

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y
FISICOQUÍMICOS DURANTE EL PROCESO OPERATIVO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL
MUNICIPIO DE TAME-ARAUCA**

LIZETH DARIANA MEJIA MOLINA



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA
PAMPLONA**

2019

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y
FISICOQUÍMICOS DURANTE EL PROCESO OPERATIVO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL
MUNICIPIO DE TAME-ARAUCA**

LIZETH DARIANA MEJIA MOLINA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
MICROBIÓLOGA**

**ASESOR ACADEMICO
CLAUDIA CLAVIJO OLMOS PhD.**

Asesor externo

**EDGAR ALBERTO URIBE VILLAMIZAR
LIDER DEL GRUPO OPERATIVO DE TRATAMIENTO DE AGUA – GOPA DE
LA EMPRESA CARIBABARE E.S.P DEL MUNICIPIO DE TAME - ARAUCA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA
PAMPLONA**

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma Del Jurado

Firma Del Jurado

Pamplona, diciembre 2019

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE ANEXOS	9
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	4
3.1 ÁREA LOCAL.....	4
4. MARCO REFERENCIAL.....	5
4.1 ESTADO DEL ARTE (ANTECEDENTES).....	5
4.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	7
4.2.1 MISIÓN	9
4.2.2 VISIÓN	9
4.3 MARCO LEGAL	9
4.4 MARCO TEÓRICO.....	10
4.4.1 CALIDAD DEL AGUA	10
4.4.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS	11
4.4.3 GENERALIDADES DEL GRUPO COLIFORME.....	11
4.4.4 RECIPIENTES PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	13
4.4.5 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA	13
4.4.6 TÉCNICA DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA	16
5. METODOLOGÍA.....	18
5.1 ETAPA I: TOMA DE MUESTRAS Y PREPARACIÓN DE MEDIOS	18
5.1.1 Toma de muestra en los diferentes puntos operativos del sistema de acueducto en la PTAP	18
5.1.2 Toma de muestra de los 8 puntos de la red de distribución del municipio de Tame	22
5.1.3 Preparación de medios.....	24
5.2 ETAPA II: ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS.....	24
5.2.1 COLIFORMES TOTALES, <i>E. coli</i> y AEROBIOS MESÓFILOS	24
5.3 ETAPA III: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	24
5.3.1 Ensayos de conductividad, color, turbiedad y pH	25
5.3.2 Ensayos Volumétricos	25
5.3.3 Ensayos Espectrofotométricos	25

5.4	ETAPA IV: CONTROLES DE CALIDAD Y PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	26
5.5	ETAPA V: DETERMINACION DEL % IRCA.....	28
6.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	29
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1	RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS.....	30
7.1.1	Parámetros microbiológicos a muestras tomadas en los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.	30
7.1.2	Parámetros microbiológicos a muestras tomadas directamente en los puntos del sistema operativo de la PTAP.....	31
7.2	RESULTADOS FISICOQUÍMICOS.....	34
7.2.1	Parámetros físico-químicos a muestras tomadas en los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.	34
7.2.2.1	Parámetros físico-químicos a muestras tomadas durante la operación de la PTAP.	42
7.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO OPERATIVO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN LA PTAP.....	44
7.4.1	Proceso de entrada del agua a la planta de potabilización y medición de caudal en canaleta Parshall	44
7.4.2	Proceso de potabilización del agua.....	45
8.	CONCLUSIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características microbiológicas.....	11
Tabla 2. Dirección de los 16 puntos asignados por la empresa para la toma de muestra en la red de distribución del municipio de Tame.....	23
Tabla 3. Cronograma de actividades	29
Tabla 4. Resultado de los parámetros microbiológicos realizados a los 8 puntos de la red de distribución.....	31
Tabla 5. Resultado de los parámetros microbiológicos tomados en la PTAP.....	32
Tabla 6. Resultados fisicoquímicos experimentados para la Red de Distribución.....	35
Tabla 7. Resultado de los parámetros fisicoquímicos de los módulos de la PTAP.....	42
Tabla 8. Resultados del Índice de Riesgo de Calidad del Agua IRCA.....	43

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1	Municipio de Tame - Arauca	4
Imagen 2	Planta típica de tratamiento de agua	14
Imagen 3	Bocatoma Río Tame.....	19
Imagen 4	Desarenador 1	
Imagen 5	Desarenador 2.....	20
Imagen 6	Sedimentador	21
Imagen 7	Tanques de floculación	
Imagen 8	Tanque de clarificación	21
Imagen 9	Tanque de floculación	
Imagen 10	Sedimentador	21
Imagen 11	Tanque de clarificación.....	22
Imagen 12	Floculador	
Imagen 13	Sedimentador	22
Imagen 14	Tanque de clarificación.....	22
Imagen 15	Puntos de muestro de la red de distribución.....	23
Imagen 16	Colorímetro, Conductímetro y pH-metro.....	25
Imagen 17	Sensor de pH.....	26
Imagen 18	Canaleta Parshall	27
Imagen 19	Tanque de almacenamiento de agua potable la Chamiza I.....	27
Imagen 20	Proceso de Optimización de pH de la planta de tratamiento de agua potabl	45
Imagen 21	Proceso de coagulación de la planta de tratamiento de agua potable.	45
Imagen 22	Proceso de floculación de la planta de tratamiento de agua potable.	46
Imagen 23	Proceso de Sedimentación de la planta de tratamiento de agua potable.	46
Imagen 24	Proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable.....	47
Imagen 25	Tanque de abastecimiento de agua potable	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados microbiológicos del módulo 3 (Tabla 5).....	32
Gráfico 2. Resultados microbiológicos del módulo 2 (Tabla 5).....	33
Gráfico 3. Resultados microbiológicos del módulo 1 (Tabla 5).....	34
Gráfico 4. Valores de pH determinadas para todos los puntos de tomas de muestra de la red de distribución.	36
Gráfico 5. Valores de conductividad determinadas para todos los puntos de tomas de muestra de la red de distribución.....	37
Gráfico 6. Valores de cloro residual determinados para todos los puntos de tomas de muestra de la red de distribución.....	38
Gráfico 7. Valores de los análisis Volumétricos de la red de distribución.....	39
Gráfico 8. Valores de los análisis Fotométricos (Fosfatos, Nitratos y Hierro) de los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.....	40
Gráfico 9. Valores de los análisis Fotométricos (Calcio y Sulfatos) de los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.....	41

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Imagen de los resultados Microbiológicos del módulo 3	53
Anexo B. Imagen de los resultados Microbiológicos del módulo 2	54
Anexo C. Imagen de los resultados Microbiológicos del módulo 1	55
Anexo D. Fórmulas.....	56
Anexo E. Puntaje de riesgo para determinación del %IRCA.....	57
Anexo F. Clasificación de los niveles de riesgo IRCA.....	58
Anexo G. Imágenes de los resultados volumétricos.....	59
Anexo H. Análisis fisicoquímicos por espectrofotometría	60
Anexo I. Porcentaje de Remoción Microbiana.....	62

INTRODUCCIÓN

El agua potable se definió en las Guías de Calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS), como “adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”. Es el agua libre de microorganismos causantes de enfermedades que afecten la salud. Las aguas superficiales están expuestas a una amplia variedad de factores que alteran su calidad con diferentes niveles de intensidad, pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminantes, arrojados a la atmósfera y la corteza terrestre y de microorganismos patógenos de origen gastrointestinal (Pullés, 2014).

El presente proyecto trata de la evaluación de la disminución microbiológica del agua potable por medio de análisis físicos, químicos y microbiológicos donde se estudia y evalúa la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para suministrar al municipio el recurso hídrico apto para el consumo humano, desarrollada con el fin de determinar un punto de vista sobre el funcionamiento actual de la planta y llegar a una serie de análisis de resultados para mostrar la optimización del recurso hídrico que se está suministrando a la comunidad. Se realizará una descripción detallada de cada uno de los procesos y unidades de la planta de tratamiento de agua potable del Municipio de Tame - Arauca, y se obtendrá un diagnóstico sobre el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento.

Para el desarrollo del proyecto se realizaron una serie de ensayos tanto microbiológicos como fisicoquímicos en las instalaciones de la PTAP, con el acompañamiento del tutor empresarial y líder operativo de GOPA de la empresa de servicios público CARIBABARE E.S.P, esto permitirá llegar al cumplimiento de los objetivos propuestos y el desarrollo de las conclusiones correspondientes sobre los resultados que se obtendrán con las actividades programadas para la ejecución del proyecto, el cual se estructura mediante cinco (5) etapas para llegar a la finalidad de la investigación: etapa I: en la fase inicial se realiza: toma de muestras en cada punto operativo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, red de distribución y preparación de material, etapa II: durante esta etapa se realizarán los ensayos microbiológicos de las muestras tomadas para establecer la calidad biológica del agua en relación al cumplimiento de la normativa, etapa III: la etapa tres corresponde a los análisis fisicoquímicos necesarios para aprobar el recurso hídrico como apto para el consumo humano, etapa IV: el objetivo de esta etapa es describir la calidad del proceso de abastecimiento de agua potable y por último la etapa V: recolectar la información necesaria para calcular los Índices de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano – % IRCA.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos durante el proceso operativo de la planta de tratamiento de agua potable y la red de distribución del municipio de Tame - Arauca.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Comprobar la presencia de indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano en los diferentes puntos operativos de la PTAP y la red de distribución.
- ✓ Determinar el estado fisicoquímico del agua para el consumo humano en los diferentes puntos operativos de la PTAP y red de distribución.
- ✓ Verificar el cumplimiento de los indicadores de Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano-IRCA de la planta de tratamiento de agua potable.
- ✓ Describir el proceso de potabilización y abastecimiento de agua potable desde la planta de tratamiento hasta la comunidad del municipio.

2. JUSTIFICACIÓN

El municipio de Tame – Arauca, cuenta con un sistema de Tratamiento de Agua Potable a cargo de la empresa de servicios públicos CARIBABARE E.S.P, encargada de la potabilización del agua para consumo humano, la cual debe cumplir con la normativa actual existente en el país, para ello debe cumplir una serie de requerimientos de calidad para el abastecimiento a la población, desde el origen de la misma (la bocatoma del rio Tame) continúa durante su operación en el sistema de tratamiento de agua potable (PTAP) y a través de su recorrido por la red de distribución hasta llegar al usuario.

Por lo anterior, se requiere evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento de la PTAP de Tame-Arauca a fin de garantizar el cumplimiento de la normativa vigente, la cual garantiza la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua de consumo humano para proteger la salud pública, pues de lo contrario se pueden generar consecuencias negativas en el consumidor el cual puede estar expuesto al riesgo de brotes de enfermedades intestinales y otras enfermedades infecciosas. Es de vital importancia evitar estos brotes de enfermedades causados por el consumo de agua puesto que el recurso puede infectar simultáneamente un gran número de personas y probablemente a una gran parte de la comunidad.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable presenta diferentes etapas que deben ser evaluadas de forma individual con ensayos de laboratorio donde se realicen análisis microbiológicos y fisicoquímicos que permitan determinar si están cumpliendo su objetivo o no, así mismo los resultados de estos laboratorios permiten proponer soluciones que mejorarán la eficiencia de cada proceso.

3. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

3.1 ÁREA LOCAL

El municipio de Tame - Arauca se ubica en la parte sur-occidental del Departamento de Arauca, con una extensión de 6.457 Km que corresponden al 22.9% de la superficie del Departamento. Se encuentra a: 6° 27' 12" de latitud norte y 75° 45' 41" de longitud occidental respecto del meridiano GREENWICH. Con respecto al meridiano de Bogotá, se encuentra a 6° 20' 0" de latitud norte y 2° 0' 6" de longitud Este. Altitud de la cabecera municipal: Alturas fluctúan entre los 300 y 1000 msnm; temperatura media: 28°C; distancia de referencia: 187 km a Arauca limita por el Norte con el municipio de Fortul, por el Oriente con las sabanas de Marrero, por el Sur con el departamento de Casanare y por el Occidente con el Departamento de Boyacá.²

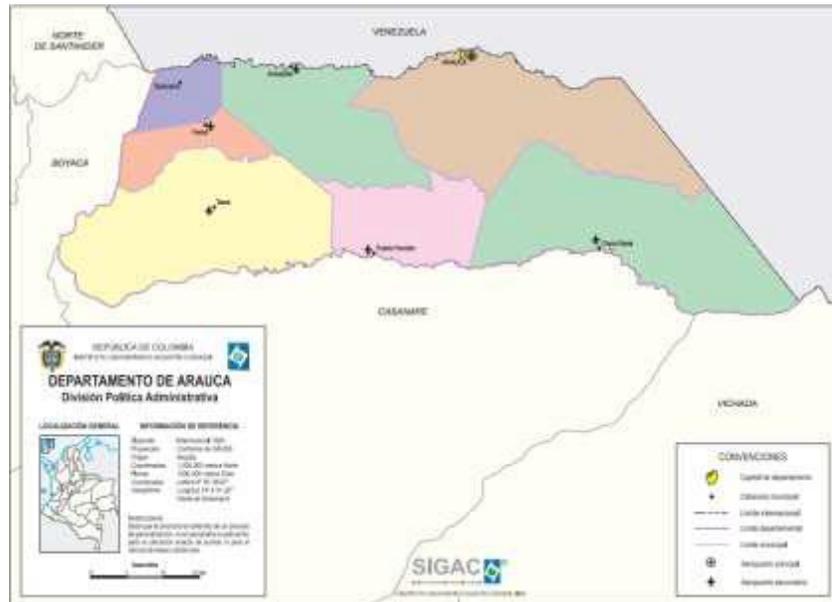


Imagen 1 Municipio de Tame - Arauca
Fuente: (Didactalia, 2007)

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ESTADO DEL ARTE (ANTECEDENTES)

El tratamiento de agua potable para consumo humano ha sido considerado como una de las técnicas de gran importancia a nivel mundial ya que cuenta con un conjunto de operaciones físicas, químicas y microbiológicas donde se eliminan la mayor cantidad de contaminantes y al final pueda ser suministrada para su apto consumo.

En contexto, a nivel internacional Tshindane (2019) en Sudáfrica, evaluó la presencia de materia orgánica natural en las plantas de tratamiento de agua de Sudáfrica. El agua suministrada a los clientes debe ser segura y adecuada para su propósito. Por lo tanto, es importante que el agua de las plantas de tratamiento de agua cumpla con los estándares de la Organización Mundial de la Salud o los estándares locales, como el Estándar Nacional de Sudáfrica, antes de su distribución. Este estudio se centra en el tratamiento de la materia orgánica natural (NOM) en las plantas de tratamiento de agua de Sudáfrica. Los problemas asociados con NOM incluyen: (1) afecta las propiedades organolépticas del agua; (2) aumenta la demanda de coagulantes; (3) reacciona con el cloro para formar subproductos de desinfección y (4) provoca incrustaciones en la membrana. El objetivo del estudio fue caracterizar la composición NOM de varias fuentes de agua. Específicamente, los objetivos fueron: (1) evaluar el carácter de NOM en regiones seleccionadas de Sudáfrica; y (2) evaluar las eficiencias de eliminación de NOM de las PTAP seleccionadas. Para lograr esto, se usaron varias técnicas de caracterización para determinar parámetros tales como carbono orgánico disuelto, absorbancia ultravioleta, absorbancia ultravioleta específica y materia orgánica disuelta, usando espectroscopía de matriz de emisión de excitación fluorescente. El carácter de NOM evolucionó a lo largo del proceso de tratamiento como resultado de la coagulación, procesos de sedimentación y filtración. Según lo indicado por SUVA, se observó una disminución en la fracción hidrofóbica de NOM del agua cruda al agua final, a excepción de la planta C2 en la Región C, donde se observó un aumento drástico en SUVA de 1.26–31.95 L/mg.m, lo que indica un aumento en los compuestos hidrofóbicos en el agua. Se demostró que todas las PTAP tienen diferentes eficiencias de eliminación debido al carácter de NOM en el agua cruda y las condiciones de coagulación utilizadas.

Donohue (2016) en Estados Unidos, realizó el estudio sobre Patógenos microbianos en las fuentes y aguas tratadas de plantas de tratamiento de agua potable e implicaciones para la salud humana. Realizaron una encuesta de presencia de patógenos seleccionados en la fuente y el agua potable tratada recolectada de 25 plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en los Estados Unidos. Analizaron muestras de agua para

los protozoos *Giardia* y *Cryptosporidium* (Método EPA 1623); los hongos *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus terreus* (PCR cuantitativa [qPCR]); y las bacterias *Legionella pneumophila* (qPCR), *Mycobacterium avium*, *M. avium* subespecie *paratuberculosis* y *Mycobacterium intracellulare* (qPCR y cultivo). *Cryptosporidium* y *Giardia* se detectaron en el 25% y en el 46% de las muestras de agua de origen, respectivamente (no se analizaron las aguas tratadas). *Aspergillus fumigatus* fue el hongo más comúnmente detectado en las fuentes de agua (48%), pero ninguno de los tres hongos se detectó en el agua tratada. Se detectó *Legionella pneumophila* en el 25% de las muestras de agua de origen, pero solo en el 4% de las muestras de agua tratada. *M. avium* y *M. intracellulare* se detectaron en el 25% de la fuente de agua, mientras que las tres micobacterias se detectaron en el 36% de las muestras de agua tratada. Cinco especies de micobacterias, *Mycobacterium mucogenicum*, *Mycobacterium phocaicum*, *Mycobacterium triplex*, *Mycobacterium fortuitum* y *Mycobacterium lentiflavum* se cultivaron a partir de muestras de agua tratada. Los resultados sugieren que muchos de estos patógenos están muy extendidos en las aguas de origen, pero que el tratamiento generalmente es efectivo para reducirlos por debajo de los límites de detección. La única excepción son las micobacterias, que se detectaron comúnmente en el agua tratada, incluso cuando no se detectaron en las aguas de origen.

A nivel nacional, Pérez (2016), realizó un trabajo de investigación Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Guateque en el departamento de Boyacá - Colombia. El documento fue realizado con el fin de evaluar y diagnosticar la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) ubicada en municipio de Guateque (Boyacá), identificaron cuáles son los problemas que impiden su debido funcionamiento, analizando el funcionamiento y comportamiento hidráulico de cada una de sus partes que la conforman, teniendo en cuenta que el solo hecho de que un sistema de abastecimiento de agua se encuentre bien concebido y sus elementos estén claramente definidos, no es garantía de la efectividad de su funcionamiento. El objetivo de una planta de tratamiento, es transformar el agua cruda en potable, apta para el consumo humano, en la cual cada proceso debe funcionar eficientemente. Por esta razón, se debe pensar en dar el mejor manejo a la planta y funcionar siempre con controles de operación para dejar de lado un tratamiento rudimentario y pasar a realizar los procesos de forma más técnica y controlada. En el diagnóstico se resaltaron las falencias y el estado del funcionamiento de cada una de las unidades de tratamiento y de los equipos utilizados para el normal proceso en la planta. De la información obtenida en la planta, se hacen las respectivas recomendaciones, con el fin de que se pongan en práctica para hacer la operación en la planta más técnica y con controles definidos que permitan siempre mejorar la calidad del agua producida y reducir los costos de producción.

Escobar y Rivera (2019), realizaron un trabajo de investigación sobre el Desarrollo e implementación de un plan de seguridad del agua para el sistema de suministro

de agua potable de Cali, Colombia. El enfoque del plan de seguridad del agua (PTAP) integró la evaluación de riesgos y las prácticas de gestión en un sistema de suministro de agua potable, asegurando la calidad del agua desde la cuenca hasta el consumidor. Esta investigación se orientó hacia el desarrollo e implementación de un plan de seguridad para la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. Adaptaron las etapas metodológicas del plan de seguridad establecido por la Organización Mundial de la Salud: (i.) Reunir un equipo de plan de seguridad del agua, (ii.) Describir el plan de seguridad del agua existente, (iii.) Identificar peligros y eventos peligrosos, (iv.) Evaluar riesgos, y (v.) Planificar la gestión de riesgos. En esta estructura metodológica, se dispone el uso de diferentes herramientas de evaluación de riesgos en cada paso del plan de seguridad del agua, que pueden implementarse en sistemas de agua de diferentes tamaños. Los resultados del estudio permitieron la identificación de eventos peligrosos que pueden comprometer la efectividad de la PTAP: de los 103 eventos encontrados, 16 estaban relacionados con la captación, 40 con los procesos de tratamiento, 27 con el sistema de distribución y 9 con los consumidores, mientras que los 11 restantes se asociaron con factores organizativos, de planificación, de contingencia y de emergencia.

4.2 RESEÑA HISTÓRICA

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes de agua.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Por ejemplo en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar cerámica, madera y metal.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

El agua utilizada es retirada mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento. El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas.

Los acueductos son los sistemas utilizados para el transporte del agua. A través de los acueductos el agua fluye por miles de millas. Los sistemas de tuberías en las ciudades utilizan cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. Las fuentes de agua se protegían de contaminantes externos.

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría. Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación.

El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806, Paris empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas.

En 1827, el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública.

En contexto, la reseña histórica de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tame - Arauca inicia hacia el año de 1.962 con operaciones del acueducto tomado del caño NARANJITO, con tubería de conducción de 6" en caudal de 10 LPS para más o menos 200 familias, paralelamente se construyó el alcantarillado para la zona más céntrica del pueblo entregando las aguas servidas directamente del caño GUALABAO. En este tiempo los servicios de acueducto y alcantarillado fueron administrados por la empresa de acueducto de Norte de Santander "ACUANORTE". La prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado también fueron administrados por la empresa de servicios públicos de Arauca "EMPOARAUCA".

En 1979 se construyó el Acueducto Municipal del río Tame con tubería de conducción de 12" planta de tratamiento circular compacta de 45 LPS y tanque de almacenamiento de 1200 m³.

Mediante Acuerdo No. 003 del 02 febrero de 1989 el Concejo Municipal creó la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Tame como un establecimiento Público

del orden Municipal adscrito al despacho del Alcalde dotado de personería Jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente. A partir de esta fecha la empresa asumió los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. De igual manera, en 1991 se amplió el servicio de alcantarillado construyendo 2 emisarios finales y 2 piscinas de oxidación con vertientes al caño GUALABAO y la ITIBANA. Por su parte, el servicio de aseo fue reforzado con la adquisición de un carro compactador de 4 toneladas y se construyó el relleno sanitario.

4.2.1 MISIÓN

Somos una Empresa Industrial y Comercial del Estado del orden regional, orientada hacia la eficiente prestación de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, en condiciones de calidad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental, guiada por un equipo humano idóneo, que propende por la satisfacción permanente del usuario.

4.2.2 VISIÓN

CARIBABARE E.S.P., liderará la prestación eficiente de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en la región, y será reconocida por su compromiso con la calidad, la capacidad de su equipo humano y la responsabilidad social Empresarial.

4.3 MARCO LEGAL

- ✓ **Resolución 2115 de junio 22 de 2007** expedida por el MPS y el MAVDT, *“Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”*. Según lo ordenado en el Decreto 1575 de 2007.
- ✓ **Decreto 1575 de mayo 09 de 2007**, expedido por el Ministerio de la Protección Social (MPS), y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), *“Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”*
- ✓ **Resolución 0811 de marzo 5 de 2008** expedida por el MPS y el MAVDT, *“Por medio del cual se 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”*. Según lo ordenado en el Decreto 1575 de 2007.

- ✓ **RAS 2000.** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Por el Ministerio de Desarrollo Económico. Sección II; Título C, Sistemas de Potabilización de Agua.
- ✓ **Resolución 082 de 2009.** Del Ministerio de Protección Social. Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
- ✓ **Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015.** Del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- ✓ **NTC ISO 9000.** Norma técnica Colombiana, por la cual describe los sistemas de gestión de la calidad, fundamentos y vocabulario.
- ✓ **NTC-ISO 9001:2015** Norma técnica Colombiana, describe los sistemas de gestión de la calidad, Requerimientos.

4.4 MARCO TEÓRICO

4.4.1 CALIDAD DEL AGUA

La "calidad del agua" es un término utilizado para expresar la idoneidad del agua para sostener diversos usos o procesos. Cualquier uso particular tendrá ciertos requisitos para las características físicas, químicas o biológicas del agua; por ejemplo, límites en las concentraciones de sustancias tóxicas para el uso del agua potable, o restricciones en los rangos de temperatura y pH para las comunidades de invertebrados que apoyan el agua. En consecuencia, la calidad del agua puede definirse por un rango de variables que limitan el uso del agua. Aunque muchos usos tienen algunos requisitos comunes para ciertas variables, cada uso tendrá sus propias demandas e influencias en la calidad del agua. Las demandas de cantidad y calidad de diferentes usuarios no siempre serán compatibles, y las actividades de un usuario pueden restringir las actividades de otro, ya sea exigiendo agua de una calidad fuera del rango requerido por el otro usuario o disminuyendo la calidad durante el uso del inodoro. Los esfuerzos para mejorar o mantener una determinada calidad del agua a menudo comprometen las demandas de calidad y cantidad de los diferentes usuarios. Cada vez se reconoce más que los ecosistemas naturales tienen un lugar legítimo en la consideración de las opciones para la gestión de la calidad del agua. Esto es tanto por su valor intrínseco como porque son indicadores sensibles de los cambios o el deterioro en la calidad general del agua, proporcionando una adición útil a la actividad física y química (World Health Organization, 1996).

4.4.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

La descarga de desechos de alcantarillas municipales es uno de los problemas de calidad del agua más importantes en todo el mundo. Es de particular importancia para las fuentes de agua potable. Las aguas residuales municipales contienen heces humanas y el agua contaminada con estos efluentes puede contener organismos patógenos (que causan enfermedades) y, en consecuencia, puede ser peligroso para la salud humana si se usa como agua potable o en la preparación de alimentos. La contaminación fecal del agua se detecta rutinariamente mediante análisis microbiológicos.

No es práctico intentar el aislamiento de rutina de los patógenos porque están presentes en cantidades relativamente pequeñas en comparación con otros tipos de microorganismos. Además, hay muchos tipos de patógenos y cada uno requiere una técnica de aislamiento microbiológico única. La presencia de estos organismos indicadores en el agua es evidencia de contaminación fecal y, por lo tanto, de un riesgo de presencia de patógenos. Si los organismos indicadores están presentes en grandes cantidades, la contaminación se considera reciente y / o grave.

Las bacterias en el agua, en general, no están presentes individualmente, sino como grupos o en asociación con partículas. Cuando se enumeran las bacterias en el agua, no se cuenta el número de bacterias individuales presentes, sino el número de grupos de bacterias o partículas y sus bacterias asociadas. Cada grupo o partícula puede tener muchas bacterias asociadas (OMS, 2006).

Se muestran las técnicas y los límites máximos permitidos para los análisis microbiológicos en la tabla 1, tomado a partir de la Resolución MPS 2115 de 2007.

Tabla 1. Características microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración por membrana	0 UFC/100	0 UFC/100cm ³
Enzima sustrato	< 1 microorganismo en 100 cm ³	< 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia / ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: Resolución MPS 2115 de 2007

4.4.3 GENERALIDADES DEL GRUPO COLIFORME

4.4.3.1 Coliformes totales

El término "coliformes totales" se refiere a un gran grupo de bacterias Gram-negativas, en forma de bastón, que comparten varias características y comprenden varios géneros de la familia Enterobacteriaceae. El grupo incluye coliformes

termotolerantes y bacterias de origen fecal, así como algunas bacterias que pueden aislarse de fuentes ambientales. Por lo tanto, la presencia de coliformes totales puede o no indicar contaminación fecal. En casos extremos, un recuento alto para el grupo de coliformes totales puede estar asociado con un recuento bajo, o incluso cero, de coliformes termotolerantes. Tal resultado no necesariamente indicaría la presencia de contaminación fecal. Puede ser causado por la entrada de tierra o materia orgánica en el agua o por condiciones adecuadas para el crecimiento de otros tipos de coliformes. En el laboratorio, los coliformes totales se cultivan en o sobre un medio que contiene lactosa, a una temperatura de 35 o 37°C. Se identifican provisionalmente por la producción de ácido y gas a partir de la fermentación de lactosa.

El grupo de bacterias Coliformes es el principal indicador de la adecuación del agua para usos domésticos, industriales o de otro tipo. La experiencia ha mostrado que la densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación, y por tanto, de la calidad sanitaria (Grabow, 2001).

4.4.3.2 Coliformes fecales

El término "coliforme fecal" se ha utilizado en Microbiología del agua para denotar organismos coliformes que crecen a 44 o 44.5°C y fermentan lactosa para producir ácido y gas. En la práctica, algunos organismos con estas características pueden no ser de origen fecal y el término "coliforme termotolerante" es, por lo tanto, más correcto y se está utilizando más comúnmente. Sin embargo, la presencia de coliformes termotolerantes casi siempre indica contaminación fecal. Por lo general, más del 95 por ciento de los coliformes termotolerantes aislados del agua son el organismo intestinal *Escherichia coli*, cuya presencia es una prueba definitiva de contaminación fecal. Como resultado, a menudo es innecesario realizar más pruebas para confirmar la presencia específica de *E. coli*.

En el laboratorio, los coliformes termotolerantes se cultivan en medios que contienen lactosa, a una temperatura de 44 o 44,5°C. Se identifican provisionalmente por la producción de ácido y gas a partir de la fermentación de lactosa.

Los ambientes ricos en nutrientes pueden fomentar el crecimiento o la persistencia de algunas especies de coliformes termotolerantes que no sean *E. coli*. Esta posibilidad debe considerarse cuando, por ejemplo, se obtiene un resultado inusualmente alto del agua que se considera relativamente limpia. En tal caso, se debe buscar el consejo de un laboratorio de Microbiología para la determinación del indicador más específico, *E. coli* (Snozzi, 2001).

4.4.4 RECIPIENTES PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

4.4.4.1 Recipiente para exámenes microbiológicos

Los recipientes más usados para la toma de muestras para los exámenes microbiológicos son los frascos de plástico o preferiblemente de vidrio esterilizable. Deben ser de boca ancha, tapa protectora y cierre hermético para evitar escapes de agua; provistos con papel resistente o papel de aluminio para proteger la tapa en el momento del muestreo.

La capacidad de estos frascos debe ser como mínimo de 300 ml, con el objeto de poder tomar muestras de 250 ml y dejar un espacio vacío que facilite la supervivencia de los microorganismos aerobios (Casas, 2011).

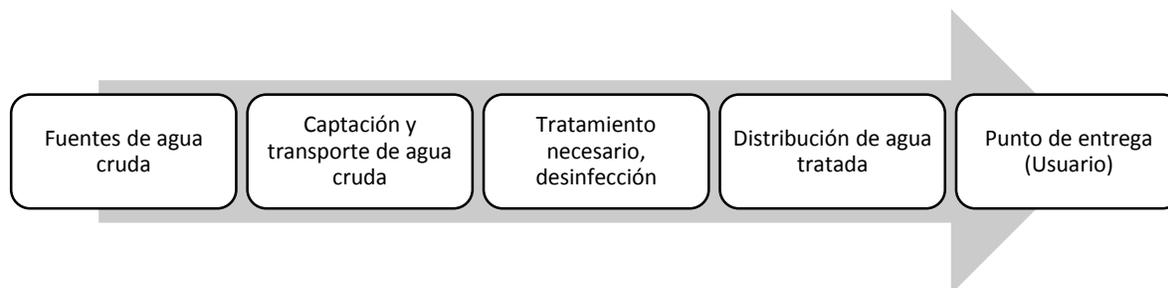
4.4.4.2 Recipiente para exámenes fisicoquímicos

Los recipientes más usados para exámenes físicos y químicos son de vidrio y plástico. Son frascos que deben tener una capacidad mínima de un (1) litro y con tapa rosca que dé seguridad en el cierre.

4.4.5 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA

En los sistemas de suministro de agua de alta complejidad técnica como aquellos de los grandes centros urbanos podrá haber múltiples fuentes, varias estaciones de bombeo, diferentes reservorios y distintos sistemas de transporte. Las plantas de tratamiento tendrán múltiples etapas, procesos especiales, bombeos diferenciales y estaciones de mezcla en los sistemas de distribución, incluyendo tanques reservorios de agua tratada. En la Figura 1 se puede observar la secuencia del proceso completo del suministro de agua.

Figura 1. Esquema Básico de un sistema de suministro de agua



Fuente. (Casas, 2011)

4.4.5.1 FUENTE DE AGUA

Cualquier tipo de agua natural, ya sea superficial, subterránea, atmosférica o aun recuperada, puede ser considerada como fuente de agua para consumo humano. Las aguas superficiales pueden incluir arroyos, ríos, lagos y aguas de mar. Las aguas subterráneas son las que están contenidas dentro de formaciones geológicas e incluyen las de nacederos, manantiales, pozos naturales y la extraída de pozos profundos conectados a acuíferos abiertos o confinados. Las aguas atmosféricas son las que se obtienen de la captación de aguas lluvias o de la humedad atmosférica. Finalmente, están las aguas recuperadas a través de procesos de tratamiento de aguas residuales y que pueden ser reutilizadas para algunos usos domésticos (Casas, 2011).

4.4.5.2 CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN

Los sistemas de captación de aguas crudas normalmente operan por gravedad o por bombeo según el nivel del agua de la fuente en el sitio donde se va a hacer la captación, con relación al nivel del punto donde se inicia el transporte del agua hacia el sistema de tratamiento. El medio de transporte, llamado aducción, puede hacerse mediante canales a cielo abierto o conductos cerrados (tuberías o túneles) que transportan el agua cruda captada a flujo libre, a presión o una combinación de estos dos regímenes hidráulicos (Casas, 2011). Observar el esquema de la PTAP en la imagen 2.

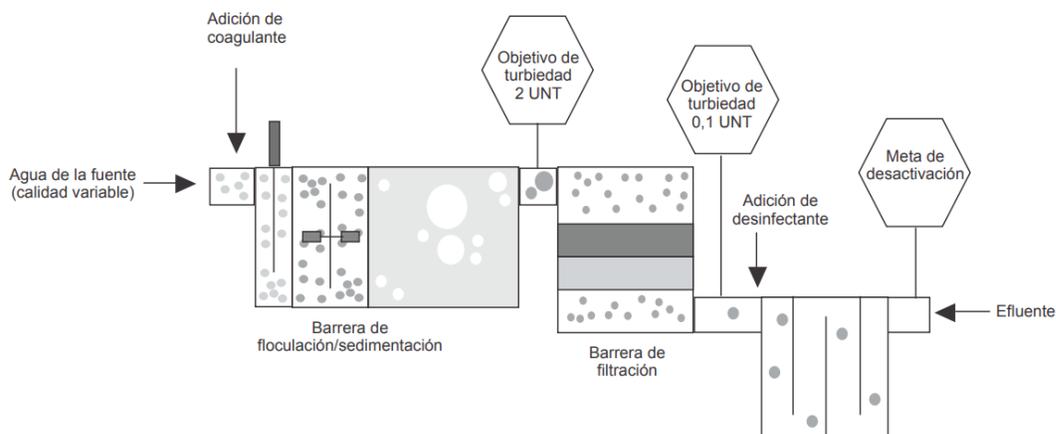


Imagen 2. Planta típica de tratamiento de agua
Fuente: Esquema adaptado INS, taller calidad del agua, MPS-2011

4.4.5.3 TRATAMIENTO

Dependiendo de la calidad del agua cruda a tratar, las plantas de tratamiento o potabilización pueden variar en los componentes básicos, proveyendo diferentes grados de remoción de las impurezas presentes en el agua que la hacen aparecer como turbia o coloreada o ambas a la vez. Los procesos más comunes de tratamiento son:

El de clarificación del agua que puede incluir una etapa previa de desarenación o sedimentación simple, y una etapa posterior de sedimentación inducida mediante procesos químicos e hidráulicos de coagulación y floculación con ajustes de pH, si es necesario.

El de filtración rápida o lenta cuyo propósito es separar las partículas y microorganismos objetables suspendidos en aguas crudas relativamente limpias (filtración directa), o los que no fueron removidos en los procesos previos de coagulación y sedimentación cuando éstos se aplican.

El de la desinfección cuyo propósito es eliminar los microorganismos patógenos (bacterias y virus) que no fueron removidos en los procesos anteriormente mencionados de clarificación y filtración. El cloro en sus diferentes formas, gaseoso o mediante sales hipoclorosas, es la sustancia química usada en nuestro medio para desinfectar el agua, pues garantiza una acción residual en el sistema de distribución.

El agua ya potabilizada es transportada a presión mediante una tubería de conducción, usualmente a partir de un tanque de almacenamiento o estación de bombeo de agua tratada instalada al final de los procesos de la planta de potabilización, hasta empatar con la red de tuberías de distribución a la población atendida por el sistema de acueducto. El punto que define el límite al final de la tubería de conducción es aquel accesorio o componente (tanque o estación de bombeo) que conecta con la red de tuberías del sistema de distribución (Casas, 2011).

4.4.5.4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución de agua para consumo humano son el conjunto de tuberías que se derivan del sistema de conducción y que están dispuestas a lo largo de calles urbanas o caminos veredales. Estas tuberías, junto con los accesorios de control, estructuras de almacenamiento y eventualmente estaciones de bombeo, conforman el sistema de distribución de agua para consumo humano encargado de entregar a domicilio, o a través de pilas públicas, el agua para consumo humano en la población que sirven (Casas, 2011).

4.4.5.5 PUNTO DE ENTREGA

La entrega de agua al domicilio y los usuarios se hace a través de una tubería menor o acometida que conecta las viviendas y los establecimientos públicos o privados con las tuberías secundarias y terciarias de la red de distribución.

La responsabilidad por la calidad del agua y, por supuesto, del servicio por parte de la Persona Prestadora llega hasta el extremo final de la acometida donde está instalado el medidor de agua o en su defecto una válvula registro. A partir de este punto se inicia la red interna o red intradomiciliaria de agua cuyo mantenimiento, en condiciones sanitarias adecuadas, es responsabilidad de los usuarios (Casas, 2011).

4.4.5.6 PUNTOS DE MUESTREO

Los criterios para localizar los puntos de recolección de las muestras de agua para consumo humano en la red de distribución, el número mínimo de estos puntos de muestreo, su identificación, el acta de concertación de puntos y lugares de muestreo entre la Persona Prestadora y la Autoridad Sanitaria competente y la materialización de estos puntos de muestreo están consignados en la Resolución número 0811 de 2008 “Por medio de la cual los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial definieron los lineamientos a partir de los cuales la Autoridad Sanitaria y las Personas Prestadoras concertadamente definieron 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

4.4.6 TÉCNICA DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA

Para la detección de Coliformes totales y *E. coli*, es utilizada la técnica de filtro de membrana la cual se puede utilizar para probar un número relativamente grande de muestras y produce resultados rápidamente. Originalmente fue diseñado para su uso en el laboratorio, pero ahora hay equipos portátiles disponibles que permiten el uso de la técnica en el campo.

4.4.6.1 Principio

El método de filtro de membrana proporciona un recuento directo de coliformes totales y coliformes fecales presentes en una muestra dada de agua. Un volumen medido de agua se filtra, al vacío, a través de una membrana de acetato de celulosa de diámetro de poro uniforme, generalmente 0,45 µm. Las bacterias se retienen en la superficie de la membrana que se coloca en un medio selectivo adecuado en un recipiente estéril y se incuba a una temperatura adecuada. Si hay coliformes y/o

coliformes fecales en la muestra de agua, se forman colonias características que se pueden contar directamente.

Si la calidad del agua es totalmente desconocida, o si hay dudas sobre la probable densidad bacteriana, es aconsejable probar dos o más volúmenes para asegurarse de que el número de colonias en la membrana estará en el rango óptimo para contar (es decir 20-80 colonias por membrana). Si no se puede filtrar un volumen adecuado de muestra a través de una sola membrana, la muestra se puede filtrar a través de dos o más y se agrega el número de colonias en las membranas para dar el recuento total de la muestra.

Las técnicas de filtración por membrana y recuento de colonias suponen que cada bacteria, grupo de bacterias o partículas con bacterias unidas, dará lugar a una única colonia visible. Cada uno de estos grupos o partículas es, por lo tanto, una unidad formadora de colonias (UFC) y los resultados se expresan como unidades formadoras de colonias por unidad de volumen. En el caso de las bacterias coliformes termotolerantes, el resultado debe informarse como coliformes termotolerantes UFC por 100 ml (Sanabria, 2008).

5. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos se estructura cinco (5) etapas para llegar a la finalidad del proyecto que es Evaluar la calidad del agua potable de la PTAP del Municipio de Tame. Se empleará una etapa I: toma de muestras, etapa II: ensayos microbiológicos, etapa III: análisis fisicoquímicos, etapa IV: control de calidad del proceso de abastecimiento de agua potable y por último la etapa V: determinación del % IRCA.

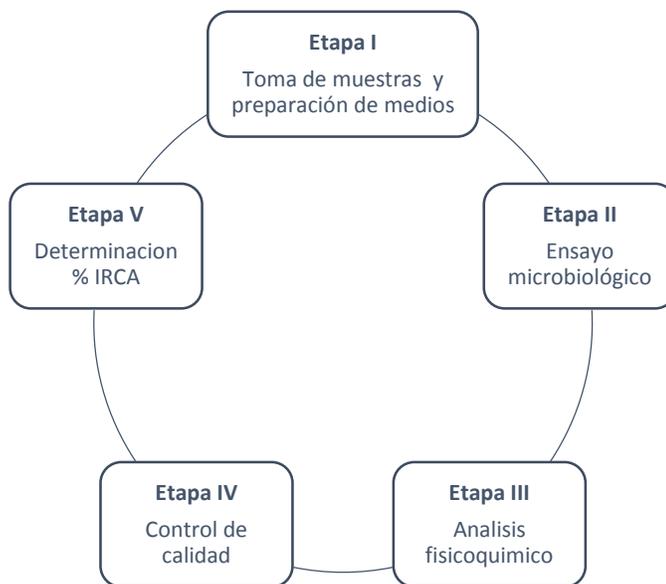


Figura 2 Diagrama de Metodología
Fuente: Autora

5.1 ETAPA I: TOMA DE MUESTRAS Y PREPARACIÓN DE MEDIOS

5.1.1 Toma de muestra en los diferentes puntos operativos del sistema de acueducto en la PTAP

Se tomaron 100 ml de muestra de agua cruda en los puntos: Boca toma, Desarenador 1 y Desarenador 2, y en los tres módulos que conforman la planta de potabilización módulo 3 (Floculadores en el área lenta, sedimentador y tanque de clarificación), módulo 2 (Floculadores en el área lenta, sedimentador y tanque de clarificación), módulo 1 (Floculadores en el área lenta, sedimentador y tanque de clarificación), con la ayuda de los frascos de vidrio previamente esterilizados, se procedió igualmente a tomar 100 ml de la muestra de agua previamente tratada en el tanque de abastecimiento de agua. Todas las muestras tomadas en la PTAP se transportaron al laboratorio para posterior análisis y determinación de los

parámetros microbiológicos como coliformes totales, *E. coli* y aerobios mesófilos, así como los ensayos fisicoquímicos básicos colorimétricos como turbiedad, color aparente, pH y cloro total; volumétricos como alcalinidad, dureza al calcio y cloruros y fotométricos como fosfatos, sulfatos, nitritos, hierro y calcio.

5.1.1.1 Bocatoma

La bocatoma del río Tame es la fuente principal de captación del recurso agua destinada principalmente para la potabilización y posterior abastecimiento para el municipio. La toma de muestra se dio aguas arriba y se recolectaron 100 ml en un frasco de vidrio previamente esterilizado y teniendo en cuenta todas las medidas de bioseguridad y la respectiva indumentaria (Imagen 3).



Imagen 3. Bocatoma Río Tame
Fuente: Autora

5.1.1.2 Desarenador de rebose 1 y 2

Parte del agua captada en la bocatoma es conducida a los desarenadores donde se remueven las partículas de cierto tamaño que la captación de la fuente superficial permite pasar, además tiene la capacidad de retener la arena que trae el agua de la bocatoma y así evitar que ingresen al canal de aducción. Ambos desarenadores presentan en su estructura un tanque de salida de agua en los cuales se recolectó 100 ml de muestra y se trasladaron al laboratorio para su posterior análisis (Imágenes 4 y 5).



Imagen 4. Desarenador 1
Fuente: Autora



Imagen 5. Desarenador 2
Fuente: Autora

5.1.1.3 Módulo 3 de la PTAP

La estructura del módulo 3 está diseñada para recibir el agua que llega a la planta de tratamiento a partir del desarenador 1 ubicado en la bocatoma. El módulo 3 está compuesto por la canaleta Parshall la cual permite medir la cantidad de agua que entra a la planta, seguido de los tanques de floculación, el sedimentador y el tanque de clarificación, de los cuales se tomaron 100 ml de muestra de cada uno en frascos de vidrio para su análisis posterior.

5.1.1.3.1 Floculación, sedimentación y tanque de clarificación

Durante el proceso de floculación se busca la formación de partículas que se aglutinan en pequeñas masas llamados floc. Se da la remoción de turbiedad y color, eliminación de virus, bacterias, organismos patógenos, sustancias productoras de sabor y olor. Este proceso se da por la adición de un producto químico (policloruro de aluminio) el cual permite que las partículas se aglomeren cuando establezcan contacto entre sí. La sedimentación consiste en emplear la fuerza de gravedad para que las diferentes partículas presentes en el agua se depositen en el fondo del sedimentador, las partículas que se sedimentarán serán aquellas con mayor densidad a la del agua (Imágenes 6, 7 y 8).



Imagen 7. Tanques de floculación
Fuente: Autora



Imagen 6. Sedimentador
Fuente: Autora



Imagen 8. Tanque de clarificación
Fuente: Autora

5.1.1.4 Módulo 2 de la PTAP

El módulo 2 tiene en su estructura la canaleta *Parshall* la cual abastece de agua los módulos 1 y 2, presenta la misma estructura del módulo 3 (floculador, sedimentador y tanque de clarificación) con el fin de ir tratando el agua hasta lograr su conducción al tanque de abastecimiento. Las muestras se recolectaron a partir de los 3 procesos del módulo, en frascos de vidrio previamente esterilizados y teniendo en cuenta las normas de bioseguridad para recolección de muestras (Imágenes 9, 10 y 11).



Imagen 9. Tanque de floculación
Fuente: Autora



Imagen 10. Sedimentador
Fuente: Autora



Imagen 11. Tanque de clarificación
Fuente: Autora

5.1.1.5 Módulo 1 de la PTAP

El módulo 1 comparte la entrada de agua con el módulo 2, los cuales se abastecen del recurso mediante la misma canaleta Parshall, independientemente posee en su estructura los procesos de floculación, sedimentación y su respectivo tanque de clarificación. Luego del tratamiento, el agua es conducida al tanque de abastecimiento y suministrada al usuario (Imágenes 12, 13 y 14).



Imagen 12. Floculador
Fuente: Autora



Imagen 13. Sedimentador
Fuente: Autora



Imagen 14. Tanque de clarificación
Fuente. Autora

5.1.2 Toma de muestra de los 8 puntos de la red de distribución del municipio de Tame

Se procedió a realizar la toma de 100 ml de muestra de agua potable en frascos de vidrio previamente esterilizados en 8 (1, 8, 5, 16, 7, 13, 11 y 14) puntos diferentes de la red de distribución cuya dirección son establecidas por la empresa (Tabla 2).

Tabla 2. Dirección de los 16 puntos asignados por la empresa para la toma de muestra en la red de distribución del municipio de Tame.

Red de distribución	Sector	Dirección
1	San Diego	Calle 15 Cra 83 A
2	Brisas de Satena	Diagonal 25 Cra 45
3	San Miguel	Calle 15 Cra 26
4	El Cielo	Cra 22 Calle 14 – 15
5	Porvenir	Calle 13 Cra 18 – 19
6	San Luis	Cra 19 Cra 22
7	Sucre	Calle 11 – 12 Cra 15 – 16
8	20 de Julio	Calle 16 Cra 12 – 11
9	Santander	Cra 10 entre Calle 13 – 14
10	Balcón del Llano	Calle 5 Cra 11 – 12
11	Cristo Rey	Cra 5 Calle 13 B – 14
12	Brisas de Satena	Calle 15 Cra 67
13	Santander	Cra 12 Calle 11
14	La Unión	Cra 20 Calle 14 A
15	El Centro	Cra 16 Calle 14 – 15
16	Juvenil Araucano	Calle 14 Cra 10

Fuente: Autora



Imagen 15. Puntos de muestro de la red de distribución.

Fuente. Autora

5.1.3 Preparación de medios

Chormocult: Se tomó 5,3 g el medio de cultivo y se agregaron en 200 ml de agua, se hirvió hasta no observar grumos, seguidamente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se vertió en cajas de Petri hasta solidificar.

Plate count: Se tomó 4,5 g del medio de cultivo y se vertió en 200 ml de agua el cual se llevó a la autoclave durante 15 minutos y seguidamente se dejó enfriar a una temperatura de 45°C, se vertió la solución en cajas de Petri y se dejó solidificar a temperatura ambiente.

5.2 ETAPA II: ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

5.2.1 COLIFORMES TOTALES, *E. coli* y AEROBIOS MESÓFILOS

5.2.1.1 Preparación de la muestra

La muestra se diluyó en una relación 1:9 (25:225ml) con el fin de observar un mejor crecimiento microbiano, seguidamente se tomó una membrana estéril la cual se colocó sobre el embudo de filtración previamente esterilizado, donde se adicionó 100 ml de muestra de agua diluida y se filtró, luego con ayuda de una pinza se inoculó la membrana en la caja de Petri con el medio de cultivo, Chromocult y Plate Count para Coliformes y Aerobios Mesófilos, respectivamente, se llevó a incubación durante 24 horas a una temperatura de 35/37°C, pasado el tiempo de incubación se leyeron las cajas de Petri.

5.2.1.2 Confirmación de *E. coli*

Para confirmar la presencia de coliformes fecales se empleó 0,5 ml del reactivo de kovacs, donde la formación de un círculo de color azul intenso indica la presencia de coliformes fecales (Disponible en el Instructivo I-GOPA-POT-011).

5.3 ETAPA III: ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS

Se realizó el análisis fisicoquímico a todas las muestras tomadas en la planta de tratamiento y en la red de distribución. Se realizaron los procesos básicos colorimétricos de pH, conductividad, color, turbiedad y cloro, procesos volumétricos como alcalinidad, dureza total y cloruros y adicionalmente se realizaron los procesos fotométricos como sulfato, fosfato, nitrito, hierro y calcio para las muestras de la red de distribución.

5.3.1 Ensayos de conductividad, color, turbiedad y pH

Los ensayos de conductividad, color, turbiedad, cloro y pH se establecieron con la ayuda de los equipos correspondientes dispuestos para su determinación.



Imagen 16. Colorímetro, Conductímetro y pH-metro

Fuente: Autora

5.3.2 Ensayos Volumétricos

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos de alcalinidad, dureza y cloruros se realizaron por volumetría.

Para determinar la alcalinidad se tomaron 100 ml de muestra a temperatura ambiente en un Erlenmeyer y se le agregaron 4 gotas de verde de Bromocresol lo cual se tituló con ácido clorhídrico (HCl), hasta observar el viraje de azul a amarillo.

La dureza del agua se analizó tomando 100 ml de muestra en un Erlenmeyer a temperatura ambiente y se adicionaron 25 ml de agua destilada estéril donde se disolvió una tableta tampón indicadora con 1 ml de amoniaco y se tituló con EDTA hasta observar un viraje a color verde esmeralda pasando por gris.

El análisis para establecer la concentración de cloruros se realizó tomando 50 ml de muestra y 50 ml de agua destilada estéril y se adicionó 1 ml de cromato de potasio y posteriormente se tituló con Nitrato de Plata (Ver Anexo G).

5.3.3 Ensayos Espectrofotométricos

Los análisis para determinación de fosfatos, nitritos, hierro, calcio y sulfatos se hallaron mediante un Espectrofotómetro Nova 60 en el cual se introduce el selector para cada método, se agregan los reactivos correspondientes para cada análisis y

posteriormente se introduce la muestra de medición en la cubeta de 10 mm y se mide en el fotómetro, en la pantalla aparecen los respectivos valores de medición (Ver anexo H).

5.4 ETAPA IV: CONTROLES DE CALIDAD Y PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

La operación del sistema de potabilización cuenta con una unidad de tratamiento que consta de un pozo con peces donde se está suministrando permanente agua que proviene de los desarenadores 1 y 2 (Imagen 4 y 5), posteriormente el agua es captada para su proceso de potabilización. Se inicia con la medición del caudal en la canaleta Parshall, mediante el medidor ultrasónico, que va desde 0 L/S, hasta 35 L/S, en módulo 3 y para el módulo 1 y 2, desde 0 L/S hasta 85 L/S. En la canaleta Parshall se realiza la medición en línea del pH para verificar en tiempo real las variaciones de este parámetro (Imagen 17).



Imagen 17. Sensor de pH
Fuente: Autora

Al pasar el agua por la garganta de la canaleta, se hace la aplicación de Hidróxido de calcio teniendo en cuenta las características fisicoquímicas del agua cruda, especialmente el pH, con este valor, se realizan los respectivos aforos, para las descargas correspondientes de la solución de cal, con el fin de elevar el pH y facilitar el proceso de floculación; debido a que el agua captada del río Tame, presenta pH promedio entre 5,5 a 7,5 aproximadamente.

El sulfato de aluminio se aplica en el resalto hidráulico de la canaleta Parshall, allí se realiza el proceso de coagulación (Imagen 18).



Imagen 18. Canaleta Parshall

Fuente: Autora

Debe hacerse trece (13) monitoreos diarios de los procesos que se dan en la planta, como son coagulación, floculación, sedimentación y filtración, las muestras para verificar la efectividad del proceso son tomadas en la cámara de quietamiento y canal de estabilización, se miden los parámetros de color, turbiedad, y pH y así llevar el control diario de operación de planta. La desinfección se realiza en la tubería de salida del módulo 1 - 2 y 3, mediante la aplicación de cloro gaseoso (6 a 22 libras/días). En los tanques de almacenamiento la Chamiza I y II, (Imagen 19) se le realizan 4 mediciones diarias de color, turbiedad, pH, temperatura y cloro residual libre.

En los tanques de almacenamiento, se efectúan controles de forma semanal para caracterizar aspectos fisicoquímicos como: alcalinidad, sustancias flotantes, dureza total, cloro residual libre, fosfatos, cloruros, sulfatos, hierro, nitritos y microbiológicos como Coliformes Totales, *Escherichia coli* y Aerobios Mesofilos. Debe realizarse el proceso de limpieza y desinfección de los tanques de almacenamientos cada seis (6) meses (Imagen 19).



Imagen 19. Tanque de almacenamiento de agua potable la Chamiza I.

Fuente: Autora

El control de calidad en la red de distribución se realiza con cuatro (4) muestras diarias con un intervalo de dos (2) días, es decir, ocho (8) muestras semanales, sujetas a análisis fisicoquímicos como pH, color, turbiedad, alcalinidad, dureza total,

cloro residual libre, fosfatos, cloruros, sulfatos, hierro, nitritos y microbiológicos como Coliformes Totales, *Escherichia coli* y Aerobios Mesófilos de acuerdo a lo establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007.

Los controles de calidad de la red de distribución, quincenalmente son realizados conjuntamente con la Unidad Administrativa Especial de Salud de Arauca (UAESA), para el control y vigilancia, para ello se toman cuatro (4) muestras.

Existen dieciséis (16) puntos de muestreos concertados por toda la red de distribución y la toma de muestras es realizada por el Líder del Grupo Operativo de Potabilización de Agua, de forma aleatoria, para el control y vigilancia se lleva a cabo en cuatro (4) puntos específicos que son inicio y terminal de la red, laterales e instituciones; las muestras colectadas son simples, realizadas de forma puntual para caracterizar la calidad del agua en momento dado.

5.5 ETAPA V: DETERMINACION DEL % IRCA

El índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano **IRCA**, es un parámetro establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007, mediante el cual se permite determinar la calidad del agua para consumo humano, y por ende el grado de riesgo de ocurrencias de enfermedades asociadas al incumplimiento de características microbiológicas y fisicoquímicas de la misma.

Este porcentaje se determinó mediante los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos obtenidos en cada una de las muestras de agua potable tomadas de los diferentes puntos de la red de distribución, se calculó el IRCA por muestra y del mes analizado (Ver fórmula de cálculo en el Anexo D).

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos (Betancourt, 2007) (Ver tabla de valores de riesgo en el Anexo F).

6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 3. Cronograma de actividades

Actividad	Mes	Agosto			Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	Semana	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica		X	X	X																
Planteamiento del proyecto			X	X	X															
Recolección y procesamiento de datos						X	X	X												
Diseño experimental y redacción de metodología								X	X	X	X	X								
Redacción del trabajo de grado				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Entrega y sustentación																	X	X	X	

Fuente: Autora

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

7.1.1 Parámetros microbiológicos a muestras tomadas en los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.

La empresa de servicios públicos CARIBABARE ESP, tiene la capacidad de suministrar agua potable a 10.103 usuarios, indicando que presta el servicio a 30.309 (99.14%) de los habitantes del municipio. Teniendo en cuenta la población atendida se debe cumplir con una serie de procesos básicos para el control de la calidad del agua para consumo humano, donde se debe llevar un control para los análisis microbiológicos de coliformes totales y *E. coli* en la red de distribución, sujetándose a un mínimo de frecuencias (semanal) y número de muestras (8) de acuerdo a lo exigido por la autoridad sanitaria y la Resolución MPS 2115 de 2007. Por lo anterior, durante la realización de la práctica se procedió a dar cumplimiento a estos requisitos realizando semanalmente análisis microbiológicos de coliformes totales, *E. coli* y Aerobios Mesófilos a 8 (1, 8, 5, 16, 7, 13, 11 y 14) puntos diferentes de la red de distribución los cuales arrojaron resultados de 0 UFC/mL demostrando total inocuidad microbiológica en todos los puntos analizados; quedando como evidencia el buen funcionamiento de cada uno de los procesos que se realizan en la PTAP, empezando por el proceso clave de coagulación el cual causa la desestabilización de las partículas sólidas y por ende la aglutinación de las mismas, estas partículas ya sean en suspensión o disueltas son las causantes de la turbiedad y color, características claves para continuar con el proceso de floculación el cual consiste en buscar la clarificación del recurso hídrico por la formación del floc donde las partículas una vez desestabilizadas durante la coagulación chocan unas con otras y forman una maya de coágulos porosos gracias a la agitación de la masa de agua con una velocidad fija en cada uno de los tanques de floculación; el agua floculada pasa a los sedimentadores donde parte del floc por su fuerza de gravedad, se precipita en el fondo del sedimentador pero algunas partículas livianas no se sedimentan pero quedan retenidas en los paneles de sedimentación, partículas de muy bajo peso molecular o incluso microorganismos que no han sido retenidos durante el proceso de coagulación y sedimentación pasan por los filtros donde son retenidas por el lecho filtrante hasta pasar al canal de aguas claras. La eficacia de estos procesos fueron la clave para alcanzar los resultados obtenidos ya que se demostró que el agua suministrada por toda la red de distribución del municipio se encuentra en sus óptimas condiciones para el consumo, cumpliendo con lo estipulado en la Resolución MPS 2115 de 2007, la cual exige que las características microbiológicas para el agua de consumo humano deben ser para Coliformes totales 0 UFC/mL, *E. coli* 0 UFC/mL y Aerobios mesófilos 100 UFC en 100 cm³ lo cual se logró obtener durante la realización del proyecto. En la Tabla 4 se presentan los resultados de los análisis microbiológicos obtenidos de los 8 puntos de la red de distribución.

Tabla 4. Resultado de los parámetros microbiológicos realizados a los 8 puntos de la red de distribución.

Análisis		Coliformes Totales	<i>E. coli</i>	Aerobios mesófilos
Método		Filtración por membrana	Filtración por membrana	Filtración por membrana
Medio		Chromocult	Reactivo de Kovacs	Plate Count
Temperatura		37°C / 24 hrs	37°C / 24 hrs	37°C / 24 hrs
Informe(UFC/mL)		0 UFC/100mL	0 UFC/100 mL	100 UFC/100 mL
Normativa		Resolución MPS 2115 – 2007	Resolución MPS 2115 – 2007	Resolución MPS 2115 - 2007
Recuento (8 puntos de la red de distribución)	1	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	8	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	5	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	16	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	7	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	13	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	11	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL
	14	0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL

Fuente: Autora

7.1.2 Parámetros microbiológicos a muestras tomadas directamente en los puntos del sistema operativo de la PTAP

La PTAP cuenta con una fuente de captación del recurso hídrico dispuesta por agua cruda, la cual presenta características microbiológicas elevadas. La presencia de microorganismos en el agua es un riesgo para la salud humana, razón por la cual se hace necesario controlar rutinariamente la calidad microbiológica tanto en los recursos como en los procesos de tratamiento y distribución. Es importante mantener el agua libre de contaminantes biológicos lo cual se busca mediante la adecuada selección y operación de los procesos de tratamiento de agua potable. Para ello fue necesario evaluar la eficiencia de cada proceso de la PTAP, donde se determinó el % de remoción microbiana durante la operación del sistema de tratamiento, valorando los siguientes puntos críticos: tanque de floculación, sedimentador, tanque de clarificación y tanque de almacenamiento de agua potable. En la Tabla 5 se presentan los resultados microbiológicos obtenidos en la Planta de Tratamiento de Agua Potable.

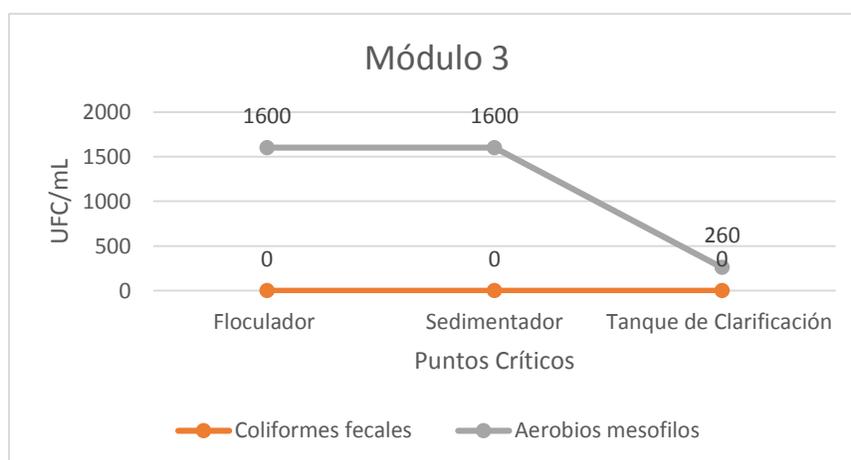
Tabla 5. Resultado de los parámetros microbiológicos tomados en la PTAP

Análisis		Coliformes Totales	<i>E. coli</i>	Aerobios mesófilos
Método		Filtración por membrana	Filtración por membrana	Filtración por membrana
Medio		Chromocult	Reactivo de Kovacs	Plate count
Temperatura		37°C / 24 hrs	37°C / 24 hrs	37°C / 24 hrs
Informe (Bact/mL)		0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Normativa		Resolución MPS 2115 de 2007	Resolución MPS 2115 de 2007	Resolución MPS 2115 de 2007
Módulo 3	Floculador	360 UFC/mL	0 UFC/mL	>1600 UFC/mL
	Sedimentador	290 UFC/mL	0 UFC/mL	1060 UFC/mL
	Tanque de clarificación	60 UFC/mL	0 UFC/mL	260 UFC/mL
Módulo 2	Floculador	630UFC/mL	10 UFC/mL	>1600 UFC/mL
	Sedimentador	450UFC/mL	20 UFC/mL	250UFC/mL
	Tanque de clarificación	0 UFC/mL	0 UFC/mL	30 UFC/mL
Módulo 1	Floculador	510UFC/mL	30 UFC/mL	>1600 UFC/mL
	Sedimentador	140UFC/mL	20 UFC/mL	>1600 UFC/mL
	Tanque de clarificación	50UFC/mL	0 UFC/mL	570 UFC/mL
Tanque de abastecimiento de agua potable		0 UFC/mL	0 UFC/mL	0 UFC/mL

Fuente: Autora

En el gráfico 1 se observa la disminución de microorganismo Aerobios mesófilos y la ausencia de Coliformes fecales durante la operación del módulo 3 de la PTAP.

Gráfico 1. Resultados microbiológicos del módulo 3 (Tabla 5)



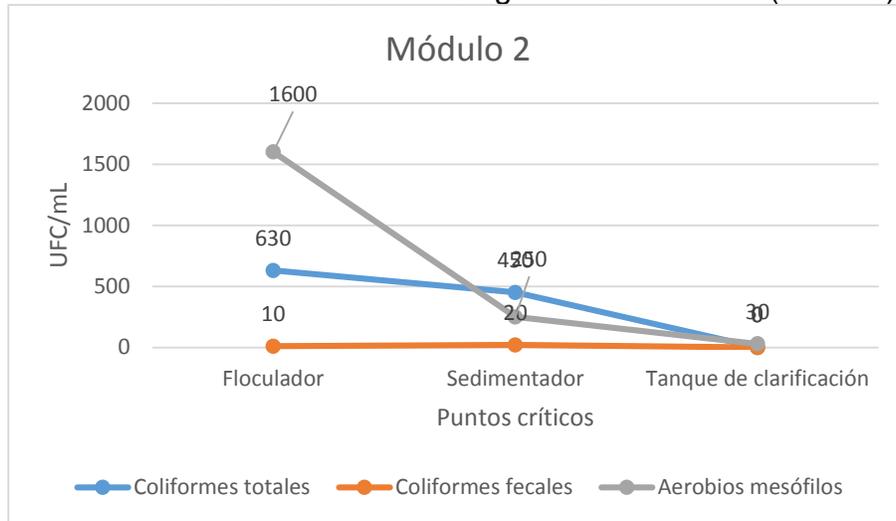
Fuente: Autora

Mediante la evaluación de los análisis microbiológicos obtenidos se determina que el módulo 3 (Gráfico 1) de la PTAP presenta disminución microbiológica en la secuencia de cada proceso. La mejor remoción para Aerobios Mesófilos, Coliformes

Totales y *E. coli* se presenta en el tanque de clarificación cuya remoción es del 100% (Ver Anexo I) de los microorganismos presentes. Como se observa en la gráfica, la disminución de microorganismos presentes en el agua cruda se lleva a cabo gracias al buen funcionamiento de cada proceso al que es sometida, determinándose la aceptabilidad del módulo para remoción microbiana.

El siguiente gráfico muestra los resultados microbiológicos obtenidos durante la operación del módulo 2 de la PTAP.

Gráfico 2. Resultados microbiológicos del módulo 2 (Tabla 5)

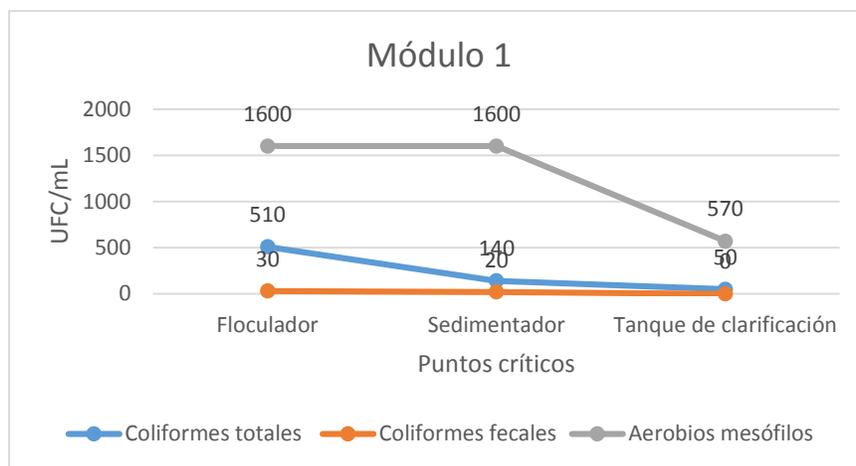


Fuente: Autora

La disminución de Aerobios Mesófilos fue eficaz desde el proceso de sedimentación donde su remoción fue del 88% (Ver Anexo I), lo que indica que dicho proceso tiene la capacidad de sedimentar además de sólidos disueltos, microorganismos presentes; la remoción total de estos microorganismos se presentó en el tanque de clarificación donde el total de UFC/mL fue 0 UFC/mL, indicando efectividad en el proceso de filtración y cloración. El proceso de filtración aplicado en el módulo 2 removió en un 100% la presencia de Coliformes Totales y Fecales evidenciándose su eficacia en el funcionamiento dado para la retención microbiológica. De acuerdo al % de remoción microbiana, el módulo 2 presenta mayor eficiencia en sus procesos, observándose en la gráfica 2 que desde el sedimentador la disminución microbiológica es evidente.

En el gráfico 3 se observan los resultados microbiológicos obtenidos durante la operación del módulo 1 de la PTAP.

Gráfico 3. Resultados microbiológicos del módulo 1 (Tabla 5)



Fuente: Autora

Al igual que los módulos anteriores, en el gráfico 3 se observa que el tanque de clarificación es el proceso con mayor capacidad de remoción microbiana. Para los tres análisis microbiológicos se presentó una remoción del 100% en los filtros lo que indica que durante el proceso de clarificación, el filtro tiene la capacidad de remover y retener contaminantes provenientes de los procesos anteriores, y eliminarlos del agua.

7.2 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

7.2.1 Parámetros físico-químicos a muestras tomadas en los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.

La empresa de servicios públicos CARIBABARE de Tame - Arauca, fijó 16 puntos para recolección de muestras, estos puntos se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de la ciudad de Tame, para el presente trabajo se tomaron muestras de 8 puntos de la red, (lo exigido por la norma) dichas recolecciones se realizan periódicamente con el fin de tener datos objetivos de cómo se encuentra el agua de los consumidores del servicio de acueducto, estos puntos fueron establecidos con el fin de tomar las muestras directamente de la red de distribución y realizar las operaciones y procesos físicos, químicos y microbiológicos para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en la Resolución MPS 2115 de 2007.

Los análisis fisicoquímicos realizados en el laboratorio de la empresa corresponde a: pH, Turbidez, Alcalinidad, Color, Conductividad, Cloro libre, Dureza, Cloruros, Sulfatos, Fosfatos, Nitritos, Hierro y Calcio, como se observa en Tabla 6.

Tabla 6. Resultados fisicoquímicos experimentados para la Red de Distribución.

Método	Prueba	Resultados Red de distribución (*8 Puntos de muestreo)							
		1	8	5	16	7	13	11	14
	pH	7.9	7.0	7.9	7.1	7.0	7.3	7.5	6.7
	Conductividad	29.4	24.1	29.9	30.2	20.1	17.3	16.1	29.7
	Color	0	0	0	0	0	0	0	0
	Turbiedad	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cloro libre	1.38	1.64	1.28	1.24	1.83	1.38	1.25	1.40
Volumétricos	Alcalinidad	11	10	12	14	8	15	13	10
	Dureza	15	17	16	15	11	10	15	17
	Cloruros	52	30	65	75	5	18	18	60
Fotométricos	Sulfatos	3.8	6.1	4.0	4.5	6.6	0,02	0.01	3.5
	Fosfatos	0.031	0.049	0.098	0.056	0.058	0.110	0.158	0.221
	Nitritos	0.011	0.025	0.015	0.018	0.029	0.009	0.026	0.025
	Hierro	0.01	0.05	0.16	0.10	0.06	0.12	0.09	0.24
	Calcio	4.69	4.37	4.83	6.16	4.98	10.74	7.28	3.95

Fuente: Autora

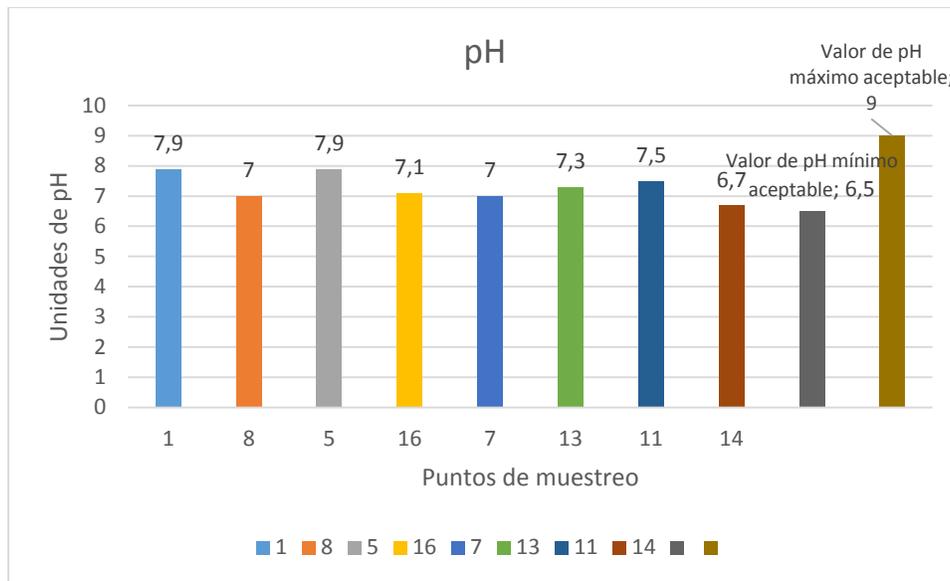
Los gráficos que se presentan a continuación, inician con el valor medio, la desviación estándar y sus valores máximos y mínimos, con el fin de tener una guía de los datos hallados estadísticamente, los análisis de resultados y las conclusiones que se realizan de los gráficos son fundamentados en los datos obtenidos experimentalmente durante la realización del proyecto.

7.2.1.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de conductividad, color, pH y turbiedad para los 8 puntos de muestreo de la red de distribución

7.2.1.1.1 Determinación de pH

La medición de pH es una de las pruebas más usadas y frecuentes utilizadas en el análisis químico de aguas. Prácticamente todas las fases de tratamiento de agua para suministro, como la neutralización ácido base, ablandamiento, coagulación y desinfección, dependen del pH, el cual expresa la magnitud de acidez o alcalinidad, es una forma de expresar el ion hidrógeno (Gráfico 4).

Gráfico 4. Valores de pH determinadas para todos los puntos de tomas de muestra de la red de distribución.



Fuente: Autora

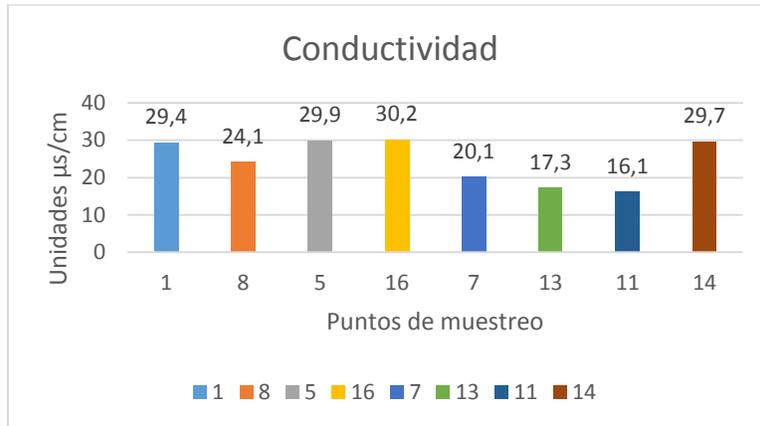
PROMEDIO: 7,2, DESVIACIÓN ESTANDAR: 0,488, MAXIMO: 7,9, MINIMO: 6,7

De acuerdo a los datos obtenidos, el análisis de las muestras del acueducto del municipio de Tame para 8 puntos de muestreo de la red de distribución, se presentó un valor máximo de pH de 7,9 y un valor mínimo de 6,7 lo que indica que todos los datos obtenidos experimentalmente se encuentran dentro del rango que exige la Resolución MPS 2115 de 2007 (6,5-9,0). Se presenta una desviación estándar de 0,488 lo que indica una alta uniformidad de los datos, que puede ser uno de los objetivos de la estandarización ya que los rangos ideales para agua potable son muy estrechos y lograr que estos datos se den de forma casi lineal sería el propósito esperado.

7.2.1.1.2 Determinación de conductividad

Se determina la conductividad del agua como directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, a mayor cantidad de sólidos disueltos mayor es la capacidad de transmitir corriente eléctrica, la Resolución MPS 2115 de 2007 rige un máximo de conductividad de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, cuyo parámetro se cumple durante la operación de los procesos de potabilización de agua de la PTAP, ya que el agua suministrada por la red de distribución arrojó un máximo de 29.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ valor aceptable para el agua de consumo (Gráfico 5).

Gráfico 5. Valores de conductividad determinadas para todos los puntos de tomas de muestra de la red de distribución.



Fuente: Autora

7.2.1.1.3 Determinación de color y turbiedad

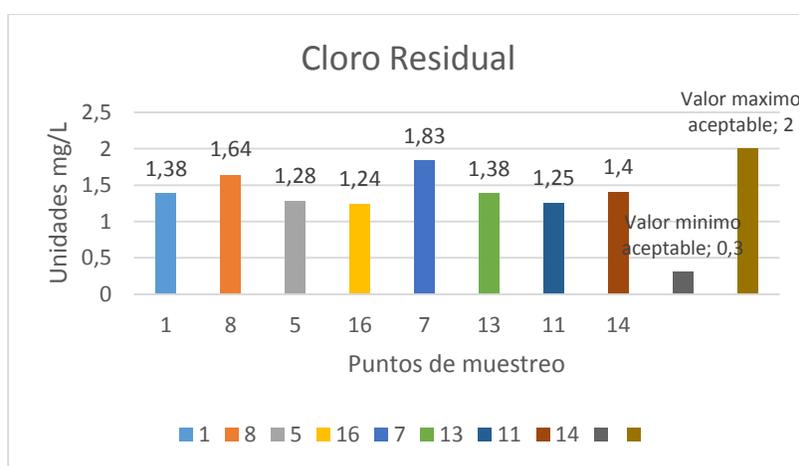
En las PTAP se busca la eliminación del color para poder adecuarla a usos generales e industriales, este aspecto al igual que la turbidez son parámetros fisicoquímicos de gran importancia en la planta ya que de ellos depende la determinación de la dosis óptima del policloruro de aluminio, cuyo agente químico permite la coagulación y la floculación de las partículas presentes, el color aparece por la materia suspendida presente en el recurso hídrico se expresa en unidades de Platino Cobalto (UPC), y la turbidez se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), cuyos datos obtenidos para estos parámetros se hallaron a través del colorímetro, determinándose estas características físicas con valores de 0.0 tanto para color como turbiedad, para todos los puntos muestreados en la red de distribución, encontrándose dentro de lo permitido por la Resolución MPS 2115 de 2007, donde los valores mínimos permitidos son 15 y 2 para color y turbiedad, respectivamente. Estos valores se esperan por el buen funcionamiento de la PTAP y una buena red de distribución, y lograr mantenerlos es lo ideal para cualquier acueducto de Colombia.

7.2.1.1.4 Determinación de cloro residual

El cloro ha sido usado como agente desinfectante en las plantas de tratamiento de agua potable, el propósito principal es la prevención de la diseminación de enfermedades transmitidas por el agua, puesto que el recurso hídrico es uno de los principales vehículos de transmisión de algunas enfermedades. El cloro presenta una elevada capacidad de desinfección, pero se disipa de manera rápida en los sistemas de distribución.

El valor máximo de concentración de cloro experimentado, corresponde al punto 7 de la red de distribución, seguido del punto 8, siendo los de mayor concentración con un valor de cloro residual de 1,83 y 1,64 mg/L. Las concentraciones halladas en estos puntos de la red de distribución se encuentran entre el rango permitido por la Resolución MPS 2115 del 2007, cuyos valores aceptables para el agua de consumo humano deben estar comprendidos entre 0,3 y 2,0 mg/L, los valores experimentados en los 8 puntos de la red de distribución aunque entran dentro de la norma pueden ser un poco elevados pues el rango ideal de cloro para agua de consumo estaría comprendido entre 0,3 y 0,6, se observa además que el promedio tampoco se encuentra en el rango ideal, aunque es un valor adecuado.

Gráfico 6. Valores de cloro residual determinados para todos los puntos de tomas de muestra de la red de distribución.



Fuente: Autora

PROMEDIO: 1,3, DESVIACION ESTANDAR: 0,422, MAXIMO: 1,83. MINIMO: 1,24

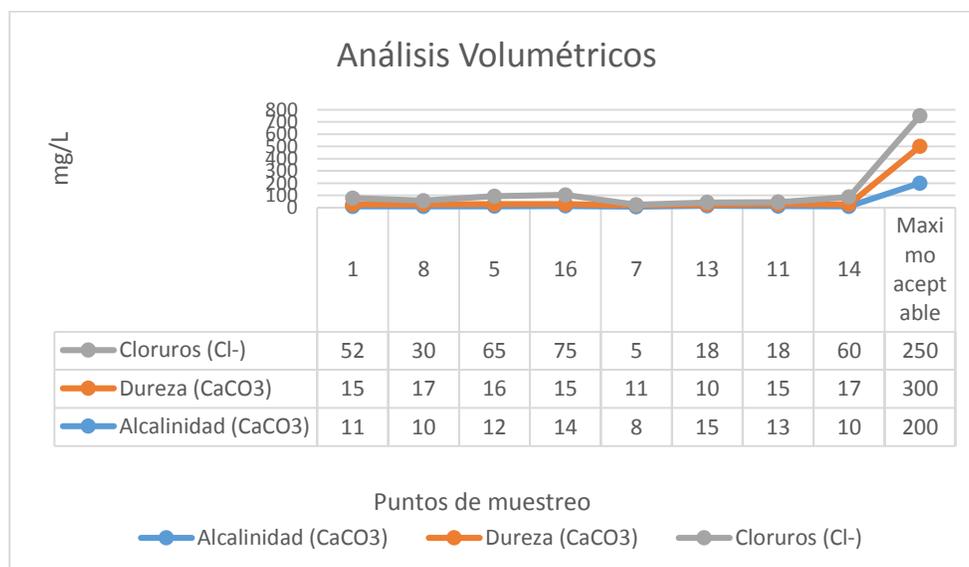
7.2.1.2 Análisis de los parámetros fisicoquímicos volumétricos de los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.

El agua potable es utilizada en diversos procesos tanto domésticos como industriales, lo cual exige el cumplimiento de ciertas medidas que mantengas las características originales y benéficas del recurso hídrico. Los parámetros fisicoquímicos como cloruros, dureza y alcalinidad, deben ser evaluados de forma rutinaria ya que un exceso de las mismas puede ocasionar cambios en el producto y en sus diferentes usos.

Estos parámetros tienen consecuencias principalmente económicas e indirectas sobre la salud humana. Los cloruros en concentraciones moderadas no presenta peligro para el consumidor, pero concentraciones mayores a 250 mg/L dan un sabor salado al agua lo cual puede ser rechazado por un número elevado de personas, por tal razón los cloruros se limitan a 250 mg/L en las PTAP. Los cloruros hallados

en el agua potable de Tame se encuentran en bajas concentraciones estableciéndose un valor máximo 75 mg/L y un mínimo de 5m g/L lo que demuestra un aceptable nivel de cloruros en las aguas del rio Tame, teniendo en cuenta el valor máximo permitido para cloruros en la norma de la Resolución MPS 2115 de 2007 la cual exige un rango máximo de 250 mgCl⁻/L. Otra característica importante del agua potable es la dureza total la cual se determina por la concentración de Calcio y Magnesio. Las aguas duras son las que necesitan altas cantidades de jabón para poder producir espuma y además pueden producir sarro en tuberías, estas medidas tienen importancia a nivel económico pues esta propiedad puede aumentar el consumo de jabón y desmejorar las condiciones óptimas de limpieza. Respecto a los resultados obtenidos para el agua potable del acueducto del Municipio de Tame se puede determinar que son aguas blandas ya que todos los valores obtenidos se encuentran en un rango de 10 - 15 mg/L de CaCO₃, los cuales son niveles aceptables para la dureza total según lo estipulado por la Resolución MPS 2115 de 2007 la cual requiere una dureza ≤ 300mg/L de CaCO₃ para el agua de consumo. El agua tratada puede presentar características organolépticas desagradables, es el caso para aguas muy alcalinas, aunque la alcalinidad tiene poca importancia en la salud pública, el consumidor puede rechazar el producto, es por esto que la Resolución MPS 2115 de 2007 rige parámetros de aceptabilidad donde el valor máximo aceptable es 200 mg/L de CaCO₃ para el agua de consumo; los datos obtenidos en el laboratorio de la PTAP para las muestras tomadas en los puntos de muestreo de la red de distribución arrojaron valores bajos de alcalinidad total hallándose una concentración máxima de 15 mg/L y una mínima de 8 mg/L, demostrando valores bajos de alcalinidad para el agua de distribución encontrándose dentro del rango aceptable. Los resultados de estas determinaciones se presentan en el Gráfico 7.

Gráfico 7. Valores de los análisis Volumétricos de la red de distribución

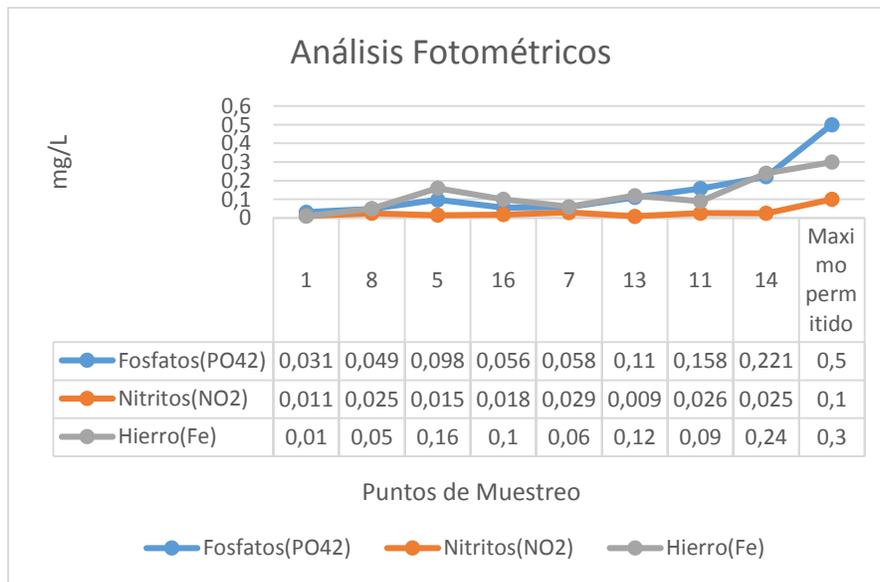


Fuente: Autora

7.2.1.3 Análisis de los parámetros fisicoquímicos *fotométricos* de los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.

El agua que ha sido tratada para consumo humano debe cumplir con una serie de requisitos que protejan el bienestar del consumidor y las actividades para la que se utilice la misma. Para ello, las plantas de tratamiento de agua potable deben contemplarlos y por ende ajustarse a estas medidas para proveer un producto apto para su uso. La Resolución MPS 2115 de 2007 determina algunas características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana en relación con algunos elementos y compuestos dentro de los que se encuentran los fosfatos, hierro, calcio y sulfatos, y otras características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana como es la presencia de nitritos en el agua potable. La presencia y concentración de estos parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente fueron analizados en el agua potable que suministra la PTAP (Gráfico 8), donde se determinó que todos se encuentran en el rango permitido por la norma, por lo que se analiza que física y químicamente el agua cumple con las condiciones para ser consumida por la población sin producir efectos adversos a la salud y además poder ser utilizada en diversos procesos industriales sin tener consecuencias económicas.

Gráfico 8. Valores de los análisis Fotométricos (Fosfatos, Nitratos y Hierro) de los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.

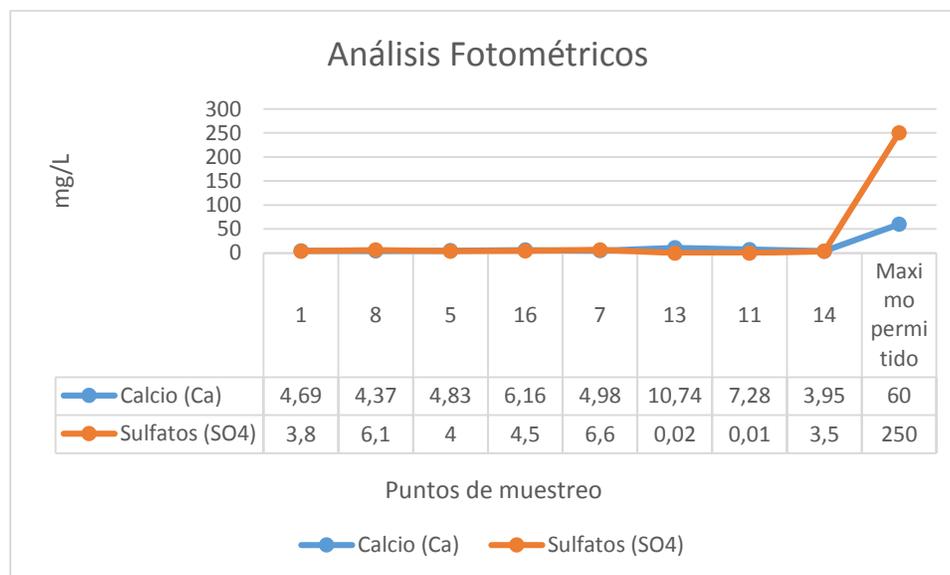


Fuente: Autora

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y superficiales en forma de fosfatos, y su concentración es clave en la potabilización del agua ya que su presencia en los abastecimientos de agua superficiales son base para el crecimiento de pequeños

organismos acuáticos como los Fitoplancton los cuales son organismos vegetales formados por algas y cianobacterias cuyo crecimiento es dependiente del nitrógeno y el fósforo y la limitación de estos elementos es el factor que controla su tasa de crecimiento. Este elemento se encuentra en bajas concentraciones y reporta un rango permitido entre lo exigido por la norma (<0,5 mg/L, Resolución MPS 2115, 2007) en los 8 puntos de muestreo como se observa en el Gráfico 9.

Gráfico 9. Valores de los análisis Fotométricos (Calcio y Sulfatos) de los 8 puntos de muestreo de la red de distribución.



Fuente: Autora

Son diversos los problemas económicos que un agua mal tratada puede acarrear, el hierro es un elemento que por su consumo en agua no afecta en gran medida al hombre, pero por el contrario cuando estas aguas son expuestas al aire de modo que el oxígeno entre en contacto, puede darle al agua un sabor, olor y color indeseable debido a la oxidación del hierro y ser rechazada para sus diferentes usos. La Resolución MPS 2115 exige un valor máximo de 0,3 mg/L cuyo valor se está cumpliendo en el agua tratada por la empresa, ya que se determina que el valor máximo encontrado en los puntos de muestreo de la red de distribución fue 0,16 mg/L valor de hierro aceptable para el agua de consumo. Al igual que el hierro, los sulfatos no deben sobrepasar el valor máximo (250 mg/L de SO₄) estipulado por la Resolución MPS 2115, pues de lo contrario se tendrían consecuencias económicas en su uso, ya que el ion sulfato es uno de los iones más abundantes en la naturaleza y su elevada concentración podría generar un sabor amargo y se evitaría su consumo; por otro lado, los altos niveles de sulfatos podrían corroer tuberías. En el agua tratada en la PTAP de Tame se observa un valor máximo de 6,1 mg/L (Gráfico 9) esto indica que son valores bastante bajos y aceptables los cuales se encuentran dentro de lo permitido por la normatividad.

Dentro de las características fisicoquímicas realizadas al agua tratada en la planta de tratamiento de agua potable de Tame, se encuentra la determinación de nitritos, cuyas concentraciones elevadas traen complicaciones sobre la salud, en los resultados obtenidos se observa un valor máximo de 0,029 mg/L valor que se encuentra comprendido dentro de la norma y son de buena aceptabilidad, la Resolución MPS 2115 de 2007 no permite valores que sobrepasen 0,1mg/L de NO₂ ya que su incumplimiento traería graves consecuencias sobre la salud del consumidor.

7.2.2 RESULTADOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS DIRECTAMENTE EN LOS PUNTOS DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PTAP

7.2.2.1 Parámetros físico-químicos a muestras tomadas durante la operación de la PTAP

La empresa de servicios públicos CARIBABARE, cuenta con una planta de tratamiento de agua potable cuya estructura está dividida en 3 módulos a los cuales se les evaluó su funcionamiento respecto a la disminución de la carga microbiológica incluyendo coliformes totales, *E. coli* y Aerobios Mesófilos, además se realizaron los análisis fisicoquímicos colorimétricos (Color, turbiedad, pH, conductividad y cloro libre) y volumétricos (Alcalinidad, dureza y cloruros). Los puntos críticos para evaluar fueron: el tanque de floculación en el área lenta, el sedimentador, el tanque de clarificación y finalizando el proceso en el tanque de abastecimiento de agua potable. En la Tabla 7 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua en los módulos de la PTAP.

Tabla 7. Resultado de los parámetros fisicoquímicos de los módulos de la PTAP

Prueba	Muestra Módulo 3			Muestra Módulo 2			Muestra Módulo 1		
	Floculador	Sedimentador	Tanque de clarificación	Floculador	Sedimentador	Tanque de clarificación	Floculador	Sedimentador	Tanque de clarificación
pH	7.01	6.67	6.97	7.09	6.90	6.79	7.15	6.83	7.32
Conductividad	14.6	14.7	16.6	15.2	14.9	14.6	14.9	14.6	19.8
Color	55	18	0	56	4	0	32	28	1
Turbiedad	9	3	0	9	1	1	3	2	1
Cloro libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad	7	6	14	7	7	9	7	6	10
Dureza	100	100	150	140	110	100	140	140	130
Cloruros	9	10	25	18	18	28	40	45	35

Fuente: Autora

El agua cruda captada a partir de la fuente de abastecimiento puede presentar diferentes tipos de contaminación física, como son (color, olor, sólidos disueltos, conductividad, turbiedad), químicas (Dureza, cloruros, acidez, alcalinidad) y biológicas (Microbiológicos, invertebrados, fitoplancton), que alteran sus características organolépticas y además su consumo puede acarrear riesgos para la salud. La presencia de estos diversos contaminantes en elevadas concentraciones hace necesario la implementación de procesos que permitan el tratamiento de la misma. El recurso hídrico que entra a la PTAP es originalmente cruda y fue evaluado mediante análisis fisicoquímicos donde se determinó que el pH es aceptable para la realización de los siguientes tratamientos luego de su captación. Las características físicas que más se observan y que requieren ser evaluadas son el color y la turbiedad ya que su medición permite el control de calidad para monitorear la eficiencia del tratamiento. Estos parámetros se ven influenciados negativamente por la presencia de sólidos en suspensión provenientes principalmente de la fuente de captación, por ello la importancia de ser removidos durante los procesos de floculación y sedimentación para facilitar el proceso de desinfección, ya que altos niveles de turbiedad disminuyen los efectos del cloro como desinfectante y se puede generar el crecimiento de microorganismos, necesitando una elevada cantidad de cloro para lograr la desinfección, lo que termina siendo igualmente perjudicial para la salud.

7.3 DETERMINACIÓN DEL INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO - % IRCA

A partir de los resultados obtenidos de las pruebas microbiológicas y fisicoquímicas realizadas a los 8 puntos de muestreo de la red de distribución (Tabla 8) se estimó el puntaje de riesgo para cada característica aplicando la respectiva fórmula para hallar el % IRCA por muestra y %IRCA mensual (Tabla 8 y anexo D).

Tabla 8. Resultados del Índice de Riesgo de Calidad del Agua IRCA

Característica	Puntaje de riesgo	Resultados							
		Puntos de Muestreo							
		1	8	5	16	7	13	11	14
Color Aparente	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Turbiedad	15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	1.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cloro Residual Libre	15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Alcalinidad total	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calcio	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fosfatos	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dureza Total	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sulfatos	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hierro Total	1.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Cloruros	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nitritos	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coliformes Totales	15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Escherichia coli</i>	25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calificación de riesgo	SIN RIESGO								

Fuente: Autora

El artículo 12 del Decreto MPS1575 de 2007 dispone parámetros de aplicabilidad al agua de consumo humano, dentro de lo que se encuentra la determinación del Índice de Riesgo de Calidad del Agua IRCA, con el fin de vigilar la calidad del agua para consumo, dentro de los 22 parámetros microbiológicos y fisicoquímicos que se evalúan para la determinación del %IRCA, 60 puntos pertenecen a las características fisicoquímicas, las cuales se deben cumplir para suministrar el recurso hídrico y los 40 puntos restantes pertenecen a las características microbiológicas ya que su elevada presencia tiene una asociación entre las enfermedades de carácter hídrico y a su vez se puede evaluar la calidad del agua dispuesta para el suministro.

IRCA por muestra = 0 (SIN RIESGO)

IRCA mensual = 0 (SIN RIESGO)

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia que el agua potable suministrada a los usuarios del municipio de Tame presenta una calificación de riesgo en salud según IRCA comprendida entre 0 - 5% lo cual corresponde al nivel de riesgo, SIN RIESGO, por lo que se sugiere continuar con el control y la vigilancia pertinente ya que el agua presenta las características óptimas, razón por la cual se encuentra apta para el consumo humano y es de vital importancia conservarlas. El análisis de dicho índice de riesgo de la calidad de agua IRCA indica la efectividad de los diferentes procesos realizados en la planta de tratamiento de agua potable.

7.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO OPERATIVO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN LA PTAP

7.4.1 Proceso de entrada del agua a la planta de potabilización y medición de caudal en canaleta Parshall

Las cámaras de aquietamiento, reciben el agua procedente de la tubería desde los desarenadores, la cual entra de forma vertical hasta la canaleta Parshall, donde se realiza la medición del agua que entra a cada módulo, esto se realiza con el equipo de medición en tiempo real OCMII MILLTROSONICS, que va desde 23 L/S, hasta 45 L/S, en el módulo 3 y para el módulo 1 y 2, desde 45 L/S hasta 85 L/S.

7.4.2 Proceso de potabilización del agua

7.4.2.1 Proceso de optimización del pH

Teniendo en cuenta las características fisicoquímicas del agua cruda que pasa por la garganta de la canaleta, especialmente el pH, se hace la aplicación de cal, y con este valor, se realizan los aforos, para las descargas correspondientes de la solución de cal (Imagen 20), con el fin de elevar el pH y así facilitar el proceso de floculación; ya que el agua captada del Río Tame, presenta pH de 5.5 en época de lluvias, hasta 7.2 en época seca.

Imagen 20. Proceso de Optimización de pH de la planta de tratamiento de agua potable.



Fuente. Autora

7.4.2.2 Proceso de coagulación

En el resalto hidráulico de la canaleta Parshall, se aplica la sustancia química coagulante (Imagen 21), donde se realiza el proceso de coagulación, que consiste en la mezcla del químico (coagulante) con el agua cruda a tratar, este procedimiento inicia con la aglutinación de las partículas sólidas en suspensión y disueltas (causando su desestabilización) que se encuentran en el agua y son los causantes de la turbiedad y color de la misma; este proceso tiene una duración de segundos; el cual consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Imagen 21. Proceso de coagulación de la planta de tratamiento de agua potable.



Fuente. Autora

7.4.2.3 Proceso de floculación

El agua procedente del proceso de coagulación pasa a los floculadores, donde se realiza el proceso de floculación (Imagen 22), que busca la clarificación del agua, por la formación de floc, el cual se da por la separación de los sólidos presentes en el agua, por la agitación de la masa de agua por un flujo que sube y baja, a una velocidad fija.

La floculación consiste en el transporte de las partículas dentro del líquido una vez se han desestabilizado para que hagan contacto unas con otras, estableciendo puentes entre sí y formando una malla de coágulos porosos.

Imagen 22. Proceso de floculación de la planta de tratamiento de agua potable.



Fuente. Autora

7.4.2.4 Proceso de sedimentación

Una vez, el agua previamente floculada, pasa por un canal que se comunica en el fondo con los sedimentadores; ya que las partículas han aumentado su densidad y al ascenso vertical del agua, parte del floc, por efecto de la gravedad, se precipita en el fondo del sedimentador, las partículas livianas que no se sedimentan, quedan atrapadas en los módulos de sedimentación (Imagen 23) y algunas partículas de muy bajo peso molecular no son retenidas por los paneles de sedimentación y pasan directamente a los filtros, donde son retenidas por el lecho filtrante.

Imagen 23. Proceso de Sedimentación de la planta de tratamiento de agua potable.



Fuente. Autora

7.4.2.4.1 Purga de Sedimentadores

Durante el proceso de sedimentación, algunas partículas van aumentando y colmatando los paneles de sedimentación los cuales se van acumulando en lodos producto de la precipitación del floc, se requiere de realizar la purga de estas estructuras de forma diaria en épocas de lluvias, y en el verano dos veces por semana; se requiere realizar esta operación para evitar el desarrollo de *Cryptosporidium* spp. y *Giardia* spp. y no afectar la calidad del agua.

7.4.2.5 Proceso de filtración

Durante la coagulación y sedimentación es posible que algunas partículas y microorganismos no logren ser retenidos, debido a esto, el objetivo de la filtración es separar dichas partículas.

Cuando el agua llega a los filtros desciende de forma vertical, por medio de los lechos filtrantes (medios granulares) que posee cada uno de los filtros, compuesto por grava gruesa, gravilla, arenas de diferente granulometría y antracita (Imagen 24). El agua pasa de la parte superior del tanque atravesando el medio filtrante, hasta el canal de aguas claras.

Imagen 24. Proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable



Fuente. Autora

7.4.2.6 Proceso de desinfección del agua

El agua previamente filtrada puede tener presencia de microorganismos, por lo que debe ser sometida al proceso de desinfección, el cual consiste en la eliminación de los microorganismos causantes de enfermedades, parte de esta carga es removida en los procesos de sedimentación y filtración. Los principales microorganismos presentes en el agua son: Bacterias, virus y protozoos.

El último proceso para lograr la potabilización del agua se realiza por la adición de un desinfectante químico en la tubería de salida del módulo 1 - 2 y 3, mediante la aplicación de cloro gaseoso en promedio de 6 a 30 libras/día, utilizando un equipo de cloración de aplicación directa y al vacío, este desinfectante tiene la capacidad de destruir los microorganismos causantes de enfermedades, a temperatura

ambiente y tiempo adecuado, no genera cambios en las cualidades organoléptica, es de fácil obtención y manejo sencillo, su concentración en el agua debe ser de pronta determinación y dejar un efecto residual para protección de posteriores contaminaciones. Como la unidad de potabilización no presenta tanques de contacto de cloro, este tiempo de contacto que requiere el ion hipoclorito para actuar como desinfectante del agua ocurre en la distancia que existe de la salida de los módulos de potabilización a los tanques de almacenamiento a través de la tubería en PVC de 14" y 12".

Para el módulo 3, se requiere la aplicación de 6 - 20 Lbs. de cloro/día y para el módulo 1 y 2 se realiza una aplicación de 12 a 30 Lbs. de cloro/día; con un tiempo de contacto de 30 minutos, que se realiza en la tubería de conducción desde la Planta de Tratamiento hasta el tanque de almacenamiento de la Chamiza I y II; presentándose concentraciones de cloro en los Tanques de Almacenamiento y red de distribución mantener un promedio 0.3 a 2.0 mg/L, de cloro residual.

7.4.2.7 Proceso de conducción de agua

El agua filtrada es recogida en el Canal de Aguas Claras, el cual tiene un sistema de vertedero, que permite el flujo de agua hacia el Canal de Salida, donde es recogida por las tuberías de 10" del módulo tres y de 8" el módulo 1 y 2; a una distancia de 12 m de las salidas de los canales, las tuberías se amplían a 12" y 14", respectivamente, cuyas tuberías conducen el agua desde la planta de tratamiento hasta el tanque de almacenamiento.

Estas tuberías presentan serios inconvenientes por la formación de cámaras de aire producidas por el lavado continuo de los filtros, ya que sólo presentan una ventosa, la cual no funciona adecuadamente, a lo largo de su recorrido hasta el tanque (980 m).

7.4.2.8 Almacenamiento de agua potable

El agua proveniente del canal de salida llega a los Tanques de almacenamiento denominado La Chamiza II (Imagen 25), que tiene una capacidad de 2600 m³; este tanque tiene tuberías de salida de 12 "para distribución del agua potable.

Imagen 25. Tanque de abastecimiento de agua potable



Fuente. Autora

8. CONCLUSIONES

Al evaluar la disminución de la carga microbiana durante cada proceso de la PTAP, se determinó que la planta de tratamiento cuenta con procesos de potabilización apropiados para generar un producto viable, observándose claramente la disminución microbiana durante la operación del sistema de tratamiento, y la total ausencia de organismos microbiológicos en el agua suministrada al consumidor, evidenciándose que la filtración es la etapa más eficaz de los procesos de potabilización, ya que la remoción microbiana fue del 100% para los tres módulos dispuestos en la PTAP.

Se comprobó la presencia de indicadores microbiológicos en las muestras de agua cruda analizadas, presenciando Coliformes totales, *E. coli* y Aerobios Mesófilos, cuya presencia no cumple los valores máximos aceptables exigidos por la normativa, sin embargo, luego de su tratamiento en la PTAP se observó inocuidad en el recurso hídrico.

Se determinó que el estado fisicoquímico del agua de captación del municipio de Tame es de buena calidad ya que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos obedecen a lo estipulado en la normatividad aplicable al agua destinada para consumo humano. Los parámetros que exceden los límites son: Turbiedad y Color, mismos que son controlados durante la evolución del proceso.

Se verificó el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades mediante el cumplimiento de los diferentes parámetros evaluados al agua distribuida por la PTAP, que generó un porcentaje entre 0 -5 %, es decir, agua potable SIN RIESGO para el grado de Índice de Riesgo para la Calidad del Agua IRCA, lo que indica que el recurso hídrico cumple con cada una de las características analizadas y se encuentra apta para su uso doméstico e industrial.

Se describió detalladamente el proceso de potabilización y abastecimiento necesario para el tratamiento del agua en la PTAP del Municipio de Tame, dando a conocer cada actividad y procesos llevados a cabo para el suministro del recurso hídrico el cual cumple el objetivo de producir agua aceptable para su consumo, cumpliendo con las características microbiológicas y fisicoquímicas establecidas en la Resolución MPS 2115 de 2007.

RECOMENDACIONES

- Realizar “*in situ*” las mediciones de pH, cloro, conductividad, temperatura y turbidez, ya que son parámetros que por sus características e inestabilidad deben ser medidas inmediatamente en campo.
- Implementar la técnica de número más probable (NMP) para la determinación de microorganismos coliformes totales y fecales, especialmente para el control de calidad de aguas crudas.
- Guiar los procedimientos de laboratorio bajo la dirección del MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES (Standard Methods) el cual contiene las normas para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de contaminación de aguas y a su vez ayudar a mantener y mejorar la calidad del producto.
- El ente departamental de salud pública (Unidad Administrativa Especial de Salud de Arauca, UAESA) debe asignar un operario capacitado para realizar los procedimientos de laboratorio exigidos para controlar y vigilar la protección de los usuarios.

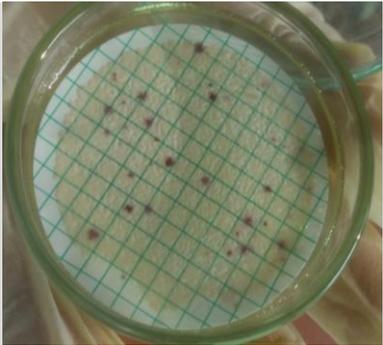
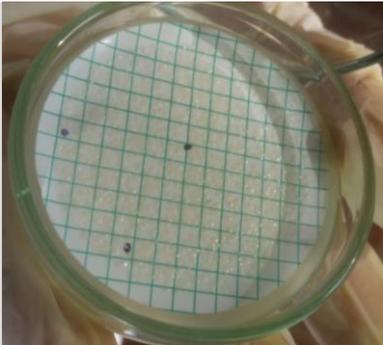
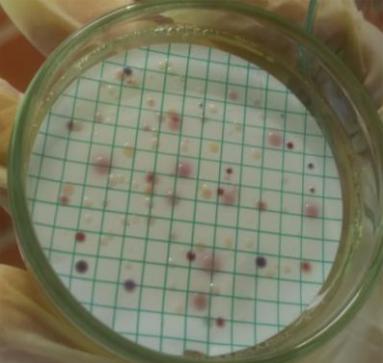
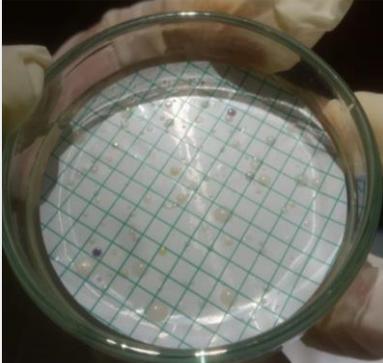
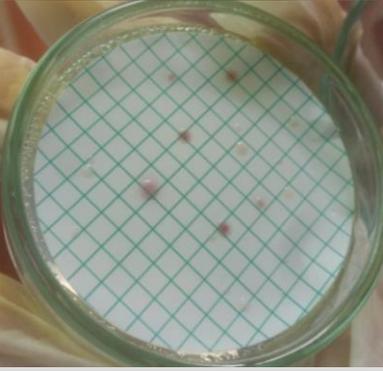
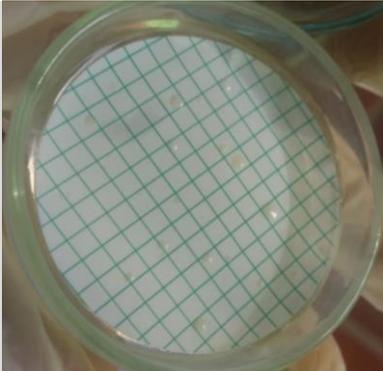
BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, P. (2010). Requerimientos sobre Validación de Métodos en el marco de la Acreditación de Laboratorios según la norma ISO 17025. Instituto Nacional De Tecnología Industrial.
- Bothia, M. A. (2014). Guía componente práctico (doctoral dissertation, universidad nacional abierta).
- BV, L. (2016). Historia del tratamiento de agua potable.
- Casas. (2011). Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para el análisis de laboratorio.
- Clavijo, Y. (2013). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Garzón–Huila. Huila.
- E.S.P, C. (2016). Instructivo de técnicas analíticas fisicoquímicas y microbiológicas para aguas. Tame-Arauca.
- E.S.P., C. (2015). Manual de Calidad de la Empresa de Servicios Públicos de Tame-Arauca. Tame-Arauca.
- EGEA, M. F. (s.f.). Determinación de la dureza total de un agua mediante valoración complexométrica.
- King, D. N. (2016). Microbial pathogens in source and treated waters from drinking water treatment plants in the United States and implications for human health. Science of the Total Environment.
- Martel, Q. A. (2017). COAGULACIÓN.
- Ministerio de protección social, (2007). Resolución 2115.
- Montoya, C. L. (2013). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. Revista EIA.
- Moyo, W. C. (2019). The properties and removal efficacies of natural organic matter fractions by South African drinking water treatment plants. Journal of Environmental Chemical Engineering.
- Organization., W. H. (2018). Guías para la calidad del agua potable. Pan American Health Org vol 3.
- Ortiz, J. P. (2008). Programa de vigilancia por laboratorio de la calidad del agua para consumo humano, metales y no metales de interés en salud pública. Doceavo Curso-Taller de Validación de métodos analíticos. Bogotá: Grupo Salud Ambiental–SRNL, INS.

- Para, G. Q. (2007). Selección de agua para la red. ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- Para, R. G. (2009). Norma Técnica NTC Colombiana 4092. ICONTEC.
- Pérez Cuadros, Z. C. (2016). Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Guateque en el departamento de Boyacá-Colombia. Guateque.
- Pérez-Vidal, A. E.-R.-L. (2019). Development and implementation of a water-safety plan for drinking-water supply system of Cali, Colombia. Cali-Colombia: International journal of hygiene and environmental health.
- Pullés, M. R. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. Cuba: Revista CENIC. Ciencias Biológicas.
- Rodríguez Quispe, N. R. (2009). Estudio microbiológico de la calidad de agua suministrada a la población de Sebastián Pagador en el año 2008. Revista Científica Ciencia Médica, 12(1).
- Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS.
- Sanabria, P. &. (2008). Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y escherichia coli en muestra de aguas para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud pública del Huila. Huila: (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias.
- Silva, J. R. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. Carabobo Venezuela : Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología, 24(1-2).
- Snozzi, M. N. (2001). Water Quality Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease.
- SOCIAL, M. (2007). Decreto 1575 del 2007. Diario Oficial República Colombia.
- Tshindane, P. M. (2019). The occurrence of natural organic matter in South African water treatment plants. Journal of Water Process Engineering.

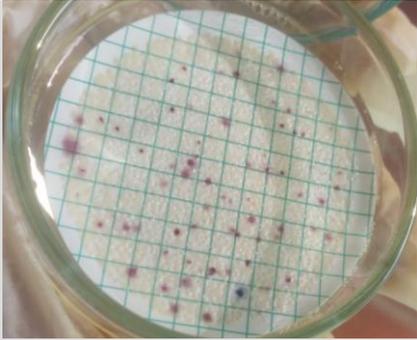
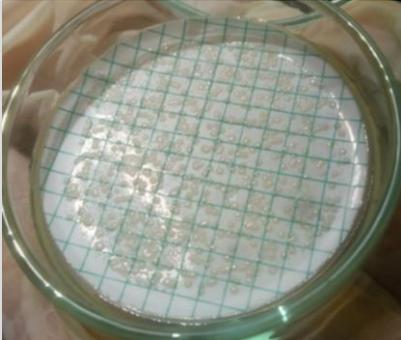
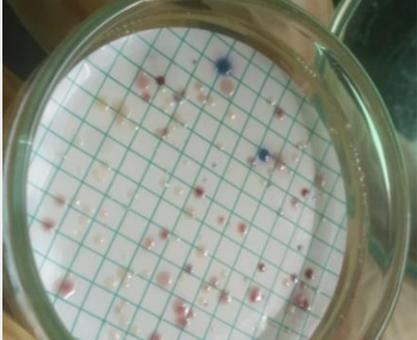
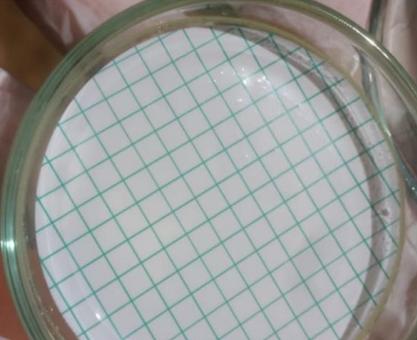
ANEXOS

Anexo A. Imagen de los resultados Microbiológicos del módulo 3

Módulo 3	Coliformes Totales / <i>E. coli</i>	Aerobios Mesófilos
Medio	Chromocult	Plate Count
Dilución	10 ⁻¹	10 ⁻¹
Floculación		
Sedimentación		
Tanque de Clarificación		

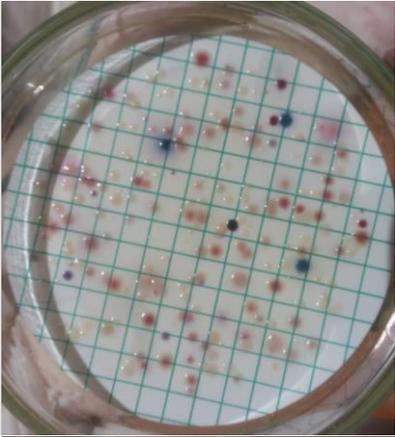
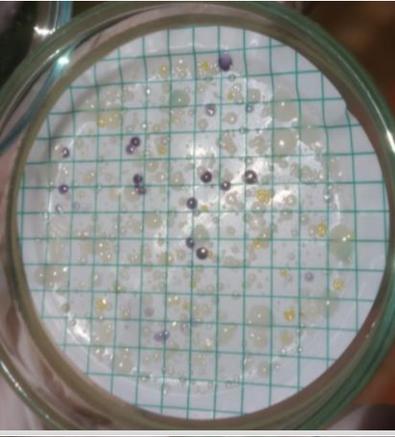
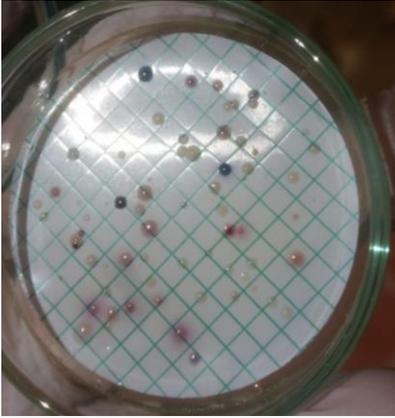
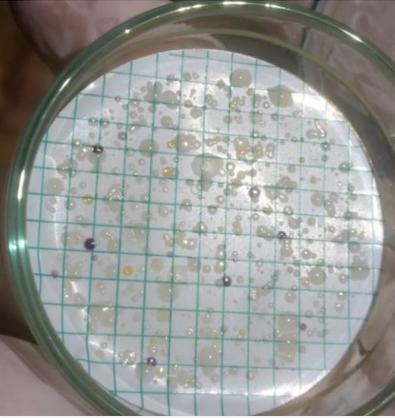
Fuente: Autora

Anexo B. Imagen de los resultados Microbiológicos del módulo 2

Módulo 2	Coliformes Totales / <i>E. coli</i>	Aerobios Mesófilos
Medio	Chromocult	Plate Count
Dilución	10 ⁻¹	10 ⁻¹
Floculación		
Sedimentación		
Tanque de Clarificación		

Fuente: Autora

Anexo C. Imagen de los resultados Microbiológicos del módulo 1

Módulo 2	Coliformes Totales / <i>E. coli</i>	Aerobios Mesófilos
Medio	Chromocult	Plate Count
Dilución	10 ⁻¹	10 ⁻¹
Floculación		
Sedimentación		
Tanque de Clarificación		

Fuente: Autora

Anexo D. Formulas

- **Fórmula para determinar ufc/ml**

$$\frac{UFC}{100ML} = \frac{N^{\circ} \text{ Colonias contadas}}{\text{Vol filtrado} \cdot \text{vol dilucion}} \times 100$$

- **Determinación del porcentaje de remoción microbiana**

$$\% \text{ Remocion} = \frac{(\text{Concentracion inicial} - \text{Concentracion final})}{\text{Concentracion inicial}} \times 100$$

- **Fórmula para determinación del %IRCA por muestra**

$$\% \text{ IRCA} = \frac{\Sigma \text{ puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\Sigma \text{ puntaje de riesgo de todas las carecteristicas analizadas}} \times 100$$

- **Fórmula para determinación del %IRCA mensual**

$$\% \text{ IRCA} = \frac{\Sigma \text{ de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Numero total de muestras realizadas en el mes}} \times 100$$

Anexo E. Puntaje de riesgo para determinación del %IRCA

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente. Resolución 2115. (Betancourt, 2007)

Anexo F. Clasificación de los niveles de riesgo IRCA

Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual

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

Fuente. Resolución 2115. (Betancourt, 2007)

Anexo G. Imágenes de los resultados volumétricos

Alcalinidad		 <p>Titulación con HCl</p>
Dureza		 <p>Titulación con EDTA</p>
Cloruros		 <p>Titulación con Nitrato de plata</p>

Fuente: Autora

Anexo H. Análisis fisicoquímicos por espectrofotometría

DESCRIPCION DEL PROCESO PARA DETERMINAR LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS POR ESPECTROFOTOMETRIA

- **Medición de fosfatos**

Equipo utilizado Espectrofotómetro Nova 60

A. Abrir la cubierta del espectrofotómetro.

B. Introducir el selector para el método de fosfatos y en la pantalla aparece el modo de medición del método. Se puede realizar la selección manual del método, pero se debe contar con el selector.

C. Tomar 10 ml de muestra a analizar (rango de 0.010 – 1.0 Mg. /L PO_4^{2-}), las muestras turbias se deben filtrar y el pH debe estar en un rango de 0 -10 unidades.

D. Agregar 10 gotas del reactivo P-1A y mezclar.

E. Añadir 2 microcucharadas rasas del reactivo P-2A y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.

F. Dejar en reposo 10 minutos (tiempo de reacción).

G. Introducir la muestra de medición en la cubeta de 50 mm y medir en el fotómetro, en la pantalla aparece el valor de medición.

- **Medición de Sulfatos**

Equipo utilizado Espectrofotómetro Nova 60

A. Abrir la cubierta del espectrofotómetro.

B. Introducir el selector para el método de Sulfatos y en la pantalla aparece el modo de medición del método. Se puede realizar la selección manual del método, pero se debe contar con el selector.

C. Tomar 2.5 ml de muestra a analizar (rango de 10 – 600 mg/L SO_4^{2-}), las muestras turbias se deben filtrar y el pH debe estar en un rango de 7,0 – 7.5 unidades.

D. Agregar 2 gotas del reactivo SO_4 -1A y mezclar.

E. Añadir 1 microcucharada rasa del reactivo SO_4 -2A y agitar.

F. Introducir la muestra preparada en baño maría entre 35 y 55 °C, dejar durante 10 minutos y agitar varias veces durante este tiempo.

G. Sacar del baño maría y agregar 2.5 ml del reactivo SO_4 -3A, agitar y filtrar con papel filtro cualitativo grado 2.

H. Adicionar 4 gotas del reactivo $\text{SO}_4\text{-4A}$ y agitar.

I. Dejará en reposo durante 10 minutos en baño maría de 35 a 55 °C.

J. Introducir la muestra de medición en la cubeta de 10 mm y medir en el fotómetro, en la pantalla aparece el valor de medición.

- **Medición de hierro**

Equipo utilizado Espectrofotómetro Nova 60

A. Abrir la cubierta del espectrofotómetro.

B. Introducir el selector para el método de hierro y en la pantalla aparece el modo de medición del método. Se puede realizar la selección manual del método, pero se debe contar con el selector.

C. Tomar 10 ml de muestra a analizar (rango de 0.005 – 1.0 mg/L Fe), las muestras turbias se deben filtrar y el pH debe estar en un rango de 1 -10 unidades.

D. Agregar las gotas necesarias según la concentración del reactivo Fe-AN e indicaciones del fabricante y mezclar.

E. Dejar en reposo 5 minutos (tiempo de reacción según indicaciones del fabricante).

F. Introducir la muestra de medición en la cubeta de 50 mm y medir en el fotómetro, en la pantalla aparece el valor de medición.

- **Medición de nitritos**

Equipo utilizado Espectrofotómetro Nova 60

A. Abrir la cubierta del espectrofotómetro.

B. Introducir el selector para el método de nitritos y en la pantalla aparece el modo de medición del método. Se puede realizar la selección manual del método, pero se debe contar con el selector.

C. Tomar 10 ml de muestra a analizar (rango de 0.005 – 0.1 mg/L NO_2^{2-}), las muestras turbias se deben filtrar.

D. Agregar 2 microcucharadas azules o 1 roja (20ml de agua de muestra) del reactivo $\text{NO}_2\text{-AN}$ y mezclar.

E. Dejar en reposo 15 minutos (tiempo de reacción).

F. Introducir la muestra de medición en la cubeta de 50 mm y medir en el fotómetro, en la pantalla aparece el valor de medición.

Anexo I. Porcentaje de Remoción Microbiana

Resultado del porcentaje de remoción microbiana en los diferentes procesos de la PTAP

% DE REMOCION		Coliformes Totales	<i>E. coli</i>	Aerobios Mesófilos
Módulo 1	Floculador – Sedimentación	72%	33%	0%
	Sedimentador – Tanque de clarificación	64%	100%	67%
	Tanque de Clarificación – Tanque de almacenamiento	100%	100%	100%
Módulo 2 (Módulo con mayor remoción microbiana)	Floculador – Sedimentación	28%	50%	85%
	Sedimentador – Tanque de clarificación	100%	100%	88%
	Tanque de Clarificación – Tanque de almacenamiento	100%	100%	100%
Módulo 3	Floculador – Sedimentación	19%	0 ufc/mL	40%
	Sedimentador – Tanque de clarificación	79%		75%
	Tanque de Clarificación – Tanque de almacenamiento	100%		100%

Fuente: Autora