



**Modificación y adecuación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en el  
Hospital Departamental de Granada Meta.**

**María Nathalia Hernández Cupaja**

Universidad de pamplona  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Química  
Pamplona, Colombia  
2019

**Modificación y adecuación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en el  
Hospital Departamental de Granada Meta.**

**María Nathalia Hernández Cupaja**

Trabajo presentado como requisito para optar al título de

**Ingeniera Química**

Directora:

Msc, Ingeniera química Daissy Lorena Restrepo Serna

Supervisor:

Ingeniero Civil Juan Carlos Gómez Zabala

Universidad de pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Química

Pamplona, Colombia

2019

*“Ante todo dar gracias a Dios por llenar siempre mi vida de bendiciones, protegerme de todo lo malo, guiarme y cuidar a los que amo, siempre será mi roca y mi fortaleza. A mi madre y hermanos por enseñarme que siempre se debe luchar, sin importar las condiciones, problemas y circunstancias; por apoyar cada una de mis decisiones y finalmente por estar en los buenos y malos momentos; no me alcanzará la vida para agradecerles y recompensarles por todo el apoyo brindado. Y último, pero no menos importante por cada una de esas personas que iniciaron como extraños, se volvieron amigos y ahora son hermanos por elección, gracias les doy por ser siempre incondicionales, por estar en los ratos alegres y en los amargos, luchando juntos por cumplir nuestros sueños”*

*"Establecer contacto con la belleza de la naturaleza hace la vida mucho más hermosa, mucho más real, y, cuanto más atento y concentrado contemples la puesta de sol, más profundamente se te revelará."*

*THICH NHAT HANH*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a cada una de las personas que estuvo conmigo en este largo camino, a la Profesora Jacqueline Corredor por ser una guía desde el comienzo y ser una buena consejera; al Profesor Erick German Yanza por ser un amigo antes que un profesor, por siempre estar de manera incondicional ante cualquier duda académica, por enseñarnos que la vida no es siempre justa y que nunca habrá tiempo suficiente para un parcial de Termino II; a la Profesora Daissy Restrepo por ser mi guía durante este proceso; a Jesús Emilio Rosado, Gerente del Hospital Departamental de Granada Meta, por darme la oportunidad de ingresar a este mundo laboral; al Ingeniero Juan Carlos Gómez Zabala por adoptarme en su grupo de trabajo y ser mi supervisor en esta larga trayectoria.

A Marlon por ser ese hombrecito único y diferente que, aunque parece rudo es un algodón de azúcar por dentro, gracias por cuidar de mí y por estar siempre en los buenos y malos momentos.

A Pau y Shipu por ser los negros de mi corazón, gracias por ser ese apoyo emocional, social, académico y por esa hermosa amistad que hemos forjado.

Y gracias a todas esas otras personas que crecieron conmigo en esta etapa y que forjaron cosas buenas en mí.

A mi mami y mi hermano Arnold por ser ese bloque fundamental en mi vida, por apoyar cada una de mis decisiones a pesar de las diferencias y enseñarme que todo en la vida tiene solución.

A mis sobrinos por darme muchas razones para ser cada día mejor.

A mis mascotas por simplemente existir.

Y a Dios por poner a cada una de estas personas en mi vida.

## RESUMEN

En este proyecto se realizó un análisis del estado en que se encuentra la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Hospital Departamental de Granada Meta, a través de un monitoreo de la estructura, los operarios, equipos, reactivos y Control y Calidad del Agua. Durante este proceso se realizaron diferentes actividades con el fin de verificar si el agua cumplía con los parámetros mínimos requeridos por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007, para esta etapa se realizaron los análisis físico-químicos del agua en diferentes puntos del Hospital Departamental de Granada Meta.

El proceso de validación de los resultados obtenidos indicó que el agua proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable no es apta para el uso doméstico ni para el consumo humano, debido a esto se hizo un estudio para plantear las posibles modificaciones que se podrían implementar en el proceso para su mejoramiento. Se encontró que los productos químicos deberían ser modificados y adicional se debería incluir en estos el QUIMINFLOC 1325 como Coagulante y el QUIMINFLOC 1200 como Floculante.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable presenta una estructura muy ambigua, lo que nos llevó a plantear una posible implementación de Instrumentos básicos para tener un Sistema de Control manual del cual carece, recordando que es obligatorio para el buen funcionamiento de la Planta.

Finalmente se realizó la segunda edición del Manual de Operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, ya que el que se encontraba en las instalaciones presentaba muchos errores y poca o ninguna información sobre la estructura física de la Planta.

**PALABRAS CLAVES:** PTAP, Coagulantes, Floculantes, Desinfectantes, Hospital Departamental de Granada Meta.

## ABSTRACT

In this project an analysis of the state in which the Potable Water Treatment Plant (PTAP) of the Departmental Hospital of Granada Meta is carried out, through a monitoring of the structure, the operators, equipment, reagents and Control and Quality of the Water. During this process, different activities were carried out in order to verify if the water complied with the minimum parameters required by Resolution 2115 of June 22, 2007, for this stage the physical-chemical analyzes of the water were carried out at different points of the Departmental Hospital from Granada Meta.

The validation process of the results obtained indicated that the water coming from the Potable Water Treatment Plant is not suitable for domestic use or for human consumption, due to this a study was made to propose the possible modifications that could be implemented in the process for its improvement. It was found that chemicals should be modified and additionally, QUIMINFLOC 1325 as Coagulant and QUIMINFLOC 1200 as Flocculant should be included in these.

The Drinking Water Treatment Plant has a very ambiguous structure, which led us to propose a possible implementation of Basic Instruments to have a Manual Control System which it lacks, remembering that it is mandatory for the proper functioning of the Plant.

Finally, the second edition of the Operation Manual of the Drinking Water Treatment Plant was carried out, since the one in the facilities presented many errors and little or no information on the physical structure of the Plant.

**KEY WORDS:** PTAP, Coagulants, Flocculants, Disinfectants, Departmental Hospital of Granada Meta.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUCCIÓN .....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. OBJETIVOS GENERALES .....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. MARCO TEÓRICO .....	17
4.1. EL AGUA.....	17
5.1.1. CICLO HIDROLÓGICO.....	17
4.2. EL AGUA EN COLOMBIA .....	18
4.2.1. CALIDAD DEL AGUA EN COLOMBIA.....	18
4.3. CALIDAD DEL AGUA.....	21
4.4. HISTORIA DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	23
4.5. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	23
4.5.1. FILTRACIÓN .....	24
4.5.2. COAGULACIÓN .....	26
4.5.3. FLOCULACIÓN.....	26
4.5.4. DESINFECCIÓN.....	27
4.5.4.1. MECANISMOS DE LA DESINFECCIÓN CON CLORO .....	27
4.6. FACTORES DE PELIGRO Y SUCESOS PELIGROSOS.....	28
4.7. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	29
4.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	29

4.7.2. INSTRUMENTACIÓN .....	30
4.7.2.1. ANALIZADORES .....	30
4.7.2.2. MEDIDORES DE FLUJO .....	30
4.7.2.3. MEDIDORES DE NIVEL .....	30
4.7.2.4. MEDIDORES DE PRESIÓN .....	30
4.7.2.5. TRANSMISORES.....	31
4.7.2.6. CONTROLADORES .....	31
4.7.2.7. ELEMENTOS DE CONTROL FINAL.....	31
4.7.2.8. SISTEMA DE REGISTRO .....	31
5. MARCO LEGAL.....	33
5.1. NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS .....	33
5.2. LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIONES .....	36
6. METODOLOGÍA.....	39
6.1. FORMATOS DE CONTROL Y CALIDAD.....	39
6.2. TOMA DE DATOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DEL META .....	39
6.3. LABORATORIO DE CONTROL Y CALIDAD DEL AGUA POTABLE .....	39
6.4. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PROCESADA Y SIN PROCESAR.....	40
6.4.1. AGUA SIN PROCESAR.....	40
6.4.2. AGUA PROCESADA .....	40
6.5. PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS .....	40
6.5.1. pH.....	40
6.5.2. CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl <sub>2</sub> ) .....	41
6.5.3. HIERRO (Fe) .....	42
6.5.4. COLOR (UPC).....	43



6.5.5. OLOR .....	44
6.6. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL .....	44
6.7. DETERMINACIÓN DEL COAGULANTE-FLOCULANTE .....	45
6.7.1. COAGULANTE-FLOCULANTE .....	45
6.7.2. TEST DE JARRAS .....	45
6.7.3. DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE/FLOCULANTE .....	48
6.8. DETERMINACIÓN DEL DESINFECTANTE .....	49
6.8.1 DOSIFICACIÓN DE DESINFECTANTE .....	50
6.9. DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	50
6.10. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	50
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
7.1. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	51
7.2. CONTROL Y CALIDAD DEL AGUA .....	52
7.2.1. pH.....	52
7.2.2. CLORO LIBRE RESIDUAL.....	55
7.2.3. HIERRO.....	60
7.3. DETERMINACIÓN DE COAGULANTE-FLOCULANTE.....	63
7.4. DETERMINACIÓN DEL DESINFECTANTE .....	65
7.5. INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	67
8. CONCLUSIONES.....	69
9. RECOMENDACIONES .....	71
10. REFERENCIAS .....	72
11. ANEXOS .....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. Zonificación Hidrográfica de Colombia. ....	19
Figura. 2 Provincias Hidrogeológicas de agua subterráneas. ....	20
Figura. 3. Cobertura de la vigilancia de la calidad del agua en el Meta.....	21
Figura. 4. Diagrama de procesos de una PTAP.....	24
Figura. 5 Filtro mono. ....	25
Figura. 6. Filtro dual.....	25
Figura. 7. Filtros multi.....	26
Figura. 8. Esquema de un Sistema de Control Típico.....	29
Figura. 9 Ejemplo de Diagrama de Procesos e Instrumentación de Planta Convencional de Tratamiento de Agua Potable. ....	32
Figura. 10. Kit de Test pH Merck.....	41
Figura. 11. Kit de Test de Cloro Libre Residual Merck. ....	42
Figura. 12. Kit de Test Hierro Merck. ....	43
Figura. 13. Kit de Test de Color Merck.....	44
Figura. 14. Equipo de Test de Jarras YFL4C. ....	46
Figura. 15. Coagulante QUIMINFLOC 1325. ....	47
Figura. 16. Floculante QUIMIFLOC 1200. ....	47
Figura. 17. Solución a 1500 ppm.....	49
Figura. 18. Prueba de Jarras para una concentración de 60 ppm de coagulante y 0,1 ppm de floculante. ....	65
Figura. 19 Diagrama de Flujo e Instrumentación del Tratamiento de Agua Potable.....	68
Figura. 20. Formato toma de muestras físico-químicas. ....	78
Figura. 21. Formato toma de muestras Microbiológicas.....	80
Figura. 22. Pared lateral izquierda de la PTAP.....	81
Figura. 23. Parte trasera de la PTAP. ....	81
Figura. 24. Parte lateral derecha de la PTAP. ....	82

Figura. 25. Parte frontal de la PTAP. ....	82
Figura. 26. Parte lateral izquierdo de la PTAP. ....	83
Figura. 27. Bomba de la PTAP. ....	83
Figura. 28. Habitación de control de dosificaciones de soluciones químicas.....	84
Figura. 29. Bombas dosificadoras y tanques de almacenamiento de soluciones químicas. .	84
Figura. 30. Bombas dosificadoras. ....	85
Figura. 31. Ingreso de soluciones químicas a la PTAP.....	85
Figura. 32. Óxido de Calcio almacenado.....	86
Figura. 33. Hipoclorito de Calcio almacenado.....	86
Figura. 34. PTAP parte Frontal. ....	87
Figura. 35. PTAP parte trasera. ....	87
Figura. 36. PTAP parte lateral izquierdo. ....	88
Figura. 37. PTAP parte lateral derecho. ....	88
Figura. 38. PTAP casa de la bomba. ....	89
Figura. 39. PTAP, Escalera de la planta.....	90
Figura. 40. PTAP plano completo con respectiva distribución. ....	91
Figura. 41. Laboratorio de Control y Calidad del Agua. ....	92
Figura. 42. Elementos de Protección Personal.....	92
Figura. 43. Normativa ISO 1700 .....	93
Figura. 44 Permiso de Concesión de Aguas Subterráneas. ....	93
Figura. 45 Diagrama de solubilidad del Hidróxido de Aluminio en función del pH.....	94
Figura. 46. Aplicación de la Instrumentación para regulación y automatización en el nivel bajo de complejidad del sistema.....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas del agua potable. ....	22
Tabla 2. Características químicas del agua que generan un efecto en la salud humana. ....	22
Tabla 3. Reacciones de cloro con agua. ....	27
Tabla 4. Normas Técnicas de Colombia sobre el agua potable. ....	33
Tabla 5. Leyes, Decretos y Legislaciones vigentes para el control y calidad del agua potable. .....	36
Tabla 6. Resultados Prueba de Jarras. ....	64
Tabla 7. Resultados ensayos desinfectante. ....	66

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comportamiento del pH en cada punto de muestreo.....	52
Gráfica 2. Comportamiento del pH en la semana 1.....	53
Gráfica 3. Comportamiento del pH en la semana 2.....	54
Gráfica 4. Comportamiento del pH en la semana 3.....	54
Gráfica 5. Comportamiento del pH en la semana 4.....	55
Gráfica 6. Comportamiento del Cloro Libre Residual en cada punto de muestreo. ....	56
Gráfica 7. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 1. ....	57
Gráfica 8. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 2. ....	58
Gráfica 9. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 3. ....	59
Gráfica 10. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 4. ....	59
Gráfica 11. Comportamiento del Hierro en cada punto de muestreo.....	60
Gráfica 12. Comportamiento del Hierro en la semana 1.....	61
Gráfica 13. Comportamiento del Hierro en la semana 2.....	61
Gráfica 14. Comportamiento del Hierro en la semana 3.....	62
Gráfica 15. Comportamiento del Hierro en la semana 4.....	62

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO I FORMATO DE ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO.....	77
ANEXO II FORMATO ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO. ....	79
ANEXO III FOTOGRAFÍAS DEL ESTADO DE LA PLANTA. ....	81
ANEXO IV DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA FÍSICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DE GRANADA META. ....	87
ANEXO V LABORATORIO DE CONTROL Y CALIDAD DEL AGUA. ....	92
ANEXO VI PERMISO DE CONCESIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. ....	93
ANEXO VII SOLUBILIDAD DEL HIDRÓXIDO DE ALUMINIO EN FUNCIÓN DEL pH.....	94
ANEXO VIII APLICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN PARA REGULACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN EN EL NIVEL BAJO DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA. ....	95
ANEXO IX MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. ....	95

## 1. INTRODUCCIÓN

El hombre a través de la historia había sobrevivido en armonía con la naturaleza, pero a medida que ha pasado el tiempo se ha encontrado que dicha brecha se está eliminando, esto se debe a la codicia e incultura de la raza humana. El agua es uno de los componentes más importantes para la salud humana y es proporcionado por la madre tierra, a pesar de encontrar que existe muchísima cantidad de agua, esta no es ilimitada.

La buena calidad del agua juega un papel de suma importancia en la salud, y se ha convertido en uno de los derechos fundamentales de la humanidad. A nivel internacional se han realizado gran cantidad de reuniones para establecer los parámetros necesarios para poseer agua de calidad, recordando que el acceso debe de ser prioridad en todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha luchado aproximadamente desde 1980 por la buena calidad del agua, proponiendo unas guías que sirven para orientan a todas las comunidades sobre los parámetros que se requieren para determinar un agua de excelente calidad [1].

Los procesos de Tratamiento de Agua se han realizado aproximadamente desde los años 2000 antes de Cristo y solo hasta los años 1970 [2] se organizaron los procesos que conocemos hoy en día, como lo es la Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección [3].

Dentro de los estándares de calidad del agua se encuentra la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 que juega el papel más importante en todo el documento, ya que todo el proceso se realiza en función y validación de los parámetros establecidos allí. La Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 solicita la realización de unos análisis físico-químicos y establece unos rangos máximos permitidos de concentración de compuestos químicos en el agua, para garantizar su potabilidad.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Han pasado aproximadamente 50 años desde que la humanidad comprendió la importancia de tener agua potable, y desde ese momento iniciaron un proceso de creación de normativas y legislaciones con el fin de evitar la contaminación en nuestros recursos hídricos [4], entre estas encontramos la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) [5]. Cada día aparecen nuevas enfermedades relacionadas y transmitidas por medio del agua de consumo contaminada [1]. En el Meta y específicamente en Granada, los Índices de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) de los años 2007 hasta el año 2017 [6] demuestran que la calidad del agua de la región no es apta para el consumo humano; para el año 2016 el IRCA obtuvo un valor de 29,4 [7] que significa que posee un riesgo de carácter medio (no apta para el consumo humano [8]) y para el año 2017 el IRCA obtuvo un valor de 35,7 [9] que significa que posee un riesgo de carácter alto (no apta para el consumo humano y requiere vigilancia especial [8]). Es por esto que se desea modificar y adecuar la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en el Hospital Departamental del Meta. Según las guías para la calidad del agua potable proporcionadas por la OMS, las aguas de los centros de salud (en este caso el hospital) deben contar con agua apta para el consumo humano e higiene personal.

Al desarrollar este proyecto se espera proponer una adecuada modificación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), a su vez encontrar la dosificación adecuada del desinfectante y del coagulante-floculante para obtener agua de calidad que se encuentre dentro de los rangos establecidos por OMS. De tal modo se evitará la presencia de patógenos en el agua, que pueden provocar brotes de enfermedades y generar una epidemia a la comunidad de la región [10]. Datos aportados por la OMS informan que la mejor forma de garantizar la desinfección de microorganismos es por medio del cloro [11]. Además, se espera aportar un manual de la PTAP, del cual carecen, con el fin de tener claridad de los equipos que poseen y su adecuado funcionamiento.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVOS GENERALES

Analizar las condiciones de operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Hospital Departamental de Granada Meta.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el estado actual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Hospital Departamental de Granada Meta.
- Estudiar los parámetros físico-químicos del agua sin procesar y agua procesada.
- Proponer el cambio de reactivos para el mejoramiento del proceso de coagulación y desinfección en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Hospital Departamental de Granada Meta.
- Seleccionar la alternativa más eficiente y económica para el Sistema de Control en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Hospital Departamental de Granada Meta.
- Diseñar el manual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del Hospital Departamental de Granada Meta.

## 4. MARCO TEÓRICO

El agua es el recurso que la humanidad más consume [12], este es utilizado de diversas maneras diariamente, entre estas actividades encontramos el aseo personal, aseo del hogar, agricultura, industria, comida y bebida. Las personas a medida que pasa el tiempo se han concientizado de la gran importancia que tiene el agua, tanto así que es conocido como el “oro azul”; esto se debe la gran escasez de agua que se ha visto recientemente en el mundo, ocasionando discordia en muchos lugares del planeta. Estudios han demostrado que aproximadamente el 71 % del planeta es agua, pero el 97,5 % de esta corresponde a agua salada; por lo tanto, las cantidades de aguas dulces son pocas [13].

### 4.1. EL AGUA

El agua posee una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, siendo esta sencilla molécula el elemento fundamental de la vida en el planeta [14]. Es una de las sustancias más noble y se puede encontrar en tres estados de la materia (sólido, líquido y gas) [15]. El agua juega un papel sumamente importante en la superficie y en el subsuelo, ya que mantiene los organismos vivos (plantas, animales, humanos); esta se presenta en forma de flujo de agua o agua subterránea [16].

#### 5.1.1. CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo del agua es un proceso sin fin que conecta el agua de todo el planeta. Fue descubierto en el siglo XVII por Pierre Perrault [17] y Edmè Mariotté, y dado a conocer en la publicación “*On the Origin of Springs*” en 1678 [18]. Realizaron pruebas sobre la evaporación del agua y la cantidad de lluvia que se obtenía en determinado tiempo, concluyendo que éstas si eran capaces de suplir la cantidad de agua que se retorna en los ríos, manantiales y demás fuentes hídricas [15].

## **4.2. EL AGUA EN COLOMBIA**

Colombia es un país rico en recursos hídricos, estos se encuentran divididos en 5 zonas, siendo la zona del Pacífico la más afortunada (Figura. 1); estos recursos se ven manifestados en yacimientos de agua, ríos, quebradas, lagunas, entre otras. El agua subterránea o subsuperficial, se encuentran en los poros del subsuelo siendo controladas por las condiciones físico-químicas e hidráulicas del macizo rocoso; para la facilidad del estudio de dichas zonas subterráneas, se han dividido en 6 provincias hidrogeológicas, estando Granada Meta en la Provincia de la Orinoquía (Figura. 2) [14].

### **4.2.1. CALIDAD DEL AGUA EN COLOMBIA**

Las composiciones químicas, características físicas y características biológicas son las que definen la calidad del agua, generada a través del contacto y disolución de los componentes minerales; en las aguas subterráneas se presentan altas concentraciones de material disuelto debido al contacto estrecho entre el agua, las rocas y la tierra [14]; a pesar de contar con tanta agua en Colombia, menos del 30% es potable para el consumo. Según el DANE, aproximadamente el 85 % de los municipios de Colombia no disponen de agua potable [19].

#### ***4.2.1.1. CALIDAD DEL AGUA EN EL DEPARTAMENTO DEL META***

El Ministerio de Salud y Protección Social presentó el informe sobre la Calidad del Agua para el Consumo Humano del año 2017 (más reciente); reportando un IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua) de 31,7 %, esto indica que el agua del departamento presenta un nivel de riesgo medio y no es apta para el consumo humano. En la Figura. 3 puede observar que dos (2) municipios presentan agua inviable sanitariamente, doce (12) presentan agua de riesgo alto, diez (10) presentan agua de riesgo medio y sólo uno (1) no presenta ningún tipo de riesgo [9].

#### ***4.2.1.2. CALIDAD DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE GRANADA META***

Para la determinación de la calidad del agua de Granada Meta se tomaron 35 muestras, obteniendo un IRCA de 35,7 %, el cual indica que Granada presenta un Nivel de riesgo Alto, como se observa en la Figura. 3 [9].

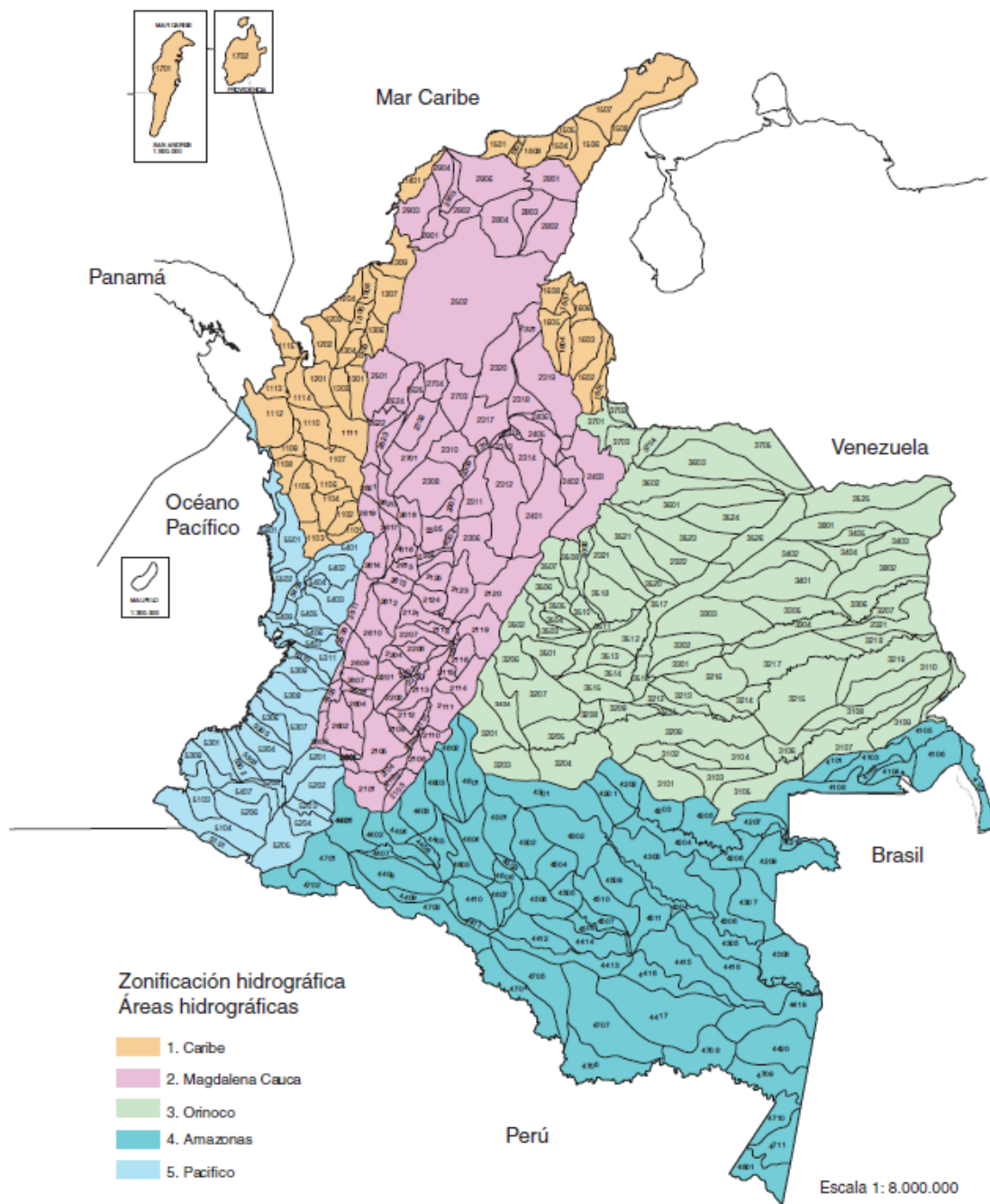


Figura. 1. Zonificación Hidrográfica de Colombia.

Tomada de: “El Agua” en el Medio Ambiente en Colombia [14].

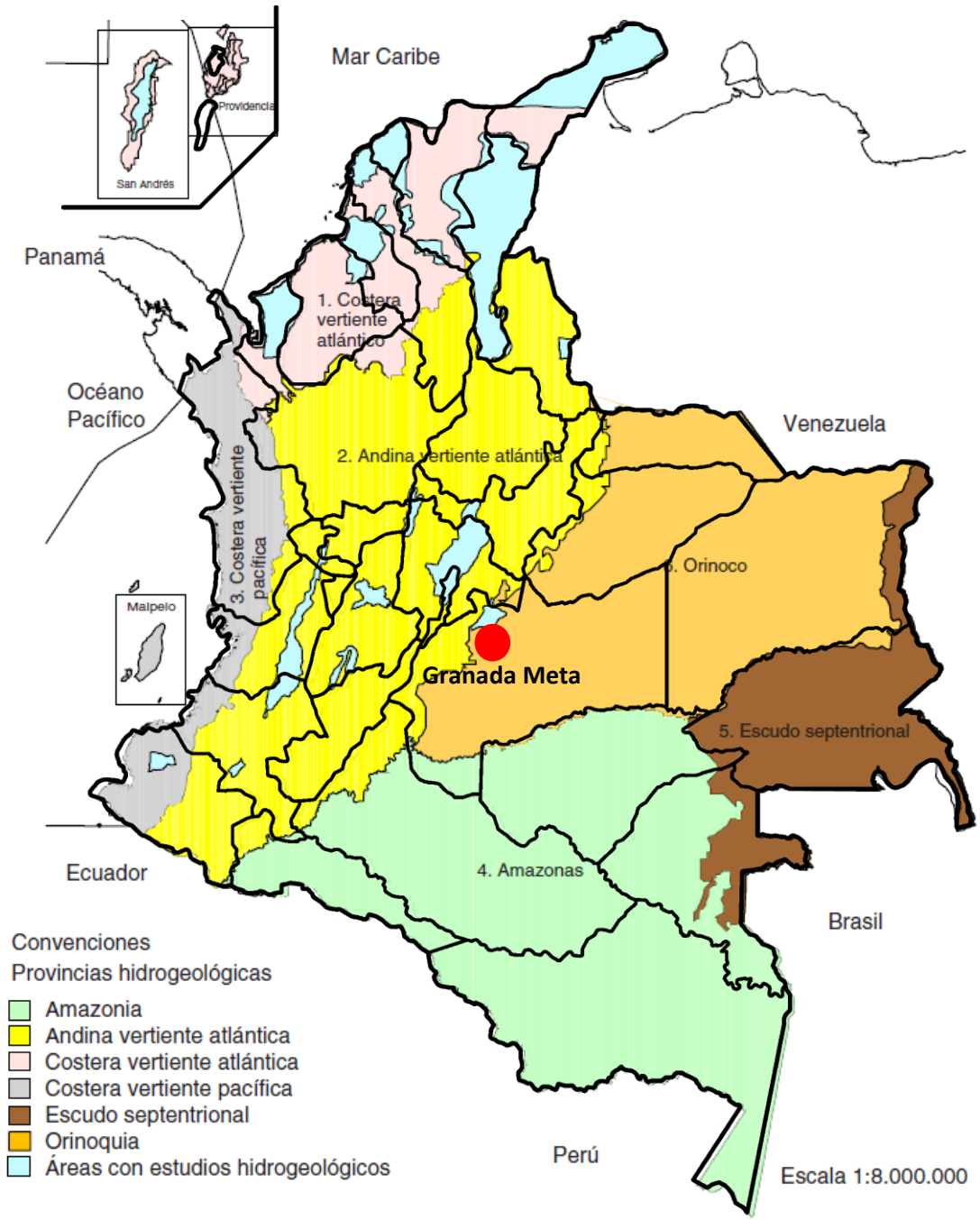


Figura. 2 Provincias Hidrogeológicas de agua subterráneas.

Tomada de: “El Agua” en el Medio Ambiente en Colombia [14].

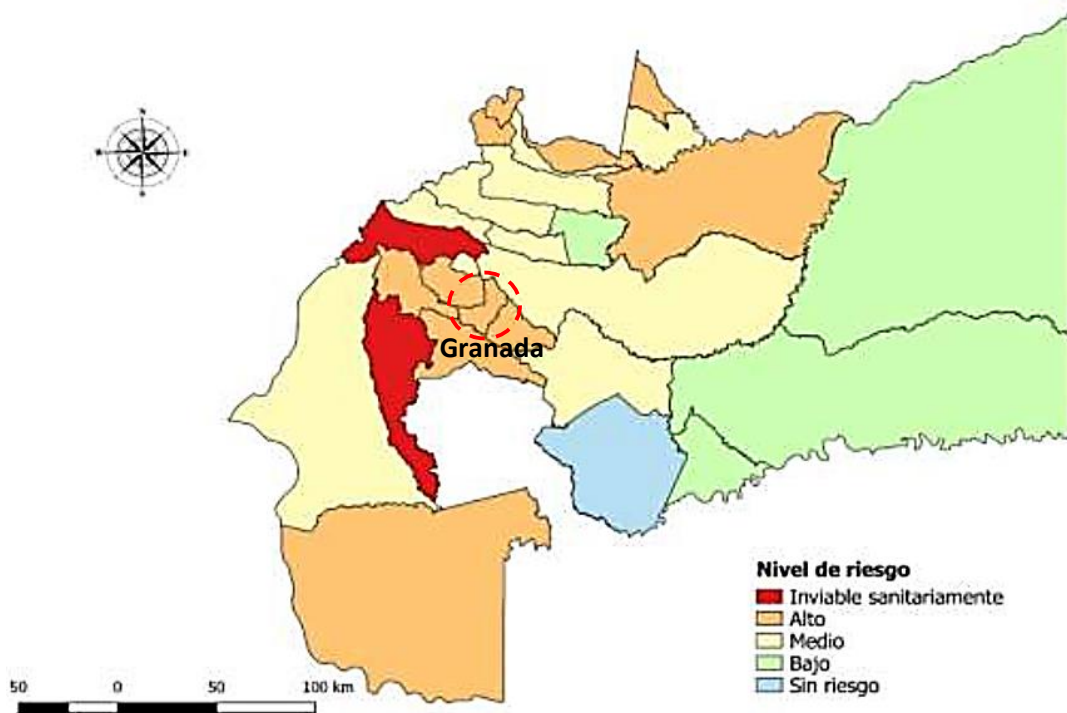


Figura. 3. Cobertura de la vigilancia de la calidad del agua en el Meta.

Tomado de: Informe Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano (2017) [9].

#### 4.3. CALIDAD DEL AGUA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua de consumo humano no debe ocasionar ningún tipo de riesgo para la salud [1] en Colombia se encuentra regulada por medio de la resolución 2115 del 22 de junio del 2007, dirigida por Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, donde “señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”.

Entre los parámetros para deducir un agua de calidad se encuentra el Potencial de Hidrógeno (pH) entre un rango de 6,5 y 9,0; las características físicas (Tabla 1) y las características químicas (Tabla 2). Adicional, la presencia de Coliformes Totales y Escherichia Coli debe ser de 0 UFC (Unidad Formadora de Colonia)/ 100 m<sup>3</sup> [8].

Tabla 1. Características físicas del agua potable.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	EXPRESADA COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Color aparente	UPC (Unidades de Platino y Cobalto)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad)	2

Tomado de: Resolución 2115 (2007) [8].

Tabla 2. Características químicas del agua que generan un efecto en la salud humana.

ELEMENTOS QUÍMICOS	SÍMBOLOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1

Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5

*Tomado de: Resolución 2115 (2007) [8].*

#### **4.4. HISTORIA DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

El Tratamiento de Agua Potable no es una metodología nueva, se han encontrado recomendaciones de métodos de tratamiento de agua que datan del año 2000 antes de Cristo. Antiguamente y en la actualidad se purifica el agua a través de filtros y ebullición. La principal razón de iniciar estos procesos de mejoramiento del agua fue por su aspecto (turbidez, color y olor) [2].

El inicio de la coagulación se dio después de los años 1500 antes de Cristo, donde los egipcios aplicaron alumbre químico para asentar las partículas en suspensión; en los años 500 antes de Cristo se creó la manga hipocrática, llamada así por su inventor, que consistía en un filtro de bolsa [20]. A medida que transcurría el tiempo, las personas fueron buscando como mejorar la calidad del agua, es así, como para los años de 1627 se iniciaron los primeros procesos de purificación de agua más sofisticado; para el 1914 se empezaron a utilizar estándares de agua potable y a partir de los años de 1970 se adaptaron las plantas de tratamiento que conocemos hoy en día [2].

#### **4.5. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable presentan un procedimiento específico, los cuales se evidencian en el diagrama de flujo ( Diagrama de procesos de una PTAP.), estas operaciones unitarias son fijas, pero los implementos químicos o procesos unitarios pueden variar dependiendo que la calidad del agua [21].



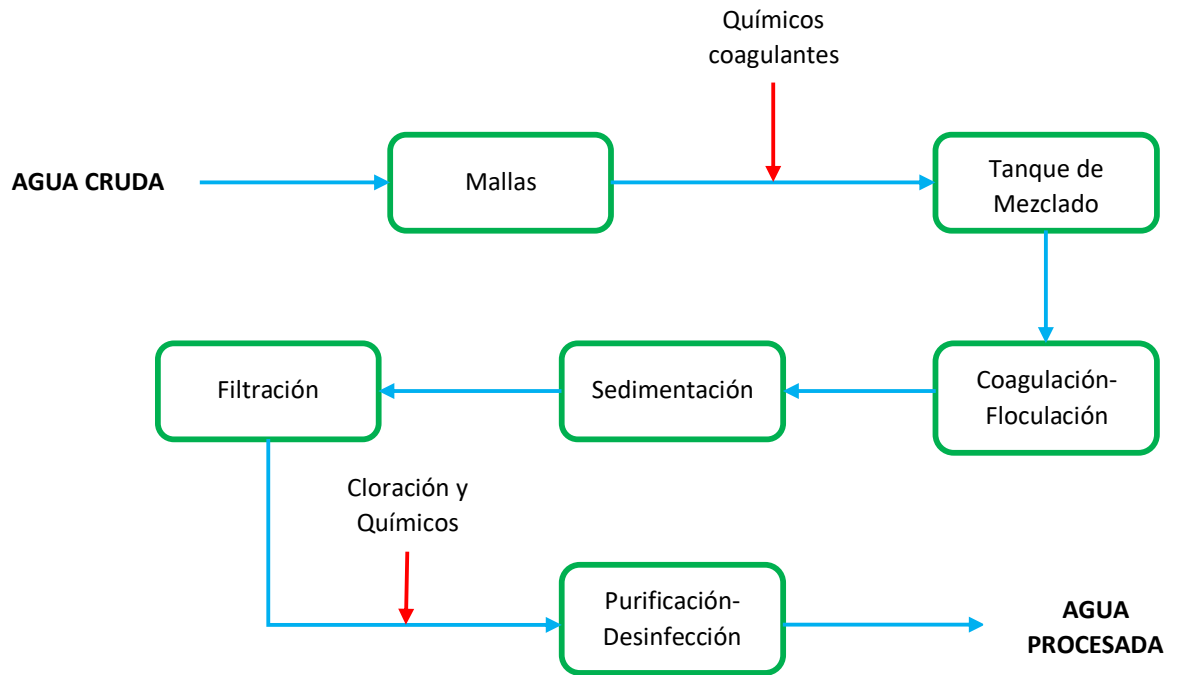


Figura. 4. Diagrama de procesos de una PTAP.

Fuente: Autor.

#### 4.5.1. FILTRACIÓN

La filtración es una operación unitaria que consiste en la separación de partículas sólidas de un fluido, a través de un medio filtrante donde es acumulado el sólido [22]. Para el Tratamiento de Agua Potable la filtración es un proceso físico-químico esencial, este remueve el color y la turbidez del agua. Estos se dividen en filtros mono (Figura. 5), dual (Figura. 6) y multi (Figura. 7) [23].

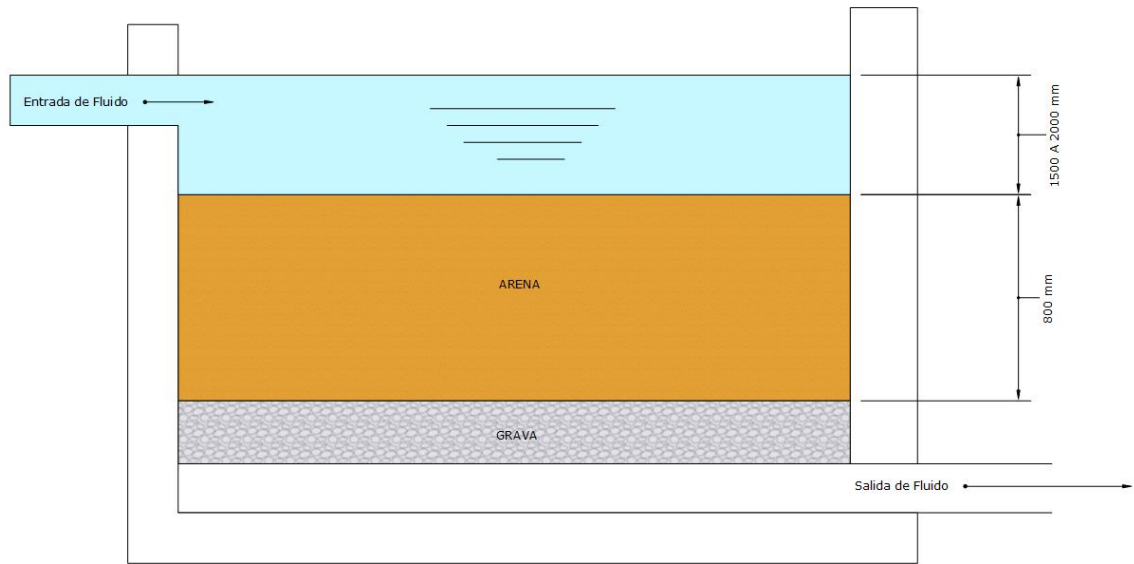


Figura. 5 Filtro mono.

Fuente: Autor.

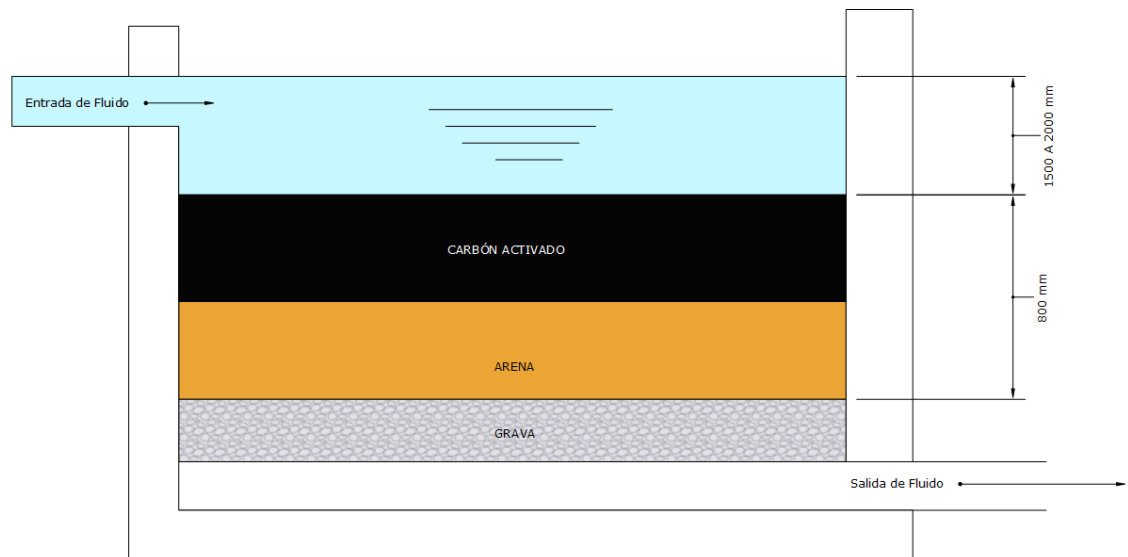
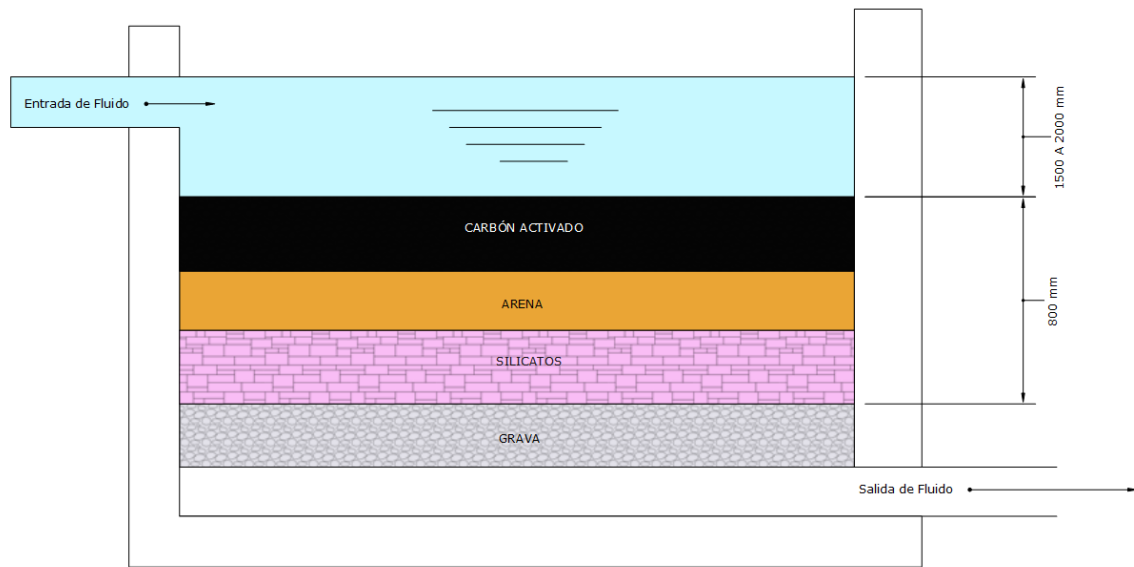


Figura. 6. Filtro dual.

Fuente: Autor.



*Figura. 7. Filtros multi.*

Fuente: Autor.

#### 4.5.2. COAGULACIÓN

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales (sistema conformado por un líquido y partículas sólidas muy finas), siendo este el tratamiento más importante y vigoroso. Es considerado un método universal, ya que elimina de forma rápida y económica la materia sólida suspendida en el agua. Los principales coagulantes son Hidroxicloruro de Aluminio, Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), Aluminato de Sodio ( $\text{NaAlO}_2$ ), Cloruro de Aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ), Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), Sulfato Férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) y Polielectrolitos [24].

#### 4.5.3. FLOCULACIÓN

El proceso de floculación radica en la obtención y agrupación mecánica de las partículas neutralizadas, generando un sólido con mayor volumen y tamaño, haciendo que la velocidad de sedimentación aumente estudio [25]. La floculación es favorecida en mezclado lento, ya que evita la ruptura de los flóculos [24].

Los floculantes son polímeros o Polielectrolitos y se encuentran de forma mineral (sílice activada), orgánico natural (ácidos manuránicos y glucónicos) u orgánico sintético (aniónicos, neutros o no iónicos y catiónicos) [26].

#### 4.5.4. DESINFECCIÓN

La desinfección tiene como fin la destrucción de microorganismos patógenos, siendo una barrera para las bacterias; la desinfección es una operación de suma importancia en el proceso de Agua Potable y es realizada mediante productos químicos como el cloro. El tratamiento utilizado con mayor frecuencia es la cloración. La cloración tiene como finalidad la desinfección microbiana y esta se puede realizar mediante diferentes productos químicos, tales como [1]:

- Gas Cloro Licuado.
- Solución de Hipoclorito de Sodio.
- Hipoclorito de Calcio.

##### 4.5.4.1. MECANISMOS DE LA DESINFECCIÓN CON CLORO

La cloración se realiza a través del burbujeo del cloro en estado gaseoso o por medio de la dosificación de una disolución de los reactivos clorosos. El cloro en cualquier estado (líquido, sólido o gaseoso) se hidroliza al estar en contacto con el agua y forma un ácido hipocloroso (Tabla 3) [5].

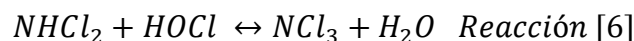
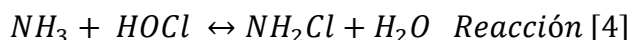
Tabla 3. Reacciones de cloro con agua.

REACTIVO	REACCIÓN
Cloro gaseoso	$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow H^+ + Cl^- + HOCl$ Reacción [1]
Hipoclorito de Sodio	$NaOH + H_2O \leftrightarrow OH^- + HOCl$ Reacción [2]

Hipoclorito de Calcio	$Ca(OCl)_2 + 2H_2O$ $\leftrightarrow Ca^{++} + 2OH^-$ $+ 2HOCl \text{ Reacción [3]}$
-----------------------	--

Tomado de: Desinfección del Agua (2002) [5].

Durante este proceso químico también ocurre la formación de cloraminas (Reacción [4]), dicloraminas (Reacción [5]) y tricloraminas (Reacción [6]) en presencia de amoníaco. Finalmente, la especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl), que se disocia en dos iones, uno de hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) y otro de hidrogenios (H<sup>+</sup>). Estas especies de iones son microbicidas y proceden a desactivar las actividades enzimáticas de las bacterias y virus [5].



#### 4.6. FACTORES DE PELIGRO Y SUCESOS PELIGROSOS

Es importante generar un sistema de control en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, debido a que entre los factores de peligro que afectan a las plantas esta:

- Operaciones de tratamiento inadecuadas (Personal).
- Estructura insuficiente o en pésimo estado.
- Averías y funcionamiento deficiente de los sistemas de control de las operaciones o escasos de equipos.
- Uso de sustancias químicas vencidas o mal almacenamiento.
- Errores en la dosificación de sustancias químicas
- Mezclado insuficiente.
- Contaminación accidental o deliberado.
- Conexiones cruzadas con aguas contaminadas o residuales [1].

Y todos estos peligros se pueden evitar mediante un buen sistema de control.

#### 4.7. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

El título C del Reglamento Técnico del Sector de Agua y Saneamiento Básico (RAS) establece los requisitos mínimos que debe tener una Planta de Tratamiento de Agua Potable, con el fin de mantener las variables de proceso en un rango seguro de operación, detectar situaciones de peligro, prevenir procedimientos peligrosos de operación, anticipar condiciones de operación y producir archivos históricos de datos de operación de la planta [27].

##### 4.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El Sistema de Instrumentación y Control de una Planta de Tratamiento de Agua Potable está compuesta por un sensor o transductor, un transmisor de señal, un controlador, un sistema de registro y un actuador (Figura. 8) [27].

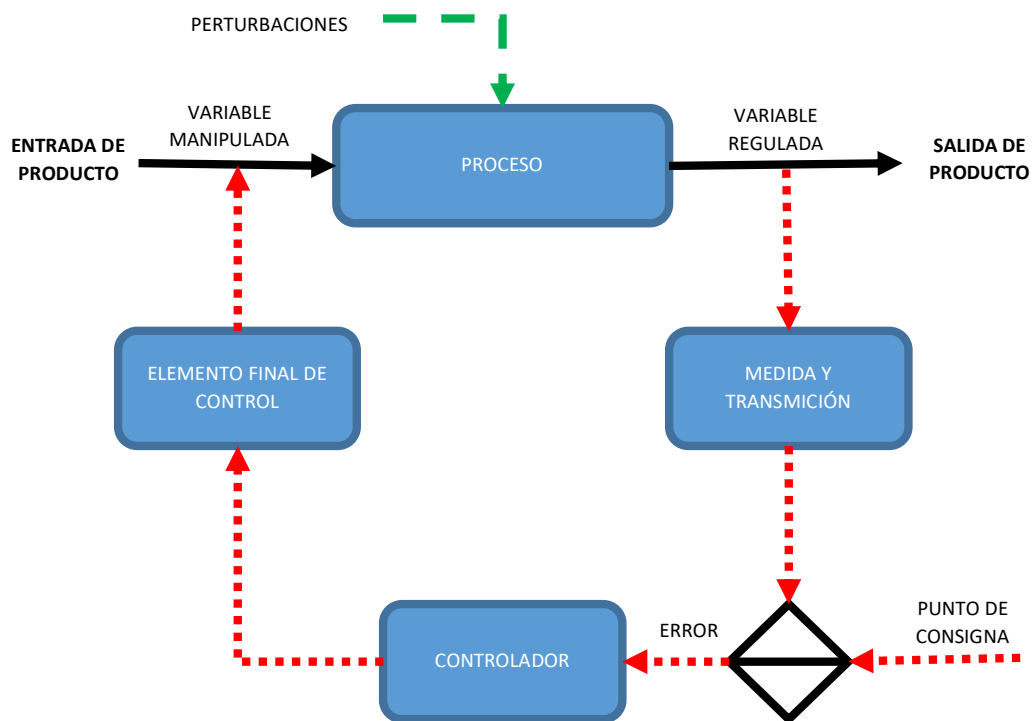


Figura. 8. Esquema de un Sistema de Control Típico.

Fuente: Autor.

#### **4.7.2. INSTRUMENTACIÓN**

Existen múltiples instrumentos para los Sistemas de Control, pero no todos son aptos para el Control de una Planta de Tratamiento de Agua Potable; a continuación, se presentarán los instrumentos que se pueden utilizar:

##### **4.7.2.1. ANALIZADORES**

Existen diferentes tipos de analizadores dependiendo del proceso a realizar, entre estos encontramos el Amperímetro, Polarográfico, Colorimétrico, Voltámetro y Potenciómetro. Estos son utilizados para determinar el Cloro Residual, el Aluminio Residual, el pH, la turbiedad y concentraciones [27].

##### **4.7.2.2. MEDIDORES DE FLUJO**

Son utilizados para medir los caudales volumétricos o másicos, para estos procesos se utilizan Fluxómetro magnéticos, Fluxómetro de turbinas, Fluxómetro ultrasónico, Canaleta Parshall, medidores Venturi y de flujo de tubo y vertederos [27].

##### **4.7.2.3. MEDIDORES DE NIVEL**

Tienen como objetivo asegurar el funcionamiento correcto de la Planta de Tratamiento de Agua Potable por medio del balance de materia de las corrientes. Los tipos de medidores que se pueden utilizar son: Medidor Directo a la altura del líquido sobre una línea de referencia, Medidor de Presión Hidrostática, Medidor de Sonda, Medidor de Cinta, Nivel de Cristal y Flotadores [27].

##### **4.7.2.4. MEDIDORES DE PRESIÓN**

Los Medidores de Presión deben estar presente en todas las líneas de proceso, en las descargas de las bombas y en los tanques. Los instrumentos que se pueden utilizar son: Medidores Manométricos (Manómetros, Tubos Manómetros Bourdon, Elemento en Espiral y Helicoidal), Diafragma de Presión diferencial, Medidores Capacitivos y Ultrasónicos [27].

#### **4.7.2.5. TRANSMISORES**

Son Instrumentos que captan las variables del proceso y las transmiten a través de la distancia hacia un indicador o controlador [27].

#### **4.7.2.6. CONTROLADORES**

Son dispositivos que comparan las variables controladas con los valores deseados y realizan una acción para corregir la desviación [27].

#### **4.7.2.7. ELEMENTOS DE CONTROL FINAL**

Son los elementos que permiten manipular y cambiar las condiciones del proceso, con el fin de estar siempre en el rango deseado. Se pueden utilizar Actuadores Eléctricos, Actuadores Hidráulicos, Actuadores Neumáticos, Motores de Velocidad Variable y Válvulas de Control (Globo, Mariposa, Tapón, Bola y Diafragma) [27].

#### **4.7.2.8. SISTEMA DE REGISTRO**

El Sistema de Registro se divide en tres categorías dependiendo de su utilidad. Los Datos de proceso son los que se obtienen durante el funcionamiento de la Planta y alertan al personal de las fallas; La Información Técnica se utiliza para optimizar el proceso; y Los Datos Históricos sirven para realizar planeaciones futuras [27].

En la Figura. 9 Ejemplo de Diagrama de Procesos e Instrumentación de Planta Convencional de Tratamiento de Agua Potable. se presenta un ejemplo de cómo es un Diagrama de Procesos e Instrumentación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable.



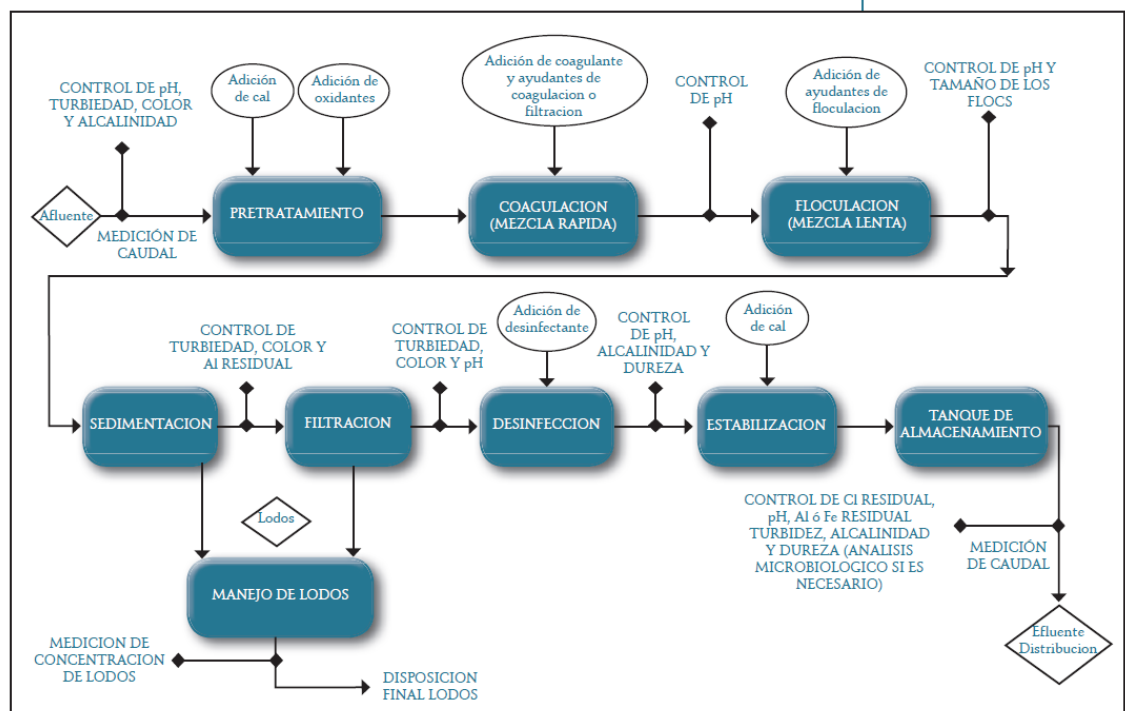


Figura. 9 Ejemplo de Diagrama de Procesos e Instrumentación de Planta Convencional de Tratamiento de Agua Potable.

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, TÍTULO C 'Sistemas de Potabilización (2010) [27].

## 5. MARCO LEGAL

Son de suma importancia conocer las Normas Técnicas Colombianas (Tabla 4), Leyes, Decretos y Legislaciones vigentes para el control y la calidad del agua potable (Tabla 5), expuestas por el ministerio de Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y las expedidas por organismos de reconocimiento internacional, para la gestión ambiental y el control de calidad del agua [27].

### 5.1. NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

*Tabla 4. Normas Técnicas de Colombia sobre el agua potable.*

TIPO	NÚMERO	AÑO	CONTENIDO
GTC	2	1994	Manual de métodos analíticos para el control de calidad del agua.
GTC	25	1995	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo para estudios biológicos.
GTC	30	1996	Gestión ambiental. Suelos. Guía para el monitoreo de aguas subterráneas.
GTC	31	1996	Gestión ambiental. Agua. Guía para la realización de pruebas de toxicidad (bioensayos) en organismos acuáticos.
NTC	531	2015	Productos químicos para uso industrial. Sulfato de Aluminio.

NTC	897	2015	Calidad del agua. Determinación del contenido de sólidos.
NTC	925	2006	Productos químicos para uso industrial. Cloro Líquido.
NTC	813	2012	Agua Potable. Determinación de cianuro
NTC	1398	2003	Productos químicos para uso industrial. Cal viva y Cal hidratada para el tratamiento de agua para consumo humano.
NTC	1454	2000	Agua Potable. Determinación de boro
NTC	1460	2000	Calidad del agua Potable. Determinación del selenio
NTC	1847	1996	Productos químicos para uso industrial. Hipocloritos utilizados en el tratamiento de aguas.
NTC	2572	2010	Material filtrante granular.
NTC	2753	1996	Productos químicos. Permanganato de potasio
NTC	3362	2005	Calidad del agua. Determinación de aceites, grasas y sustancias solubles en solventes orgánicos
NTC	3498	2002	Calidad del agua. Determinación de la radioactividad
NTC	3629	2002	Calidad del agua. Demanda Química de Oxígeno (DQO)
NTC	3630	2014	Calidad del agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
NTC	3645	2011	Calidad del agua. Determinación de la temperatura
NTC	3651	2012	Calidad del agua. Determinación del pH.
NTC	3699	1995	Aguas. Poliaminas EPI-DMA para el tratamiento de aguas

NTC	3705	2007	Medición de flujo de agua en canal abierto con vertederos de placa fina.
NTC	3903	1996	Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras.
NTC	3933	2007	Método estándar para medición del flujo de agua en canal abierto con canaletas Parshall.
NTC	3945	1991	Gestión ambiental. Método estándar para mediciones de la velocidad del agua en canales abiertos mediante elementos rotativos, Molinetes.
NTC	3976	2016	Productos químicos para uso industrial. Cloruro férrico líquido.
NTC	4117	1997	Desinfección de plantas para tratamiento de aguas
NTC	4168	1997	Productos químicos. Sulfato Cúprico.
NTC	4273	1997	Productos químicos industriales. Carbón activado granulado.
NTC	4705	2013	Calidad del agua. Determinación del oxígeno disuelto (DO).
NTC	4707	1999	Calidad del agua. Determinación de la turbiedad. Método Nefelométricas
NTC	5667-1	2000	Calidad del agua. Muestreo. Parte 1. directrices para el diseño de programas de muestreo.

NTC	5667-11	1996	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.
NTC ISO	5667-2	1995	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo.
NTC ISO	5667-3	2004	Calidad del agua. Muestreo. Parte 3. Directrices para la preservación y el manejo de las muestras.
NTC ISO	5667-4	1996	Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales
NTC ISO	5667-5	2008	Calidad del agua. Muestreo parte 5: Directrices para el muestreo de agua potable de instalaciones de tratamiento y sistemas de distribución por tubería.
NTC ISO	5667-6	2002	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes.

Tomado de: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, TÍTULO C ‘Sistemas de Potabilización (2010) [27].

## 5.2. LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIONES

*Tabla 5. Leyes, Decretos y Legislaciones vigentes para el control y calidad del agua potable.*

TIPO	NÚMERO	AÑO	CONTENIDO
LEY	9	1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias para la protección del Medio Ambiente.

LEY	99	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
DECRETO	1575	2007	Por el cual el Ministerio de la Protección Social establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
LEY	388	1997	Sobre planes de ordenamiento territorial.
DECRETO	3489	1982	Sobre declaratoria de estado de emergencia.
RESOLUCIÓN	1096	2000	Por medio del cual el entonces Ministerio de Desarrollo Económico adopta el Reglamento de Agua y Saneamiento RAS
RESOLUCIÓN	1459	2005	Expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Ciudad y Territorio (MAVDT), modificatoria de la Resolución 1096 de 2000.
RESOLUCIÓN	2115	2007	Por medio de la cual los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
RESOLUCIÓN	811	2008	Por medio de la cual los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la

			vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
RESOLUCIÓN	82	2009	Por medio de la cual el Ministerio de la Protección Social adopta unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
RESOLUCIÓN	4716	2010	Expedida por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007” sobre el Mapa de Riesgo de la Calidad del agua para Consumo Humano.

Tomado de: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, TÍTULO C ‘Sistemas de Potabilización (2010) [27].

## 6. METODOLIGÍA

El proyecto se ejecutó en la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Hospital Departamental de Granada Meta. Dio inició con el recorrido por las instalaciones, con el fin de observar las condiciones del lugar y los materiales, reactivos y equipos de los cuales se disponía (ANEXO III).

### 6.1. FORMATOS DE CONTROL Y CALIDAD

Siguiendo lo estipulado por la Resolución 000082 de 2009, se realizó el diseño de los nuevos formatos de registro del Control y Calidad del Agua para los Análisis Físico-químico (ANEXO I) y los Análisis Microbiológicos (ANEXO II).

### 6.2. TOMA DE DATOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DEL HOSPITAL DEPARTAMENTAL DEL META

Al revisar la documentación de la Planta de Tratamiento se encontró la carencia del diseño de la misma. Debido a esto se realizó el proceso de medición y diseño de la estructura física (ANEXO IV).

### 6.3. LABORATORIO DE CONTROL Y CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Al realizar el recorrido de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, se encontró que la Entidad no poseía con el espacio de un Laboratorio para el Control y la Calidad del Agua Potable. Debido a esto se realizó la búsqueda de un lugar disponible en el Hospital Departamental de Granada Meta.

El espacio adquirido para la ubicación del Laboratorio cuenta con acceso a la energía y al agua, es un lugar fresco y con buena ventilación e iluminación. Adicional se organizaron las normativas correspondientes para el cuidado y protección del personal de laboratorio (ANEXO V).



#### **6.4. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PROCESADA Y SIN PROCESAR**

El proceso de la recolección de muestras de agua se realizó por un mes. El proceso es explicado a continuación.

##### **6.4.1. AGUA SIN PROCESAR**

Se tomó diariamente una muestra de 100 ml agua proveniente del pozo, a dicha muestra se le realizó los Análisis Físico-químicos.

##### **6.4.2. AGUA PROCESADA**

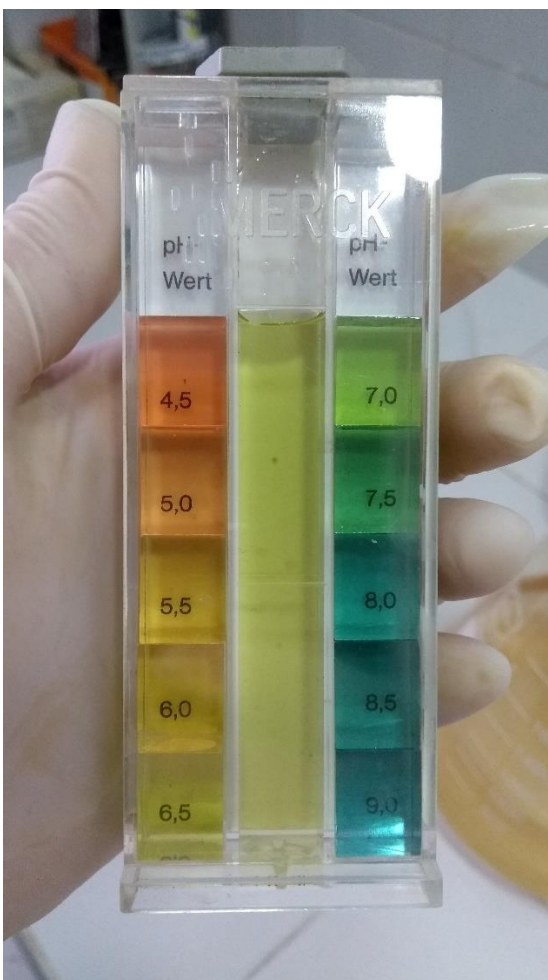
Se tomó diariamente una muestra de 100 ml de agua en diferentes zonas del Hospital Departamental del Meta, estas fueron escogidas por piso teniendo en cuenta la frecuencia del uso del espacio seleccionado. En el primer piso se obtuvieron las muestras del baño de damas (personal del Hospital), en el segundo piso se adquirieron las muestras de Cirugía y en el tercer piso se recolectaron de Pediatría; adicional se recolectaron muestras en el tanque de almacenamiento. Finalmente, a las muestras se le realizó los Análisis Físico-químicos.

#### **6.5. PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS**

##### **6.5.1. pH**

Se utilizó el Kit de Test pH Merck (CÓD. 108027) (Figura. 10) [28] y se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se llenó la cubeta de pH con 10 mL de agua.
2. Se agregó 5 gotas del reactivo pH-1 y se agitó.
3. Se puso la lámina blanca detrás de la cubeta de pH y leyó el valor del pH, con respecto al color que coincidió.



*Figura. 10. Kit de Test pH Merck.*

Fuente: Autor.

### **6.5.2. CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl<sub>2</sub>)**

Se utilizó el Kit de Test Cloro Libre Residual Merck (CÓD. 114976) (Figura. 11) [29] y se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se llenó con 6 mL de agua destilada una de las cubetas y se ubicó en el lado izquierdo del disco comparador.
2. Se agregó 3 gotas de reactivo Cl<sub>2</sub>-1 y posteriormente 1 gota de Cl<sub>2</sub>-2 en la segunda cubeta.

3. Se incorporó 6 mL de agua a analizar en la segunda cubeta, se agitó y se ubicó en el lado derecho del disco comparador.
4. Finalmente se giró el disco hasta obtener un color idéntico o muy similar y se leyó la concentración obtenida.



*Figura. 11. Kit de Test de Cloro Libre Residual Merck.*

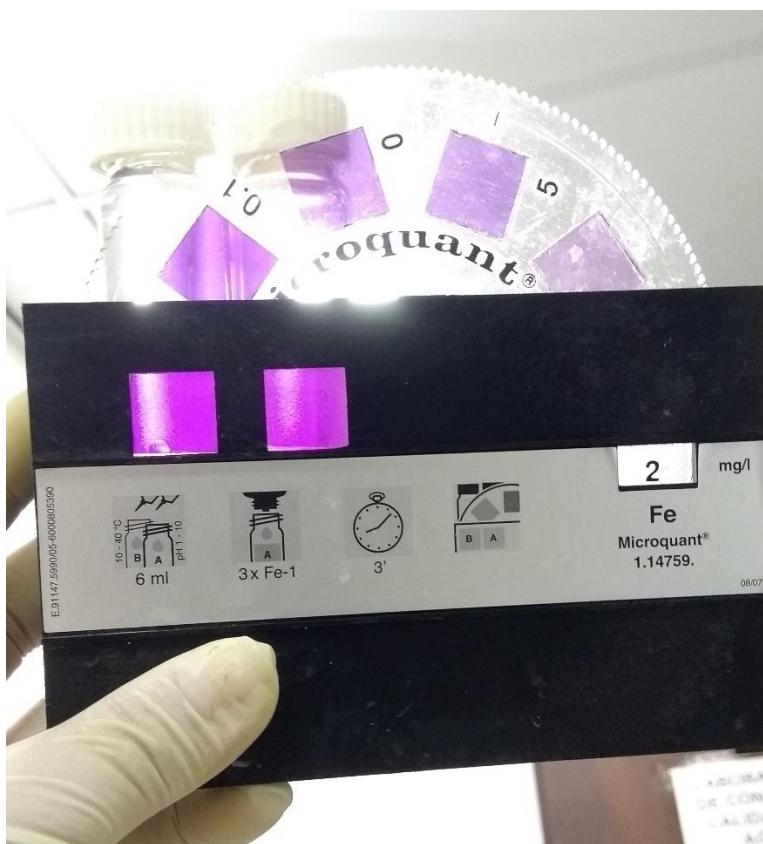
Fuente: Autor.

### 6.5.3. HIERRO (Fe)

Se utilizó el Kit de Test Hierro Merck (CÓD. 114759) (Figura. 12) [30] y se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se llenó con 6 mL de agua destilada una de las cubetas y se ubicó en el lado izquierdo del disco comparador.
2. Se incorporó 6 mL de agua a analizar en la segunda cubeta y se agregó 3 gotas de reactivo Fe-1.
3. Se agitó levemente y se ubicó en el lado derecho del disco comparador.

4. Se esperó un tiempo de 3 minutos.
5. Finalmente se giró el disco hasta obtener un color idéntico o muy similar y se leyó la concentración obtenida.



*Figura. 12. Kit de Test Hierro Merck.*

Fuente: Autor.

#### 6.5.4. COLOR (UPC)

Se utilizó el Kit de Test pH Merck (CÓD. 114421) (Figura. 13) [31] y se realizó e siguiente procedimiento:

1. Se tomó agua destilada como agua base y se agrega en una de las cubetas hasta la línea de medida (40 mL).

2. Se tomó la otra cubeta y se agregó hasta la línea de medida (40 mL) con el agua a analizar.
3. Se tomó el cartón comparador y se puso las cubetas sobre él, se deslizó la cubeta del agua destilada por el lado de las tonalidades más oscuras, y la cubeta con el agua de muestra por las tonalidades más claras.
4. Se ubicaron las cubetas de modo que las dos tonalidades sean iguales o muy similares.
5. Finalmente se leyó el valor en UPC (Unidades de Platino-Cobalto).



*Figura. 13. Kit de Test de Color Merck.*

Fuente: Autor.

#### **6.5.5. OLOR**

Para este proceso se tomó 30 mL del agua a analizar y se generó una agitación por medio de una varilla de agitación para percibir el olor. Esta prueba se realizó in situ, debido a que los olores se pueden perder fácilmente.

#### **6.6. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL**

La determinación del caudal de agua alimentada del pozo se realizó de forma experimental y forma teórica. La forma experimental consistió en medir la cantidad de volumen de agua

en determinado tiempo, esta prueba se realizó por triplicado y se sacó un promedio. La forma teórica se hizo a través de la ecuación 1 [32].

$$Q = (0,82 * S * \sqrt{2 * g * h}) * 1000 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

Q= Caudal total (L/s).

S= Área del Cilindro (m<sup>2</sup>).

g= Gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

h= Altura de la lámina de agua (m).

## **6.7. DETERMINACIÓN DEL COAGULANTE-FLOCULANTE**

En función de los datos obtenidos por los análisis físico-químicos del pozo, se realizó la determinación del coagulante y floculante a través del Test de Jarras.

### **6.7.1. COAGULANTE-FLOCULANTE**

Para la elección del coagulante-floculante se hizo un estudio previo sobre los tipos de coagulantes más utilizados en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable. Seleccionando el coagulante y floculante en base a las características del agua a tratar.

### **6.7.2. TEST DE JARRAS**

El Test de Jarras es un proceso que se utiliza con el fin de determinar las condiciones adecuadas para el Tratamiento de Agua y es descrita y propuesta por la Norma ICONTEC NTC 3903 [33]. Para este caso se utilizó un equipo de Test de Jarras con referencia YFL4C de cuatro puestos y el procedimiento fue el siguiente:

1. Se conectó y adecuó el equipo de Test de Jarras YFL4C (Figura. 14).
2. Se lavó cada recipiente a utilizar.

3. Se tomó en tres vasos precipitados de 1000 mL, la cantidad de 500 mL de agua proveniente del pozo.
4. Se realizó la solución de referencia de coagulante, donde se agregó 57 g (43 mL) de QUIMINFLOC 1325 (Hidroxiclورو de Aluminio, Figura. 15) en 57 mL de agua destilada y se obtuvo una solución de 1000 ppm, donde cada mL de solución es igual a 10 ppm.
5. Se realizó la solución de referencia del floculante, donde se agregó 10 g de QUIMINFLOC 1200 (Poliacrilamida aniónica, Figura. 16) [34] [35] en 100 mL de agua destilada y se obtuvo una solución de 100 ppm, donde cada mL de solución es igual a 1 ppm.
6. Se agregó a cada vaso una cantidad de Coagulante diferente y se puso en marcha a 120 rpm por un tiempo de 3 minutos.
7. Se agregó 0,2 mL de Soda Caustica al 48 % para ajustar el pH y se puso en marcha a 120 rpm por un tiempo de 1 minuto.
8. Se agregó la misma cantidad de Floculante (0,1 mL) a cada uno de los vasos precipitados y se puso en marcha a 50 rpm por un tiempo de 3 minutos.
9. Finalmente, se realizó los análisis físico-químicos a cada una de las muestras para así poder determinar la cantidad correcta.



*Figura. 14. Equipo de Test de Jarras YFL4C.*

Fuente: Autor.



*Figura. 15. Coagulante QUIMINFLOC 1325.*

Fuente: Autor.



*Figura. 16. Floculante QUIMIFLOC 1200.*

Fuente: Autor.



### 6.7.3. DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE/FLOCULANTE

El proceso de dosificación de coagulante/floculante se determinó de la siguiente manera:

1. Se calculó la cantidad de agua a tratar (ecuación 2).

$$V = Q * H * 3600 \text{ Ecuación 2}$$

Dónde:

V=Volumen de agua a tratar (L).

Q= Caudal de agua bombeada (L/s).

H= Tiempo de bombeo (h).

2. Se calculó la cantidad de coagulante/floculante a utilizar, que va en función de la concentración determinada en la Prueba de Jarras (ecuación 3).

$$v = \frac{CJ * V}{C} \text{ Ecuación 3}$$

Dónde:

v= Volumen de coagulante/floculante a utilizar (L).

CJ= Concentración obtenida en la Prueba de Jarras (ppm).

V= Volumen de agua a tratar (L).

C= Concentración del coagulante/floculante puro (ppm).

3. Se calculó la dosificación del coagulante/floculante a utilizar, por medio de la ecuación 4.

$$D = \frac{v * 1000}{H * 60} \text{ Ecuación 4}$$

Dónde:

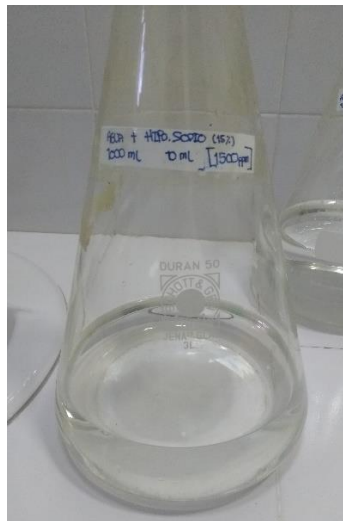
D= Dosificación de coagulante/floculante (mL/min).

v= Volumen de coagulante/floculante a utilizar (L).

H= Tiempo de bombeo (h).

## 6.8. DETERMINACIÓN DEL DESINFECTANTE

Para la determinación del desinfectante se realizó un estudio de disoluciones de dos productos (Hipoclorito de Sodio e Hipoclorito de Calcio) en función del Cloro Libre Residual y su estabilidad. Este procedimiento se basó en dos soluciones patrón de: (1) 1000 mL de agua destilada y 10 mL de Hipoclorito de Sodio (15 %). (2) una mezcla de 1000 mL de agua destilada y 1,7 g de Hipoclorito de Calcio (90 %); para obtener una solución de 1500 ppm en ambos casos (Figura. 17). Posteriormente se efectuó una nueva disolución tomando diferentes valores de la solución patrón, con 1000 mL de agua filtrada para cada ensayo. Este proceso se realizó por triplicado para cada reactivo y su contenido de Cloro Libre Residual fue tomado a la media hora, a la hora, a las dos horas y al día siguiente de realizarse la solución.



*Figura. 17. Solución a 1500 ppm.*

Fuente: Autor.

### 6.8.1 DOSIFICACIÓN DE DESINFECTANTE

La dosificación del desinfectante se realizó por medio de la ecuación 5.

$$D = \frac{\left( v1 * \left( \frac{CP}{VP} \right) \right) * (Q * H * 3600)}{C * (H * 60)} * 1000 \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

D= Dosificación de desinfectante (mL/min).

v1= Volumen consumido en prueba (mL).

CP= Concentración de disolución de prueba(ppm).

VP= Volumen total de disolución de prueba (mL).

Q= Caudal de agua a tratar (L/s).

H= Tiempo de bombeo (h).

C= Concentración de desinfectante (ppm).

### 6.9. DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

El diseño de la Instrumentación del Sistema de Control de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, se realizó según lo estipulado por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en el Título C.6; donde establecen los requisitos mínimos que debe tener una Planta de Tratamiento [27]. Adicional se tuvo en cuenta las Normativas ASTM volumen 11, capítulo 1.

### 6.10. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Para la elaboración del Manual de Operaciones y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable se realizó una recopilación del anterior Manual. Cabe resaltar que el documento anterior presentó bastantes errores y carece de los planos de la Planta (ANEXO IX|Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

La Planta de Tratamiento de Agua Potable del Hospital Departamental de Granada Meta no se encuentra en condiciones óptimas para su funcionamiento. La estructura física está bastante deteriorada (paredes oxidadas, válvulas dañadas, maleza a sus alrededores); no se encuentran todos los equipos requeridos para su correcto funcionamiento (Equipo para el test de jarras y sistema de aireación o agitación en los tanques de Cal y de Hipoclorito de Calcio); los reactivos utilizados no están haciendo efecto ante el proceso, debido a que algunos están vencidos y su almacenamiento no es el adecuado. Finalmente, se encontró que el manejo del proceso por parte de los operadores no es apropiado, entre estas irregularidades se encuentra:

- Las disoluciones de Cal e Hipoclorito de Calcio son realizadas de forma empírica, no se está teniendo en cuenta los pesos de los reactivos y los litros de agua a utilizar.
- El agua que se está utilizando para las disoluciones no es destilada.
- Se está utilizando la misma cantidad de reactivo que hace 10 años.
- El proceso de extracción de lodos no se está haciendo diariamente o antes de cada bombeada.
- La limpieza del filtro no es realizada correctamente.
- No se está llevando un proceso de Control y Calidad del Agua.

Adicional se encontró que el Permiso de Concesión de Aguas Subterráneas expedido por CORMACARENA, según la resolución PS-GJ. 1.2.6.14.0518 de 2014 se encuentra en proceso de actualización, ya que a la fecha está vencido y no está cumpliendo con el caudal establecido (3,02 L/s) (ANEXO VI).

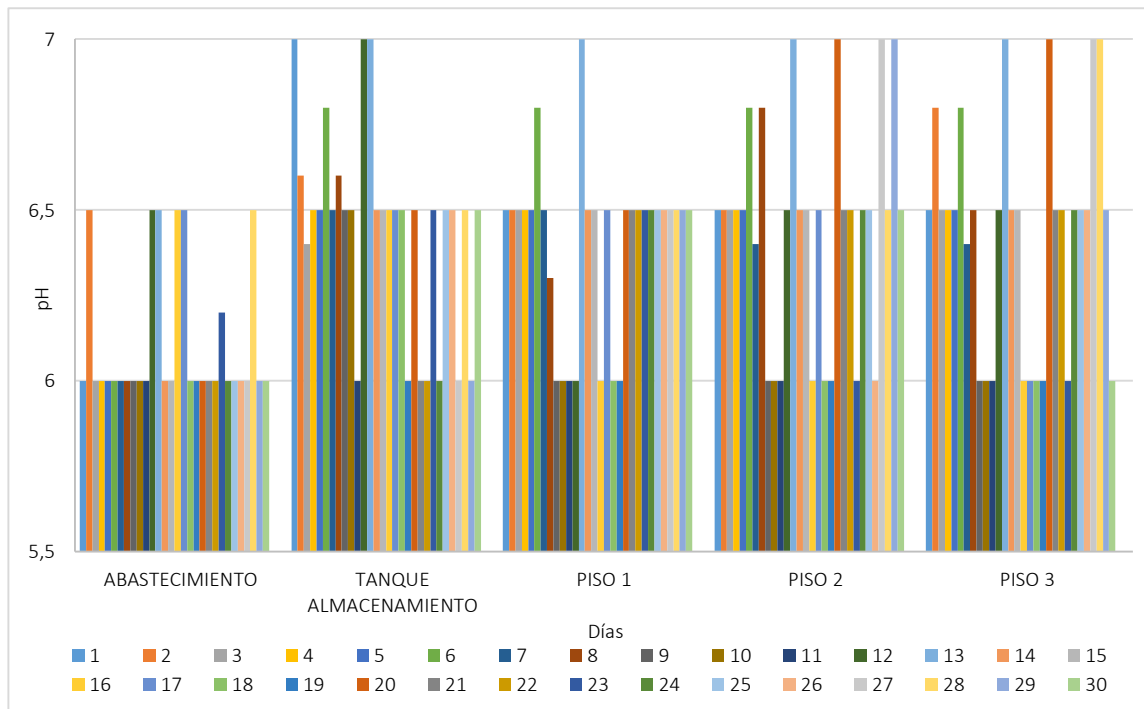
## 7.2. CONTROL Y CALIDAD DEL AGUA

El Control de la Calidad del agua es uno de los elementos más importantes de una Planta de Tratamiento de Agua Potable; debido a que este garantiza la potabilidad del agua.

### 7.2.1. pH

La determinación del pH es uno de los análisis más importantes en la calidad del agua, este se encuentra en una escala de 0 a 14 e indica si el agua tiene carácter ácido o alcalino. Para el caso de las aguas subterráneas, el pH está en función de los minerales y tipos de rocas con los que hace contacto [36].

Las aguas subterráneas presentan valores de pH inferiores a 8,3; el agua del pozo del Hospital Departamental de Granada Meta se puede clasificar entre bicarbonatadas sódicas a cloruradas sódicas [37], debido a que presenta un pH entre 6 y 6,5 como se observa en la gráfica 1.

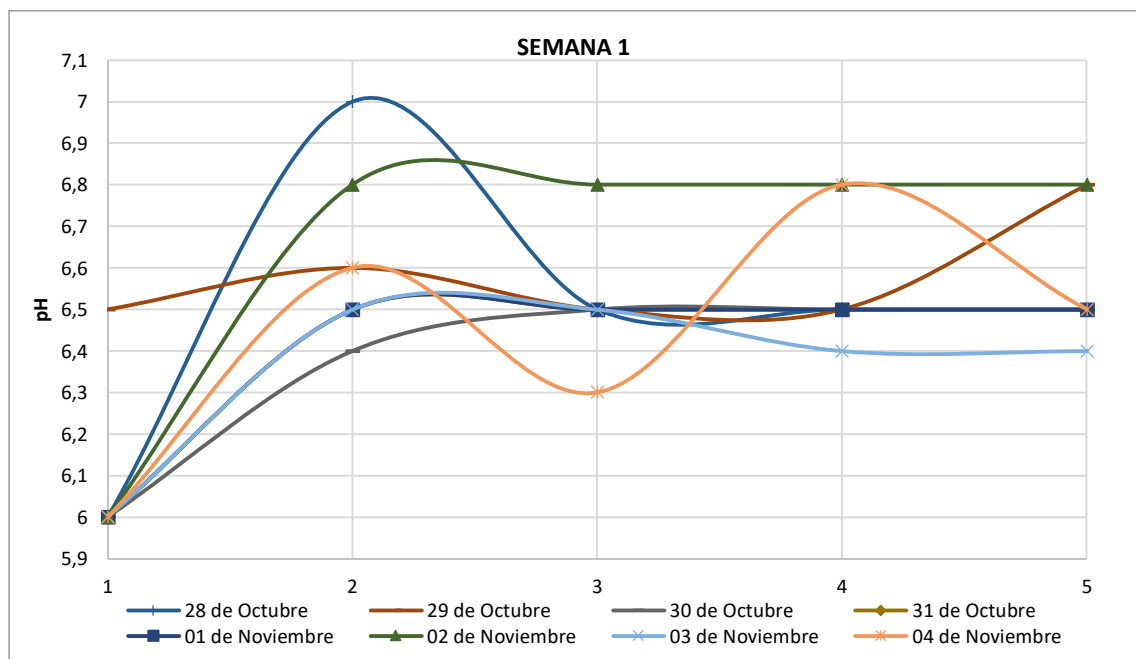


Gráfica 1. Comportamiento del pH en cada punto de muestreo.

Fuente: Autor.

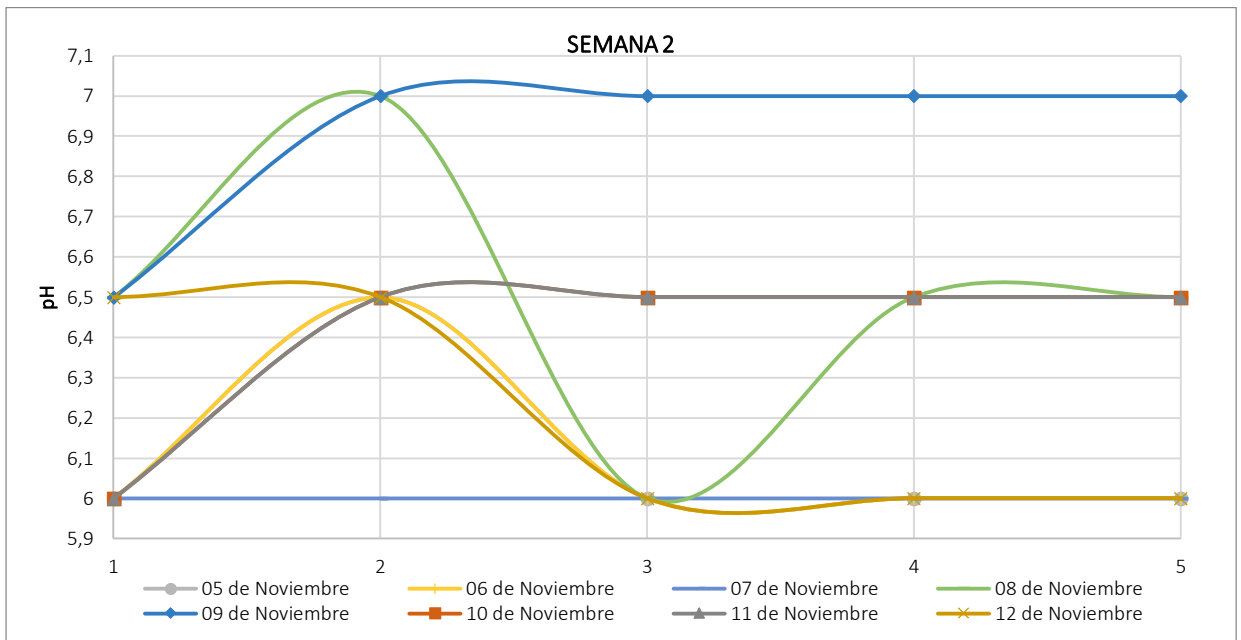
El agua tratada en el Hospital Departamental de Granada Meta no contiene un pH estable, este varía en un rango de 6 a 7. En la mayoría de ocasiones el pH se mantuvo en 6,5 (valor mínimo permitido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007), obteniendo unos porcentajes del 66,6 % en el piso 1, 50 % en el piso 2 y 46,6 % en el piso 3.

En las gráficas 2, 3, 4 y 5 se puede observar con más claridad la variación del pH diariamente; se decidió realizar las gráficas por semanas con el fin de observar si los operadores estaban realizando el funcionamiento correctamente. En la semana 1 el pH se mantuvo dentro del rango requerido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007. En la semana 2 el pH se comportó de forma más ideal, ya que iniciaba en un valor y se mantenía estable en los demás puntos del Hospital, pero hubo días que no cumplió el valor del pH establecido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007.



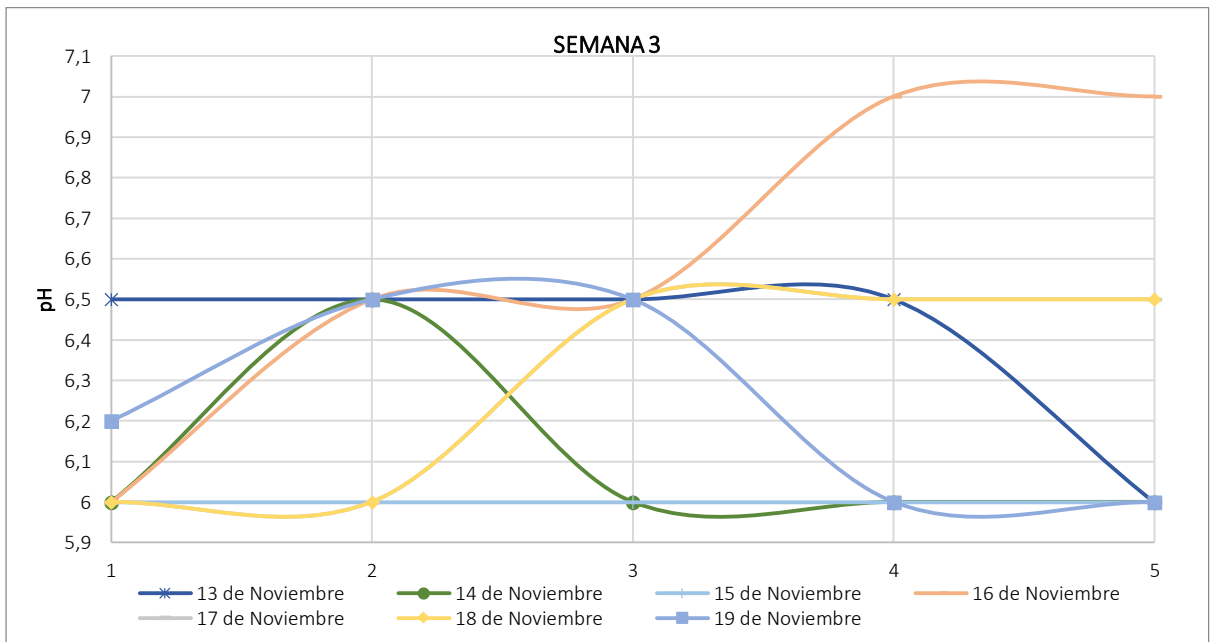
Gráfica 2. Comportamiento del pH en la semana 1.

Fuente: Autor.



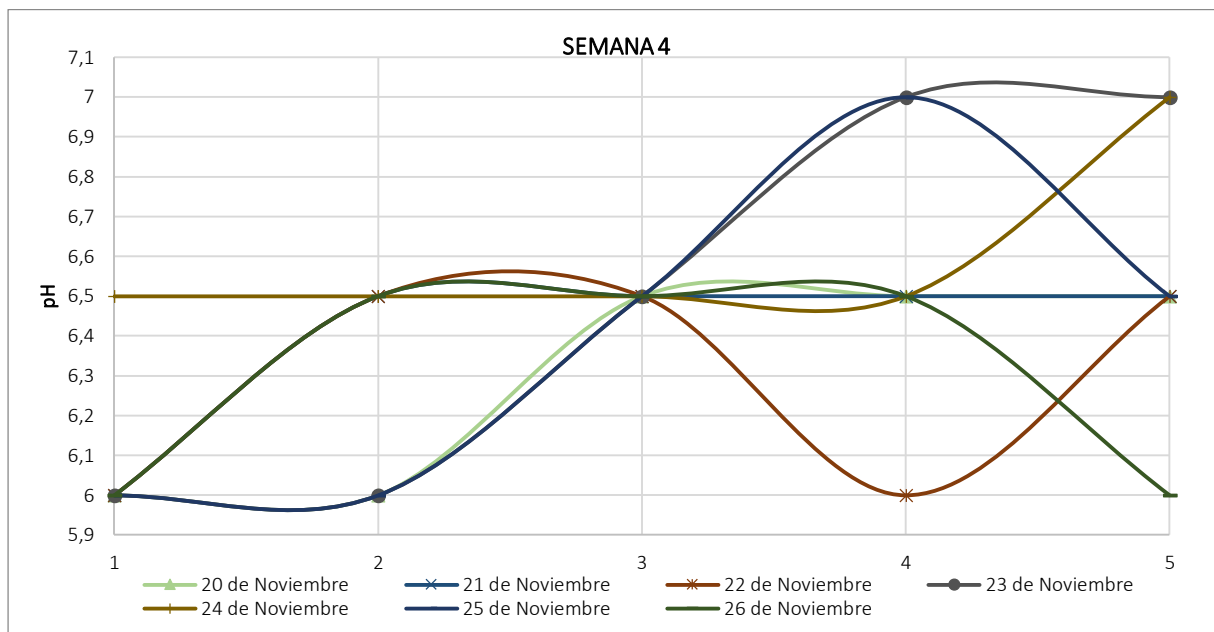
Gráfica 3. Comportamiento del pH en la semana 2.

Fuente: Autor.



Gráfica 4. Comportamiento del pH en la semana 3.

Fuente: Autor.



Gráfica 5. Comportamiento del pH en la semana 4.

Fuente: Autor.

En las semanas 3 y 4 el comportamiento del pH fue el menos estable, presentó mucha variación en los diferentes puntos del Hospital; además de no cumplir con el rango establecido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007.

Las variaciones presentadas durante las 4 semanas en los diferentes puntos, se debe a la posible presencia de incrustaciones de Óxido de Hierro u otros materiales en las tuberías que distribuyen el agua en los diferentes puntos del Hospital; también se pueden atribuir la inestabilidad a los reactivos en mal estado incluidos en el proceso, disminuyendo la calidad del agua.

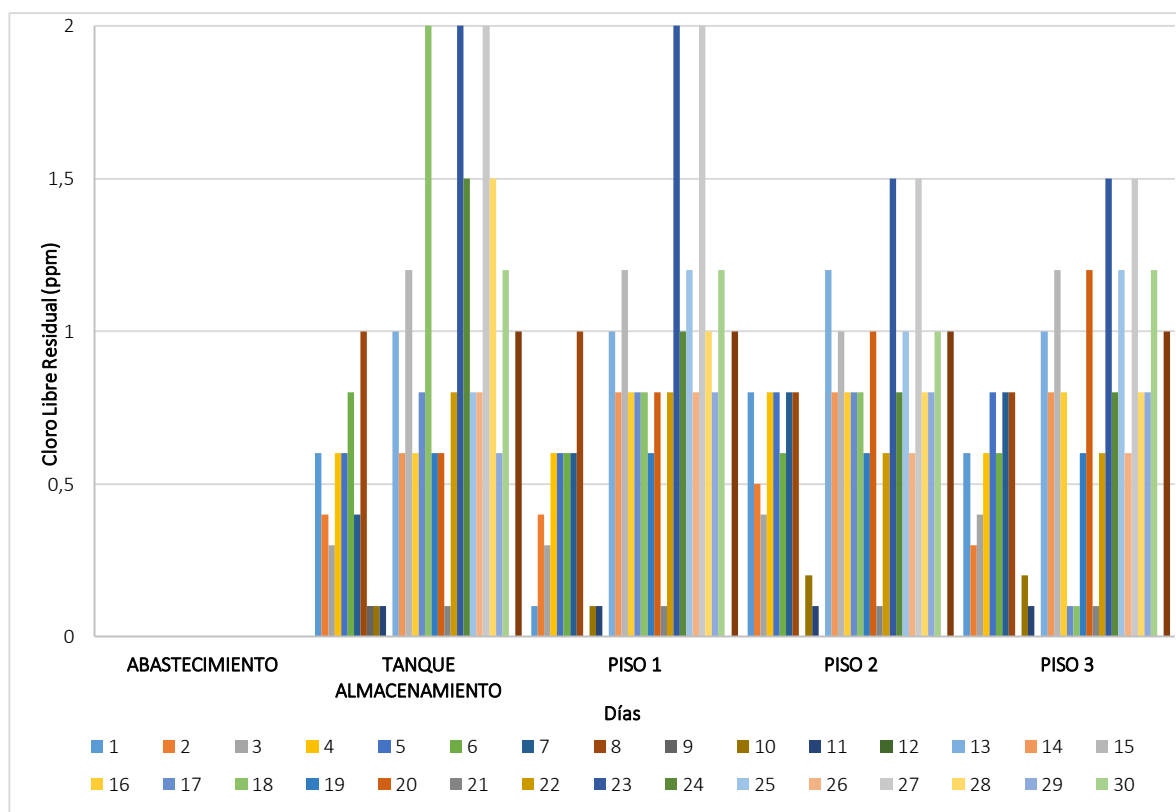
### 7.2.2. CLORO LIBRE RESIDUAL

El Cloro Libre Residual es una cantidad de cloro que queda en el agua después de un periodo de contacto, con el propósito de actuar como desinfectante en caso de una nueva contaminación [38]. La resolución 2115 del 22 de junio del 2007 establece que la cantidad de Cloro Libre Residual debe oscilar entre 0.3 y 2 mg/L (ppm). Debido a que el Nivel de



Complejidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable es bajo, se consideró que la cantidad de Cloro Libre Residual debe ser de 1 mg/L (ppm).

En la gráfica 6 se observa que el pozo de abastecimiento no presenta Cloro Libre Residual. Las cantidades de Cloro Libre Residual en el Tanque de Almacenamiento, piso 1, piso 2 y piso 3 se mantuvieron por lo general dentro del rango establecido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007, siendo el 83,3 %, 80 %, 83,3 % y 83,3 % respectivamente. Pero si se tiene en cuenta el valor considerado (1 mg/L), sólo cumpliría el 6,7 % en el Tanque de Almacenamiento, 13,3 % en el piso 1 y 2; y 3,3 % en el piso 3.

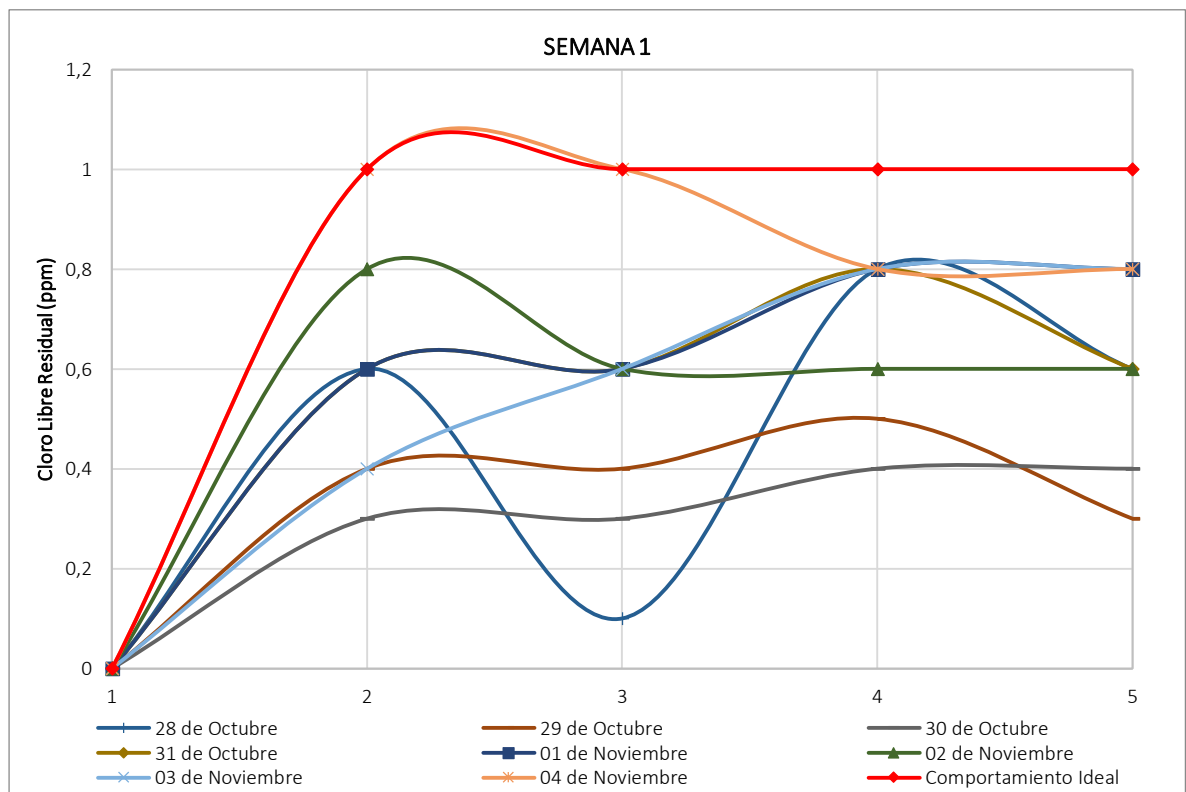


Gráfica 6. Comportamiento del Cloro Libre Residual en cada punto de muestreo.

Fuente: Autor.

En las gráficas 7, 8, 9 y 10 se puede observar con más claridad la variación del Cloro Libre Residual diariamente; se decidió realizar las gráficas por semanas con el fin de observar si los

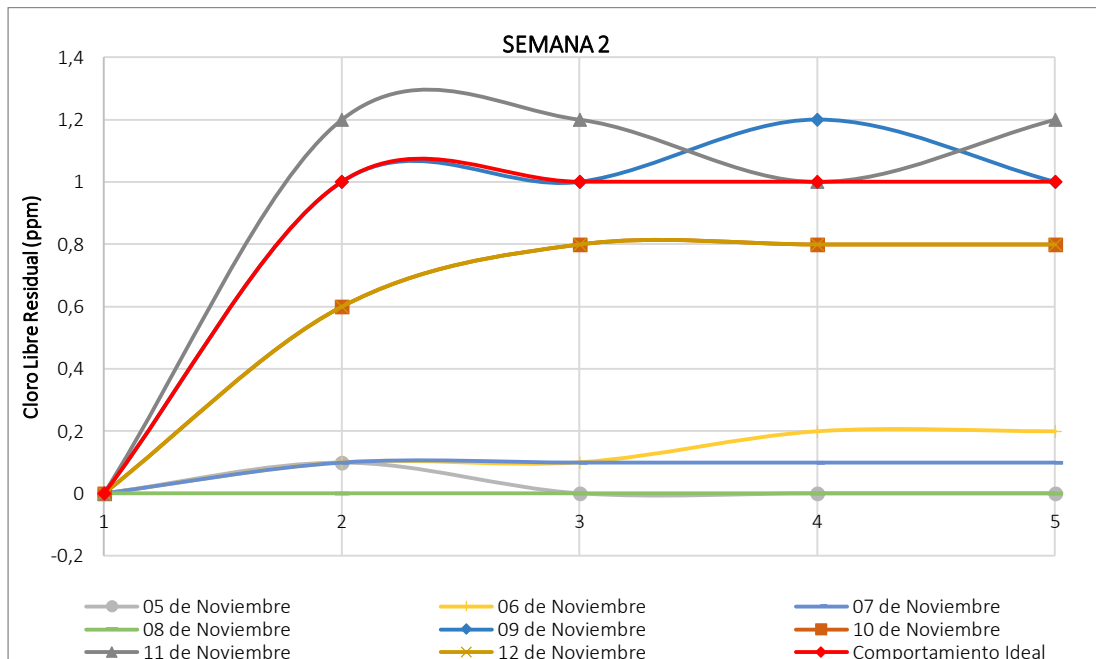
operadores estaban realizando el funcionamiento correctamente. En la semana 1 el Cloro Libre Residual se mantuvo dentro del rango requerido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007; con la excepción del comportamiento del día 28 de octubre, ya que el Cloro Libre Residual bajó hasta 0,1 mg/L (ppm) en el piso 1, esto indica que posiblemente en ese punto se encontró algún tipo de contaminación que hizo disminuir la concentración. Adicional al observar el comportamiento ideal (línea roja), ningún día a la semana lo cumplió.



Gráfica 7. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 1.

Fuente: Autor.

En la semana 2 los días 5, 6, 7 y 8 de noviembre no cumplieron con el mínimo valor establecido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007, esto indica que el agua en esos días podría contener patógenos peligrosos para la salud humana.

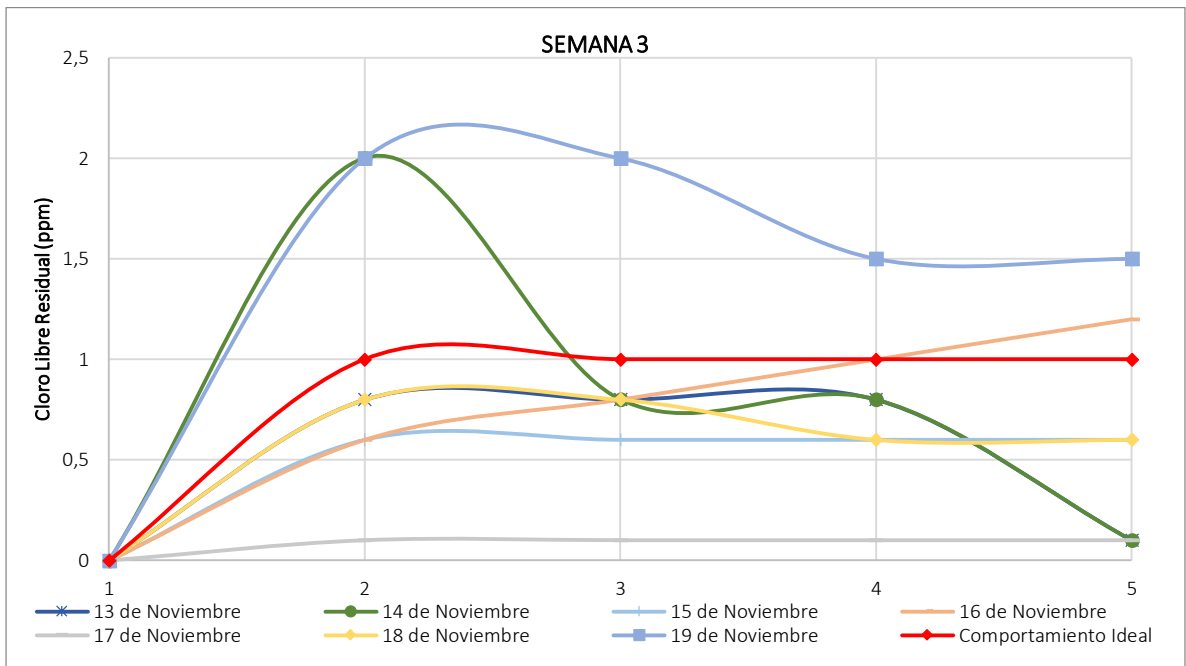


Gráfica 8. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 2.

Fuente: Autor.

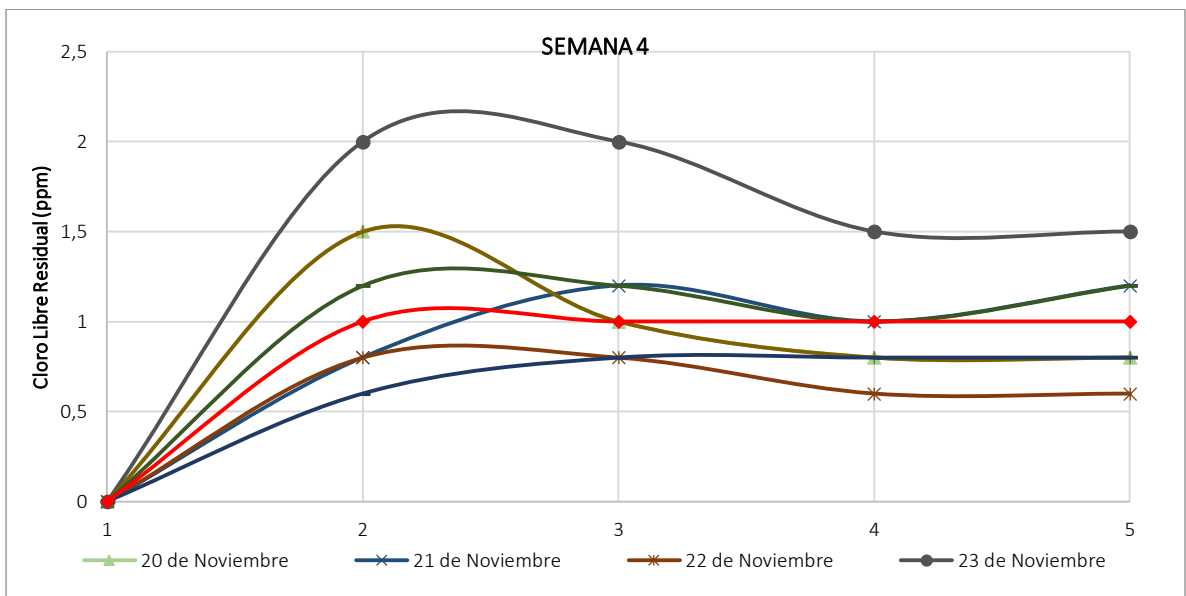
En la semana 3, el comportamiento del Cloro Libre Residual fue más variado; los días que más llaman la atención son el 14 de noviembre, donde se observa el alcance máximo de porcentaje permitido en el Tanque de Almacenamiento, pero a medida que aumentan los pisos, la concentración disminuye hasta tal punto de llegar a 0,1 mg/L (ppm) en el piso 3; y el día 17 de noviembre, donde su concentración se mantuvo constante durante todo el sistema (0,1 mg/L (ppm)), desconociéndose la razón de su comportamiento.

Finalmente, en la semana 4 el comportamiento del Cloro Libre Residual si cumplió con el rango establecido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007. Durante esta semana (4) se puede indicar que el agua no presentó ningún peligro para la salud humana.



Gráfica 9. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 3.

Fuente: Autor.



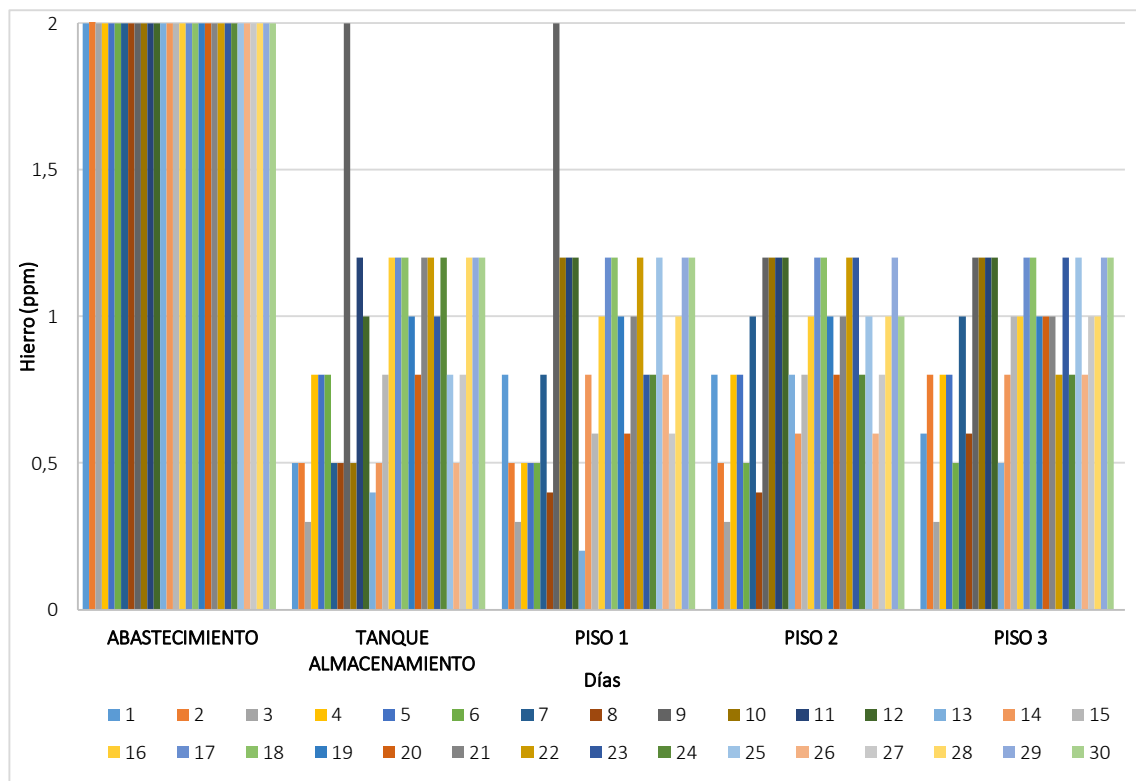
Gráfica 10. Comportamiento del Cloro Libre Residual en la semana 4.

Fuente: Autor.

### 7.2.3. HIERRO

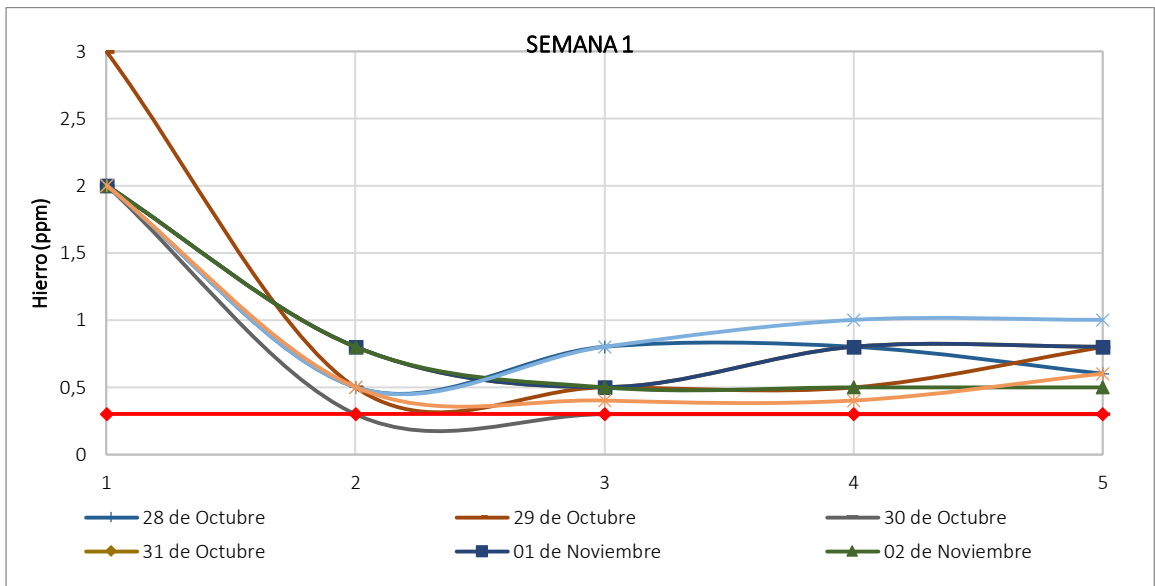
El Hierro en sí no presenta un peligro para la salud humana, pero si genera daños en la estructura física de donde entra en contacto; por ejemplo, genera corrosión y obstrucción en las tuberías donde circula el agua [39].

En la gráfica 11 se presenta el comportamiento del Hierro en diferentes puntos del Hospital, mostrando que la concentración de Hierro en el punto de abastecimiento se mantiene constante (2 mg/L), esto quiere decir que las características del pozo no varían en tiempos cortos. En todos los puntos de muestreo existió un notorio caso de concentraciones de Hierro que no cumplen con lo establecido por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007, donde tienen como valor máximo aceptado una concentración de Hierro del 0,3 mg/L (ppm).



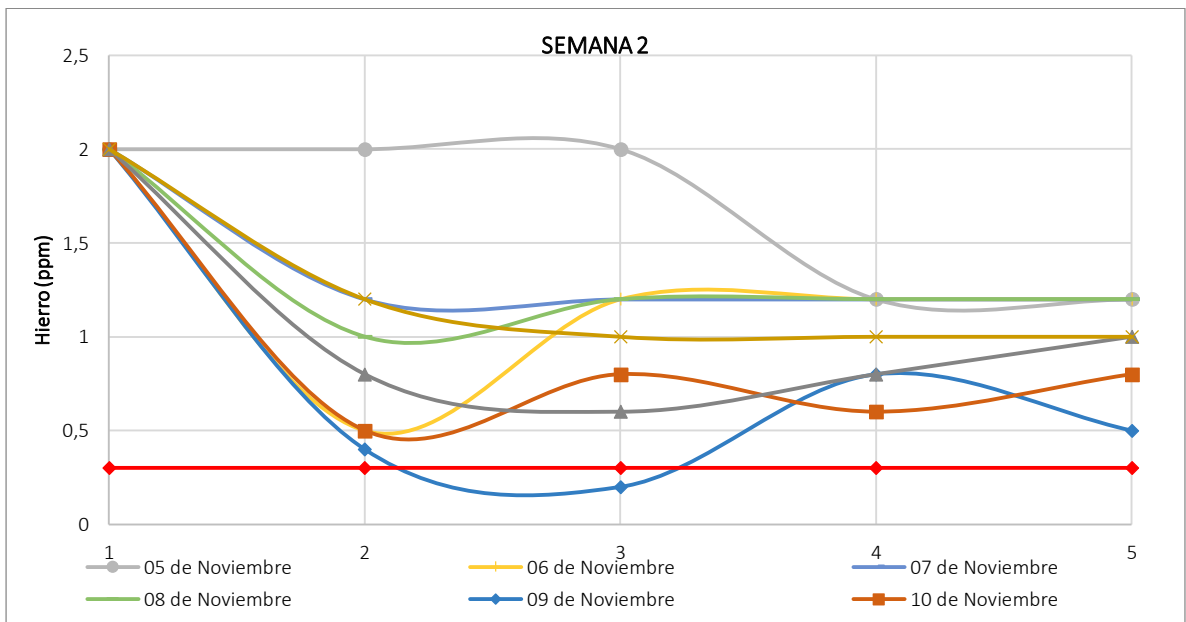
Gráfica 11. Comportamiento del Hierro en cada punto de muestreo.

Fuente: Autor.



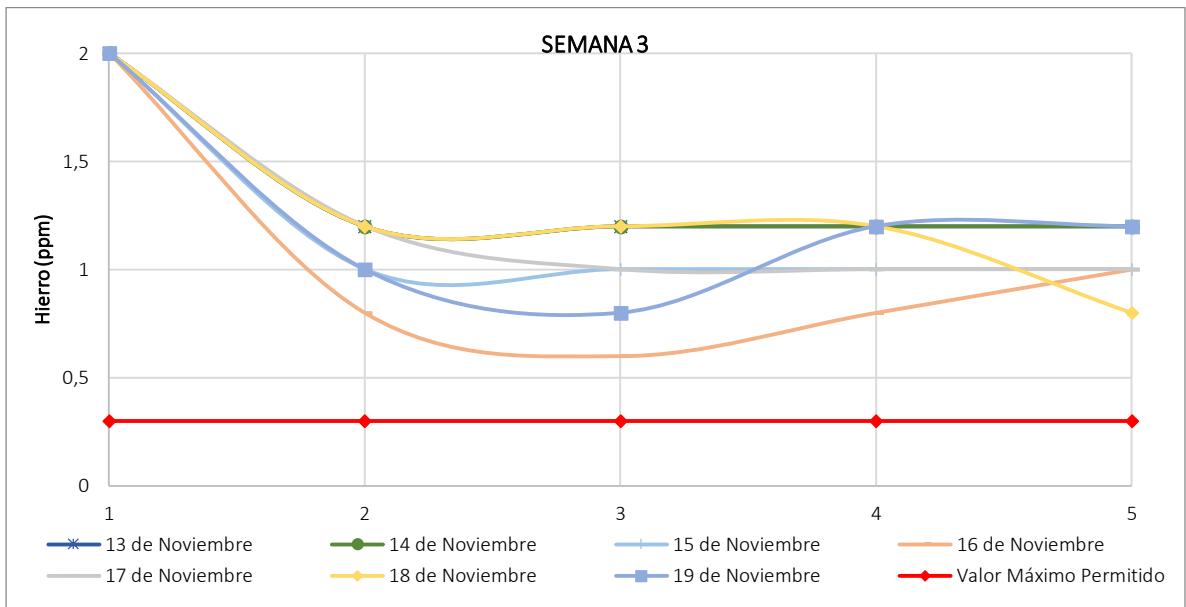
Gráfica 12. Comportamiento del Hierro en la semana 1.

Fuente: Autor



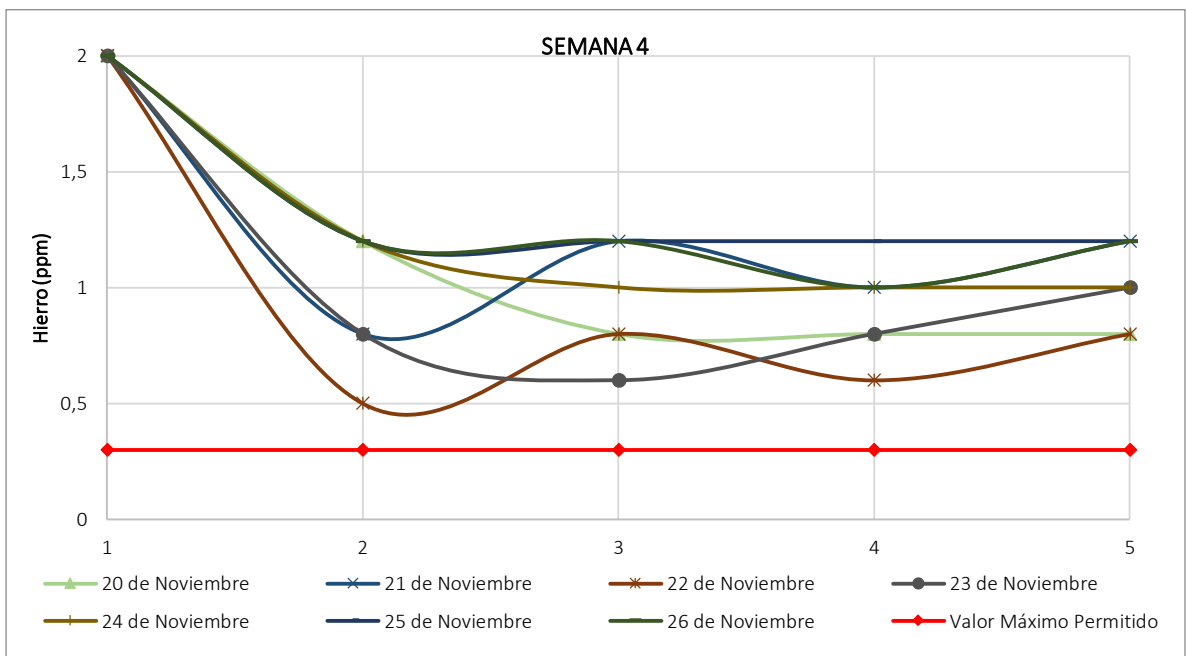
Gráfica 13. Comportamiento del Hierro en la semana 2.

Fuente: Autor.



Gráfica 14. Comportamiento del Hierro en la semana 3.

Fuente: Autor.



Gráfica 15. Comportamiento del Hierro en la semana 4.

Fuente: Autor.

Las gráficas 12, 13, 14 y 15 presentan el comportamiento del Hierro diariamente, en general durante todas las 4 semanas el contenido de Hierro está incumpliendo el valor máximo aceptado por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2019.

Cada una estas interferencias durante el proceso, hacen que la calidad del Agua del Hospital Departamental de Granada Meta no sea apta para el uso doméstico y mucho menos para el consumo humano. Finalmente se puede deducir que el proceso de Tratamiento de Agua utilizado en el Hospital Departamental de Granada Meta, no está cumpliendo con los parámetros establecidos por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007, es por esto que es de suma importancia modificar el proceso de la Planta, ya sea en su estructura o en el tema de reactivo, que mejoren la eficiencia del proceso y a su vez la calidad del agua.

### **7.3. DETERMINACIÓN DE COAGULANTE-FLOCULANTE.**

Los coagulantes son productos químicos que tienen la capacidad de reaccionar con compuestos químicos presentes en el agua y generar agrupaciones voluminosas que precipitan con facilidad, existen gran variedad de coagulantes y entre estos encontramos los más conocidos como el Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso y finalmente el Hidroxicloruro de Aluminio [40]. El Sulfato de Aluminio es uno de los coagulantes más comunes y uno de los más utilizados para el proceso de coagulación en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable en el mundo, pero muchos estudios realizados han diagnosticado este producto como el causante de múltiples enfermedades, entre estas encontramos el Alzheimer [41]. El Hidroxicloruro de Aluminio (conocido vulgarmente como Policloruro de Aluminio) es un coagulante inorgánico que actualmente está remplazando al Sulfato de Aluminio y a los otros coagulantes [42]; debido a que deja menor aluminio residual, mejora la remoción de la turbidez y el color, reduce la frecuencia de retro-lavados, disminuye la producción de lodos, posee un menor costo de operación, entre otros [40].

Los floculantes generan un puente entre las partículas coloidales aglomeradas y forman flóculos más grandes para aumentar la velocidad de sedimentación, este proceso es



generado a través de una floculación Pericínética (Sedimentación generada por el movimiento natural de las moléculas del agua o movimiento browniano) [24]. Se realizó un análisis del floculante en función de la turbidez y finalmente concluyó que el más acertado para este caso, sería un floculante orgánico de síntesis como lo es la Poliacrilamida aniónica.

Ya teniendo las razones suficientes para optar por este coagulante y floculante, se realizaron 3 pruebas de solo coagulante (10, 20 y 30; 40, 50 y 60; 70, 80 y 90 ppm) con el fin de determinar en qué concentración se iniciaba con más facilidad el proceso de coagulación y se realizó un trabajo experimental para tomar la cantidad más acertada del floculante; ya realizado esto se tomó el rango de 40 a 60 ppm para hacer el análisis más riguroso. Se obtuvieron los siguientes resultados de las diferentes pruebas de Jarras (Tabla 6).

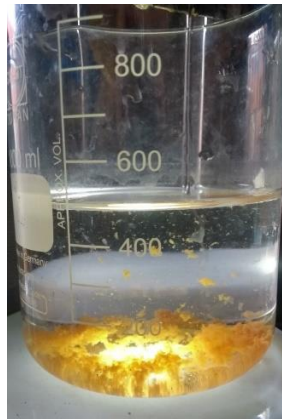
*Tabla 6. Resultados Prueba de Jarras.*

ENSAYO	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pH	HIERRO (PPM)	COLOR (UPC)
1	40	1	8,0	0,9	5
	50	1	7,8	0,6	3
	60	1	7,6	0,5	2
2	40	0,5	7,5	0,6	3
	50	0,5	7,0	0,6	3
	60	0,5	6,5	0,4	2
3	40	0,1	5,5	0,5	2
	50	0,1	6,2	0,2	1
	60	0,1	6,6	0,1	0

Los resultados obtenidos en los 3 ensayo presentaron una excelente respuesta con respecto al color (UPC) ya que todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango propuesto por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007. Asimismo, se presentó una gran variación de pH y de concentración de Hierro al modificar la concentración de floculante, esto se debió a que el pH va en función de la solubilidad del Aluminio (ANEXO VII); si el pH es muy alto o

muy bajo no se solubiliza, generando un aumento en las cargas del aluminio y una ausencia de ruptura de los enlaces, por lo tanto, no se genera la formación de coloides. Adicional cabe resaltar que existe una fuerte relación entre el Color (UPC) y la concentración de Hierro, ya que al aumentar la concentración el Color del agua también aumenta.

Al observar más a profundidad los resultados presentados en la Tabla 6, se tomó como opción el ensayo 3 con una concentración de coagulante de 60 ppm y floculante con una concentración de 0,1 ppm, puesto que esta fue la que presentó mejores valores con respecto al pH, Concentración de Hierro y Color (UPC) (Figura. 18. Prueba de Jarras para una concentración de 60 ppm de coagulante y 0,1 ppm de floculante.), cumpliendo con los parámetros solicitados por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007; además de utilizar menos concentraciones de reactivo, haciéndola la opción más efectiva y económica.



*Figura. 18. Prueba de Jarras para una concentración de 60 ppm de coagulante y 0,1 ppm de floculante.*

Fuente: Autor.

#### **7.4. DETERMINACIÓN DEL DESINFECTANTE**

Inicialmente se realizó un cálculo teórico para encontrar la cantidad aproximada requerida para tener un Cloro Libre Residual en 1 ppm, teniendo en cuenta que al agregar una solución de 1,5 mg/L (ppm) el agua no estaría desinfectada; si se agrega una solución de 2 mg/L (ppm)

se destruyen todos los microorganismos, pero no podría combatir futuras contaminaciones; y si se agrega una dosis mayor (2,5 mg/L (ppm)) el agua estaría desinfecta y contaría con un Cloro Libre Residual de 0,5 mg/L (ppm) [38].

Teniendo en cuenta que es agua presenta alta turbidez generada por su gran concentración de Hierro, se tomó un valor alto inicialmente (8 mL) para observar su comportamiento y así saber si se aumentaba o disminuía la dosis.

En la Tabla 7 se encuentra los resultados obtenidos de estos ensayos y se eligió como desinfectante el Hipoclorito de Sodio debido a que presentó más estabilidad durante el proceso, además de que es un reactivo que no necesita agitación constante al momento de dosificarse; caso contrario del Hipoclorito de Calcio que durante todos los ensayos demostró fluctuación en la concentración de Cloro Libre Residual, resultando de poca confiabilidad en caso de futuras emergencias de contaminación.

*Tabla 7. Resultados ensayos desinfectante.*

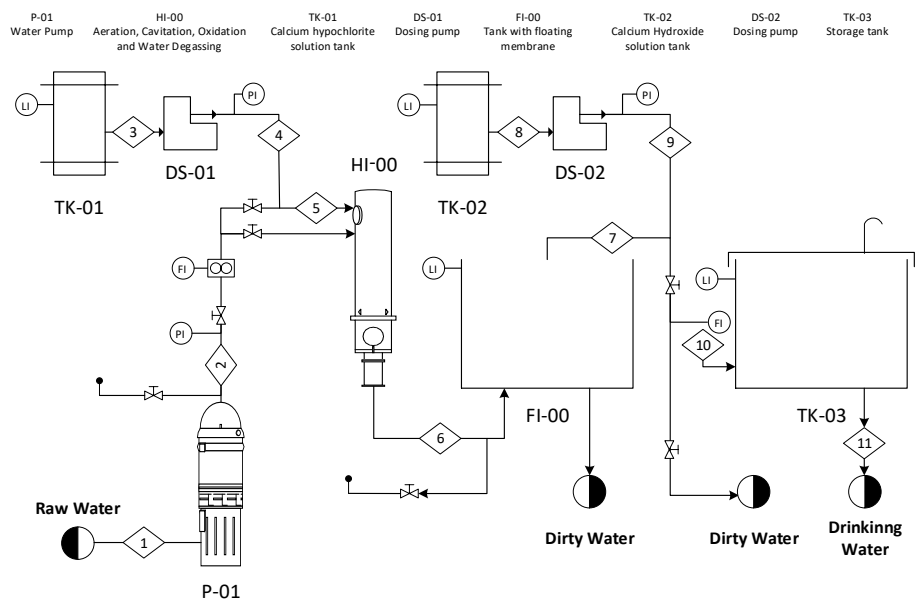
HIPOCLORITO DE SODIO					
	mL solución 1500 ppm	t= 30 min	t= 60 min	t= 120 min	t=1440 min
<b>ENSAYO</b>	Cloro Libre Residual (ppm)				
<b>1</b>	8	> 2	> 2	> 2	> 2
<b>2</b>	5	> 2	1,5	1,5	1,5
<b>3</b>	2	1,5	1	1	1
HIPOCLORITO DE CALCIO					
<b>ENSAYO</b>	Cloro Libre Residual (ppm)				
<b>1</b>	8	> 2	2	2	1,8
<b>2</b>	5	> 2	2	1,5	1,7
<b>3</b>	2	2	1,5	1	0,7

## 7.5. INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Antes de plantearse un Sistema de Control en una Planta de Tratamiento de Agua Potable, se debe realizar la determinación del Nivel de Complejidad del Sistema propuesto por el Capítulo III de la Resolución 1096 del 17 de noviembre del 2000 [43]. Debido a que la población presenta un valor menor de 2500 personas y no presenta ningún tipo de costo a los usuarios, es considerada de Nivel de Complejidad Bajo.

En el Nivel de Complejidad Bajo se encuentran determinadas las siguientes instalaciones: Sala de Dosificación de Reactivos, Laboratorio de Control y Calidad del Agua, Oficina del Administrador, Bodega de almacenamiento de productos químicos y servicios sanitarios. El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Título C, establece que el Sistema de Control para las Plantas de Nivel de Complejidad Bajo deben contar con instrumentación manual (ANEXO VIII) que satisfaga las necesidades del proceso, entre esta instrumentación se encuentra los Indicadores de Nivel, Indicadores de Flujo e Indicadores de Presión [27]. Según la ASTM D 5540-08 se debe establecer un indicador de los flujos de entrada y salida del proceso [44]; la ASTM D 5413-93 se deben establecer Indicadores de Nivel en todos los tanques del proceso [45]; y la ASTM C 1719-11 se deben establecer indicadores de presión a la salidas de las bombas que se encuentren en el proceso [46].

Teniendo en cuenta las normas establecidas anteriormente, se ubicaron las correspondientes instrumentaciones a la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Hospital Departamental de Granada Meta (Figura. 19).



CORRIENTE	DESCRIPCIÓN
1	Agua cruda en el pozo
2	Agua cruda bombeada
3	Solución de Hidróxido de Calcio
4	Solución de Hidróxido de Calcio bombeada
5	Mezcla de Agua cruda e Hidróxido de Calcio
6	Agua Aereada, osídada y desgasificada
7	Agua Filtrada
8	Solución de Hipoclorito de Calcio
9	Solución de Hipoclorito de Calcio bombeada
10	Agua tratada hacia el tanque de almacenamiento
11	Agua tratada

General Notes	
<b>Process Flow and Instrumentation Diagram : Drinking water treatment (PTAP)</b>	
<b>Reactions</b> $\text{Ca(OCl)}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HOCl} + \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$ $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{calor}$	
<b>Conventions</b>	
	Process Input
	Process Output
	Level Indicator
	Flow Indicator
	Pressure Indicator
	Bypass Valve
	Stream Number
	Process Line
	Water outlet
	Open ventilation
	Flowmeter
<b>Draw by:</b> María Nathalia Hernández Cupaja C.C. 1120378800	
<b>Approved by:</b> Ing. Juan Carlos Gómez Zabala C.C. 1121850786	
Process Flow and Instrumentation Diagram: Drinking water treatment (PTAP)	
Date: 01/11/2019	Scale: None
Drawing Number 01	REV: 1

Figura. 19 Diagrama de Flujo e Instrumentación del Tratamiento de Agua Potable.

Fuente: Autor.

## 8. CONCLUSIONES

La fuente subterránea de la jurisdicción de Granada Meta, según el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA, es agua no apta para el consumo humano, con un nivel de riesgo: medio, lo que la hace inviable sanitariamente.

Se demostró que el proceso de Tratamiento de Agua Potable realizado en el Hospital Departamental de Granada Meta no está cumpliendo con los parámetros mínimos requeridos por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 para ser agua potable, esto se debe a la falta de capacitación de los operarios, las disoluciones de reactivos mal hechas y a las condiciones de los productos químicos agregados al proceso.

La mayor problemática en este proceso es la eliminación de la concentración de Hierro, que a su vez afecta el proceso de desinfección, presentada por la falta de adición de coagulantes y floculantes al proceso.

Existe una fuerte relación entre el Color (UPC) y la concentración de Hierro disuelto en el agua como se observó en las pruebas de jarras, cabe resalta que no siempre entre mayor cantidad de producto mayor efecto en el proceso; por ende, es de suma importancia conocer los pHs de las soluciones o sustancias químicas a trabajar.

El QUIMINFLOC 1325 y QUIMINFLOC 1200 presentaron excelentes resultados con respecto a su mayor problemática (Hierro disuelto), generando un agua con Hierro de 0,1 mg/L, pH de 6,6 y un color (UPC) de 0; cumpliendo con los parámetros mínimos requeridos por la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007.

A pesar de no necesitar un Sistema de Control para la operación de la Planta, si requiere el anexo de un Sistema de Instrumentación para mejorar el proceso del Agua Potable.

Finalmente se demostró que los reactivos que se están utilizando no están generando mayor efecto en el proceso, y se puede concluir que el mejor desinfectante para este tipo de agua

es el Hipoclorito de Sodio (15 %), ya que mantiene y su estabilidad de concentración por tiempos más prolongados. La PTAP del Hospital Departamental de Granada Meta no presenta una estructura física segura para su operación.

## 9. RECOMENDACIONES

Es clara la necesidad de modificar el proceso realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Hospital Departamental de Granada Meta, se recomienda el uso de nuevos productos químicos para el proceso de desinfección, la incorporación de productos químicos para el proceso de Coagulación y Floculación, el mantenimiento en general de la Planta (estructura, válvulas, tuberías) y la capacitación de los operarios o el ingreso de una persona capacitada en los procesos de disolución, análisis físico-químicos, control de la calidad del agua, manejo de equipo, reglamentación de protección personal, ambiental y manejo de reactivos químicos.

Adicional se recomienda la continuación del proyecto, se pueden implementar sistemas de control en los diferentes tipos de procesos que se generan en la planta, y también seguir la investigación de los reactivos que mejor funcionarían conforme cambian las condiciones de la fuente hídrica subterránea.



## 10. REFERENCIAS

- [1] OMS, *Guías para la calidad del agua potable*, Tercera Ed. 2006.
- [2] Lenntech, “History Water Treatment,” *Lenntech*, 2018. [Online]. Available: <https://www.lenntech.com/history-water-treatment.htm>. [Accessed: 23-Sep-2019].
- [3] D. Biol, “GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AGUA POTABLE , DIVERSIDAD BIOLÓGICA y.” .
- [4] E. Oliveros and A. M. Braun, “Photochemical Processes for Water Treatment.” pp. 671–698, 1993.
- [5] OMS, F. Solsona, and J. P. Méndez, “DESINFECCIÓN DEL AGUA.” p. 209, 2002.
- [6] Dane, IRCA, and R. D. C. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, “INFORME IRCA 2007-2017 URBANO.” p. 12, 2018.
- [7] M. D. E. Salud, S. Subdirecci, and D. E. S. Ambiental, “Informe nacional de calidad del agua para consumo humano (IRCA) 2016.” 2018.
- [8] M. D. E. Ambiente and V. Y. D. Territorial, “RESOLUCIÓN 2115 DE 22 DE JUNIO DEL 2007.” p. 23, 2007.
- [9] R. D. C. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, “CONSUMO HUMANO – IRCA 2017.” p. 250, 2019.
- [10] OMS, M. W LeChevallier, and A. Kwok-Keung, “Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking water.” IWA, Cornwall UK, p.

136, 2004.

- [11] A. Ma and M. De Oca, "Calidad del agua potable del Hospital de Ginecología y Obstetricia del Instituto Materno Infantil del Estado de México," vol. IV, no. 3. pp. 139–142, 2012.
- [12] Instituto Geológico y Minero de España, "El agua al servicio humano." .
- [13] F. Ercilio Moura, S. Rodriguez Chávez, W. Cabel Noblecilla, I. Ortíz Sánchez, P. Noriega Torero, and M. Tejada Gamarra, "Desafíos del Derecho Humano al Agua en el Perú." 2005.
- [14] M. García *et al.*, "El agua," in *El medio ambiente en Colombia*, p. 76.
- [15] M. Auge, "Agua fuente de vida." Buenos Aires, 2007.
- [16] T. C. Pagano and S. Sorooshian, "Hydrologic cycle Thomas Pagano and Soroosh Sorooshian Dr Michael C MacCracken and Dr John S Perry Editor-in-Chief," no. January 2002, 2014.
- [17] R. J. Huggett, *Climate, Earth Processes and Earth History*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [18] P. E. Black, *Water Drops: Celebrating the wonder of water*. Suny Press, 2014.
- [19] D. A. Chavarro Rodríguez, "Diseño de una planta de tratamiento de agua potable de 2 lts/s para una poblacion de 750 habitantes." Bogotá, p. 22, 2014.
- [20] P. F. Cooper, "Historical aspects of wastewater treatment," in *Decentralised Sanitation and Reuse*, 2018.
- [21] A. Carter, "Introduction to Water Treatment for all Grades." Fleming Trainig Center, p. 319, 2018.
- [22] W. L. McCabe, J. C. Smith, and P. Harriott, *Operaciones unitarias en ingeniería*

*química*, Séptima ed. México: Mc Graw Hill, 2007.

- [23] Environmental Protection Agency Ireland, "Water treatment Manual Filtration." Ardavan, Wexford, Ireland, p. 80, 1995.
- [24] I. Yolanda and A. Cárdenas, "Tratamiento de agua coagulación y floculación." Lima, Perú, 2000.
- [25] X. Cabrera Bermúdez, M. Fleites Ramírez, and A. M. Contreras Moya, "FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA TEXTIL " DESEMBARCO DEL GRANMA " A ESCALA DE LABORATORIO," *Tecnol. Química*, vol. XXIX, no. Núm 3, pp. 64–73, 2009.
- [26] W. L. McCabe, J. C. Smith, and Harr, *Unit Operatios of Chemical Engineering*, Fifth edit., vol. 6, no. 2. 1993.
- [27] M. de Vivienda and República de Colombia, "Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, TÍTULO C 'Sistemas de Potabilización'." Bogotá, p. 336, 2010.
- [28] MERCK COLOMBIA, "Test pH," no. 1907. pp. 1–7, 2012.
- [29] MERCK COLOMBIA, "TEST CLORO," no. 1907. pp. 1–14, 2018.
- [30] MERCK COLOMBIA, "TEST HIERRO," no. 1907. pp. 1–17, 2017.
- [31] MERCK, "Test Color," vol. 49, no. 0. p. 64271, 2013.
- [32] S. TRUEBA CORONEL, *HIDRÁULICA*, Decima Sex. México: Continental S.A, 1978.
- [33] ICONTEC INTERNACIONAL, "NTC 3903 PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN UN RECIPIENTE CON AGUA O MÉTODO DE JARRAS," no. 571. 2010.
- [34] S. QUIMINSA, "Ficha Técnica Polímero Aniónico 1200." Bogotá, p. 1, 2019.

- [35] S. QUIMINSA, "FICHA SEGURIDAD POLÍMERO ANIÓNICO 1200.pdf." p. 7, 2008.
- [36] A. Pulido, "Simulación Geoquímica de la Interacción Agua-Roca en el Acuífero de Cabo de Gata ( SE de España )," no. 2, pp. 75–76, 2010.
- [37] M. P. Collazo Caraballo and J. Montaña Xavier, "COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES," in *MANUAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS*, 2012, pp. 1–33.
- [38] OMS, "Medición del cloro residual en el agua." p. 4, 2009.
- [39] M. L. Mcfarland and M. C. Dozier, "Problemas del agua potable : El hierro y el manganeso," *Inst. Recur. Agua Texas.*, p. 6, 2004.
- [40] V. A. Cerón Pérez, "Estudio para la Determinación y Dosificación óptima de Coagulantes en el proceso de Clarificación de Aguas Crudas en la Potabilización de Aguas de la Empresa Empoobando E.S.P.," 2016.
- [41] World Health Organization, "Aluminium in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality," vol. 2, 1998.
- [42] Demande Internationale publiée en vertu du Traité de Coopération en Matière de Brevets (PCT), "Composition á base de solutions stabilisées de polychlorure d'aluminium et de sel de fer pour le traitement d'effluents aqueux." p. 25, 2004.
- [43] R. de C. Ministerio de desarrollo económico, "RESOLUCIÓN 1096 DE 17 DE NOVIEMBRE DE 2000," no. 1096. 2000.
- [44] A. N. Standard, "Standard Practice for Flow Control and Temperature Control for On-Line Water," no. Reapproved, 2003.
- [45] A. N. Standard, "Standard Test Methods for Measurement of Water Levels in Open-Water Bodies 1," vol. 11, no. Reapproved, 2002.

- [46] Sandard and A. National, "Standard Test Method for Installed Precast Concrete Tanks and Accessories by the Negative Air Pressure (Vacuum) Test Prior to Backfill," p. 3, 2017.
- [47] .. American Water Works Association American Society of Civil Engineers and E. E. Baruth, *WATER TREATMENT PLANT DESIGN*, Fourth. New York: McGRAW-HILL, 2005.