual, hierro, cloro residual.	24 horas	Estas variables son monitoreadas por personal de operaciones y laboratorio.
Desinfección	La <b>cloración</b> es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, El Cloro es un químico importante para la purificación del agua, eliminando bacterias, virus, hongos y parásitos.  El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de Cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de Cloro.	Personal operativo, (auxiliar, operador, coordinador de proceso, personal de mantenimiento	Cilindro con gas Cloro (Cl <sub>2</sub> ) Tuberías para el transporte del Cloro Válvulas para múltiple y líneas de Cloro Regulador de vacío Indicador de flujo o rotámetro Eyector <b>SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN</b>	Cloro gaseoso	700 y 1000 litros por segundos	Cloro residual (ppm)	24 horas	Personal de mantenimiento realiza labores de mantenimiento de los equipos y de las instalaciones diariamente



Almacenamiento	Almacenar agua para el abastecimiento de la comunidad de Barrancabermeja.	Personal operativo, (auxiliar, operador, coordinador de proceso, personal de mantenimiento.	Existen tres tanques de almacenamiento. Los primeros dos, son tanques semienterrados construidos en concreto reforzados, de dimensiones 48 metros de largo, 37 metros de ancho y 5,5 metros de altura, con un borde libre de 0,5 metros. Aunque el volumen total de almacenamiento de estos tanques es de 17760 m3, el nivel mínimo de operación de estos es de 1.90 metros, por el tipo de bombas verticales del sistema de bombeo de agua tratada, el cual se describe más adelante.	No aplica		pH, hierro, turbiedad, color, Temperatura, alcalinidad, aluminio residual, hierro, cloro residual.	24 horas	Estas variables son monitoreadas por personal de operaciones y laboratorio
Distribución	Aguas de Barrancabermeja tiene 5 sectores de distribución:  Comercio:280 litros /segundos  Nororient:480 litros /segundos  Sur-sur:90 litros /segundos  Refuerzo su:120 litros /segundos r  Surorient:110 litros /segundos	Personal operativo , (Auxiliar, operador, coordinador de proceso, personal de mantenimiento.	Distribución La Estación de Bombeo de agua potable se encuentra conformada por 5 conjuntos bomba – motor. Las bombas son verticales y succionan el agua desde el pozo de succión de dimensiones 2.5 m de ancho, 10 m de largo y 6.5 m de profundidad, motor de 400 HP y bomba de 4500 GPM de 159 psi, se encuentran conectados a los tanques semienterrados descritos anteriormente. Desde el pozo de succión se bombea el agua hacia el tanque elevado de 700 m³. Las condiciones de operación de la estación de bombeo también permiten bombear directamente a la red de distribución en casos de mantenimiento o reparaciones del tanque elevado, válvulas reguladoras de presión, módulos de control dinámico, sensores de presión.	No aplica	700 y1000 litros por segundos	pH, hierro, turbiedad, color, Temperatura, alcalinidad, aluminio residual, hierro, cloro residual.	24 horas	Estas variables son monitoreadas por personal de operaciones y laboratorio

**ANEXO No. 4**

Cuadro 29. Tabla de resumen de resultados de datos de remoción.

Fecha	Hierro entrada (ppm)	Dosis óptima prueba de jarras (ppm)	Hierro salida	% Remoción Fe	Fecha	Hierro entrada (ppm)	Dosis óptima prueba de jarras (ppm)	Hierro salida	% Remoción Fe
01/11/2019	2,8	2,5	0,26	91%	03/01/2020	3,9	3	0,25	94%
02/11/2019	3	2,5	0,15	95%	04/01/2020	3,7	3	0,19	95%
03/11/2019	3,1	2,5	0,12	96%	05/01/2020	3,6	3	0,27	93%
04/11/2019	3	2,5	0,09	97%	06/01/2020	3,8	3	0,15	96%
05/11/2019	3,6	2,5	0,14	96%	07/01/2020	3,3	3	0,29	91%
06/11/2019	3,37	2,5	0,1	97%	08/01/2020	3,6	3	0,28	92%
07/11/2019	3,34	2,5	0,22	93%	09/01/2020	3,7	3	0,23	94%
08/11/2019	3,76	2,5	0,12	97%	10/01/2020	3,8	3	0,18	95%
09/11/2019	3,65	2,5	0,18	95%	11/01/2020	3,5	3	0,23	93%
10/11/2019	3,48	2,5	0,1	97%	12/01/2020	3,3	3	0,22	93%
11/11/2019	3	3	0,06	98%	13/01/2020	3,9	2,5	0,19	95%
12/11/2019	3,3	3	0,23	93%	14/01/2020	3,7	2,5	0,14	96%
13/11/2019	3,5	3	0,28	92%	15/01/2020	3,7	2,5	0,2	95%
14/11/2019	3	3	0,06	98%	16/01/2020	3,9	2,5	0,17	96%
15/11/2019	3,1	3	0,06	98%	17/01/2020	3,5	2,5	0,23	93%
16/11/2019	3,6	3	0,14	96%	18/01/2020	3,5	2,5	0,21	94%
17/11/2019	2,9	3	0,06	98%	19/01/2020	3,6	2,5	0,27	93%
18/11/2019	3,1	3	0,12	96%	20/01/2020	3,6	2,5	0,15	96%
19/11/2019	3,3	3	0,13	96%	21/01/2020	3,7	2,5	0,14	96%
20/11/2019	3,4	3	0,1	97%	22/01/2020	3,7	2,5	0,15	96%
21/11/2019	3,3	2,5	0,26	92%	23/01/2020	3,5	2,5	0,18	95%
22/11/2019	3,5	2,5	0,11	97%	24/01/2020	3,4	2,5	0,27	92%
23/11/2019	3,4	2,5	0,1	97%	25/01/2020	3,4	2,5	0,21	94%
24/11/2019	3	2,5	0,15	95%	26/01/2020	3,6	2,5	0,21	94%
25/11/2019	3,5	2,5	0,25	93%	27/01/2020	3,6	2,5	0,17	95%
26/11/2019	3,4	2,5	0,14	96%	28/01/2020	3,5	2,5	0,17	95%
27/11/2019	3,2	2,5	0,19	94%	29/01/2020	3,2	2,5	0,09	97%
28/11/2019	3,4	2,5	0,14	96%	30/01/2020	3,3	2,5	0,19	94%
29/11/2019	3	2,5	0,12	96%	31/01/2020	3,2	2,5	0,18	94%
30/11/2019	3,5	2,5	0,21	94%	01/02/2020	3,2	2,5	0,21	93%
01/12/2019	3,8	3	0,27	93%	03/02/2020	2,5	2	0,18	93%
02/12/2019	3,6	3	0,22	94%	04/02/2020	2,7	2	0,27	90%
03/12/2019	3,9	3	0,2	95%	05/02/2020	2,5	2	0,21	92%
04/12/2019	3,5	3	0,11	97%	06/02/2020	2,5	2	0,21	92%

05/12/2019	3,8	3	0,15	96%	07/02/2020	2,3	2	0,17	93%
06/12/2019	3,7	3	0,19	95%	08/02/2020	2,3	2	0,17	93%
07/12/2019	3,8	3	0,15	96%	09/02/2020	2,3	2	0,09	96%
08/12/2019	3,6	3	0,11	97%	10/02/2020	2,4	2	0,19	92%
09/12/2019	3,7	3	0,15	96%	11/02/2020	2,1	2	0,18	91%
10/12/2019	3,8	3	0,19	95%	12/02/2020	2,5	2	0,21	92%
11/12/2019	4,2	3,5	0,13	97%	12/02/2020	2	1,5	0,17	92%
12/12/2019	4,1	3,5	0,25	94%	13/02/2020	2,1	1,5	0,19	91%
13/12/2019	4	3,5	0,16	96%	14/02/2020	2	1,5	0,18	91%
14/12/2019	4	3,5	0,16	96%	15/02/2020	1,9	1,5	0,19	90%
15/12/2019	4,6	3,5	0,37	92%	16/02/2020	2	1,5	0,13	94%
16/12/2019	4,6	3,5	0,23	95%	17/02/2020	2,2	1,5	0,15	93%
17/12/2019	4,6	3,5	0,37	92%	18/02/2020	2,1	1,5	0,19	91%
18/12/2019	4,5	3,5	0,36	92%	19/02/2020	1,8	1,5	0,13	93%
19/12/2019	4,5	3,5	0,36	92%	20/02/2020	1,9	1,5	0,15	92%
20/12/2019	4,5	3,5	0,14	97%	21/02/2020	2	1,5	0,2	90%
21/11/2019	4,5	3,5	0,21	95%	22/02/2020	0,9	2	0,07	92%
22/11/2019	4,48	3,5	0,24	95%	23/02/2020	0,9	2	0,07	92%
23/11/2019	4,54	3,5	0,31	93%	24/02/2020	0,9	2	0,09	90%
24/11/2019	4,5	3,5	0,19	96%	25/02/2020	0,9	2	0,08	91%
25/11/2019	4,42	3,5	0,13	97%	26/02/2020	0,86	2	0,11	87%
26/11/2019	4,39	3,5	0,18	96%	27/02/2020	0,86	2	0,11	87%
27/11/2019	4,36	3,5	0,18	96%	28/02/2020	0,9	2	0,09	90%
28/11/2019	4,31	3,5	0,18	96%	29/02/2020	0,87	2	0,04	95%
29/11/2019	4	3,5	0,2	95%	01/03/2020	0,9	2	0,09	90%
30/11/2019	4	3,5	0,28	93%	02/03/2020	0,87	2	0,11	87%