

ALTERNATIVA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL CORREGIMIENTO DE JOSÉ MARÍA HERNÁNDEZ,  
MUNICIPIO DE PUPIALES, NARIÑO

MAIRON JAVIER IBARRA HORMAZA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL  
SAN JUAN DE PASTO

2022

ALTERNATIVA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DEL CORREGIMIENTO DE JOSÉ MARÍA HERNÁNDEZ,  
MUNICIPIO DE PUPIALES, NARIÑO

MAIRON JAVIER IBARRA HORMAZA

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de

INGENIERO AMBIENTAL

Presidente de tesis:  
Msc. Diana Carolina Morales Pabón

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL  
SAN JUAN DE PASTO  
2022

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor. **Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966** emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente de tesis

---

Firma de jurado

---

Firma de jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradezco a Dios, mis padres, mi hermano, mis compañeros y mi familia por hacer posible este sueño. También agradezco a la Facultad de ciencias agrícolas, a mi asesor de tesis Msc. Diana Carolina Morales Pabón, a mis jurados PhD. Hugo Ruiz Eraso y Msc. Paulo César Cabrera, gracias a cada docente ya que su enseñanza es la base primordial de mi vida profesional.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada para:

Mis padres Luis y Cristina quienes, con su amor, paciencia, esfuerzo y dedicación han permitido que se cumpla este gran sueño, gracias por apoyarme en todo momento y no dejar que me rindiera jamás ante ninguna adversidad.

A mi hermano Jhon Carlos, mi novia Claudia y mi amigo Rubén por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento y durante el tiempo de culminación de este gran proyecto de mi vida. A mis abuelos Ramón y Carmen, mi tía Isabel y a toda mi familia porque con sus oraciones y buenos deseos hicieron que hoy cumpla uno de mis más grandes sueños.

## RESUMEN

La planta de tratamiento de agua potable (**PTAP**) elimina las características no deseables del agua para que esta sea potable y apta para el consumo humano. La **PTAP** es de tipo compacto y se encuentra localizada en el corregimiento de José María Hernández (**J.M.H.**) el cual presenta una temperatura media de 12 °C y se encuentra a una altura de 2982 m.s.n.m. (Secretaría de planeación Pupiales, 2012).

Para dar cumplimiento al proyecto se ejecutó una metodología que se desarrolló en cuatro fases: Fase 1. Revisión y análisis de información, Fase 2. Diagnóstico del sistema hidráulico y la infraestructura de la **PTAP** de **J.M.H.**, municipio de Pupiales, Fase 3. Análisis del estado fisicoquímico del recurso hídrico del afluente y efluente de la **PTAP** de **J.M.H.**, municipio de Pupiales. Fase 4. Establecer alternativas para optimizar **PTAP** de **J.M.H.** con lo cual se da cumplimiento al objetivo general de formular una alternativa para la optimización de la calidad del recurso hídrico en la **PTAP** de **J.M.H.**, municipio de Pupiales.

A través de la presente investigación se comprobó que todos los componentes evaluados se encuentran en óptimas condiciones, el recurso hídrico que brinda la **PTAP** se encuentra en óptimas condiciones por lo tanto es un agua apta para el consumo humano de acuerdo a la resolución 2115 de 2007. El cálculo del IRCA estableció que el recurso hídrico no presenta ningún riesgo, además es apto para el consumo humano. Las 3 alternativas son indispensables para la optimización de la **PTAP**, pero las alternativas se deben implementar a corto, mediano y largo plazo.

## **ABSTRACT**

The drinking water treatment plant (PTAP) removes undesirable characteristics of the water so that it is drinkable and suitable for human consumption. The PTAP is of compact type and is located in the corregimiento of José María Hernández (J.M.H.) which has an average temperature of 12 °C and it is located at an altitude of 2982 m.a.s.l. (Secretary of Planning Pupiales, 2012).

To comply with the project, a methodology was executed that was developed in four phases: Phase 1. Review and analysis of information, Phase 2. Diagnosis of the hydraulic system and infrastructure of the PTAP of J.M.H., municipality of Pupiales, Phase 3. Analysis of the physicochemical state of the water resource of the tributary and effluent of the PTAP of J.M.H., municipality of Pupiales. Phase 4. Establish alternatives to optimize PTAP of J.M.H. which fulfills the general objective of formulating an alternative for the optimization of the quality of the water resource in the PTAP of J.M.H., municipality of Pupiales.

Through the present investigation it was verified that all the evaluated components are in optimal conditions the water resource provided by the PTAP is in optimal conditions therefore it is a water suitable for human consumption according to resolution 2115 of 2007. The IRCA calculation established that the water resource does not present any risk, and is also suitable for human consumption. The 3 alternatives are indispensable for the optimization of the PTAP, but the alternatives must be implemented in the short, medium and long term.

## Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	15
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1	LOCALIZACIÓN.....	16
2.2	METODOLOGÍA.....	17
2.2.1	FASE 1. Revisión y análisis de información .....	17
2.3.1	FASE 2. Diagnóstico del sistema hidráulico y la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable de del corregimiento de José María Hernández, municipio de Pupiales.....	21
2.4.1	FASE 3. Análisis del estado fisicoquímico del recurso hídrico del afluente y efluente de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de del corregimiento de José María Hernández, municipio de Pupiales.....	27
2.4.1.1	<i>TOMA DE MUESTRAS PARA ANALISIS EN LABORATORIO</i> .....	28
2.4.1.2	<i>ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO</i> .....	29
2.5.1	FASE 4. Establecer alternativas para optimizar la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de José María Hernández, Municipio de Pupiales. ....	29
2.5.1.1	<i>Alternativa 1</i> .....	29
2.5.1.2	<i>Alternativa 2</i> .....	29
2.5.1.3	<i>Alternativa 3</i> .....	29
2.5.1.4	<i>SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP</i> .....	29
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
3.1	Caudales .....	32
3.2	Evaluación de componentes de la PTAP .....	33
3.3	PUNTAJE DE RIESGO.....	36
3.4	Índice de Riesgo de Calidad del Agua.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5	CALCULO IRCA.....	40
3.6	ELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP	43
4.	CONCLUSIONES .....	47
5.	RECOMENDACIONES .....	47
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	48
7.	ANEXOS.....	50

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Asignación de periodo de diseño de acuerdo al nivel de complejidad. ....	18
Tabla 2 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. ....	19
Tabla 3 Macromedición y micromedición .....	27
Tabla 4 Coordenadas.....	28
Tabla 5 Instrumentos para la toma de muestras.....	28
Tabla 6 Métodos análisis de muestras.....	29
Tabla 7 Matriz de selección de alternativas.....	30
Tabla 8 Matriz de asignación de puntajes .....	30
Tabla 9 Calculo de caudales .....	32
Tabla 10 Evaluación .....	33
Tabla 11 Resultados del análisis de las muestras en el laboratorio.....	35
Tabla 12 Puntaje de riesgo del agua apta para el consumo humano de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 .....	36
Tabla 13 Resultado clasificación según el IRCA .....	42
Tabla 14 Optimización de la zona de captación .....	43
Tabla 15 Optimización del laboratorio de la PTAP .....	43
Tabla 16 Optimización del tanque de almacenamiento.....	43
Tabla 17 Costo Alternativa 1 (Optimización de la zona de captación).....	44
Tabla 18 Costo Alternativa 2 (Optimización del laboratorio de la PTAP).....	44
Tabla 19 Costo Alternativa 3 (Optimización del tanque de almacenamiento) .....	44
Tabla 20 Calificación .....	45
Tabla 21 Selección de alternativa .....	45

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Manantial San Marcos .....	21
Ilustración 2 Manantial San Marcos .....	22
Ilustración 3 Línea aducción .....	23
Ilustración 4 Desarenador.....	23
Ilustración 5 Filtros de flujo ascendente y descendente .....	24
Ilustración 6 Tanque dosificador de Cloro .....	25
Ilustración 7 Tanque de almacenamiento.....	26
Ilustración 8 Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas .....	27

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Ecuaciones de población .....	50
Anexo 2: Plantilla calculo IRCA .....	50

## GLOSARIO

- **Agua potable:** Llamamos agua potable a la que se puede beber sin riesgo para nuestra salud. Según la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud); el agua tiene que cumplir los siguientes requisitos para ser potable:
  1. No debe tener contaminantes de ningún tipo, ya que pueden perjudicar el organismo.
  2. Ha de tener una proporción adecuada de gases y sales disueltas.
  3. Tiene que ser incolora, inodora y de sabor agradable.Para que el agua sea apta para el consumo humano debe ser sometida a un proceso de potabilización en una planta potabilizadora.
- **Análisis básicos:** Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Escherichia coli (Resolución número 2115, 22 JUN 2007).
- **Análisis físico-químico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.
- **Análisis microbiológico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.
- **Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.
- **Canalete Parshall:** Es un elemento primario de caudal con una amplia gama de aplicaciones para medir el caudal en canales abiertos. (RAS, 2017).
- **Captación:** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.
- **Caudal máximo diario:** Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
- **Caudal máximo horario:** Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

- **Caudal medio diario:** Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.
- **Cloro residual:** Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.
- **Conducción:** Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.
- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación. (RAS, 2017).
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. (RAS, 2017).
- **Dosificación:** Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.
- **Dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.
- **Filtro:** (aguas subterráneas) Dispositivo utilizado para evitar la entrada de material fino de un acuífero a la tubería de extracción de un pozo de agua subterránea.
- **Fuente de abastecimiento de agua:** Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.
- **Fugas:** Cantidad de agua que se pierde en un sistema de acueducto por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios.
- **IRCA:** Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, es un indicador que determina la calidad del agua, por el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, basado en análisis de características físicas, químicas y microbiológicas en muestras de agua. (Resolución 2115 de 2007).
- **Macromedición:** Sistema de medición de grandes caudales, destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.

- **Mantenimiento preventivo:** Conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas.
- **Mantenimiento correctivo:** Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.
- **Micromedición:** Sistema de medición de volumen de agua, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado período de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto.
- **Optimización:** Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.
- **Proyección de Población:** Método estadístico para realizar la estimación de la población futura de un municipio. Se puede realizar por diferentes métodos.
- **PTAP:** Una planta de tratamiento de agua es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano y otras actividades de importancia (Aguasistec solución en tratamientos de agua, 2016).
- **Red de distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- **Tanque de Almacenamiento:** Estructura hidráulica utilizada para acumular agua teniendo en cuenta que el caudal de captación no es siempre constante, con el fin de garantizar el suministro continuo en el corregimiento.
- **Turbiedad:** Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.
- **Usuario:** Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le conoce también como consumidor. (Ley 142 de 1994).

## 1. INTRODUCCIÓN

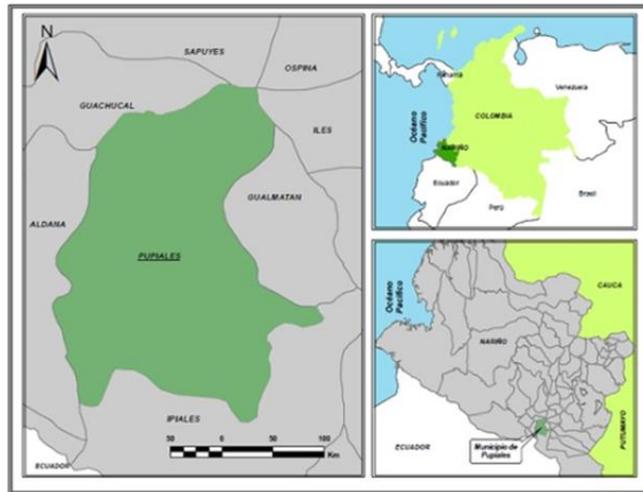
Una **Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)** a través, de varias operaciones unitarias se encarga de eliminar las características no deseables del agua de una fuente hídrica específica para mejorar su calidad y que así pueda ser utilizada para las actividades y el consumo humano (SPENAGROUP). El agua potable debe cumplir con unas condiciones fisicoquímicas y microbiológicas que permitan que el agua sea apta para el consumo humano y no presente ningún riesgo para la salud, para este fin el agua debe cumplir con la normatividad vigente, además las empresas prestadoras de servicios públicos o las juntas administradoras de los acueductos son quienes deben garantizar un tratamiento adecuado del recurso hídrico para de esta manera otorgar un servicio de calidad. El adecuado funcionamiento también depende del manejo operativo dentro de la **PTAP** por parte del personal encargado, pues es quien se encarga del mantenimiento preventivo y correctivo de los elementos de la planta y de la correcta dosificación de los químicos para el tratamiento del agua para que de esta manera cumpla con las características aceptables (Resolución 2115 de 2007).

La **PTAP** del corregimiento de **José María Hernández (J.M.H.)** es de tipo compacto y abastece a 1280 personas (Plan de uso eficiente y ahorro de agua municipio de Pupiales, 2017). En la planta se han realizado algunas modificaciones desde su apertura para de esta manera mejorar su funcionamiento, sin embargo, se necesitan más estrategias de mejoramiento debido a este hecho se desarrolló el presente proyecto con el fin de realizar un diagnóstico del estado actual de la **PTAP** del corregimiento de **(J.M.H.)** además, determinar la calidad de agua que brinda la **Asociación de usuarios de Acueducto Viejo (A.S.U.A.V)** para posteriormente dar cumplimiento al objetivo general de formular una alternativa para la optimización de la calidad del recurso hídrico en la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de José María Hernández, Municipio de Pupiales.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

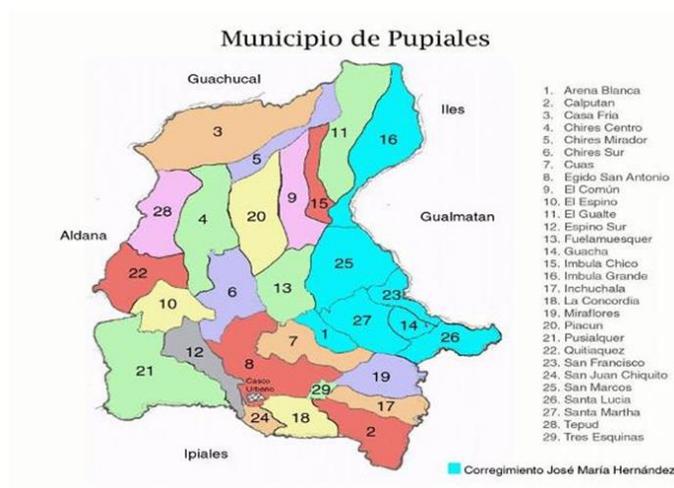
### 2.1 LOCALIZACIÓN

El corregimiento de (J.M.H.) se encuentra ubicado al sur del departamento de Nariño y al oriente del casco urbano del municipio de Pupiales. Presenta una temperatura media de 12° C aproximadamente, las lluvias oscilan desde cerca de 1000 hasta 1500 mm anuales, se encuentra a 2982 m.s.n.m. y presenta bosque muy húmedo montano (Zona de vida Holdridge).



Mapa 1 Mapa de localización de Pupiales

Fuente: secretaria de planeación Pupiales 2012.



Mapa 2 Mapa de municipios de Pupiales

Fuente: Secretaria de Planeación Pupiales 2012.

El estudio se realizó en el corregimiento de **(J.M.H.)**. La **PTAP** se encuentra en las siguientes coordenadas: “X: 940770, Y: 592241, Z: 3018” (Plan de uso eficiente y ahorro de agua municipio de Pupiales, 2017).

## **2.2 METODOLOGÍA**

El proyecto se realizó de acuerdo a los lineamientos establecidos en la (Resolución 2115, 2007) parámetros básicos del agua para consumo humano, la (Resolución 0330, 08 de junio, 2017 y el (Ras, 2000, Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico, título B). Para dar cumplimiento al proyecto se realizaron cuatro fases.

### **2.2.1 FASE 1. Revisión y análisis de información**

Se realizó una recopilación de información técnica de la **PTAP** la cual se obtiene de manera teórica a través del “Plan de uso eficiente y ahorro de agua, 2017” del municipio de Pupiales, la junta administradora del acueducto del corregimiento **A.S.U.A.V.**, y del Departamento Administrativo Nacional de Estadística “DANE”:

- Análisis del censo poblacional del corregimiento.
- Proyección de la población.
- Tasas de crecimiento.
- Caudal máximo diario.
- Caudal máximo horario.
- Coeficiente de consumo máximo diario - k1.
- Obtención del caudal de diseño.

#### **2.2.1.1 ESTUDIO DE LA POBLACIÓN**

##### **2.2.1.2 Censo poblacional**

Se realizó la estimación poblacional con los datos proporcionados por el (DANE, Proyección de población a nivel municipal. Periodo “2018-2035”) y se aplicó uno de los métodos que se encuentra en el título B de la norma RAS 2000. Los datos que se usaron para los respectivos cálculos son de los siguientes años de acuerdo con el DANE:

2018 = 1255 hab.

2019 = 1264 hab.

2020 = 1275 hab.

### 2.2.1.3 Modelo lineal o aritmético

Se implementó este modelo para la estimación poblacional ya que es el más adecuado en las poblaciones que presentan un crecimiento balanceado y lineal a través del tiempo, (Arboleda, A. Ruiz B. Bogotá. 2017. Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del Colegio), como es el caso del corregimiento de **J.M.H.**, a continuación, se presentan los cálculos realizados.

P año proyectado = P último censo + r (T proyectado – T último censo)

$$r1 = \frac{P2019 - P2018}{T2019 - T2018} = \frac{1264 - 1255}{2019 - 2018} = 9 \frac{hab}{año}$$

$$r2 = \frac{P2020 - P2019}{T2020 - T2019} = \frac{1275 - 1264}{2020 - 2019} = 11 \frac{hab}{año}$$

$$r_{prom} = \frac{11 \frac{hab}{año} + 9 \frac{hab}{año}}{2} = 10 \frac{hab}{año}$$

P2021 = 1255 hab + 10 (2021 – 2020) = 1265 hab

Tabla 1 Asignación de periodo de diseño de acuerdo al nivel de complejidad.

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

**Fuente: Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras. Título B.**

Se realizó el diseño de población al año 2046 debido al periodo de diseño que de acuerdo al artículo 40 de la resolución 0330 del 8 de junio del 2017, le corresponde un periodo de diseño de 25 años a través de la fórmula se obtuvo la siguiente población proyectada.

P2046 = 1265 hab + 10 (2046 – 2021) = 1515 hab

Población proyectada para el corregimiento de José María Hernández

Tabla 2 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Resolución 0330 del 08 de junio de 2017.

Para el estimado de dotación se usó como dato 120 (L/hab\*día) debido a que este es el dato de la altitud a la que se encuentra la población.

#### 2.2.1.4 Calculo caudal

##### ➤ Dotación bruta

$$D. \text{ bruta} = \frac{d \text{ neta}}{1 - \%p}$$

%p = perdidas máximas admisibles

$$D. \text{ bruta} = \frac{120 \frac{L}{\text{hab.día}}}{1 - 0,25} = 160 \frac{L}{\text{hab*día}}$$

##### ➤ Caudal medio diario

$$Q_{md} = \frac{p * d \text{ bruta}}{86400}$$

p = población proyectada

$$Q_{md} = \frac{1515 \text{ hab} * 160 \frac{L}{\text{hab*día}}}{86400} = 2,80 \frac{L}{s}$$

##### ➤ Caudal máximo diario

$$Q_{MD} = Q_{md} * k_1$$

K1 = coeficiente de consumo máximo diario

$$QMD = 2,80 \frac{L}{s} * 1,3 = 3,64 \frac{L}{s}$$

➤ **Caudal máximo horario**

$$QMH = QMD * k2$$

K2 = coeficiente de consumo máximo horario

$$QMH = 3,64 \frac{L}{s} * 1,3 = 4,73 \frac{L}{s}$$

**Fuente: Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras. Bogotá D.C. Título B, 2014. P. 30.**

**Nota:** Los coeficientes de diseño K1 y K2 se tomaron de la resolución 0330 del 8 de junio del 2017, donde se da a conocer que si la población no supera los 12.500 habitantes los valores de los coeficientes serán de 1,3.

### ***2.2.1.5 GENERALIDADES DE LA PTAP***

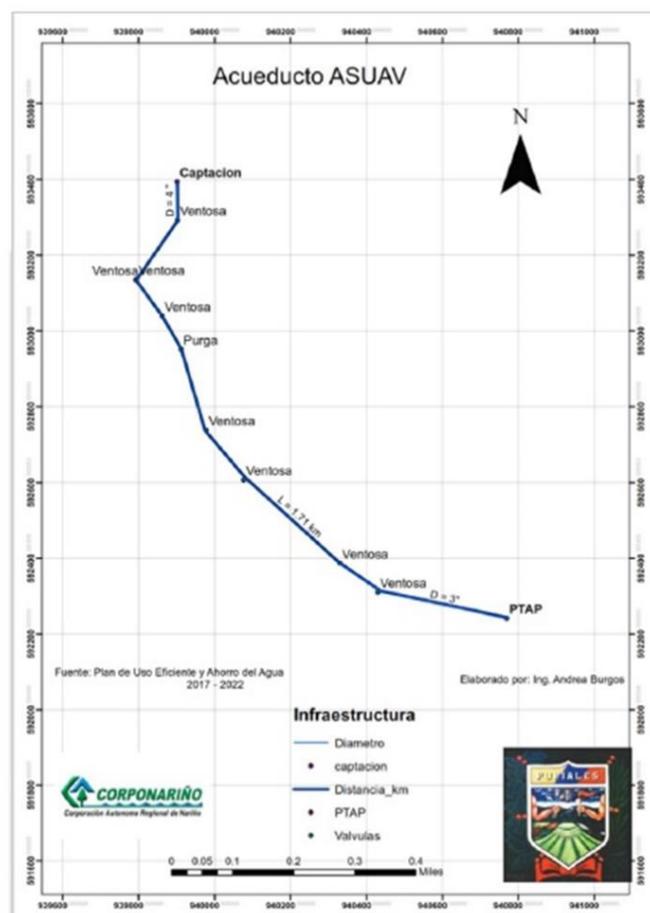
El acueducto del corregimiento de **J.M.H.** se encuentra conformado por: una fuente de abastecimiento “manantial San Marcos”, una captación, dos desarenadores, una red de conducción, una **PTAP** de tipo compacto y un tanque de almacenamiento, (Jiménez C, Sabogal M, Bogotá, 2017. Diagnóstico y optimización de la PTAP del municipio de Fómeque, Cundinamarca). La concesión de aguas está para tratar un caudal de 4,76 L/s.

La **PTAP** es prácticamente nueva, se inauguró el 11 de octubre de 2011, por el alcalde municipal Dr. Luis Antonio Guzmán R., la junta administradora 2010-2011 y la comunidad. La planta abastece el casco urbano del corregimiento, cuenta con un caudal de 3,33 L/s de acuerdo a los registros controlados por el operario de la planta y medidos en las visitas de campo. Presta el servicio de agua potable a la comunidad las 24 horas del día (Jiménez, C. Sabogal, M. Bogotá, 2017. Diagnóstico y optimización de la PTAP del Municipio de Fómeque).

### 2.3.1 FASE 2. Diagnóstico del sistema hidráulico y la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable de del corregimiento de José María Hernández, municipio de Pupiales.

Se realizó una inspección del sistema hidráulico y de infraestructura de la planta de tratamiento, el cual se llevó a cabo a través de tres visitas de campo para de esta manera determinar el estado actual de la planta, sus procesos operativos al igual que sus procesos funcionales en cada uno de sus componentes hidráulicos.

#### 2.3.1.1 CONDUCCIÓN DE AGUA



*Ilustración 1 Manantial San Marcos*

**Fuente: Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua 2017**

La conducción del agua del acueducto **A.S.U.A.V.** se realiza de manera subterránea a través de predios aledaños mediante una tubería en PVC de 4 pulgadas de diámetro, este sistema de transporte del recurso hídrico comienza desde los desarenadores hacia la **PTAP** con una

longitud de 1706 m y una pendiente de 4,6 %. La tubería a simple vista se encuentra en perfectas condiciones ya que no se ha presentado desabastecimiento, además no se han realizado intervenciones de cambio o mantenimiento del sistema durante la elaboración del proyecto, (Fonseca A, Bogotá, 2018. Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la escuela de logística del ejército nacional).

### **2.3.1.2 UNIDADES DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA**

#### **2.3.1.3 CAPTACIÓN**



*Ilustración 2 Manantial San Marcos*

**Fuente: Este estudio**

El sistema de captación cuenta con una estructura de concreto la cual se diseñó en forma de pentágono irregular y cuenta con un volumen total aproximado de 1570 litros, pero el recurso hídrico que permanece por día es de 1123 litros aproximadamente. Esta bocatoma capta el agua proveniente del manantial “SAN MARCOS”, en las visitas de campo se observó que la estructura de captación se encuentra en perfecto estado, esto se debe a que esta se adecuó en el año 2018, cuenta con una malla plástica en la parte superior del sistema que no es capaz de retener las hojas provenientes de los árboles, además permite que algunos animales beban de esta agua. La zona de captación recibe mantenimiento preventivo cada semana en el cual el fontanero retira las hojas a través de una malla y revisa que no presente fugas o grietas (Rios A, Rodríguez A, Bogotá, 2017. DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE GUATAQUÍ CUNDINAMARCA).

#### 2.3.1.4 ADUCCION



*Ilustración 3 Línea aducción*

**Fuente: Este estudio**

El sistema de aducción está compuesto por una tubería en material PVC de 3 pulgadas de diámetro, presenta una longitud de 4 metros, una pendiente de 1% y el agua se transporta desde la bocatoma hacia el desarenador 1 por gravedad. El extremo del tubo que se encuentra dentro de la bocatoma presenta una rejilla plástica para evitar el paso de elementos ajenos al recurso hídrico hacia el desarenador la cual se limpia de manera manual cada semana, además se revisa si presenta fugas o fisuras. El sistema de aducción se encuentra en perfecto estado ya que también se cambió en 2018 debido a la modificación de la zona de captación del agua, (Rodríguez S, Bogotá D.C., 2016. Estudios y Diseños Planta de Potabilización de Agua Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia).

#### 2.3.1.5 DESARENADORES



*Ilustración 4 Desarenador*

**Fuente: Este estudio**

El proceso de pretratamiento del agua se realiza mediante la remoción del material en suspensión a través de dos desarenadores, los cuales se encargan de sedimentar las partículas sólidas en suspensión que hayan ingresado a través de la estructura de captación del agua para que de esta manera se remuevan estas partículas por intervención de la gravedad.

Los desarenadores son de material plástico y juntos conforman un volumen de 12.000 litros. El desarenador 1 y 2 se encuentran en perfecto estado ya que no presentan fisuras ni derrame de agua por ninguno de sus lados, base y parte superior.

El mantenimiento preventivo lo realiza el fontanero cada semana a través de un lavado por tal motivo se eliminan las partículas sólidas que se depositan en el fondo de los desarenadores, estos solidos se extraen de manera manual y se acumulan a un lado del predio donde se encuentran los desarenadores (Jiménez, C. Sabogal, M. Bogotá, 2017. Diagnóstico y optimización de la PTAP del Municipio de Fómez).

### ***2.3.1.6 PLANTA DE TRATAMIENTO***

La **PTAP** del corregimiento de **J.M.H.**, cuenta con 3 filtros de flujo ascendente y 3 de flujo descendente, un proceso de desinfección por cloración; se evidencio que hay carencia de equipos para la medición de parámetros básicos dentro de la **PTAP** ya que solo se cuenta con el instrumento hach para la medición del cloro. También cuenta con un tanque de almacenamiento el cual una vez realizado el tratamiento del agua captada abastece del recurso hídrico al corregimiento por medio de gravedad.

### ***2.3.1.7 FILTROS***



*Ilustración 5 Filtros de flujo ascendente y descendente*

**Fuente: Este estudio**

El sistema de filtrado se encarga de retener las partículas sólidas que no se retuvieron en los desarenadores, los 6 filtros son de material metálico, presentan un volumen aproximado de 654 litros cada uno donde el 100% del volumen es ocupado por el recurso hídrico. Los filtros de flujo ascendente cuentan con grava en su interior la cual ocupa el 70% del volumen total y los filtros de flujo descendente cuentan con carbón y grava en su interior los cuales también ocupan el 70% del volumen total. En los filtros de flujo ascendente las partículas son atrapadas en el medio filtrante (grava) posteriormente el agua se transporta hacia los filtros de flujo descendente en donde las partículas son atrapadas por los medios filtrantes (carbón, grava). El fontanero realiza el retrolavado de forma manual, esta operación la realiza cada dos semanas

Los 6 filtros se encuentran en perfecto estado ya que se les realiza un mantenimiento preventivo cada dos años en el cual se retira la grava y carbón para ser remplazarla por una nueva, se lavan y limpian los filtros en el interior para retirar de este modo las partículas acumuladas, además se restaura el exterior por medio de lavado y pintura (Higuera M, Parra J, Bogotá D.C., 2018. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TOGÜÍ – BOYACÁ).

### **2.3.1.8 DESINFECCIÓN**



*Ilustración 6 Tanque dosificador de Cloro*

**Fuente: Este estudio**

Luego de pasar por los filtros el agua es interceptada por el cloro, en donde es dosificado el cloro granulado con una dosis de 500 g/día por una bomba dosificadora, este se mezcla con el agua proveniente de los filtros con el fin de desinfectarla. Normalmente, tras un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable gracias al efecto del cloro, además el agua continúa siendo potable durante horas o días. El tanque y la bomba dosificadora de cloro se encuentran en un estado óptimo ya que no presentan grietas, fugas y no se han generado fallas en su funcionamiento. En su mantenimiento preventivo de cada 6 meses se realiza una calibración de la bomba dosificadora, un lavado del tanque de cloración, además se cambia el cloro debido a que después de 6 meses reduce su efectividad y se revisa que el sistema no presente fugas o fallas (Loaiza J, Villavicencio, 2018. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) GUACAVÍA EN EL MUNICIPIO DE CUMARAL, DEPARTAMENTO DEL META).

#### **2.3.1.9 ALMACENAMIENTO**



*Ilustración 7 Tanque de almacenamiento*

**Fuente: Plan de uso eficiente y ahorro de agua 2017**

La **PTAP** y el tanque de almacenamiento se ubican en las siguientes coordenadas:

0° 54' 31" N

77° 36' 34" W

La **PTAP** cuenta con un tanque de almacenamiento construido en concreto, con una capacidad de 171.108 litros el cual abastece a todo el casco urbano del corregimiento de **J.M.H.**, el tanque de almacenamiento presenta las siguientes dimensiones:

- Alto: 2.80 m, ancho: 6.30 m y largo: 9.70 m.

A partir del tanque de almacenamiento el agua se distribuye a través de dos redes en PVC. Se realiza un mantenimiento preventivo de lavado el cual se realiza cada tres meses con desinfectantes y detergente de uso doméstico, por lo tanto, el suministro de agua se suspende de 4 a 5 horas aproximadamente, además se realiza una revisión completa del tanque para verificar si presenta fugas o fisuras (Quiñones O, Montealegre E, Pitalito – Huila, 2019. Diagnóstico operacional de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en el área urbana y rural del municipio de Acevedo “Huila”).

*Tabla 3 Macromedición y micromedición*

<b>Acueducto ASUAV</b>		
Macromedición	Micromedición	Cobertura
Si	Si	100 %

**Fuente: Plan de uso eficiente y ahorro de agua 2017**

#### **2.4.1 FASE 3. Análisis del estado fisicoquímico del recurso hídrico del afluente y efluente de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de del corregimiento de José María Hernández, municipio de Pupiales.**



*Ilustración 8 Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas*

**Fuente: Este estudio**

Se realizó la toma de muestras de agua para analizar en el laboratorio, se tomaron tres puntos de muestreo “PTAP, el grifo más cercano y el grifo más lejano de la planta”, (Castillo S, Malagón D, Bogotá D.C., 2020. DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MUNICIPIO DE MELGAR). Durante la toma de muestras de agua se presentó época de verano por este hecho no se generó incremento de partículas sólidas a causa de la lluvia.

*Tabla 4 Coordenadas*

<b>COORDENADAS</b>			
	<b>PTAP</b>	<b>GRIFO MAS CERCANO</b>	<b>GRIFO MAS LEJANO</b>
<b>N</b>	0° 54' 31”	0° 54' 30”	0° 54' 10”
<b>W</b>	77° 36' 34”	77° 36' 33”	77° 36' 16”

**Fuente: Este estudio**

Para la toma de muestras se emplearon los siguientes instrumentos:

*Tabla 5 Instrumentos para la toma de muestras*

<b>INSTRUMENTOS</b>		
<b>INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Nevera de icopor	1	Mantener la temperatura de las muestras
Recipientes plásticos de 2 litros	3	Almacenamiento de la muestra de agua para el análisis fisicoquímico
Tetero	3	Almacenamiento de la muestra para el análisis microbiológico
Pila refrigerante	2	Conservar la cadena de frio

**Fuente: Este estudio**

#### **2.4.1.1 TOMA DE MUESTRAS PARA ANALISIS EN LABORATORIO**

Se marcaron los 6 recipientes respectivamente y se procedió a tomar las muestras. Al finalizar se colocaron dentro de la nevera al igual que las pilas refrigerantes y se enviaron a “Laboratorios del Valle S.A.S.” ubicados en la ciudad de Pasto (Nariño). Procedimiento de muestreo de agua superficial. Los parámetros que se analizaron en el laboratorio se mencionan a continuación.

### **2.4.1.2 ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO**

*Tabla 6 Métodos análisis de muestras*

<b>ANALISIS FISICOQUIMICO</b>
pH, sulfatos, cloruros, nitritos, alcalinidad, conductividad, hierro, turbidez, color aparente, cloro residual y dureza total.
<b>ANALISIS MICROBIOLOGICO</b>
Coliformes totales y Escherichia coli.

**Fuente: Este estudio**

### **2.5.1 FASE 4. Establecer alternativas para optimizar la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de José María Hernández, Municipio de Pupiales.**

A través de las problemáticas mencionadas en el diagnostico se formularon las siguientes alternativas para la optimización, enfocadas a tres puntos clave de la PTAP. Díaz Bautista, W. (2017). Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca. Bogotá D.C. y Otero Torres, A. M., & Rodríguez Rivera, L. M. (2019). Propuesta de mejoramiento de la PTAP en el corregimiento Pradilla del municipio de Mesitas del Colegio.

#### **2.5.1.1 Alternativa 1**

Optimización de la zona de captación

#### **2.5.1.2 Alternativa 2**

Mejorar la dotación del laboratorio de la PTAP

#### **2.5.1.3 Alternativa 3**

Optimización del tanque de almacenamiento

#### **2.5.1.4 SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP**

Para la selección de la alternativa más adecuada se realizó una matriz citada por (Fiquitiva, 2017) donde se evaluaron los aspectos técnicos, económicos y ambientales a través de los siguientes factores: confiabilidad del sistema, vida útil (componentes), complejidad de construcción, complejidad de operación del proceso, el costo de inversión inicial, operación

y mantenimiento, generación de residuos y ruido. Cada uno de estos tuvo un rango de evaluación de 0 a 4 siendo cero el valor mínimo y 4 el valor de máximo del puntaje.

A partir de los resultados de la matriz se procedió a seleccionar la alternativa que obtuvo la mayor calificación y a partir de allí se formuló la propuesta de optimización más favorable y conveniente para la planta de tratamiento del corregimiento de José María Hernández.

*Tabla 7 Matriz de selección de alternativas*

Aspecto	Parámetro	Peso %
Técnico (40%)	Vida útil	15
	Tiempo de implementación	10
	Complejidad de operación	5
	Disponibilidad de repuestos	10
Económico (40%)	Costo de inversión inicial	20
	Costo de operación y mantenimiento	20
Ambiental (20%)	Generación de residuos	10
	Generación de ruido	10
	Total	100

**Fuente: (Fiquitiva, 2017)**

*Tabla 8 Matriz de asignación de puntajes*

Parámetro	Descripción	Valor	
Aspecto técnicos y operativos			
Vida útil	Se refiere al tiempo que durara en funcionamiento la alternativa de optimización	No hay cumplimiento 0	0
		Cumplimiento menos de 10 años	1
		Cumplimiento entre 10 a 20 años	2
		Cumplimiento entre 20 a 25 años	3

		Cumplimiento más de 25 años	4
Tiempo de implementación	Se refiere al tiempo que tardara en hacer efectiva la alternativa de implementación	No hay cumplimiento	0
		Cumple en más de 3 semanas	1
		Cumple entre 3 a 2 semanas	2
		Cumple entre 2 a 1 semana	3
		Cumple en menos de 1 semana	4
Complejidad de operación	Se refiere al grado de complejidad de los procesos y operaciones en condiciones normales	Complejidad total	0
		Complejidad alta	1
		Complejidad media	2
		Complejidad baja	3
		No hay complejidad	4
Disponibilidad de repuestos	Se refiere al mantenimiento preventivo y correctivo de los quipos	No hay disponibilidad	0
		Disponibilidad baja	1
		Disponibilidad media	2
		Disponibilidad alta	3
		Disponibilidad total	4
Aspectos económicos			
Costo de inversión inicial	Se refiere al costo de las obras y adquisiciones de equipos	Mayor a \$ 2'000.000 0	0
		Entre \$ 1'500.000 y \$ 2'000.000	1
		Entre \$ 1'00.000 y \$ 1'500.000	2
		Entre \$ 500.000 y \$ 1'000.000	3
		Entre \$ 0 y \$ 500.000	4
Costo de operación y mantenimiento	Se refiere al costo que tiene operar y mantener las obras y los equipos	Genera costo total	0
		Costo alto	1
		Costo medio	2
		Costo bajo	3
		No genera costo	4
Aspectos ambientales			
		Generación total	0

Generación de residuos	Se refiere a la existencia y cantidad de generación de residuos	Generación alta	1
		Generación media	2
		Generación baja	3
		No se generan	4
Generación de ruido	Se refiere a los sonidos que pueden alterar el entorno causando así alteraciones y molestias	Generación total	0
		Generación alta	1
		Generación media	2
		Generación baja	3
		No se generan	4

**Fuente: (Fiquitiva, 2017)**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la presente investigación se comprobó que para el año 2046 se contara con 1515 habitantes los cuales necesitaran una dotación neta de (113 L/hab\*día) y la **PTAP** de acuerdo a la (Resolución 0330, 2017) debe brindar (120 L/hab\*día) por lo tanto la PTAP hasta dicho año se encontrara en óptimas condiciones de funcionamiento en cuanto a dotación de recurso hídrico. (Arboleda, A. Ruiz, B. Bogotá, 2017. Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del colegio, Cundinamarca).

#### 3.1 Caudales

*Tabla 9 Calculo de caudales*

CAUDAL	
Qmd	2,80 L/s
QMD	3,64 L/s
QMH	4,73 L/s

**Fuente: Autor**

Se determinó que el caudal medio diario de salida es menor (2,80 L/s) que el caudal medio diario de entrada (3,33 L/s) por lo tanto no se presentara desabastecimiento de recurso hídrico en la comunidad. La **PTAP** del corregimiento de opera las 24 horas del día.

### 3.2 Evaluación de componentes de la PTAP

Tabla 10 Evaluación

Componentes	Aspectos a evaluar		
	Estado físico	Estado funcional	Vida útil
Captación	La zona de captación se encuentra en buen estado.	La zona de captación funciona de manera óptima no presenta sobreuso, no genera desabastecimiento o pérdida de agua por medio de su estructura ya que se adecuo en 2018.	Presenta una antigüedad de 3 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS
Tubería aducción	La tubería de PVC se encuentra en buen estado	La tubería de aducción funciona de manera óptima, no presenta deterioro ni fugas ya que se reemplazó en 2018.	Presenta una antigüedad de 3 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS
Desarenador 1 y 2	Los desarenadores se encuentran en buen estado ya que no presentan ningún tipo de fisura o grieta	Los desarenadores funcionan de manera óptima no generan pérdidas, aunque los sólidos removidos se disponen directamente en el predio.	Presenta una antigüedad de 10 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS
Filtros	Los filtros se encuentran en buen estado ya que se realiza el mantenimiento preventivo por lo tanto no presentan paso del lecho filtrante a través de la red de tuberías.	Los filtros funcionan de manera óptima ya que no han presentado daños u oxidación y se les realiza el retrolavado para así eliminar la acumulación de partículas sólidas	Presenta una antigüedad de 10 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS

Tanque dosificador de cloro	El sistema de cloración se encuentra en buen estado y presenta un buen funcionamiento	El dosificador de cloro se encuentra calibrado de manera óptima y la cantidad que ingresa al sistema cumple con las características adecuadas. El tanque no presenta fugas ni fisuras.	Presenta una antigüedad de 10 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS
Laboratorio	Se encuentra en buen estado pero necesita dotación de equipos para la medición de parámetros y mejoramiento de infraestructura para una mayor organización	El equipo hach se encuentra en óptimas condiciones ya que hace una correcta marcación de cloro, además la infraestructura está en buen estado.	Presenta una antigüedad de 10 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS
Tanque de almacenamiento	Presenta un estado físico bueno y estructuralmente se encuentra en un buen estado.	El tanque de almacenamiento se encuentra en óptimas condiciones, no presenta fugas o desgaste por lo tanto no genera desabastecimiento ni pérdida de agua.	Presenta una antigüedad de 10 años por lo tanto aún no ha sobrepasado su vida útil según lo recomendado por el RAS

**Fuente: Este estudio**

Se evaluaron los componentes de la **PTAP** para establecer si todos estos componentes se encuentran en óptimas condiciones de acuerdo a los aspectos físicos, funcionales y de utilidad, Ligardo A, Villavicencio, Meta, 2019. DIAGNOSTICO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, DESDE SU PUNTO DE CAPTACION HASTA LA RED DE DISTRIBUCION, EN EL MUNICIPIO DEL CASTILLO, DEPARTAMENTO DEL META).

Tabla 11 Resultados del análisis de las muestras en el laboratorio

<b>RESULTADOS DE LABORATORIO</b>					<b>Resolución 2115 de 2007</b>
<b>ANALISIS FISICOQUIMICO</b>					
Análisis	Unidades	PTAP	Grifo cercano	Grifo lejano	Valor máximo aceptable
		Resultado			
pH	Unidades de pH	6.77	6.92	6.83	6.5 a 9.0
Olor y sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> -2	1	1	1	250
Cloruros	mg/L Cl-	6	5	7	250
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> -	0.004	0.004	0.004	0.1
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	72	74	78	200
Conductividad	uSiemens/cm	144.2	146.2	144.1	1000
Hierro	mg/L Fe	0.03	0.04	0.04	0.3
Turbidez	NTU	0.49	0.69	0.54	2
Color aparente	UPC	1	1	2	15
Cloro residual	mg/L Cl <sub>2</sub> libre	0.68	0.54	0.55	0.3 a 2.0
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	88	106	96	300
<b>ANALISIS MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes totales		0	0	0	0
Escherichia coli		0	0	0	0

**Elaboración: Este estudio**

Se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico del recurso hídrico de la **PTAP** para determinar si el agua que llega al corregimiento de **J.M.H.** se encuentra dentro de los parámetros aceptables cumpliendo así con los requerimientos permisibles de acuerdo a la resolución 2115 de 2007, con lo cual se logra confirmar que el recurso hídrico que brinda la **PTAP** se encuentra en óptimas condiciones por lo tanto es un agua apta y de buena calidad para el consumo humano, Jiménez B, López A, Bogotá D.C., 2016. DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ANTONIO- ASOCIACION SUCUNETA).

### 3.3 PUNTAJE DE RIESGO

Tabla 12 Puntaje de riesgo del agua apta para el consumo humano de acuerdo a la resolución 2115 de 2007

<b>Resolución 2115 de 2007</b>	
<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>PUNTAJE DE RIESGO</b>
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro residual	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 (Al <sup>3+</sup> )	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente: Resolución 2115 de 2007

### 3.4 Índice de Riesgo de Calidad del Agua

Tabla 12 Resultado cálculo del IRCA, muestra PTAP

PLANTILLA CALCULO DEL IRCA: INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO					
Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	Notificaciones			
0,0	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia			
Parámetro	Resultado	Expresado como	¿Analizado? (Si/No)	Puntaje de riesgo considerado	Puntaje de riesgo de la muestra
Alcalinidad	72,00	mg/L SO4-2	Si	1	0
Cloro residual	0,68	mg/L Cl2 libre	Si	15	0
Cloruros	6,00	mg/L Cl-	Si	1	0
Coliformes totales	0,00	-----	Si	15	0
Color aparente	1,00	UPC	Si	6	0
Conductividad	144,20	uSiemens/cm	Si	1	0
Dureza total	88,00	mg/L CaCo3	Si	1	0
Escherichia coli	0	-----	Si	25	0
Hierro	0,03	mg/L Fe	Si	1,5	0
Nitritos	0,00	mg/L NO2-	Si	3	0
pH	6,77	Unidades de pH	Si	1,5	0
Sulfatos	1,00	mg/L SO4-2	Si	1	0
Turbidez	0,49	NTU	Si	15	0
<b>Puntaje total muestra</b>	-----	-----	-----	<b>87</b>	<b>0</b>

Fuente: Plantilla calculo IRCA

Tabla 13 Resultado cálculo del IRCA, muestra Grifo cercano

PLANTILLA CALCULO DEL IRCA: INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO					
Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	Notificaciones			
0,0	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia			
Parámetro	Resultado	Expresado como	¿Analizado? (Si/No)	Puntaje de riesgo considerado	Puntaje de riesgo de la muestra
Alcalinidad	74,00	mg/L SO4-2	Si	1	0
Cloro residual	0,54	mg/L Cl2 libre	Si	15	0
Cloruros	5,00	mg/L Cl-	Si	1	0
Coliformes totales	0,00	-----	Si	15	0
Color aparente	1,00	UPC	Si	6	0
Conductividad	146,20	uSiemens/cm	Si	1	0
Dureza total	106,00	mg/L CaCo3	Si	1	0
Escherichia coli	0	-----	Si	25	0
Hierro	0,04	mg/L Fe	Si	1,5	0
Nitritos	0,00	mg/L NO2-	Si	3	0
pH	6,92	Unidades de pH	Si	1,5	0
Sulfatos	1,00	mg/L SO4-2	Si	1	0
Turbidez	0,69	NTU	Si	15	0
<b>Puntaje total muestra</b>	-----	-----	-----	<b>87</b>	<b>0</b>

Fuente: Plantilla calculo IRCA

Tabla 14 Resultado cálculo del IRCA, muestra Grifo lejano

PLANTILLA CALCULO DEL IRCA: INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO					
Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	Notificaciones			
0,0	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia			
Parámetro	Resultado	Expresado como	¿Analizado? (Si/No)	Puntaje de riesgo considerado	Puntaje de riesgo de la muestra
Alcalinidad	78,00	mg/L SO4-2	Si	1	0
Cloro residual	0,55	mg/L Cl2 libre	Si	15	0
Cloruros	7,00	mg/L Cl-	Si	1	0
Coliformes totales	0,00	-----	Si	15	0
Color aparente	2,00	UPC	Si	6	0
Conductividad	144,10	uSiemens/cm	Si	1	0
Dureza total	96,00	mg/L CaCo3	Si	1	0
Escherichia coli	0	-----	Si	25	0
Hierro	0,04	mg/L Fe	Si	1,5	0
Nitritos	0,00	mg/L NO2-	Si	3	0
pH	6,83	Unidades de pH	Si	1,5	0
Sulfatos	1,00	mg/L SO4-2	Si	1	0
Turbidez	0,54	NTU	Si	15	0
<b>Puntaje total muestra</b>	-----	-----	-----	<b>87</b>	<b>0</b>

Fuente: Plantilla calculo IRCA

*Tabla 15 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.*

<b>Clasificación IRCA (%)</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>	<b>IRCA mensual (Acciones)</b>
80.1 - 100	Inviabile 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 de 2007**

### 3.5 CALCULO IRCA

Se realizó el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano - IRCA, para tal fin se aplicaron las siguientes fórmulas:

**IRCA por muestra:**

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

**IRCA mensual:**

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

**IRCA por muestra:**

**PTAP**

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{0}{87} \times 100 = 0\%$$

**GRIFO CERCANO**

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{0}{87} \times 100 = 0\%$$

**GRIFO LEJANO**

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{0}{87} \times 100 = 0\%$$

**IRCA mensual:**

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{0\% + 0\% + 0\%}{3} = 0\%$$

Tabla 13 Resultado clasificación según el IRCA

	<b>PTAP</b>	<b>GRIFO CERCANO</b>	<b>GRIFO LEJANO</b>
<b>Clasificación IRCA (%)</b>	0	0	0
<b>Nivel de Riesgo</b>	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
<b>IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>	Continuar el control y la vigilancia	Continuar el control y la vigilancia	Continuar el control y la vigilancia
<b>IRCA mensual (Acciones)</b>	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia

**Fuente: Este estudio**

Se realizó el cálculo del IRCA a través de la plantilla y de la fórmula para determinar si el agua que ofrece la **PTAP** presenta algún riesgo y es apta para el consumo humano, con lo cual se logró establecer que el recurso hídrico que llega al corregimiento de **J.M.H.** no presenta ningún riesgo, además es apto para el consumo humano, (Cáceres L, Martin M, Bogotá, 2019. Propuesta de mejoramiento a la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Nocaima, Cundinamarca).

### 3.6 ELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP

*Tabla 14 Optimización de la zona de captación*

<b>Alternativa 1</b>		
Reforestar los predios aledaños a la zona de captación	Los arboles ayudan a la captación y evaporación del agua además sirven como lecho filtrante para mejorar la calidad del agua.	Permite la mitigación de la erosión, la infiltración del recurso hídrico en el suelo, controla la sedimentación en época de lluvia y favorece al aumento del caudal.

**Fuente: Este estudio**

*Tabla 15 Optimización del laboratorio de la PTAP*

<b>Alternativa 2</b>		
Dotar de un kit portátil de análisis de aguas a la PTAP para determinar los parámetros básicos que sugiere el IRCA que son turbiedad, color aparente, pH, cloro residual, escherichia coli y coliformes.	De esta manera se podría realizar el análisis de estos parámetros básicos en campo por parte de A.S.U.A.V. quien es la encargada de prestar el servicio de agua a los usuarios.	La implementación de este kit permite establecer la calidad del recurso hídrico a través de los resultados obtenidos en el análisis de cada uno de los parámetros básicos que sugiere el IRCA.

**Fuente: Este estudio**

*Tabla 16 Optimización del tanque de almacenamiento*

<b>Alternativa 3</b>		
Implementar un macromedidor posterior al tanque de almacenamiento	De esta manera se podría determinar la cantidad de agua tratada y si hay perdidas por algún daño en la red	La implementación del macromedidor determina si se está entregando la cantidad que necesita la comunidad además ayuda establecer si la cantidad de agua que sale del tanque es la misma que llega a los usuarios

**Fuente: Este estudio**

Tabla 17 Costo Alternativa 1 (Optimización de la zona de captación)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIAS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Predios	ha	-	3	\$ 30.000.000	\$90.000.000
2	Árboles	-	-	1500	\$ 5000	\$ 7'500.000
3	Transporte	-	-	1	\$ 150.000	\$ 150.000
4	Mano de obra	-	2	15	\$ 35.000	\$ 1'050.000
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 98'700.000</b>

Fuente: Este estudio

Tabla 18 Costo Alternativa 2 (Optimización del laboratorio de la PTAP)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Kit para análisis de aguas		1	\$ 3'500.000	\$ 3'500.000
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3'500.000</b>

Fuente: Este estudio

Tabla 19 Costo Alternativa 3 (Optimización del tanque de almacenamiento)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Macromedidor tipo Woltmann (2" A 14")	-	1	2'499.000	2'499.000
				<b>TOTAL</b>	<b>2'499.000</b>

Fuente: Este estudio

Se realizó un costo para cada una de las alternativas para de esta manera conocer que alternativa genera mayor inversión económica para su ejecución.

Tabla 20 Calificación

Parámetro	Alternativas		
	1	2	3
Vida útil	4 puntos	2 puntos	2 puntos
Tiempo de implementación	0 puntos	3 puntos	3 puntos
Complejidad de operación	4 puntos	2 puntos	4 puntos
Disponibilidad de repuestos	4 puntos	2 puntos	2 puntos
Costo de inversión inicial	0 puntos	1 puntos	2 puntos
Costo de operación y mantenimiento	4 puntos	2 puntos	2 puntos
Generación de residuos	4 puntos	2 puntos	4 puntos
Generación de ruido	4 puntos	4 puntos	4 puntos
<b>Sumatoria de puntos</b>	<b>24 puntos</b>	<b>18 puntos</b>	<b>23 puntos</b>

Fuente: (Fiquitiva, 2017)

Tabla 21 Selección de alternativa

Aspecto	Parámetro	Peso %	Alternativas		
			1	2	3
Técnico (40 %)	Vida útil	15	60	30	30
	Tiempo de implementación	10	0	30	30
	Complejidad de operación	5	20	10	20
	Disponibilidad de repuestos	10	40	20	20
Económico (40%)	Costo de inversión inicial	20	0	20	40
	Costo de operación y mantenimiento	20	80	40	40
Ambiental (20%)	Generación de residuos	10	40	20	40
	Generación de ruido	10	40	40	40
<b>TOTAL</b>		<b>100 %</b>	<b>280</b>	<b>210</b>	<b>260</b>

Fuente: (Fiquitiva, 2017)

Las 3 alternativas son indispensables para la optimización de la PTAP, pero las alternativas se van a implementar a través del tiempo de acuerdo a la que obtuvo el mayor puntaje en cuanto a los parámetros y aspectos evaluados por lo tanto se sugiere una implementación a corto, mediano y largo plazo. Por consiguiente, la alternativa 1 (Optimización de la zona de captación) se debe ejecutar a corto plazo (1 año), la alternativa 3 (Optimización del tanque de almacenamiento) se debe ejecutar a mediano plazo (5 años) y la alternativa 2 (Optimización del laboratorio de la PTAP) se debe ejecutar a largo plazo por parte de **A.S.U.A.V.** en conjunto con la alcaldía municipal para la optimización de la **PTAP** en el corregimiento de **J.M.H.** (Díaz W, Bogotá D.C., 2017. EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TENA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA) y (Cruz Rico, M. C., & Samacá Sanabria, L., 2019. Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá).

#### **4. CONCLUSIONES**

- ✓ El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua de la PTAP del corregimiento de J.M.H. presentó un IRCA con nivel de riesgo del 0% (resolución 2115 de 2017) es así, que no se hace necesario mejorar las condiciones de calidad del recurso hídrico, sin embargo, es indispensable continuar con el proceso de control y vigilancia.
- ✓ De acuerdo al diagnóstico realizado al sistema hidráulico y la infraestructura de la PTAP, es posible afirmar que se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento en los diferentes sistemas que lo componen.
- ✓ Dadas las condiciones del estado actual de la PTAP, se hace necesario implementar las tres alternativas para su correcta optimización.

#### **5. RECOMENDACIONES**

- ✓ Se deben realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos con mayor periodicidad con el fin de mantener un mayor control en cuanto a calidad del recurso hídrico para que de esta manera cumpla con los límites permisibles de la resolución 2115 de 2007.
- ✓ Implementar el kit de laboratorio portátil a largo plazo para de esta manera analizar los parámetros básicos que sugiere el IRCA, con cual se lograría conocer el estado actual de estos parámetros con mayor periodicidad e implementar el macromedidor a mediano plazo para de esta manera conocer la cantidad de recurso hídrico que está tratando la PTAP, con lo cual se lograría conocer si se presentan fugas, fallas o conexiones ilegales en la red de distribución.
- ✓ Ampliar la PTAP y el tanque de almacenamiento para de esta manera evitar impactos ambientales negativos hacia zonas aledañas, además para brindar un recurso hídrico de mayor calidad y en cantidad adecuada para los usuarios del acueducto A.S.U.A.V.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Fonseca A, Bogotá (2018). *Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la escuela de logística del ejército nacional.*
- ✓ Alcaldía de Pupiales (2017). *Plan de uso eficiente y ahorro de agua municipio de Pupiales.*
- ✓ Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC, Vol.17 N°1, 29-48.*
- ✓ Rodríguez S, Bogotá D.C., (2016). *Estudios y Diseños Planta de Potabilización de Agua Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia.*
- ✓ Rios A, Rodríguez A, Bogotá (2017). *DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE GUATAQUÍ CUNDINAMARCA.*
- ✓ Arboleda A, Ruiz B, Bogotá (2017). *DIAGNÓSTICO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE MESITAS DEL COLEGIO (CUNDINAMARCA).*
- ✓ Quiñones O, Montealegre E, Pitalito – Huila (2019). *Diagnóstico operacional de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en el área urbana y rural del municipio de Acevedo (Huila).*
- ✓ Pérez Z, Bogotá D.C. (2016). *DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GUATEQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ-COLOMBIA.*
- ✓ Jiménez B, López A, Bogotá D.C. (2016). *DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ANTONIO- ASOCIACION SUCUNETA.*
- ✓ Cáceres L, Martín M, Bogotá (2019). *Propuesta de mejoramiento a la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Nocaima, Cundinamarca.*
- ✓ Botero J, Gonzales E, Sánchez C, Bogotá D.C. (2017). *DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE REDES Y EVALUACIÓN TÉCNICOECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA.*

- ✓ Higuera M, Parra J, Bogotá D.C. (2018). *EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TOGÜÍ – BOYACÁ.*
- ✓ Ligardo A, Villavicencio, Meta (2019). *DIAGNOSTICO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, DESDE SU PUNTO DE CAPTACION HASTA LA RED DE DISTRIBUCION, EN EL MUNICIPIO DEL CASTILLO, DEPARTAMENTO DEL META.*
- ✓ Loaiza J, Villavicencio (2018). *DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) GUACAVÍA EN EL MUNICIPIO DE CUMARAL, DEPARTAMENTO DEL META.*
- ✓ Cruz Rico, M. C., & Samacá Sanabria, L. (2019). *Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá.*
- ✓ Resolución 2115, (2007). *Ministerio de la protección social, ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.*
- ✓ Resolución 0330, (2017). *Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.*
- ✓ Jiménez C, Sabogal M, Bogotá (2017). *DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE FÓMEQUE, (CUNDINAMARCA).*
- ✓ DANE, Proyección de población a nivel municipal. Periodo “2018-2035”)
- ✓ Castillo S, Malagón D, Bogotá D.C. (2020). *DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MUNICIPIO DE MELGAR.*
- ✓ Díaz W, Bogotá D.C. (2017). *EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TENA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.*
- ✓ Tejada, C., Villabona, Á., & Buelvas, B. (2013). *Diagnóstico y evaluación de una planta de tratamiento de agua potable: estudio de caso.*
- ✓ *Standard methods for the examination of water and wastewater, ed. 21st (año 2005) y ed. 22nd (año 2012).*

## 7. ANEXOS

### 7.1 Ecuaciones calculo poblacional y caudales

Anexo 1: Ecuaciones de población.

<b>Ecuación 1</b>		Referencia
Población año proyectado		Arboleda, A. Ruiz, B. Bogotá D.C., (2017). Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del Colegio (Cundinamarca).
$P \text{ año proy} = P \text{ ultimo censo} + r (T_{\text{proy}} - T_{\text{ult censo}})$		
P = población	T = tiempo en años	
R = tasa de crecimiento	Proy = población proyectada	
T proy = año proyectado	T ult = año último censo	
<b>Ecuación 2</b>		Referencia
Tasa de crecimiento promedio		Arboleda, A. Ruiz, B. Bogotá D.C., (2017). Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del Colegio (Cundinamarca).
$r_{\text{prom}} = \frac{r_1+r_2+\dots+r_n}{N}$		
$r_1+r_2+r_n =$ conjunto de datos	N = número de datos	
<b>Ecuación 3</b>		Referencia
Población año actual		Arboleda, A. Ruiz, B. Bogotá D.C., (2017). Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del Colegio (Cundinamarca).
$PT = P_{\text{actual}} + r_{\text{prom}} (T_{\text{act}} - T_{\text{ult censo}}) = N \text{ hab}$		
P = población	Pactual = población año actual	
R = tasa de crecimiento promedio	T = tiempo actual	
Tact = año actual	Tult censo = año último censo	

### 7.2 Plantilla calculo IRCA

Anexo 2: Plantilla calculo IRCA

	Referencia
PLANTILLA CALCULO DEL IRCA: Indice de riesgo de calidad de agua para consumo humano	Avántika, Colombia s.a.s., Barranquilla. PLANTILLA CALCULO DEL IRCA: Indice de riesgo de calidad de agua para consumo humano, (2020).