

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO  
PROVENIENTE DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO CARIONGO Y  
MONTEADENTRO Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL MUNICIPIO DE  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER**

**ANGIE ROCIO TORRES CASTELLANOS**



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

**2021**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO  
PROVENIENTE DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO CARIONGO Y  
MONTEADENTRO Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL MUNICIPIO DE  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER**

**ANGIE ROCIO TORRES CASTELLANOS**  
**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
MICROBIÓLOGA**

**ASESOR ACADEMICO**  
**CLAUDIA CLAVIJO OLMOS PhD.**

**ASESOR EMPRESARIAL**  
**ING LIZETH AMPARO LOPEZ**

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

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Pamplona, febrero 2021**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. OBJETIVOS .....	2
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. MARCO REFERENCIAL.....	4
3.1 ESTADO DEL ARTE .....	4
3.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	6
3.3 RESEÑA HISTÓRICA EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P .....	8
3.4 MARCO LEGAL .....	9
3.5 MARCO TEÓRICO.....	11
3.5.1 EL AGUA EN LA NATURALEZA.....	11
3.5.2 CICLO HIDROLÓGICO .....	12
3.5.3 CALIDAD DEL AGUA.....	12
3.5.4 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	13
3.5.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	13
3.5.6 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA.....	14
3.5.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA.....	19
3.5.8 RECIPIENTES PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	25
3.5.9 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .....	26
3.5.10 ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA) .....	35
4. METODOLOGÍA.....	38
4.1 LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	38
4.2 LOCALIZACIÓN DEL MUESTREO .....	40
4.3 TOMA DE MUESTRAS .....	40
4.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	41
4.4.1 PREPARACIÓN DE MEDIOS .....	41
4.4.2 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, <i>E. coli</i> Y AEROBIOS MESÓFILOS.....	42
4.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	43
4.5.1 DETERMINACIÓN DE pH.....	44
4.5.2 DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD.....	44

4.5.3 DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE .....	44
4.5.4 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD .....	44
4.5.5 DETERMINACIÓN DE COLOR .....	45
4.5.6 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.....	45
4.5.7 DETERMINACIÓN DE DUREZA .....	45
4.5.8 DETERMINACIÓN DE CLORUROS.....	45
4.6 DETERMINACIÓN DEL IRCA .....	46
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	47
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
6.1 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS.....	48
6.2 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS.....	52
6.2.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE MUESTRAS TOMADAS EN 18 PUNTOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN. ....	52
6.2.2 DETERMINACIÓN DE COLOR .....	52
6.2.3 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD .....	53
6.2.4 DETERMINACIÓN DE pH.....	54
6.2.5 DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA.....	56
6.2.6 DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL .....	56
6.2.7 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.....	58
6.2.8 DETERMINACIÓN DE DUREZA .....	59
6.2.9 DETERMINACIÓN DE CLORUROS.....	60
6.2.10 DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD.....	61
6.3 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE MUESTRAS DE AGUA TOMADAS EN LA PTAP .....	63
6.4 DETERMINACIÓN DEL INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA).....	64
7. CONCLUSIONES .....	66
8. RECOMENDACIONES .....	67
9. BIBLIOGRAFIA .....	68
10. ANEXOS .....	75

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Características microbiológicas del agua potable

**Tabla 2.** Características físicas del agua.

**Tabla 3.** Características químicas con efecto adverso en la salud humana.

**Tabla 4.** Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

**Tabla 5.** Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

**Tabla 6.** Puntaje de riesgo para la determinación del IRCA.

**Tabla 7.** Parámetros y procedimientos empleados para el análisis fisicoquímico.

**Tabla 8.** Resultado de los análisis microbiológicos realizados en 18 puntos de la red de distribución.

**Tabla 9.** Resultado de los análisis fisicoquímicos muestra PTAP (laboratorio)

**Tabla 10.** Resultados del Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA)

**Tabla 11.** Resultado promedio de los análisis fisicoquímicos realizados durante el mes de Octubre.

**Tabla 12.** Resultado promedio de los análisis fisicoquímicos realizados durante el mes de Noviembre.

**Tabla 13.** Resultado promedio de los análisis fisicoquímicos realizados durante el mes de Diciembre.

## **LISTA DE IMÁGENES**

**Imagen 1.** Localización general en Colombia y en Norte de Santander del municipio de Pamplona

**Imagen 2.** División política del municipio de Pamplona

**Imagen 3.** Esquema prestación servicio de acueducto

**Imagen 4.** PTAP Cariongo

**Imagen 5.** Estructura de captación quebrada El Rosal y Cariongo

**Imagen 6.** Desarenador El Rosal

**Imagen 7.** Desarenador El Rosal

**Imagen 8.** Planta de tratamiento de agua potable.

**Imagen 9.** Laboratorio de control de calidad Planta Cariongo

**Imagen 10.** Desarenadores El Mono y Potreritos.

**Imagen 11.** Medidor portátil de pH HACH HQ11D.

**Imagen 12.** Medidor portátil de conductividad HACH Sension 5.

**Imagen 13.** Fotómetro HACH DR300.

**Imagen 14.** Turbidímetro HACH 2100Q.

**Imagen 15.** Colorímetro HACH

## LISTA DE GRÁFICAS

**Gráfica 1.** Valores de color determinados en los puntos de muestreo de la red de distribución.

**Gráfica 2.** Variación de la turbiedad en los puntos muestreados.

**Gráfica 3.** Variación del pH en los puntos muestreados.

**Gráfica 4.** Variación de la temperatura en los puntos muestreados.

**Gráfica 5.** Variación del cloro residual en los puntos muestreados.

**Gráfica 6.** Variación de la alcalinidad en los puntos muestreados.

**Gráfica 7.** Variación de la dureza total en los puntos muestreados.

**Gráfica 8.** Variación de cloruros en los puntos muestreados.

**Gráfica 9.** Variación de la conductividad en los puntos muestreados.

**Gráfica 10.** Determinación de la calidad de muestras de agua del laboratorio de la PTAP.

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A.** Ubicación de los puntos de muestreo establecidos en la red de distribución del municipio de Pamplona.

**ANEXO B.** Determinación del IRCA por muestra e IRCA mensual.

**ANEXO C.** Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual.

**ANEXO D.** Equipos utilizados para los análisis fisicoquímicos.

**ANEXO E.** Resultado de los análisis fisicoquímicos realizados del mes de Octubre a Diciembre.

**ANEXO F.** Registro fotográfico de los resultados de los análisis microbiológicos realizados.

**ANEXO G.** Acta de concertación de los puntos de muestreo del acueducto administrado por la empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. 2020.

## INTRODUCCIÓN

El agua para consumo humano o agua potable es aquella que no contiene ningún tipo de microorganismo o sustancia, en una concentración que signifique un riesgo para la salud humana y cumple con los lineamientos establecidos por la autoridad encargada en cada país. Por lo anterior, el agua debe someterse a cambios significativos en su calidad física, química y microbiológica por medio de plantas de purificación con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano (Romero, 2005).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda llevar un seguimiento riguroso en torno a la calidad del agua, dado que éste constituye la principal clave para reducir los riesgos de enfermedades asociadas. Por esta razón, las instituciones de salud y entidades responsables del abastecimiento de agua, han ocupado la responsabilidad de establecer normas de calidad adecuadas, con el fin de generar una conciencia pública sobre los efectos adversos que tienen para la salud, la presencia de agentes patógenos, metales pesados, contaminantes orgánicos, entre otros.

El presente trabajo trata de la determinación de la calidad del agua suministrada a la población pamplonesa por medio de análisis tanto microbiológicos como fisicoquímicos y el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), con el fin de evaluar la eficiencia de las plantas de tratamiento Cariongo y Monteadentro, las cuales abastecen actualmente al municipio y de ésta manera, establecer si el estado en el que llega el agua a la comunidad cumple con lo señalado en la normatividad vigente (Decreto MPS 1575 del 2007, Resolución MPS 2115 del 2007).

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo humano proveniente de las plantas de tratamiento Cariongo y Monteadentro y la red de distribución del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer la calidad microbiológica del agua potable en los diferentes puntos de muestreo de la red de distribución.
- Verificar el estado fisicoquímico del agua potable en los diferentes puntos de la red de distribución.
- Calcular el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA).
- Comparar la calidad del agua teniendo como punto de cumplimiento la normatividad vigente.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El consumo de agua sin un tratamiento previo de potabilización causa en la humanidad el incremento de enfermedades intestinales debido a que los parámetros de la calidad del recurso hídrico no son permisibles en la mayoría de casos de agua cruda. La enfermedad diarreica aguda (EDA) sigue siendo un importante problema en salud pública, dado que constituye la segunda causa de morbimortalidad en niños menores de 5 años. Para el año 2020, se reportaron 884.545 casos de EDA en Colombia (Instituto Nacional de Salud, 2020). A nivel mundial, se calculan 2.000 muertes diarias por enfermedades diarreicas. La mayor parte, cerca de 1.800 muertes, están relacionadas con el agua, el saneamiento y la higiene (UNICEF, 2000). Por esta razón es de vital importancia controlar la presencia de contaminantes en el agua para consumo humano y reduciendo así la prevalencia de enfermedades no deseadas.

El municipio de Pamplona, cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable a cargo de la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P, la cual se encarga de la potabilización del agua para consumo humano y se rige bajo la normativa actual existente en el país correspondiente al Decreto MPS 1575 de 2007 y Resolución MPS 2115 de 2007, donde se establece que se debe cumplir una serie de requerimientos de calidad para el abastecimiento a toda la población.

Por lo anterior, se requiere evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cariongo y Monte dentro, con el fin de verificar el cumplimiento de la norma vigente, garantizando así la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua para proteger la salud pública, pues de lo contrario se pueden generar consecuencias negativas en el consumidor al estar expuesto al riesgo de enfermedades intestinales u otras enfermedades infecciosas.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1 ESTADO DEL ARTE

A nivel internacional, Prabin *et al.* (2012), evaluaron la calidad del agua potable suministrada por el sistema de distribución de Katmandú (Nepal), a partir de 114 muestras de agua de 4 estaciones de distribución. Se realizaron análisis fisicoquímicos y para evaluar la calidad microbiológica se realizó recuento en placa heterotrófica (HPC), detección de bacterias patógenas entéricas y prueba de susceptibilidad a antibióticos. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se observaron distintas variaciones. En el 61,4% de las muestras de agua se encontraron Coliformes totales de las cuales el 15,7% correspondió a *Escherichia coli*. En la prueba de susceptibilidad a antibióticos, la gentamicina y la ofloxacina fueron las más eficientes (100%) y la ampicilina fue la menos eficaz. Se encontró resistencia a múltiples antibióticos en el 5,3% de los aislamientos.

Vyas *et al.* (2015) determinaron las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua potable de Junagadh (India), para lo cual recolectaron 22 muestras en diferentes regiones de la ciudad y sus alrededores. Se realizó análisis de pH, conductividad, sólidos totales disueltos, cloruros y oxígeno disuelto encontrando diferencias en las mediciones de los diferentes puntos. La observación más notable de la investigación fue el nivel alarmantemente alto de sólidos disueltos totales ya que éste tiene efectos en la salud. En cuanto a los análisis microbiológicos realizados, *Escherichia coli* se encontró en uno de los puntos muestreados mientras que *Enterobacter* estuvo presente en la mayoría de las muestras de agua.

Mulamattathil *et al.* (2015), evaluaron la calidad del agua potable en Mafikeng, Sudáfrica mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Coliformes fecales (CF), Coliformes totales (CT), bacterias heterótrofas y *Pseudomonas spp.*).

Se monitorearon tres sitios de agua potable semanalmente durante 4 meses. Los resultados revelaron que la calidad fisicoquímica del agua era aceptable en general. El hallazgo más significativo del estudio es que todas las muestras de agua potable fueron positivas para *Pseudomonas* spp. (> 100/100 ml).

Shofiul *et al.* (2020) analizaron la calidad del agua suministrada por DWASA que constituye la única entidad legal que desarrolla y mantiene un sistema de abastecimiento de agua para la ciudad de Dhaka. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se analizaron mediante métodos estándar de la Asociación Estadounidense de Salud Pública (APHA). Este estudio reveló que en general, el estado de la calidad del agua potable de la ciudad de Dhaka es bueno.

A nivel nacional, Rodríguez *et al.* (2017) caracterizaron agua de consumo mediante un monitoreo de los indicadores microbiológicos y de diversas variables fisicoquímicas a los diferentes sistemas de provisión de agua, con el fin de diferenciar los sitios de muestreo de acuerdo a la influencia de la estacionalidad, el tipo de fuente y la correlación entre las variables microbiológicas y fisicoquímicas. Concluyeron que las fuentes sin tratamiento no cumplen con los requerimientos bacteriológicos establecidos, mientras la proveniente de fuentes con tratamiento presentó algunas desviaciones en épocas de lluvia. Este estudio permite poner en dicho, la importancia de reevaluar los sistemas de potabilización que deberían garantizar un servicio óptimo, así como la necesidad de desarrollar nuevas formas de tratar el agua.

Petro y Wees, (2013) evaluaron las características físicas, químicas y biológicas del agua para consumo en el municipio de Turbaco (Bolívar). Para el cumplimiento de sus objetivos llevaron a cabo una serie de actividades como reconocimiento de campo, ubicación de 9 puntos de muestreo y análisis de parámetros de calidad del agua basados en la Resolución MPS 2115 del 2007. Una vez realizadas estas actividades, encontraron que varios de los factores fisicoquímicos en los distintos puntos de muestreo sobrepasaban los valores límites permitidos. Dentro de sus

conclusiones, consideraron que el causante de este problema es la ausencia de cloro libre, dando lugar a la deficiencia del proceso de tratamiento.

### **3.2 RESEÑA HISTÓRICA**

A lo largo de la historia de la humanidad, el agua es el recurso natural vital para la existencia de vida en nuestro planeta y ha sido la base para el desarrollo de los pueblos en el mundo, ya que en torno al agua se originaron las primeras formas de sociedad, tal y como la concebimos hoy en día, es por ello que las poblaciones han almacenado y distribuido agua desde sus orígenes, empleando desde las técnicas más primitivas, hasta las infraestructuras y tecnologías más sofisticadas de la actualidad.

Desde los años 8000 a.C. los sumerios desviaban el curso de los ríos y construían embalses con canales de drenaje y sistemas de distribución de agua para riego agrícola y consumo. En Jericó, el agua era almacenada en los pozos para su posterior uso. Como el agua debía ser trasladada de los pozos a otros puntos donde era necesario su uso, se empezaron a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas; en Egipto, se utilizaban árboles huecos de palmera, mientras que en China y Japón, utilizaron cañas de bambú. En la antigüedad, los pozos fueron una de las formas de abastecimiento más usadas y en su mayoría eran de barro. Con el paso del tiempo los materiales utilizados en su construcción han ido evolucionando y se han utilizado materiales como arcilla, barro y ladrillos a lo largo de los Siglos. En Egipto, en el año 3000 a.C., se desarrollaron trabajos de extensión de redes, de diques, canales y sistema de drenaje. Se hizo necesario realizar trabajos de irrigación, para abastecer a todos los pobladores cercanos al río Nilo y desde los 2.000 a.C. hasta 400 a.C. las formas más comunes de purificación del agua eran hirviéndola sobre el fuego, calentándola al sol o sumergiendo una pieza de hierro caliente dentro de la misma, mientras que el almacenamiento del agua, se realizaba en recipientes

de plata. Para llevar a cabo la purificación del agua se utilizaban cobre, plata y técnicas de electrólisis. Otro de los métodos más comunes era el filtrado del agua hervida a través de arena o grava para luego dejarla enfriar. Los egipcios fueron los primeros en utilizar métodos para el tratamiento del agua. Para tal fin usaban el alumbre para lograr precipitar las partículas suspendidas en el agua, que hoy se emplea para el mismo fin, y aplicaban procesos de sedimentación y decantación (Peña *et al.*, 2017).

Hacia el año 312 a.C. Roma, capital del Imperio Romano, se abastecía de manantiales y pozos propios, y que al ser insuficientes en esa fecha por el gran crecimiento de la población, se construyó el primer acueducto Acqua Appia, bajo el mandato de Apio Claudio. En la antigua Grecia, para el siglo VI a.C. ya disponían de tecnología para la captación y distribución de agua a largas distancias (Lenntech, 2016).

En el año 1584 se construyó el primer acueducto en Colombia, en la ciudad de Bogotá y consistió en una conducción de aguas desde el río San Agustín hasta la plaza principal, mediante una cañería de cal, ladrillo y piedra que pasaba por una zona en la que existían arbustos de laurel, motivo por el cual se le llamó Acueducto o Cañería de Los Laureles (Loaiza, 2015).

El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. Más tarde, en 1855, aparece el diseño de filtros rápidos en Norteamérica, a los cuales se les llamó filtros mecánicos o americanos, en contraposición a los filtros ingleses, que eran lentos. Se construyó el primer filtro en la ciudad de Somerville por Smith Hyatt, quien obtiene la patente para un sistema de coagulación – filtración. El sistema no usaba aun sulfato de aluminio, sino coagulantes férricos, las cuales inyectaba antes de que el flujo entrara al filtro. Este sistema pasó por Bélgica, Alemania y Francia (Peña *et al.*, 2017).

En el Siglo XIX y XX, las ciudades de la mayoría de los países experimentaron un gran crecimiento, realizando el suministro de agua a la población por medio de fuentes superficiales y subterráneas, para luego ser distribuida por una red centralizada de acueducto. A raíz de todos los problemas de salud pública, inventos y desarrollos, la industria dedicada al tratamiento de aguas empezó a crecer y fortalecerse permitiéndose implementar otro tipo de procedimientos con tecnologías más avanzadas y eficientes como los monitores del agua y la incorporación de otras sustancias que podían ayudar como agentes descontaminantes. Otro tipo de elementos más avanzados han permitido el desarrollo de más investigaciones y ampliar los métodos de purificación del agua, siendo los más recientes avances el tratamiento del agua a partir del desarrollo de membranas para osmosis inversa, la ozonización, entre otras técnicas (Peña *et al.*, 2017).

### **3.3 RESEÑA HISTÓRICA EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P**

La Empresa de Servicios Públicos de Pamplona EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., fue creada mediante Escritura Pública N° 4-34 de 20 de diciembre de 1963, como “Acueductos y alcantarillados de Pamplona” como respuesta a una necesidad de la ciudad de tener un buen servicio de acueducto, manifestada en el paro cívico del año 1962 donde la comunidad exigió la desmembración de este servicio de ACUANORTE S.A.

El objeto de la sociedad es: “El estudio, proyecto, construcción y explotación del Acueducto y Alcantarillado de la Ciudad de Pamplona” En desarrollo de este objeto social la entidad contó con el concurso técnico y administrativo del Instituto Nacional del Fomento Municipal, por lo que las decisiones que se tomaran en esta materia para su validez deberían contar con la aprobación de este Instituto.

El 11 de julio de 1994, se expidió la ley 142 referente a los servicios públicos domiciliarios y en ella se consagró darles a las empresas organización de

compañías privadas. Así mismo, se estableció la elección de la junta directiva por parte de la Asamblea General de Accionistas y el nombramiento del Gerente en cabeza de la junta directiva. A través de la Escritura Pública N° 565 del 25 de agosto de 1995, se hizo el ajuste organizacional de la empresa a las normas de la ley precitada.

EMPOPAMPLONA S.A – E.S.P. es una empresa de servicios públicos, de economía mixta, dedicada a la producción y comercialización de agua potable, que presta además los servicios de alcantarillado y aseo, de acuerdo a lo dispuesto en la ley 142 y en los demás decretos y normas reglamentarias. Está enmarcada por las políticas emitidas por el Ministerio de Desarrollo vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos y regulada por la Comisión de Agua Potable y saneamiento Básico (CRA), buscando la eficiencia en la prestación de los servicios (Empopamplona, 2020).

### **3.4 MARCO LEGAL**

- ✓ **Decreto 1700 de 1989.** Emanado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), por el cual se crea la Comisión Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico.
  
- ✓ **Decreto 2105 de 1983.** Emanado por el Ministerio de Salud, por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a la potabilización del Agua.
  
- ✓ **Ley 373 de 1997:** Expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), por la cual se establece el programa para el uso eficiente de agua potable.

- ✓ **Decreto 475 de 1998.** Emanado por el Ministerio de Salud, por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.
- ✓ **NTC 4772:** Norma técnica Colombiana, que describe la metodología para detección y recuento de *Escherichia coli* y de bacterias Coliformes mediante filtración por membrana.
- ✓ **RAS 2000.** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección II Título C, el cual establecen las condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de potabilización del agua. Así mismo, orienta la planificación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento y el seguimiento de la operación de estos sistemas y sus componentes.
- ✓ **Resolución 1096 de 2000.** Expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico, por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento básico RAS.
- ✓ **Decreto MPS 1575 de 2007.** Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- ✓ **Resolución MPS 2115 de 2007.** Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- ✓ **Resolución 0811 de 2008.** Expedida por el MPS y el MAVDT, donde 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.

- ✓ **Resolución MAVDT 2320 de 2009.** Por medio de la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
  
- ✓ **Resolución MPS 000082 de 2009.** 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 MAVDT 1508 de 2010.** Establece el procedimiento para el recaudo de los recursos provenientes de las medidas adoptadas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico para promover el uso eficiente y ahorro del agua potable y desestimular su uso excesivo.

### **3.5 MARCO TEÓRICO**

#### **3.5.1 EL AGUA EN LA NATURALEZA**

El agua es el compuesto más abundante y más ampliamente distribuido en la naturaleza; cubre las  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie de la tierra. Se encuentra en forma: sólida, líquida y gaseosa. El 70% del cuerpo humano es agua y constituye el 83% de la sangre. Ayuda a digerir los alimentos ingeridos, transporta los residuos dentro del organismo, mantiene la temperatura corporal y ayuda a lubricar las articulaciones.

El uso de agua es muy amplio, pues en la vida diaria es indispensable como bebida, para preparar los alimentos, en la limpieza y en infinidad de actividades productivas (SENA y Ministerio de Desarrollo Económico, 1999).

### **3.5.2 CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico se define como el constante movimiento del agua desde la atmósfera hacia la tierra, pasando por los ecosistemas y por la corteza terrestre hacia los océanos, regresando posteriormente hacia la atmósfera (Grimm y Fassbender, 1981).

Martínez y Navarro (1996), lo definen también como el proceso donde el complejo sistema de circulación continua, a gran escala, asegura el bombeo, destilación y transporte del agua en todas sus formas. Este flujo se basa principalmente en procesos de evaporación y precipitación. Siendo, la radiación solar la energía que permite que este ocurra (Donoso, 1994).

### **3.5.3 CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables microbiológicas y fisicoquímicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. El agua de consumo inocua, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos. El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal (OMS, 2006).

El acceso al agua apta para el consumo humano es un derecho fundamental y una necesidad básica y esencial para la reducción de la pobreza. Se considera que el agua es de calidad cuando es segura para el consumo humano, es decir, cuando presenta ausencia de bacterias Coliformes totales y fecales, así como de minerales y metales pesados. La garantía de la inocuidad microbiana del

abastecimiento de agua de consumo, se basa en la aplicación desde la cuenca de captación al consumidor, de barreras múltiples para evitar la contaminación del agua de consumo o para reducirla a niveles que no sean perjudiciales para la salud. La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correcta de una serie de operaciones de tratamiento, y la gestión de los sistemas de distribución (por tuberías u otro tipo) para mantener y proteger la calidad del agua tratada (OMS, 2006).

#### **3.5.4 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA**

El control de la potabilidad y calidad del agua es sumamente importante teniendo en cuenta que ésta es un importante vehículo de transmisión de enfermedades por contaminación microbiológica producida por patógenos intestinales: bacterias, virus, protozoos, helmintos; o por contaminación fisicoquímica debido a la aparición de sustancias no deseables o que siendo elementos de la composición habitual del agua, superan la concentración máxima admisible (Rodríguez *et al.*, 2003). Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables físicas y químicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea específica sobre ella (Arango *et al.*, 2008).

#### **3.5.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

El agua para consumo humano proviene de dos tipos de fuentes: las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Las aguas superficiales son las que se encuentran sobre la superficie de la tierra como los ríos, lagos y lagunas, mientras que las aguas subterráneas se encuentran en el subsuelo por filtración y son el resultado del ciclo hidrológico. El agua proveniente de estas fuentes, debe ser tratada para el consumo humano o de otra manera, la población en general enfermaría. La contaminación del agua se define como la presencia de sustancias

u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que le impiden su utilización con propósitos determinados (Arellano, 2002).

### 3.5.6 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA

En el proceso de abastecimiento del agua, pueden surgir causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes como: las conexiones cruzadas, retrosifonaje, rotura de las tuberías, cámaras de bombeo, surtidores, reservorios de distribución, tendido de nuevas tuberías o reparaciones o mantenimiento irregular de estas instalaciones. El principal riesgo de contaminación del agua en la red de distribución es la contaminación con materia fecal por infiltraciones y debido a la presencia de sedimentos en el fondo de las tuberías que favorecen la colonización de microorganismos (Craun *et al.*, 2010).

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos en la Resolución MPS 2115 de 2007 y se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características microbiológicas del agua potable.

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

**Fuente:** Resolución MPS 2115, 2007.

El valor aceptable para *Giardia* es de cero (0) Quistes y para *Cryptosporidium* debe ser de cero (0) Ooquistes por volumen fijado según la metodología aplicada. Las técnicas y metodologías de análisis para estos microorganismos deben ser validadas por el Instituto Nacional de Salud (INS) o revalidadas por éste con base en documentos soporte de organismos internacionales que presenten los solicitantes (Resolución MPS 2115, 2007).

### **3.5.6.1 MICROORGANISMOS RECOMENDADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE**

#### **3.5.6.1.1 COLIFORMES TOTALES**

Las Coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo, los animales y los humanos. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004). La presencia de Coliformes sugiere fallas en la eficacia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución. La identificación de las cepas aisladas puede a veces dar una indicación sobre el origen (IDEAM, 2007).

#### **3.5.6.1.2 COLIFORMES FECALES**

Subgrupo de las bacterias del grupo Coliforme, presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Su origen es esencialmente fecal, tienen la capacidad de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas a ( $44,0 \pm 0,2$  °C) en 24 horas de incubación. Incluye a *Escherichia* y en menor grado las especies de los géneros *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; estas últimas tienen una importante función secundaria como indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales.

Indican la calidad del agua tratada y la posible presencia de contaminación fecal (OMS, 2004).

#### **3.5.6.1.2.1 *Escherichia coli***

Es una bacteria estrictamente intestinal, indicadora específica de contaminación fecal, se caracteriza por la producción de indol a partir de triptófano, oxidasa negativa, no hidroliza la urea y presenta actividad de las enzimas  $\beta$ -galactosidasa y  $\beta$ -glucuronidasa. Estudios efectuados han demostrado que está presente en las heces de humanos y animales de sangre caliente en concentraciones entre  $10^8$  y  $10^9$  unidades formadoras de colonias (UFC)/g de heces. *E. coli* es considerada un habitante normal de la microbiota intestinal de los seres humanos, sin embargo, puede estar asociada a diversas condiciones patológicas. Las diferentes cepas patógenas de *E. coli* muestran especificidad de huésped y poseen atributos de virulencia distintos. Cuando ocurren aumentos repentinos de la concentración de patógenos, aumenta de forma considerable el riesgo o se desencadenan brotes de enfermedades (Johnson y Nolan, 2009).

#### **3.5.6.1.3 MICROORGANISMOS HETERÓTROFOS**

Las bacterias heterótrofas abundan en el agua, incluidas el agua tratada y del grifo; poseen gran capacidad de adaptación, pueden tolerar condiciones adversas de suministro de oxígeno y permanecer más tiempo que otros microorganismos en el agua. Es un indicador de la carga total bacteriana, que favorece el recuento de bacterias viables a 37°C en 48 horas de incubación. Mediante este indicador se obtiene información útil que se estudia junto con el índice de Coliformes, para controlar un determinado proceso o para verificar la calidad del tratamiento, desinfección o descontaminación. Se ha comprobado que el conteo total de microorganismos heterótrofos es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección (PNUMA, 2007).

### **3.5.6.2 PARÁSITOS DE INTERÉS EN AGUA POTABLE**

#### **3.5.6.2.1 *Giardia***

Es un parásito protozoario patógeno de humanos y animales causante de enfermedad gastrointestinal, se localiza en el intestino delgado, la vía de transmisión es fecal-oral por consumo de agua y alimentos contaminados con quistes. Se han descrito varios genotipos (Botero y Restrepo, 2012), de los cuales, los que se asocian a infección en humanos principalmente son el A1, A2 y el B; en el caso de los animales se han asociado los genotipos C, D y E (Kohli *et al.*, 2008).

La Giardiasis es una infección del intestino delgado producida por el protozoo flagelado *Giardia duodenalis* (*syn. G. lamblia, G. intestinalis*). Este provoca dolor abdominal difuso, diarrea y alteración de la absorción de nutrientes debido a la inflamación de la mucosa del duodeno y el yeyuno. Este último signo de la infección se presenta principalmente en los casos crónicos. En los niños la infección crónica causa retraso en el crecimiento, ganancia de peso y capacidades cognitivas (Mohammed *et al.*, 2008).

#### **3.5.6.2.2 *Cryptosporidium***

Es un parásito protozoario de la subclase *Coccidia* que se localiza a nivel intracelular en el intestino delgado de humanos y animales. La especie patógena exclusivamente de humanos es *Cryptosporidium hominis* (anteriormente *C. parvum* genotipo 1), la especie reportada tanto en humanos como en varios animales es *C. parvum* (genotipo 2). Sin embargo, hay otras especies propias de animales (mamíferos, reptiles, aves y peces) que pueden afectar a humanos (Xiao *et al.*, 2004).

La infección comienza vía oral, con la ingestión de ooquistes de *Cryptosporidium* a través del consumo de agua o alimentos contaminados. Una vez el parásito alcanza el intestino del huésped, este se reproduce asexualmente, formando los merozitos. Estas formas parasitarias llevan a cabo

la reproducción sexual del ciclo de vida en los enterocitos, dando origen a los zigotes y posteriormente los ooquistes. Estos últimos son expulsados por medio de la materia fecal contaminando el agua (Botero y Restrepo, 2012).

La Criptosporidiosis es una infección causada por los parásitos protozoarios del género *Cryptosporidium*. Afecta el intestino delgado de animales y el ser humano, principalmente el yeyuno. El periodo de incubación es de aproximadamente 7 días. En los seres humanos, la criptosporidiosis provoca diarrea acuosa severa incluso con fiebre, deshidratación, dolor abdominal, náuseas y vómito; en casos crónicos, se presenta mala absorción nutricional lo que desencadena a desnutrición (Botero y Restrepo, 2012)

### **3.5.6.3 FILTRACIÓN POR MEMBRANA**

La técnica de filtración por membrana se basa en un mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de una membrana, microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro (0.45  $\mu\text{m}$ ); esto gracias a una bomba eléctrica que ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua, logrando así que esta se filtre. Los contaminantes de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o se quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego esta es llevada a un medio de enriquecimiento selectivo, donde a través de un intercambio metabólico y una incubación, evidencian el crecimiento de microorganismos y Unidades Formadoras de Colonias (APHA- AWWA-WPCF, 2000).

### **3.5.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA**

#### **3.5.7.1 OLOR Y SABOR**

El olor y sabor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido. El olor se reconoce como factor de calidad que afecta la aceptabilidad del agua potable y puede deberse a la presencia de compuestos químicos tales como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materia orgánica en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas, hongos u otros organismos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en bajas concentraciones (APHA, 1992).

#### **3.5.7.2 TEMPERATURA**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia tanto en el desarrollo de la vida acuática como en las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud para ciertos usos. La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (APHA, 1992).

#### **3.5.7.3 COLOR**

El color en el agua es generalmente ocasionado por la extracción de la materia colorante derivado de hojas, semillas y otras sustancias similares en forma de humos desde los bosques o de la materia vegetal de los pantanos y áreas de poca profundidad. Algunas veces es causado por la presencia de coloidales del hierro o magnesio combinado con materia orgánica y descargas de desechos industriales (Vargas y Arias, 2018).

#### **3.5.7.4 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)**

El pH es una de las medidas más importantes y su determinación es la prueba más usada en química de aguas. La mayoría de las fases del tratamiento del agua de consumo y de las aguas de desecho, por ejemplo neutralización ácido-base, precipitación, coagulación, desinfección, control de corrosión y ablandamiento de aguas, son dependientes del pH. A una temperatura dada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución es indicada por el pH o actividad del ion hidrógeno (Bueno *et al.*, 2014).

Según la Resolución MPS 2115 del 22 de junio de 2007, los límites admisibles de pH en agua potable son de 6.5 a 9.0 unidades.

#### **3.5.7.5 CONDUCTIVIDAD**

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, su concentración total, la movilidad, la valencia, las concentraciones relativas y la temperatura de medición. La medida física realizada en el laboratorio en la determinación de conductividad corresponde a la conductancia  $G$  (S), definida como el recíproco de la resistencia  $R$  (ohm) (Casas, 2011).

#### **3.5.7.6 TURBIEDAD**

La turbiedad es la expresión de la propiedad óptica de una solución que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad en el agua es causada por la materia suspendida como arcilla, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, sedimentos arrastrados por el agua, plancton y microorganismos (Cortés y Mora, 2015). En la tabla 2 se presentan las características físicas del agua potable y los límites máximos permitidos según la Resolución MPS 2115 de 2007.

**Tabla 2.** Características físicas del agua.

<b>Características físicas</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
Conductividad	Microsiemens/cm	1000

**Fuente:** Resolución MPS 2115, 2007.

### **3.5.7.7 ALCALINIDAD**

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos. Esta es la suma de todas las bases titulables. El valor de la medida puede variar significativamente con el indicador usado para determinar el punto final. La alcalinidad depende de la presencia de carbonatos, bicarbonatos, hidroxilos, boratos, fosfatos, silicatos y otras bases que puedan estar presentes (Casas, 2011).

### **3.5.7.8 DUREZA TOTAL**

La dureza es una propiedad de las aguas que se manifiesta por su capacidad para precipitar el jabón. El jabón es precipitado principalmente por los iones de calcio y magnesio presentes en la muestra. Sin embargo, otros cationes polivalentes también precipitan el jabón pero aparecen en formas complejas principalmente como compuestos orgánicos y por ello su acción en aguas duras es mínima. En consecuencia, basados en la práctica, la dureza total es definida como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio presentes, expresadas como miligramos de carbonato de calcio en un 1 litro de agua (Neira, 2006).

La dureza puede estar en un rango de cero a varios cientos de mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  dependiendo del origen y del tratamiento al cual haya sido sometida el agua. El ácido etilendiaminotetraacético y su sal sódica EDTA forman un quelato soluble cuando se adicionan a una solución de ciertos cationes metálicos (Neira, 2006).

### **3.5.7.9 CLORUROS**

El cloruro es uno de los aniones inorgánicos que se encuentra en mayor concentración en aguas de consumo y aguas de desecho. En agua potable el sabor salino producido por la presencia de cloruros es variable y depende de la composición química del agua. Algunas aguas contienen 250 mg Cl/L y pueden tener un sabor salino detectable si el principal catión que le acompaña es el sodio. Un alto contenido de cloruros en las aguas puede dañar estructuras y tuberías metálicas, así como afectar el crecimiento de la flora (Valle, 2012).

### **3.5.7.10 CLORO LIBRE**

El cloro es un producto químico relativamente barato y ampliamente disponible que, cuando se disuelve en agua limpia en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los organismos causantes de enfermedades, sin poner en peligro a sus consumidores. Sin embargo, el cloro se consume a medida que los organismos se destruyen. Si se añade suficiente cloro, quedará un poco en el agua luego de que se eliminen todos los organismos; esto es lo que se conoce como cloro libre. El cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación (OMS, 2009).

El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L (Resolución MPS 2115, 2007).

En la Tabla 3 se presentan las características químicas del agua con efecto adverso en la salud humana. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada uno de los elementos, compuestos

químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas señalados en la misma.

**Tabla 3.** Características Químicas con efecto adverso en la salud humana.

<b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias.</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Antimonio	Sb	0.02
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.7
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN	0.05
Cobre	Cu	1.0
Cromo total	Cr	0.05
Mercurio	Hg	0.001
Níquel	Ni	0.02
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Trihalometanos Totales	THMs	0.2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0.01

**Fuente:** Resolución MPS 2115, 2007.

En la Tabla 4 se presentan las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.

**Tabla 4.** Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

<b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones en la salud humana.</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Carbono orgánico Total	COT	5.0
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.1
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10
Fluoruros	F <sup>-</sup>	1.0

**Fuente:** Resolución MPS 2115, 2007.

En la Tabla 5 se muestran las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud.

**Tabla 5.** Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

<b>Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Calcio	Ca	60
Alcalinidad total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0.2
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro total	Fe	0.3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0.1
Molibdeno	Mo	0.07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.5

**Fuente:** Resolución MPS 2115,2007.

## **3.5.8 RECIPIENTES PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

### **3.5.8.1 RECIPIENTES PARA PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS**

Los recipientes más usados para la toma de muestras para determinaciones microbiológicas 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 una cubierta de tela, 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 fin de poder tomar muestras de 250 ml y dejar un espacio vacío que facilite la supervivencia de los microorganismos aerobios (Casas, 2011).

#### **3.5.8.1.1 RECIPIENTES DE VIDRIO**

Los frascos de vidrio deben ser de borosilicato u otro vidrio neutro, provistos de tapa rosca hecha de metal o plástico. Las tapas de metal deben ser forradas con un protector no tóxico que evite el contacto directo entre el metal y la muestra.

La ventaja de los vidrios borosilicatados o vidrios Pyrex es que son más resistentes que otros vidrios al choque térmico, es decir, resisten variaciones rápidas de temperatura sin rajarse (Casas, 2011).

#### **3.5.8.1.2 RECIPIENTES DE PLÁSTICO**

Se recomiendan de polipropileno o policarbonato. Tienen la ventaja de ser livianos y resistentes. El polietileno no es aconsejable porque no resiste bien el proceso de esterilización en el autoclave. Tanto la botella como la tapa deben ser del mismo plástico ya que pueden ocurrir deformaciones después de la esterilización, por diferentes coeficientes de expansión a baja temperatura (Casas, 2011).

### **3.5.8.2 RECIPIENTES PARA PRUEBAS FISICOQUÍMICAS**

Los recipientes más usados para pruebas físicas y químicas son de vidrio y plástico. Estos frascos deben tener una capacidad mínima de un litro y tapa rosca que dé seguridad en el cierre (Casas, 2011).

#### **3.5.8.2.1 RECIPIENTES DE VIDRIO**

El vidrio debe ser neutro, pues las paredes de los recipientes de este material pueden absorber o adsorber los constituyentes que se deban determinar; por ejemplo, las trazas de metales (Casas, 2011).

#### **3.5.8.2.2 RECIPIENTES DE PLÁSTICO**

Los recipientes de plástico deben ser de polietileno, policarbonato o teflón si se requiere. El uso de botellas de plástico es recomendado para la toma de muestras a las que se les va a determinar sustancias inorgánicas cuyos analitos sean menores a los constituyentes del vidrio. Los recipientes de plástico opacos también sirven para reducir las actividades fotosensibles en algunos componentes de la muestra (Casas, 2011).

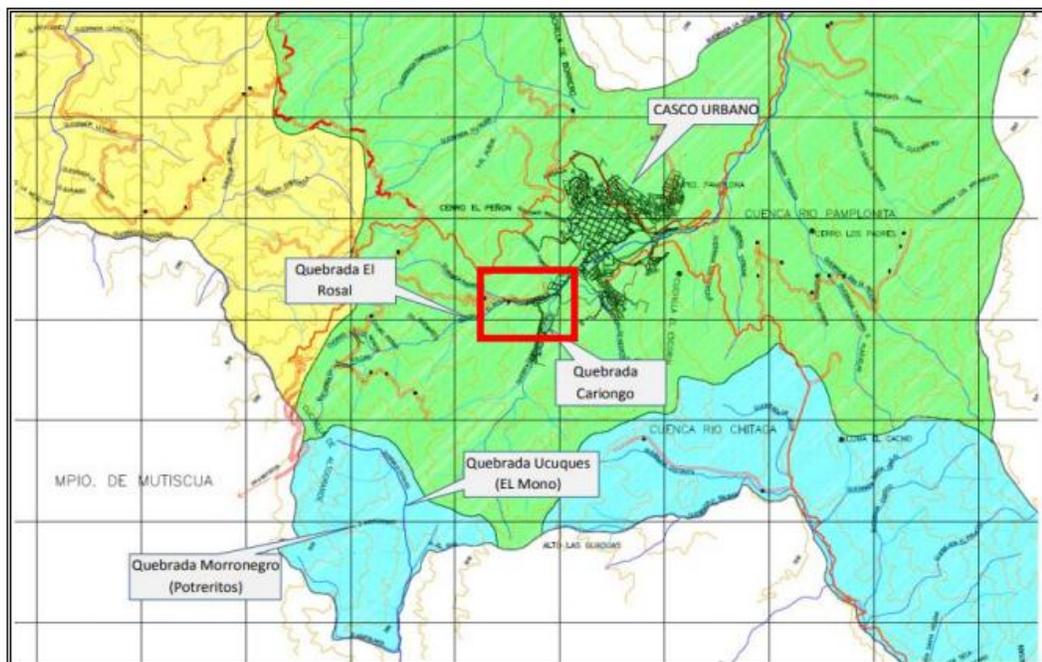
### **3.5.9 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas (Salamanca, 2014). Los procesos que se aplican están determinados por el origen del agua, la calidad inicial y las restricciones que se imponen para su uso final que, generalmente, están establecidas por la normatividad (Jiménez, 2001).

El sistema de acueducto del municipio de Pamplona es abastecido por dos sistemas los cuales corresponden a la planta de tratamiento de agua potable

(PTAP) Cariongo y la planta de tratamiento Monteadentro. Cada una de ellas, capta el líquido a tratar de dos quebradas diferentes, las cuales corresponden a la Quebrada Cariongo y Quebrada Rosal para el caso de la PTAP Cariongo, mientras que las fuentes de captación de la PTAP Monteadentro corresponden a las quebradas El Mono y Potreritos.

El sistema de abastecimiento del municipio de Pamplona se compone de la siguiente manera:



**Imagen 3.** Esquema prestación servicio de acueducto  
**Fuente:** Empopamplona S.A E.S.P.- SSPD, 2019

### 3.5.9.1 PLANTA DE TRATAMIENTO CARIONGO

La Planta de Tratamiento Cariongo de la Empresa de Servicios Públicos, EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., está ubicada en el Barrio Cariongo, al sur de la ciudad, en el sector conocido como Los Tanques (Parque Recreacional), a una altura de 2430 m.s.n.m. Cuenta con una vía de acceso principal que comunica la parte céntrica del municipio con el sur del municipio. Fue puesta en marcha en el

año de 1945, con una capacidad de 120 litros/segundo y el tratamiento utilizado en ésta es de tipo convencional de funcionamiento hidráulico (SSPD, 2019).

En el año de 1985 fue optimizada, implementando una nueva sección de floculación, la sedimentación existente se dividió en dos secciones e instalaron placas paralelas para mejorar la clarificación del agua, permitiendo ampliar la capacidad de tratamiento a 200 litros/segundo. El tratamiento utilizado en esta planta es de tipo convencional de funcionamiento hidráulico (Empopamplona 2014)



**Imagen 4. PTAP Cariongo**  
**Fuente:** Empopamplona, 2020

### **3.5.9.1.1 CAPTACIÓN**

La Planta Cariongo se abastece de dos fuentes superficiales denominadas Quebrada Cariongo y Quebrada El Rosal. Las captaciones son rejillas de fondo ubicadas en los cuerpos de agua mencionados (SSPD, 2019), como se puede observar en la Imagen 5.



**Imagen 5.** Estructura de captación Quebrada El Rosal y Cariongo  
**Fuente:** Registro fotográfico SSPD – visita febrero de 2019

#### **3.5.9.1.2 ADUCCIÓN**

El agua captada de la Quebrada Cariongo se conduce en un canal abierto construido en concreto mientras que para la captación de la Quebrada El Rosal, el agua cruda es transportada mediante una tubería de asbesto (SSPD, 2019).

#### **3.5.9.1.3 DESARENACIÓN**

En las Imágenes 6 y 7 se muestra la estructura de los desarenadores ubicados en la planta de tratamiento Cariongo.



**Imagen 6. Desarenador El Rosal**  
**Fuente:** Autor



**Imagen 7. Desarenador El Rosal**  
**Fuente:** SSPD, 2019

Cada una de las captaciones cuenta con un desarenador, construido en concreto de forma rectangular con cuatro zonas definidas: zona de quietamiento, zona de sedimentación, zona de lodos, y zona de salida (SSPD, 2019).

#### **3.5.9.1.4 MEZCLA RÁPIDA Y COAGULACIÓN**

La mezcla rápida y coagulación se lleva a cabo en la Canaleta Parshall, la cual consiste en un canal estructurado entre secciones. El coagulante utilizado es el policloruro de aluminio (PAC), el cual, cuando se ha mezclado y coagulado provoca que las partículas difíciles de sedimentar empiecen a adherirse y aglutinarse dando lugar a la formación de flocs.

La medición de caudales se realiza por medio de la Canaleta Parshall, la cual permite calcular el caudal según la altura de la lámina de agua y en cuanto a la dosificación de químicos, se agrega a todo el caudal la cantidad exacta de PAC con la cual se busca producir la desestabilización y aglutinación de los sólidos en suspensión del agua (SSPD, 2019).

#### **3.5.9.1.5 FLOCULACIÓN**

La planta Cariongo cuenta con dos secciones de floculación hidráulica de flujo vertical, las cuales están compuestas por cámaras floculadoras colocadas en serie con una pantalla deflectora en cada cámara. El flujo entra por el fondo y sale por encima de la pantalla (SSPD, 2019).

#### **3.5.9.1.5 SEDIMENTACIÓN**

La planta cuenta con dos sedimentadores rectangulares de tipo convencional y láminas de placas paralelas de asbesto-cemento (SSPD, 2019).

#### **3.5.9.1.6 FILTRACIÓN**

La planta cuenta con dos estructuras de filtros rápidos por gravedad con medio filtrante de antracita, arena y grava. El agua conducida a cada filtro se hace pasar a través de un lecho mixto de antracita y arena, soportados por un lecho de grava de diferentes tamaños. El falso fondo es tipo briquetas de asbesto-cemento, con orificios de ½ pulgada. Las carreras de filtración suelen ser de 72 horas al igual que el tiempo entre cada lavado, estipulado por el cronograma de mantenimientos. En esta etapa se detienen las partículas que no fueron retenidas en etapas anteriores y contribuye a la eliminación de olores, bacterias y virus (SSPD, 2019).

#### **3.5.9.1.7 DESINFECCIÓN**

El proceso de desinfección se lleva a cabo mediante la aplicación de cloro gaseoso donde se utilizan cilindros con una capacidad de 1.000 kilogramos. Los desinfectantes aplicados no sólo deben matar a los microorganismos sino que deben además tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua (SSPD, 2019).

### 3.5.9.1.8 ALMACENAMIENTO

Para el almacenamiento del agua potable, la planta cuenta con tanques en dos compartimentos que están contruidos en concreto y su capacidad para el abastecimiento es de 25% del consumo diario cada seis horas (SSPD, 2019).

En la imagen 8 se presentan los principales elementos y estructuras empleadas en el tratamiento del agua potable en la planta Cariongo.



**Imagen 8.** Planta de tratamiento de agua potable.  
**Fuente:** Autor.- SSPD, visita febrero de 2019.

### 3.5.9.1.9 CONTROL DE CALIDAD

Para garantizar que el tratamiento se ha realizado de manera correcta, en el laboratorio de la planta se realizan los análisis microbiológicos para la determinación de Coliformes totales, Coliformes fecales y aerobios mesófilos así como los análisis fisicoquímicos correspondientes a color, turbiedad, pH, cloro, alcalinidad, dureza y cloruros.



**Imagen 9.** Laboratorio de Control de Calidad Planta Cariongo.  
**Fuente:** Autor

### 3.5.9.2 PLANTA DE TRATAMIENTO MONTEADENTRO

La planta de tratamiento Monteadentro comenzó a operar a partir de 2004. El modelo de planta, se conoce con el nombre de planta integral, porque en un espacio reducido tiene todos los procesos unitarios normales de las demás plantas llamadas convencionales (SSPD, 2019).

### 5.9.2.1 CAPTACIÓN

La planta Monteadentro se abastece de dos quebradas, que son El Mono y Potreritos cada una de las quebradas con una bocatoma o rejilla de fondo que extrae la cantidad de agua necesaria para su tratamiento (SSPD, 2019).

### 3.5.9.2.2 TRATAMIENTO

La planta Monteadentro en cada captación presenta un desarenador, construido en concreto de forma rectangular con cuatro zonas definidas. La aducción para las dos captaciones es en policloruro de vinilo (PVC) y en el sitio conocido como El Boquerón las dos aducciones se unen para continuar en una sola tubería hasta la planta de tratamiento. Debido al recorrido y a la altura, posee varias cámaras de quiebre para disminuir la presión con que llega a la planta (SSPD, 2019).

En la imagen 10 se muestran los desarenadores correspondientes a cada una de las captaciones de la planta de tratamiento Monteadentro.



**Imagen 10.** Desarenadores El mono y Potreritos.  
**Fuente:** Registro fotográfico SSPD – visita febrero de 2019

La planta está diseñada para una capacidad de abastecimiento de 80 litros por segundo, pero se trata en promedio entre 50 y 60 litros por segundo. El aforo se realiza por medio de una unidad que permite medir la cantidad de agua que se va

a tratar en forma precisa. Lleva una reglilla graduada en el canal en la cual se puede leer directamente el caudal que está llegando y adicionalmente posee un medidor de caudal electrónico el cual en forma automática indica el caudal que está llegando en litros por segundo. Por medio de los resaltos hidráulicos se provoca la mezcla de los reactivos con el agua.

La dosificación de químicos se ajusta dependiendo de los resultados de las pruebas de jarras, medición del color y del caudal que llegue. Se efectúa mediante un equipo electrónico. La unidad floculadora está compuesta por seis cámaras para mezcla lenta del agua y de los químicos, permite mediante niveles de agitación controlados la formación de flóculos (SSPD, 2019).

La unidad de sedimentación permite la separación rápida de los lodos formados en el floculador. Cuenta con tolvas para recolección de lodos con válvulas para la limpieza rápida de lodos decantados.

La filtración se realiza por medio de cuatro unidades de filtros diseñadas para operar con un caudal de 20 litros por segundo. Con ciclos de operación de 19 a 24 horas. Estas unidades se lavan mediante un proceso hidráulico automático sin necesidad de operador. Una vez terminado el lavado se reinicia el proceso de filtración. El proceso de desinfección se efectúa en un pequeño tanque de concreto, al cual llega el agua filtrada y cae la solución de cloro, permitiendo la desinfección del agua. (SSPD, 2019).

### **3.5.10 ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA)**

El IRCA corresponde al grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. Este indicador es el resultado del puntaje de riesgo asignado en la Resolución MPS 2115 de 2007.

Para el cálculo del IRCA, se asigna el puntaje de riesgo a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la Resolución MPS 2115 de 2007. 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 MPS 2115 de 2007 y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

La tabla 6 muestra el puntaje de riesgo asignado a cada característica para la determinación del IRCA.

**Tabla 6.** Puntaje de riesgo para la determinación del IRCA.

<b>Característica</b>	<b>Puntaje de riesgo</b>
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
<i>Escherichia coli</i>	25
<b>Sumatoria de puntajes asignados</b>	<b>100</b>

Fuente: Resolución MPS 2115, 2007.

Si los resultados de los elementos, compuestos químicos, mezclas de compuestos químicos y otras sustancias contemplados en los artículos 5 y 8 de la Resolución MPS 2115 de 2007 exceden los valores máximos aceptables, el valor asignado al IRCA será de 100 puntos independientemente de los demás resultados. De igual forma, se asignará el valor de 100 puntos si hay presencia de *Giardia* y *Cryptosporidium*.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

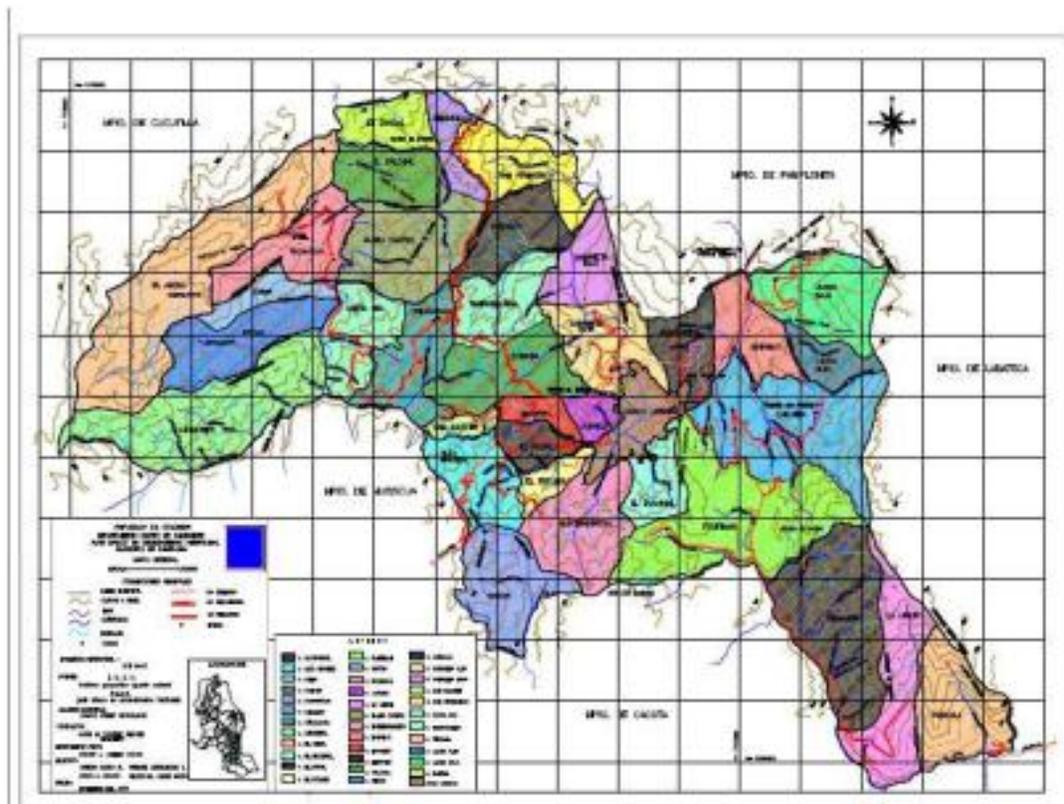
Pamplona se encuentra ubicado sobre la cordillera central al Nororiente de Colombia y es uno de los 40 municipios del Departamento Norte de Santander. Pertenece a la Región Sur-Occidente del Departamento junto con los municipios de Pamplonita, Chitagá, Silos, Cácuta y Mutiscua y su localización geográfica es de 07° 22' 41" de latitud Norte y 72° 39' 09" de longitud Oeste. En la imagen 11 se presenta la localización general del municipio en el Departamento de Norte de Santander y en Colombia.



**Imagen 11.** Localización del municipio de Pamplona en el Departamento Norte de Santander y en Colombia.

**Fuente:** Alcaldía de Pamplona, 2002

El municipio de Pamplona está compuesto por 2 corregimientos y 30 veredas las cuales son: Cariongo, Alto Grande, Caima, Alizal, Santa Ana, El Rosal, Ulagá, Fontobón, Monte dentro, El Zarzal, Navarro, San Agustín, Chínchipa, Chilagaula, Peñas, Cúnuba, Tampaqueba, Iscaligua, Cimitarigua, García, Chíchira, Jurado, Escorial, Sabaneta, El Palchal, Llano Castro, Tencalá, San Francisco, Sabagúa, Alcaparral. Pamplona limita al Norte con Pamplonita y Cucutilla, al Sur con los Municipios de Cácula y Mutiscua, al Oriente con Labateca y al Occidente con Cucutilla. En la imagen 12 se presenta el mapa político del municipio de Pamplona con sus veredas y límites.



**Imagen 2.** División política del municipio de Pamplona

**Fuente:** Alcaldía de Pamplona, 2002

## **4.2 LOCALIZACIÓN DEL MUESTREO**

La Resolución 0811 de 2008 de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial definen los lineamientos a partir de los cuales la Autoridad Sanitaria y las Personas Prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución. Establece que son los funcionarios de las Personas Prestadoras y de las Autoridades Sanitarias los responsables de la selección de los puntos de muestreo, dando la orientación para los lugares y sitios de toma de muestra así como el número mínimo de puntos de muestreo de acuerdo con la población atendida por Persona Prestadora por municipio (Resolución MPS, MAVDT 0811, 2008). Los puntos de muestreo establecidos en la red de distribución para el municipio de Pamplona con su respectiva ubicación se encuentran consignados en el anexo A.

## **4.3 TOMA DE MUESTRAS**

La toma de muestras de agua potable se realizó en 18 puntos de la red de distribución y en el laboratorio de la planta de tratamiento de la siguiente manera: Los puntos 0001, 0002, 0004, 0005, 0008, 0009, 0010, 0012, 0016, 0017, 0018, 0019, 0021 y 0022 corresponden a los puntos de muestreo del mes de Octubre. En el mes de Noviembre, las muestras se tomaron en los puntos 0001, 0002, 0004, 0005, 0007, 0008, 0010, 0011, 0012, 0016, 0017, 0018 0019, 0021 y 0022 y en el mes de Diciembre se muestrearon los puntos 0001, 0002, 0003, 0004, 0005, 0006, 0009, 0010, 0011, 0012, 0016, 0019, 0021 y 0022.

Las muestras de los puntos 0001, 0004 y el laboratorio se tomaron diariamente debido a que los dos primeros corresponden a los tanques de salida de la planta

Cariongo y el agua de uno de los grifos del laboratorio proviene de la Planta de tratamiento Monteadentro.

#### **4.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS**

Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo por medio de la metodología de filtración por membrana teniendo en cuenta que en la Resolución MPS 2115 de 2007 se recomienda dicha técnica para la determinación de las características microbiológicas de agua potable.

##### **4.4.1 PREPARACIÓN DE MEDIOS**

###### **4.4.1.1 CHROMOCULT**

###### **4.4.1.1.1 FUNDAMENTO**

El agar para Coliformes Chromocult es un medio de cultivo cromógeno diferencial para el análisis microbiológico de muestras de agua. En un plazo de 24 horas este medio permite la detección, la diferenciación y la enumeración simultáneas de *E. coli* y bacterias Coliformes del agua potable. El recuento de Coliformes se basa en la capacidad de la  $\beta$ -D-galactosidasa, una enzima que es característica de las bacterias Coliformes, para escindir el sustrato Salmon-GAL. La reacción produce colonias de Coliformes de color rojo asalmonado. El recuento de *E. coli* se basa en la escisión de los sustratos X-glucurónido por la  $\beta$ -D-glucuronidasa y Salmon-GAL por la  $\beta$ -D-galactosidasa, una combinación enzimática que es característica de *E. coli*. Cuando *E. coli* está presente se escinden los dos sustratos, lo que da lugar a colonias que adquieren un color entre azul oscuro y violeta. Las bacterias no coliformes aparecen como colonias incoloras o, con baja frecuencia, de color turquesa (Merck, 2010).

#### **4.4.1.1.2 PREPARACIÓN**

Para la preparación del medio Chromocult se pesó 5,3 gramos del medio de cultivo y se agregaron en 200 ml de agua destilada, se calentó hasta ebullición con agitación constante hasta que no se observaron grumos. Seguidamente se dejó enfriar a una temperatura de 45°C y se vertió en cajas de Petri dejando solidificar (Merck, 2010).

#### **4.4.1.2 STANDARD PLATE COUNT (SPC)**

##### **4.4.1.2.1 FUNDAMENTO**

El Standard Plate Count (SPC) es un medio de cultivo para el recuento de aerobios mesófilos. Este medio está diseñado para permitir el desarrollo satisfactorio de bacterias aerobias no exigentes, ya que el extracto de levadura, la tripteína y la glucosa proporcionan los nutrientes necesarios para el buen desarrollo microbiano (Camacho, 2009).

##### **4.4.1.2.2 PREPARACIÓN**

Para la preparación del medio SPC se pesó 4,5 gramos del medio de cultivo, se vertió en 200 ml de agua destilada y se autoclavó a 121°C durante 15 minutos. Después se dejó enfriar a una temperatura de 45°C y se vertió la solución en cajas de Petri dejando solidificar a temperatura ambiente (Merck, 2010).

#### **4.4.2 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, *E. coli* Y AEROBIOS MESÓFILOS**

Se colocó el portafiltro estéril sobre la base del equipo. Posteriormente y con la ayuda de unas pinzas estériles se colocó el filtro de celulosa estéril con la parte cuadrículada hacia arriba. Se colocó el embudo previamente esterilizado, se adicionó 100 ml de la muestra de agua y se aplicó vacío mediante la bomba conectada al equipo. Seguido a la filtración, se retiró el embudo, se tomó el filtro con las pinzas estériles y se inoculó en una caja de Petri con medio de cultivo

Chromocult para determinación de Coliformes totales y *Escherichia coli* y en medio SPC para determinación de aerobios mesófilos. Se llevó a incubación por 24 horas a una temperatura de 37°C y pasado el tiempo de incubación se leyeron el número de colonias resultantes (NTC 4772, 2008).

#### 4.5 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Para determinar las características fisicoquímicas del agua potable en la red de distribución se realizaron análisis de color, turbiedad, pH, conductividad, cloro residual, alcalinidad, dureza y cloruros basados en los métodos estándar para el análisis de aguas.

Los parámetros y referencias de los procedimientos realizados se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Parámetros y procedimientos empleados para el análisis fisicoquímico.

PARÁMETRO	PROCEDIMIENTO (REFERENCIA)
Alcalinidad total	Método volumétrico, SM 2320 B
Cloro residual	Método colorimétrico con fotómetro Hach DR300, SM 4500-CI G
Cloruros	ASTM D 512-89
Color aparente	Método espectrofotométrico, SM 2120-C
Conductividad	Método electrométrico, SM 2510 B.
Dureza total	Método volumétrico con EDTA, SM 2340 C
pH	Método Electrométrico, SM 4500-H +B
Turbiedad	Método nefelométrico, con turbidímetro HACH 2100Q, SM 2130 B

**Fuente:** Autor

#### **4.5.1 DETERMINACIÓN DE pH**

La determinación de pH se realizó con un medidor de pH HACH HQ11D. Para tal fin se encendió el equipo permitiendo la estabilización de la lectura. El electrodo fue lavado con agua destilada y se secó con una toalla de papel. Luego se introdujo en la muestra permitiendo la estabilización de la lectura para ser registrada (APHA, 2005).

#### **4.5.2 DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD**

La determinación de la conductividad se realizó con el medidor de conductividad Hach Sension 5. Para esto, se encendió el equipo permitiendo la estabilización de la lectura. Se lavó el electrodo con agua destilada, se secó con una toalla de papel y se introdujo en la muestra permitiendo la estabilización de la lectura para registrarla junto con la temperatura (APHA, 2005).

#### **4.5.3 DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE**

Para la determinación de cloro libre se utilizó un fotómetro Hach DR300. En una celda limpia, se adicionó muestra, se tapó, se purgó y se desechó el contenido. Enseguida, se adicionó 10 ml de muestra en la celda, se agregó el contenido de un sobre de reactivo DPD, se tapó y se mezcló. Pasado un minuto, la muestra se colocó en el portacelda, se colocó la tapa del equipo y se realizó la lectura (APHA, 2005).

#### **4.5.4 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD**

La determinación de turbiedad se realizó con un turbidímetro Hach 2100Q. En una celda limpia, se adicionó muestra, se tapó, se purgó y se desechó el contenido. A continuación, se adicionó muestra en la celda hasta la marca, se tapó y se secó con una toalla de papel. Finalmente la muestra se colocó en el portacelda, se tapó y se realizó la lectura (APHA, 2005).

#### **4.5.5 DETERMINACIÓN DE COLOR**

Para la determinación de color se llenó una celda limpia con la solución de blanco hasta la marca de 10 ml y otra celda de igual manera con la muestra a analizar. Después se ubicó el blanco en el compartimento de la celda, se colocó la tapa del equipo, se realizó la lectura del blanco y a continuación la de la muestra (APHA, 2005).

#### **4.5.6 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD**

Para determinar la alcalinidad se tomó 100 ml de muestra a temperatura ambiente en un Erlenmeyer y se le agregó 2 gotas de verde de Bromocresol. Consecutivamente, se tituló con ácido sulfúrico al 0.02 N hasta observar el viraje de azul a amarillo pálido (APHA, 2005).

#### **4.5.7 DETERMINACIÓN DE DUREZA**

Para la determinación de la dureza se tomó 100 ml de muestra en un Erlenmeyer a temperatura ambiente y se adicionó una pequeña cantidad del indicador negro de eriocromo. Inmediatamente, se adicionó 1 ml de amoníaco y se tituló con EDTA al 0.01 M hasta observar un viraje a color violeta a azul (APHA, 2005).

#### **4.5.8 DETERMINACIÓN DE CLORUROS**

Para determinar la concentración de cloruros en el agua se tomó 20 ml de muestra, se adicionó 2 gotas de Cromato de potasio y se tituló con Nitrato de Plata al 0.01 N hasta observar el cambio de color de amarillo a naranja pálido (ASTM, 1989).

#### **4.6 DETERMINACIÓN DEL IRCA**

El índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano se determinó a partir de los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos realizados a partir de muestras tomadas en los puntos concertados de la red de distribución.

El artículo 15 de la Resolución MPS 2115 de 2007, establece la clasificación del nivel de riesgo teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra y del IRCA mensual, así como las acciones que deben ejecutarse (Anexo C).

## 5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Mes	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero					
		Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Inducción																							
Revisión bibliográfica																							
Planteamiento del proyecto																							
Toma de muestras																							
Preparación de material																							
Preparación de medios de cultivo																							
Análisis microbiológicos																							
Análisis fisicoquímicos																							
Redacción del trabajo de grado																							
Corrección del informe final																							
Entrega del trabajo y sustentación																							

Fuente: Autor

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S.P estableció 22 puntos de muestreo en la red de distribución del municipio, de los cuales 18 fueron analizados durante la práctica empresarial con el fin de establecer la calidad del agua que consume la comunidad de Pamplona realizando muestreos periódicamente según lo exigido en la Resolución MPS 2115 de 2007.

### 6.1 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

La empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. actualmente suministra agua potable a 15.587 usuarios. La Resolución MPS 2115 de 2007 en su artículo 21 establece las frecuencias y el número de muestras de control de la calidad física y química del agua para consumo humano que debe ejercer la persona prestadora en la red de distribución de acuerdo a la población atendida. En cumplimiento a estos requisitos se realizaron análisis microbiológicos de Coliformes totales, *E. coli* y Aerobios Mesófilos en diferentes puntos de la red de distribución los cuales arrojaron resultados de 0 UFC/ml demostrando total inocuidad microbiológica en todos los puntos analizados, lo que evidencia el buen funcionamiento de cada uno de los procesos que se llevan a cabo dentro la PTAP.

En agua potable se busca que la presencia de microorganismos, especialmente *E. coli* y Coliformes totales sean nulas, ya que suponen un riesgo inminente para los suscriptores del sistema de acueducto. Los resultados mostrados en la tabla 8 para los análisis de Coliformes totales y *Escherichia coli* indican que el tratamiento es adecuado y en el caso contrario, podría revelar una reproblicación y posible formación de biopelículas, o bien contaminación por la entrada de materias extrañas en los sistemas de distribución (Sueiro *et al.*, 2001).

Un aumento del recuento de aerobios mesófilos en los sistemas de distribución puede indicar un deterioro de la limpieza y el posible desarrollo de biopelículas.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de aerobios mesófilos se puede establecer que el proceso de desinfección en la PTAP es efectivo y que los sistemas de distribución se encuentran limpios y en buen estado. Es importante que los puntos de muestreo seleccionados para monitorear la calidad del agua en los municipios permanezcan limpios y sin daños puesto que las condiciones en las que se encuentren a la hora de tomar las muestras también influirán en los resultados.

La eficacia tanto en la desinfección como en las etapas anteriores durante el tratamiento, son indispensables para alcanzar los resultados obtenidos ya que se demostró que el agua suministrada por toda la red de distribución del municipio de Pamplona se encuentra en óptimas condiciones para el consumo, cumpliendo con lo establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007, donde se expone que el recuento de Coliformes totales y *E. coli* en agua de consumo humano debe ser de 0 UFC/100 ml, y para aerobios mesófilos no debe superar los 100 UFC/100 ml. El registro fotográfico de los resultados de los análisis microbiológicos realizados en los puntos de la red de distribución se muestra en el anexo F.

Las plantas de tratamiento Cariongo y Monte dentro llevan a cabo excelentes procesos de potabilización entregando un agua viablemente potable y apta para el consumo humano a la población pamplonesa pero es necesario recordarle a los usuarios que tal y como se establece en el Decreto MPS 1575 de 2007, es su responsabilidad mantener en condiciones sanitarias adecuadas las instalaciones de distribución y almacenamiento de agua para consumo humano a nivel intradomiciliario con el fin de preservar la calidad del agua suministrada y de esta manera, ayudar a evitar problemas de salud pública. Las autoridades sanitarias departamentales y municipales así como las personas prestadoras que suministran agua para consumo humano y las autoridades ambientales, dentro de sus campañas de educación sanitaria y ambiental, deben divulgar ampliamente entre la población las obligaciones que tienen como usuario así como las

orientaciones para preservar la calidad del agua para consumo humano y hacer buen uso de ella al interior de la vivienda (Decreto MPS 1575, 2007).

Al comparar los resultados promedio obtenidos en este estudio con los reportados por otros investigadores se pueden establecer diferencias en cuanto a la calidad del agua respecto a otros municipios del país. En Turbaco, Bolívar, las muestras de agua potable en los puntos escogidos del municipio para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos revelaron que existe un déficit en la calidad microbiológica de esta, asociada a parámetros fisicoquímicos como el cloro residual, ya que dicho parámetro no cumple con los valores mínimos que exige la Resolución MPS 2115 del 2007 (Petro y Wees, 2013).

En un estudio realizado en la Peña, Atlántico, se determinó que los niveles de Coliformes totales y Coliformes fecales en todos los muestreos realizados sobrepasaron el nivel máximo permisible, incluyendo la fuente abastecedora y por lo tanto los niveles de riesgo, de acuerdo a lo establecido con el cálculo del IRCA por muestra arrojó un nivel de riesgo equivalente al 65 % del riesgo acumulado, siendo agua no apta para consumo humano (Goenaga y Martínez, 2017).

Jimenez, (2011) reportó en su estudio que en Pereira, la calidad microbiológica del agua se veía afectada por la baja concentración de cloro residual en el proceso de desinfección, logrando con ello una proliferación de microorganismos.

A nivel internacional, Chauhan *et al.*, (2017) determinaron que en Delhi, India, todas las muestras de agua analizadas estaban contaminadas con organismos Coliformes en un rango de 14 a >1600 UFC/100 ml de muestra. De 36 muestras de agua, la presencia de *E. coli* fue del 61%, *Salmonella* 25%, *S. aureus* 14% y *P. aeruginosa* 53%. La cantidad de bacterias Coliformes y la presencia de algunas bacterias patógenas comunes sugirieron que la calidad del agua no está dentro del estándar indio ni las pautas de la OMS establecidas para la calidad del agua potable.

**Tabla 8.** Resultado de los análisis microbiológicos realizados en 18 puntos de la red de distribución.

<b>Análisis</b>		<b>Coliformes totales</b>	<b><i>Escherichia coli</i></b>	<b>Aerobios mesófilos</b>
<b>Método</b>		Filtración por membrana	Filtración por membrana	Filtración por membrana
<b>Medio de cultivo</b>		Chromocult	Chromocult	SPC
<b>Tº de incubación</b>		37°C /24 horas	37°C /24 horas	37°C /24 hora
<b>Valor máximo aceptable</b>		0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	100 UFC/100 ml
<b>Normativa</b>		Resolución MPS 2115 de 2007		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>0001</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0002</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0003</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0004</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0005</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0006</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0007</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0008</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0009</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0010</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0011</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0012</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0016</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0017</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0018</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0019</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0021</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
	<b>0022</b>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml

**Fuente:** Autor

## **6.2 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

### **6.2.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE MUESTRAS TOMADAS EN 18 PUNTOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

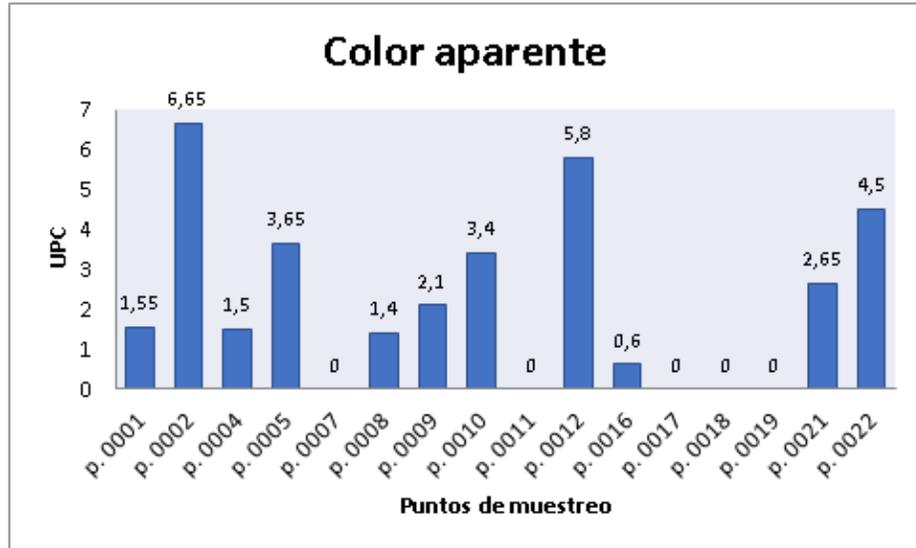
Los análisis fisicoquímicos realizados en el laboratorio de la empresa corresponden a color, turbiedad, pH, temperatura, cloro residual, alcalinidad, dureza, cloruros y conductividad. Los resultados de los análisis fisicoquímicos de los meses Octubre a Diciembre de 2020 se muestran en el anexo E y los valores mostrados corresponden a los promedios mensuales para cada parámetro en los 18 puntos muestreados en la red de distribución. Las gráficas 1 a 9 representan los resultados de la medición de los parámetros fisicoquímicos en 18 puntos de la red de distribución. Los valores mostrados corresponden a promedios trimestrales de dichos parámetros.

### **6.2.2 DETERMINACIÓN DE COLOR**

La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción (Kiely, 2003). En la gráfica 1 se puede observar que para los meses de octubre a diciembre de 2020, los promedios de color aparente se encontraron entre 0 y 6.65 UPC, valor comprendido dentro del límite permitido para aguas potables en la Resolución MPS 2115 de 2007 que corresponde a 15 UPC.

En la tabla 11 se puede observar que el mes de octubre mostró valores de color superiores a otros meses. Este aumento de color pudo ser ocasionado a la temporada de lluvias.

**Gráfica 1.** Valores de color determinados en los puntos de muestreo de la red de distribución.

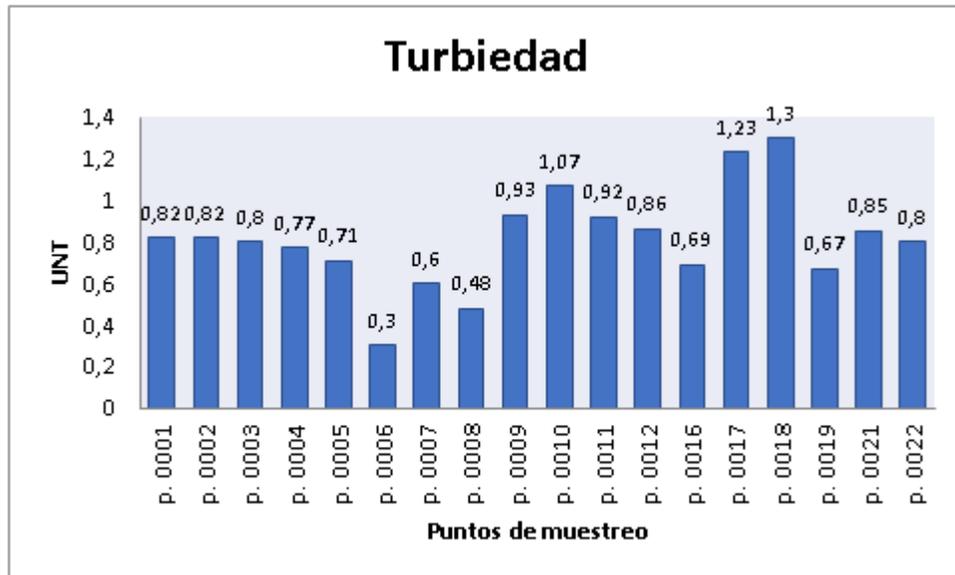


**Fuente:** Autor

### 6.2.3 DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD

La turbiedad es un aspecto referente a la aceptabilidad del agua de consumo y puede estar ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión como arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos, entre otros (Romero, 2005). Según los resultados obtenidos y como se puede apreciar en la gráfica 2, la turbiedad en el agua para consumo en los diferentes puntos de la red de distribución de Pamplona no supera el valor de 2 UNT establecido como valor máximo aceptable para este parámetro en la Resolución MPS 2115 de 2007. La mayor turbidez se presentó en el punto 0017 con un promedio de 1,3 UNT y la menor fue registrada en el punto 0006 con un valor de 0,3 UNT.

**Gráfica 2.** Variación de la turbiedad en los puntos muestreados.



**Fuente:** Autor

Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja para que el tratamiento sea eficaz dado que elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. Así, la presencia de turbiedad en el agua representa un riesgo microbiológico para el ser humano (OMS, 2017).

La turbiedad también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación, sedimentación y en la filtración (OMS, 2006).

#### **6.2.4 DETERMINACIÓN DE pH**

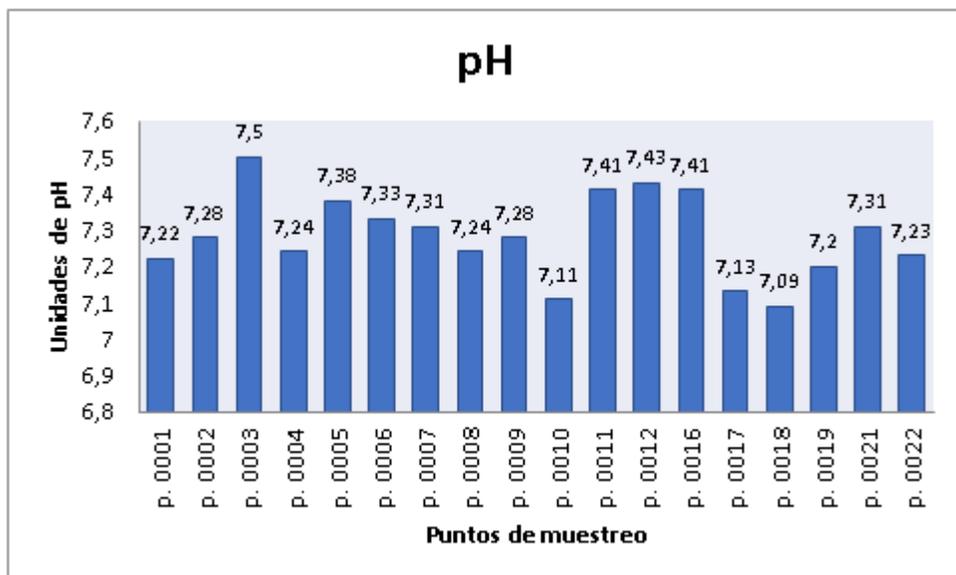
El pH es un importante parámetro operativo de la calidad del agua. Las aguas demasiado ácidas disuelven metales como el plomo, el cobre y el zinc, empleados en las conducciones, los cuales al ser ingeridos, afectan negativamente la salud.

Según Galvín (2003), para las aguas de consumo humano, los valores extremos pueden causar irritación en las mucosas, irritación en órganos internos y hasta procesos de ulceración.

De acuerdo a los resultados mostrados en la gráfica 3, el rango de pH para las muestras del acueducto del municipio de Pamplona en 18 puntos de la red de distribución estuvo comprendido entre 7,09 y 7,5 siendo el punto 0018 el de menor pH y el punto 0003 el del valor más alto. Esto indica que se encuentran dentro del rango exigido en la Resolución MPS 2115 de 2007, donde se establece que el valor para el potencial de hidrógeno del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0. Las aguas con un pH bajo pueden incrementar la corrosión de los tubos de acero; además, el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección y el control de la corrosión.

El rango de pH obtenido a partir del análisis de muestras en la red de distribución favorece el proceso de coagulación con policloruro de aluminio, ya que el pH óptimo de funcionamiento de éste se encuentra entre 5.0 y 9.0 unidades (Cogollo y Rhenals, 2003).

**Gráfica 3.** Variación del pH en los puntos muestreados.

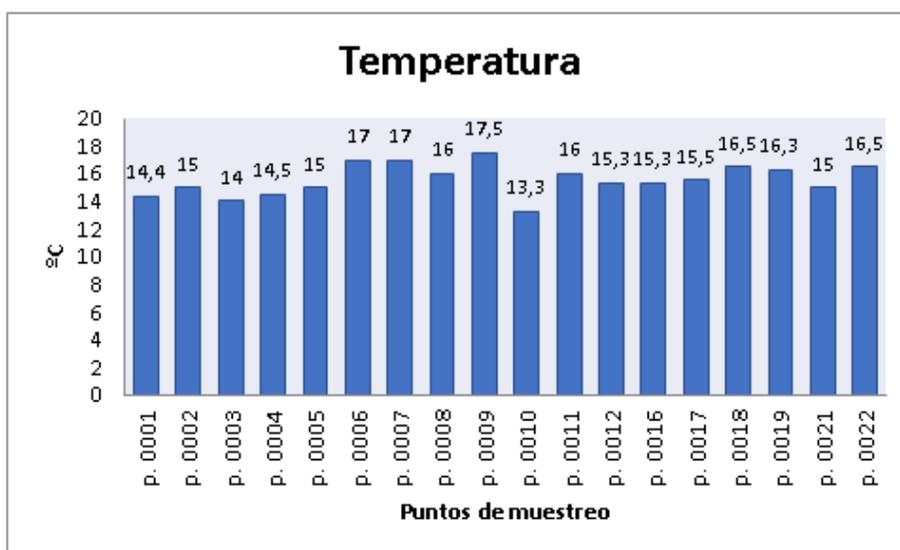


Fuente: Autor

## 6.2.5 DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA

La temperatura osciló entre los 13,3°C y 17,5°C. La determinación de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento del agua como la coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

**Gráfica 4.** Variación de la temperatura en los puntos muestreados.



Fuente: Autor

## 6.2.6 DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL

La concentración de cloro en agua potable es uno de los parámetros más importantes ya que es el que ejerce la acción desinfectante evitando gran cantidad de enfermedades en la población. En la gráfica 5 se puede observar que en promedio, los valores de cloro residual para cada punto de muestreo estuvieron dentro de los límites permitidos. La norma establece que el cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. Esto garantiza que el desinfectante ha eliminado la mayor cantidad de organismos peligrosos para la salud.

El punto 0017 mostró la menor concentración de cloro residual correspondiente a 0,5 mg Cl<sub>2</sub>/L. Esto se debe a que al reaccionar con diversos componentes presentes en el agua, con el tiempo disminuye su concentración y además, este punto corresponde al final de la red de distribución, siendo uno de los más alejados.

**Gráfica 5.** Variación del cloro residual en los puntos muestreados.



**Fuente:** Autor

El valor máximo de cloro registrado en la red de distribución corresponde al punto 0003 con una concentración de 2 mg Cl<sub>2</sub>/L. El uso de cloro como desinfectante es un método muy utilizado en todo el mundo para la potabilización de agua, esto se debe a su bajo costo y relativa facilidad de manejo y tiempo residual, sin embargo, en la actualidad se ha comprobado la generación de subproductos nocivos para la salud (Espinosa y González, 2009).

Es necesario tener en cuenta que si se excede la concentración establecida en la normatividad vigente, existe la posibilidad de que al reaccionar con materia orgánica incremente la formación de trihalometanos (THMs). Este riesgo potencial de formación de THMs se ve afectado por los cambios de temperatura, pH, la

fuelle y la concentración del precursor, la dosis de cloro y los niveles de yoduro y bromuro, así como el tiempo de reacción (Romero, 2005).

### 6.2.7 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD

La determinación de la alcalinidad no tiene importancia directa desde el punto de vista sanitario, pero es importante considerarla cuando se relaciona con los procesos de coagulación y corrección del poder corrosivo del agua. Aguas con alta alcalinidad son usualmente de mal sabor, por lo que son rechazadas para el consumo humano (Cava y Ramos, 2016).

Según lo establecido en la normatividad, el valor de alcalinidad no debe superar los 200 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ . Como se observa en la gráfica 6, los valores de alcalinidad total estuvieron comprendidos entre los 22 y 32,2 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  por lo cual todas las muestras de la red de distribución cumplen con lo establecido para éste parámetro.

**Gráfica 6.** Variación de la alcalinidad en los puntos muestreados.



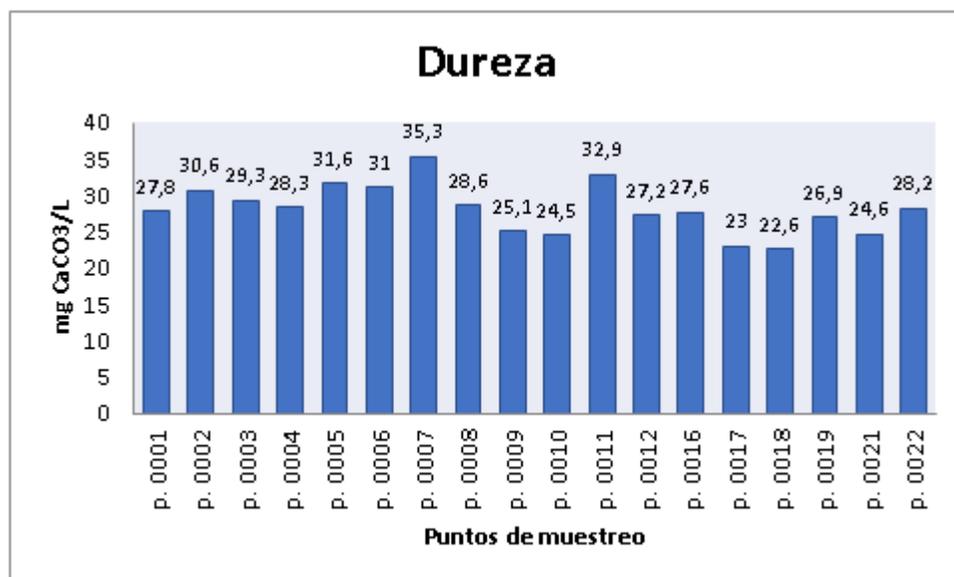
Fuente: Autor

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua (Barrenechea, 2000).

## 6.2.8 DETERMINACIÓN DE DUREZA

En la gráfica 7 se puede observar que todos los valores de dureza en el agua obtenidos en los diferentes puntos de la red de distribución se encuentran en un rango de 22,6 – 35,3 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  y por lo tanto pueden clasificarse como aguas blandas según lo establecido por la OMS. Los valores obtenidos son aceptables para la dureza total, según lo establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007 donde el valor máximo aceptable es de 300 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  para el agua de consumo.

**Gráfica 7.** Variación de la dureza total en los puntos muestreados.



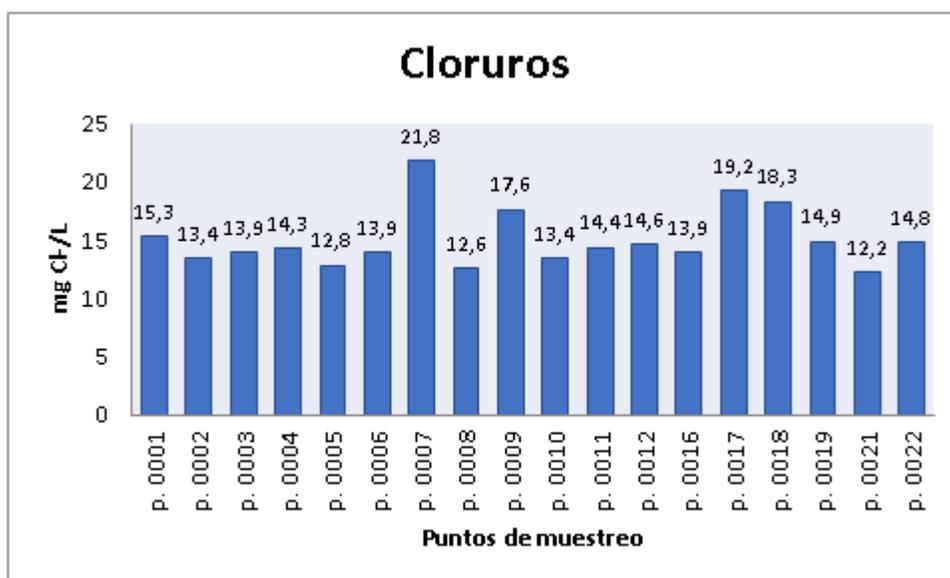
Fuente: Autor

Desde el punto de vista sanitario, la dureza del agua no tiene ninguna relación con la salud, sin embargo, el agua muy dura o muy blanda reporta un sabor desagradable. Es esencial un mínimo contenido de minerales, de los cuales, las sales de calcio y magnesio son las más importantes, para que el agua tenga un sabor agradable y refrescante para el consumidor. Este tipo de aguas bien controladas presenta ventajas, como el ahorro de detergentes, ahorros de energía, máximo rendimiento de los electrodomésticos, eficiencia en sistemas de tuberías y reducción de las manchas de cal en vajillas, cubiertos y sanitarios (Neira, 2006).

### 6.2.9 DETERMINACIÓN DE CLORUROS

La gráfica 8 muestra la concentración de cloruros en el agua en la cual se encuentra dentro del límite establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007 correspondiente a 250 mg de Cl<sup>-</sup>/L. Los cloruros hallados en el agua se encuentran en muy bajas concentraciones con un valor mínimo de 12,2 mg de Cl<sup>-</sup> /L y un máximo de 21,8 mg de Cl<sup>-</sup>/L.

**Gráfica 8.** Variación de cloruros en los puntos muestreados.



Fuente: Autor

El ion cloruro es necesario en la dieta diaria ya que es importante en la salud de los riñones, el sistema nervioso y la nutrición. Sin embargo, si el ion sodio asociado al ion cloruro como cloruro de sodio (NaCl) llega a causar problemas de salud a personas que sufren enfermedad del corazón o riñones, también se ha considerado que la formación de cálculos está relacionada con la salinidad y dureza del agua por la combinación de sales y calcio (OMS, 1996).

Cuando el ion cloruro se encuentra en exceso en el agua, afecta el crecimiento vegetal, puede dañar estructuras metálicas y conducciones, además limita el uso del agua en actividades industriales y alimenticias (Panno *et al.*, 2006).

### 6.2.10 DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD

La conductividad se define como la capacidad que tiene una sustancia de transportar electrones en el agua, esta capacidad se ve influenciada por la cantidad de sales disueltas y la temperatura. La gráfica 9 presenta el valor de conductividad para las muestras analizadas.

**Gráfica 9.** Variación de la conductividad en los puntos muestreados.



Fuente: Autor

La Resolución MPS 2115 de 2007 establece un valor máximo aceptable para la conductividad de hasta 1000 microsiemens/cm. Se puede observar que el valor medido de conductividad para todas las muestras de la red de distribución está por debajo del valor máximo permisible y los valores oscilan entre 33,8  $\mu\text{s/cm}$  y 65  $\mu\text{s/cm}$ .

Los resultados físicoquímicos mostrados en este estudio difieren con los reportados por otros investigadores donde al menos un parámetro se encontró por fuera de los rangos establecidos en la Resolución MPS 2115 de 2007 o según la normativa de su país en el caso de estudios internacionales. Petro y Wees, (2013) en su estudio establecieron que la presencia de altas concentraciones de dureza, conductividad y cloruros arrojados en algunas estaciones de muestreo evidencian que parte de la población de Turbaco, Bolívar está consumiendo agua que no es procedente de un tratamiento de potabilización adecuada.

En Perú, en el Distrito de Yarinacocha, los análisis físicoquímicos mostraron que los parámetros evaluados no se encuentran dentro de los valores para considerarla como apta para el consumo humano por no contar con cloro residual libre de acuerdo a lo establecido en el artículo 63º del reglamento de la calidad de agua para consumo humano de este país (Gonzales, 2018).

En el estudio de Trujillo *et al.*, (2008), el agua evaluada cumple con las leyes mexicanas para consumo humano; pero simultáneamente es evidente que existen parámetros que ellos no consideran relevantes para la determinación de calidad de agua, como lo es el color de la misma.

Bolaños, (2013) realizó una investigación en Costa Rica que contó con la participación de varias municipalidades y la asociación de acueductos rurales ASADAS, donde se evidenció que parámetros como el pH no cumplen con lo recomendado en la normativa de su país que corresponde a un rango de 6,5 a 8,5 unidades.

### 6.3 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE MUESTRAS DE AGUA TOMADAS EN LA PTAP

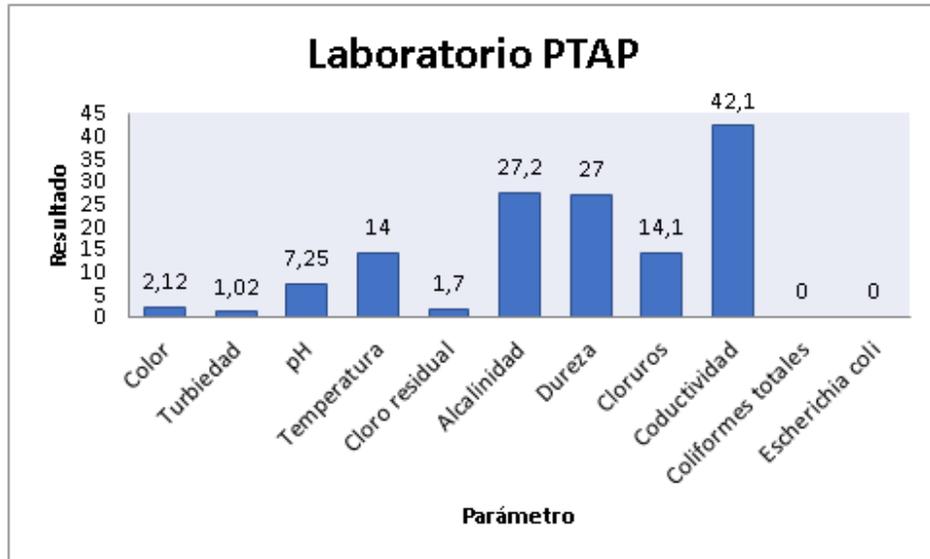
En la tabla 9 se presentan los resultados de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos realizados a muestras puntuales de agua de la PTAP Monteadentro tomadas en el laboratorio durante los meses octubre a diciembre de 2020. Las muestras analizadas cumplen con los parámetros establecidos en la Resolución MPS 2115 de 2007.

**Tabla 9.** Resultado de los análisis fisicoquímicos muestra PTAP (laboratorio)

Parámetro	Octubre	Noviembre	Diciembre
Color (UPC)	0,97	3,27	-
Turbiedad (NTU)	1,1	1,27	0,71
pH	7,25	7,19	7,32
Temperatura (°C)	15	14	13,2
Cloro residual (mg Cl <sub>2</sub> /L)	1,6	1,64	1,89
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	30,2	24,8	26,8
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	26,94	27,0	27,13
Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	15,41	15,7	11,28
Conductividad (μS/cm)	44,42	35,83	46,16
Coliformes totales	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml
Aerobios mesófilos	0 UFC/ml	0 UFC/ml	0 UFC/ml

**Fuente:** Autor

**Gráfica 10.** Determinación de la calidad de muestras de agua del laboratorio de la PTAP.



**Fuente:** Autor

#### **6.4 DETERMINACIÓN DEL INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA)**

El IRCA es un instrumento definido para garantizar la calidad del agua para consumo humano en Colombia, de modo que su aplicación es fundamental para asegurar la salud pública en los municipios y poblaciones del país. A partir de los resultados obtenidos en los análisis tanto microbiológicos como fisicoquímicos se determinó el %IRCA por muestra e %IRCA mensual. Los datos y las fórmulas utilizadas para su cálculo se muestran en el anexo B.

La tabla 10 presenta los resultados del IRCA mensual de octubre a diciembre donde se puede evidenciar que el % IRCA estuvo comprendido entre 0,90% y 3,17% con un porcentaje trimestral de 1,74. Los porcentajes obtenidos se deben a que algunas muestras en la red de distribución excedieron la concentración de cloro residual exigida en la normativa. Sin embargo, las demás características tanto microbiológicas como fisicoquímicas cumplen a cabalidad con lo estipulado y teniendo en cuenta el porcentaje obtenido, se determinó que el agua potable

suministrada a los usuarios del municipio de Pamplona corresponde a un agua SIN RIESGO de acuerdo a la clasificación del nivel de riesgo en salud establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007 (Anexo C) y por lo tanto, es apta para el consumo humano y el control y vigilancia debe seguir ejerciéndose para su preservación.

**Tabla 10.** Resultados del Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA)

Mes	Número de muestras	% IRCA	Diagnóstico y acciones
Octubre	32	1,16	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.
Noviembre	41	0,90	
Diciembre	38	3,17	
Promedio trimestral		1,74	
<b>Clasificación de riesgo</b>			<b>SIN RIESGO</b>

Fuente: Autor

Valderrama y Urbina, (2016) realizaron la determinación del IRCA en el municipio de Valledupar encontrando que el agua potable que es suministrada a dicha población presenta un déficit en la calidad de agua para el consumo humano en ciertos sectores del casco urbano arrojando un IRCA promedio del 7% lo que indica un riesgo bajo, lo que constituye un agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento. Por otro lado, Gonzales, (2020) reportó que en la vereda de Quiche del municipio de Chiquinquirá, Boyacá, no hay un cumplimiento de la normatividad establecida conforme a lo que dicta la Resolución MPS 2115 de 2007, dado que según el IRCA, la calidad del agua tiene clasificación inviable sanitariamente y se evidencia negligencia por parte de los encargados de la PTAP al no condicionar y dar una correcta operación a cada una de las unidades de tratamiento.

## 7. CONCLUSIONES

- Al evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo proveniente de las plantas de tratamiento Cariongo y Monte dentro se estableció que estas cuentan con procesos de potabilización adecuados entregando a sus consumidores un agua segura y libre de microorganismos indicadores corroborando su correcto funcionamiento y diseño.
- Se determinó que la calidad microbiológica y fisicoquímica de las muestras de agua potable recolectadas tanto en el laboratorio de la planta de tratamiento como en los 18 puntos de la red de distribución es buena y su consumo no representa un riesgo para la salud.
- Se calculó el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) el cual estuvo en un promedio de 1,74% demostrando que la población pamplonesa consume agua SIN RIESGO. Sin embargo, es necesario que exista un seguimiento permanente en la prestación de la calidad del agua, las plantas de tratamiento y la red de distribución.
- Se comparó la calidad del agua con lo establecido en la Resolución MPS 2115 de 2007, determinando que el agua suministrada por la empresa de servicios públicos de Pamplona EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. cumple en su totalidad con las características tanto microbiológicas como fisicoquímicas de un agua segura y por lo tanto, es agua que puede ser consumida sin restricción para beber, preparar alimentos u otras actividades

## 8. RECOMENDACIONES

- Efectuar mediciones *in situ* de parámetros de naturaleza cambiante como el pH, temperatura, conductividad y turbiedad según lo recomendado por el Instituto Nacional de Salud.
- Realizar la determinación de *Giardia* y *Cryptosporidium* de forma periódica ya que la presencia de estos dos parásitos puede originar grandes brotes diarreicos entre la población.
- Implementar pruebas ecométricas para el control de calidad de los medios de cultivo empleados en el laboratorio y de esta manera garantizar la veracidad de los resultados obtenidos.
- Tener mayor control en la dosificación de cloro gaseoso para mantener el valor dentro del rango de cloro residual exigido en la normativa.
- Promover campañas donde se haga énfasis en la importancia de realizar un almacenamiento adecuado en cada uno de los hogares para mantener la calidad del agua.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía de Pamplona. (2002). Plan Básico de Ordenamiento Territorial.
- APHA-AWWA-WEF. (2000). *Métodos normalizados para el análisis de agua Potable y Residual*. (17 ed.). Madrid, España: Díaz de Santos.
- APHA. (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewaters*. (22 ed.). Washington.
- Arango, M., Alvares, L., Arango, G., Torres, O. y Monsalve, A. (2008). Calidad del agua en las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *EIA*, (9), 121-141.
- Arellano, J. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. México, D.F.: Alfaomega.
- American Society for Testing and Materials. (1989). ASTM - D 512-89 "Standard Test Methods for Chloride Ion in Water". USA.
- Barrenechea, A. (2000). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. Perú, Lima.
- Bolaños, J. (2013). Implicaciones del monitoreo periódico de la calidad del agua potable en el cantón de Grecia, Alajuela, Costa Rica. *InterSedes. Revista de las Sedes Regionales*. 14 (28), 39-53.
- Botero, D. y Restrepo, M. (2012). *Parasitosis humanas: Incluye animales venenosos y ponzoñosos*. Colombia: Corporacion para Investigaciones Biologicas (CIB).
- Bueno, K., Torres, P., y Delgado, L. (2014). *Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización*. Cali: Universidad del Valle.
- Camacho, A., Giles, M., Ortigón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Casas, J. (2011). *Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Bogotá D.C.
- Casas, J. (2011). *Manual de métodos fisicoquímicos básicos para el análisis de aguas para consumo humano*. Bogotá D.C.

Cava, T. y Ramos, F. (2016). Caracterización físico química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora, Lambayeque, y propuesta de tratamiento. Lambayeque, Perú.

Chauhan, A., Goyal, P., Varma, A. y Jindal, T. (2017). Evaluación microbiológica del agua potable que venden los vendedores ambulantes de Delhi, India. *Appl Water Sci* 7, 1635–1644.

Cogollo, J. y Rhenals, A. (2003). Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de aguas de una embotelladora de bebidas. Montería: Universidad de Córdoba.

Cortés, H y Mora, L. (2015). Diseño de un sistema compacto de potabilización de agua para consumo humano en la granja La Fortaleza ubicada en el municipio de Melgar, Tolima. Bogotá D.C.: Universidad Libre.

Craun, G.F., Brunkard, J.M., Yoder, J.S., Roberts, V. A., Carpenter J., Wade, T., ... Roy, S.L. (2010). Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006. *J Clin Microbiol.* 23 (3), 507-528.

Decreto 1575 de 2007. Ministerio de la Protección Social. Bogotá, D. C.

Decreto 1700 de 1989. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D. C.

Decreto 2105 de 1983. Ministerio de Salud. Bogotá, D. C.

Decreto 475 de 1998. Ministerio de Salud. Bogotá, D. C.

Espinosa, T. y González, V. (2009). Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga de la ciudad de Valencia, estado Carabobo. Venezuela. *Ingeniería UC.* 16 (3), 51-57.

Fernández, A., Molina, M., Alvarez, A., Alcántara, M., y Espigares, A. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental.* (1), 24-8.

Galvín, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Madrid: Díaz de Santos.

Glasmacher, A., Engelhart, S., and Exner, M. (2003). Infections from HPC organisms in drinking water amongst immunocompromised. *HPC and Drinking-water Safety.* 137-45.

Goenaga, J. y Martínez, A. (2017). Análisis de la calidad de agua para consumo humano en el corregimiento de la Peña-Atlántico y determinación del riesgo potencial para la salud humana. Barranquilla: Universidad de la costa.

Gonzales, B. (2018). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el asentamiento humano Señor de los milagros, Distrito de Yarinacocha- región Ucayali. Pucallpa, Perú: Universidad de Ucayali.

Gonzales, L. (2020). Evaluación del índice de riesgo de calidad de agua (IRCA) para la mejora de las condiciones de calidad del sistema de potabilización del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá – Boyacá. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2000). NTC-ISO 4772. Calidad del Agua. Detección y recuento de *E. coli* y Bacterias coliformes parte I. Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2007). Determinación de *Escherichia coli* y Coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult.

Instituto Nacional de Salud. (2020). Situación de la Enfermedad diarreica aguda en Colombia. Boletín epidemiológico semanal.

Jimenez, A. (2011). Control y seguimiento a la calidad del agua de la empresa de servicios Tribunas Córcega (E.S.P) de la ciudad de Pereira. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México. México, D.F: Limusa, Noriega.

Johnson, T.J. and Nolan, L.K. Pathogenomics of the virulence plasmids of *Escherichia coli*. (2009). *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 73 (4), 750-774.

Kiely G. (2003). Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. España: Mc Graw Hill.

Kohli, A., Bushen, O. Y., Pinkerton, R. C., Houpt, E., Newman, R. D., Sears, C. L., ... Guerrant, R.L. (2008). *Giardia duodenalis* assemblage, clinical presentation and markers of intestinal inflammation in Brazilian children. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(7), 718–725.

Lenntech, B. (2016). Historia del tratamiento de agua potable. Water treatment solutions. Recuperado de:

<https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm#:~:text=En%201806%20Paris%20empieza%20a,la%20purificaci%C3%B3n%20del%20agua%20potable.>

Ley 373 de 1997. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D. C.

Loaiza, M. (2015). Alcantarillas y aguas para Bogotá 1870-1924. Bogotá D.C. : Pontificia Universidad Javeriana.

Merck. (2010). *Microbiology Manual*. (12 ed). Madrid, España: Elsevier.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Bogotá, D. C.

Mohammed Mahdy, A. K., Lim, Y. A. L., Surin, J., Wan, K. L., & Al-Mekhlafi, M. S. H. (2008). Risk factors for endemic giardiasis: highlighting the possible association of contaminated water and food. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(5), 465–470.

Mulamattathil, S. G., Bezuidenhout, C., & Mbewe, M. (2015). Analysis of physicochemical and bacteriological quality of drinking water in Mafikeng, *South Africa. J Water Health*. 13 (4), 1143-1152.

Munn, C. (2004). *Marine Microbiology: ecology and applications*. New York: BIOS Scientific Publisher.

Neira, M. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Chile: Universidad de Chile.

Organización Mundial de la Salud. (1996). Cloruro en el agua potable: documento de antecedentes de las Directrices para la calidad del agua potable.

Organización Mundial de la Salud. (2004). Revisión de las guías para la calidad del agua potable con el fin de prevenir brotes epidémicos y enfermedades relacionados con el agua. Comunicado de prensa.

Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del Agua Potable.

Organización Mundial de la Salud. (2009). Medición del cloro residual en el agua. Guía técnica.

Organización Mundial de la Salud. (2017). Calidad y salud del agua. Revisión de la turbidez: información para reguladores y proveedores de agua.

- Panno, S., Hackley, K., Hwang, H., Greenberg, S., Krapac, I. and Landsberger, S. Characterization and identification of NaCl sources in ground water. *Ground Water*. 44 (2), 176–187.
- Peña, K., Contreras, W., Cloquell V. A., y Owen, M. E. (2017). El abastecimiento de agua para las poblaciones y las perspectivas de integración ambiental desde sus orígenes. *Ecodiseño y sostenibilidad* 9 (1), 364-384.
- Pérez, A., Escobar, J.C., y Torres, L. (2020). Development and implementation of a water safety plan for drinking-water supply system of Cali, Colombia. *International journal of hygiene and environmental health*. 224:113-422.
- Petro, A. y Wees, T. (2013). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco Bolívar, Caribe Colombiano. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- PNUMA. (2007). Programa Global de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Prabin S., Tista, P. J., & Dev, R. J. (2012). Evaluation of physicochemical and microbiological parameters of drinking water supplied from distribution systems of Kathmandu municipality. *Nepal Journal of Science and Technology* 13 (2), 179-184.
- Ramírez, F. (2005). Desinfección del Agua con Cloro y Cloraminas. *Técnica Industrial* (260), 54 - 64.
- Resolución 000082 de 2009. Ministerio de la Protección Social. Bogotá, D. C.
- Resolución 0811 de 2008. Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D. C.
- Resolución 1096 de 2000. Ministerio de Desarrollo Económico. Bogotá, D. C.
- Resolución 1508 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D. C.
- Resolución 2115 de 2007. Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D. C.
- Resolución 2320 de 2009. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D. C.
- Rodríguez, R., Martínez, C., Hernández, D., De Lucas, J. y Acevedo, M. (2003). Calidad del agua de fuentes de manantial en la zona básica de salud de Sigüenza. Guadalajara, México. *Revista Española de Salud pública*. 7(3), 423-432.

- Rodriguez, M., Alvarez, L., Moraña, M. y Salusso, L. (2017). Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta. *Revista Argentina de Microbiología*. 2-4
- Romero, J. (2005). Calidad del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C.
- Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. Módulo Arquitectura CUC, 17 (1), 29-48.
- SENA y Ministerio de Desarrollo Económico. (1999). Operaciones y mantenimiento de plantas de potabilización de agua. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico.
- Shofiul, I. M., Aminul, A., Shamim, A., Shakila, A., Rokaia, S., Aynun N., & Ripaj, U. (2020). Physicochemical and Microbiological Quality of Potable Water Supplied by DWASA in Dhaka City of Bangladesh. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*. 6 (1), 1-6.
- Sueiro RA et al., 2001: Evaluation of Coli-ID and MUG Plus media for recovering Escherichia coli and other coliform bacteria from groundwater samples. *Water Science and Technology*, 43:213–216.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2019). Evaluación integral de prestadores empresa de servicios públicos de Pamplona EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. Bogotá D.C.
- Trujillo, D.; Duque, L.; Arcila, J.; Rincón, A.; Pacheco, S. y Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Manizales, Colombia. *ION*. 27(1), 17-34.
- UNICEF (2020). Cada día mueren 1.800 niños por enfermedades diarreicas relacionadas con la falta de agua, saneamiento e higiene. España. Recuperado de: <https://www.unicef.es/prensa/cada-dia-mueren-1800-ninos-por-enfermedades-diarreicas-relacionadas-con-la-falta-de-agua>
- Vargas, C. y Arias, D. (2018). Evaluación de factores que inciden en la calidad del agua potable del municipio de Sylvania, Cundinamarca. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Valderrama, G. y Urbina, J. (2016). Evaluación de la calidad del agua potable en el casco urbano del municipio de Valledupar. Valledupar: Universidad Popular del Cesar.

Valle, M. (2012). Validación de los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en el agua tratada y cruda en la planta de tratamiento de Empocabal (Santa Rosa de Cabal). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Vyas, V., Hassan, M., Vindhani, S. I., Parmar, H., & Bhalani, V. M. (2015). Physicochemical and Microbiological assessment of drinking water from different sources in Junagadh city, India. *American Journal of Microbiological Research*. 3 (4), 148-154.

Xiao, L., Fayer, R., Ryan, U., & Upton, S. J. (2004). Cryptosporidium taxonomy: recent Advances and implications for public health. *Clinical Microbiology Reviews*, 17(1), 72–97.

## 10. ANEXOS

**ANEXO A.** Ubicación de los puntos de muestreo establecidos en la red de distribución del municipio de Pamplona.

PUNTO	DESCRIPCIÓN	PLANTA ABASTECEDORA
0001	Salida tanque N°1. Planta de tratamiento Cariongo. Parque recreacional Los Tanques.	Cariongo
0002	Inicio de red. Colegio Normal de varones.	Cariongo
0003	Salida tanque de almacenamiento Barrio Santa Marta.	Cariongo
0004	Salida tanque N°2. Planta de tratamiento Cariongo. Parque recreacional Los Tanques.	Cariongo
0005	Puente salida Colegio Normal de varones. Inicio de red de distribución.	Cariongo
0006	Puente Chíchira. Salida vía a Cúcuta. Extremo de la red de distribución.	Cariongo
0007	Salida tanque Provincial. Red de distribución.	Cariongo
0008	Salida Seminario Mayor. Barrio Afanador y Cadena.	Cariongo
0009	Barrio Juan XXIII. Salida a Bucaramanga.	Cariongo
0010	Escuela Cariongo. Inicio de la red de distribución.	Monteadero
0011	Salida tanque de almacenamiento Jurado.	Monteadero
0012	Salida tanque de almacenamiento Picapiedra. Vereda Los Animes.	Monteadero
0013	Tanque de almacenamiento La Trinidad.	Monteadero
0014	Salida tanque de almacenamiento Progreso 1.	Monteadero
0015	Salida tanque de almacenamiento Progreso 2.	Monteadero
0016	Salida tanque de almacenamiento Los Animes	Monteadero
0017	Finalización de la red de distribución. Barrio Villa Cristina.	Monteadero
0018	Escuela Cristo Rey. Barrio Cristo Rey.	Monteadero
0019	Barrio Galán, sector Campo Amor.	Cariongo
0021	Barrio El Zulia. Entrada Urbanización Valle del Espíritu Santo.	Monteadero
0022	Barrio San Pedro. CDI Bienestar Familiar.	Monteadero

**Fuente:** Autor

## ANEXO B. Determinación del IRCA por muestra e IRCA mensual

Características tenidas en cuenta para el cálculo del IRCA:

Característica	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1
Dureza total	1
Cloruros	1
Coliformes totales	15
<i>Escherichia coli</i>	25
<b>Sumatoria de puntajes asignados</b>	<b>80,5</b>

Fuente: Resolución 2115,2007

### FÓRMULAS

**IRCA por muestra:**

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

**IRCA mensual:**

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

Determinación del IRCA mes de Octubre

Muestra	Fecha	Color (UPC)	Turbidez (NTU)	pH	T° (°C)	Cloro residual (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Cloruros (mg Cl/L)	Conductividad (µS/cm)	Coliformes totales	Escherichia coli	IRCA por muestra
p.0004	06/10/20	0	0.77	7.25	15	1.6	34.0	33.3	20.99	53.8	0	0	0
p.0001	06/10/20	0	0.57	7.21	16	1.5	32.0	30.0	15.74	53.5	0	0	0
p.0017	07/10/20	0	0.92	7.27	14	0.8	26.1	26.0	15.74	56.7	0	0	0
p.0005	07/10/20	0	0.53	7.29	16	1.9	33.0	32.0	13.99	57.1	0	0	0
p.0022	08/10/20	0	0.86	6.97	17	1.1	27.6	26.2	10.50	40.5	0	0	0
p.0008	08/10/20	0	0.45	7.18	16	1.9	30.1	26.6	10.50	56.5	0	0	0
p.0002	08/10/20	0	0.37	7.30	16	1.9	30.2	28.2	13.99	55.4	0	0	0
p.0004	09/10/20	0	0.55	7.34	15	1.7	34.0	22.6	13.99	56.7	0	0	0
p.0009	13/10/20	2.1	1.36	7.20	18	1.2	34.0	24.0	23.04	56.8	0	0	0
p.0019	13/10/20	0	0.59	7.10	17	1.4	31.0	27.0	14.18	57.7	0	0	0
p.0001	14/10/20	0	0.73	7.20	14	2.0	31.8	25.4	13.99	57.6	0	0	0
p.0004	14/10/20	0	0.46	7.16	15	1.8	35.7	26.9	15.74	56.7	0	0	0
p.0016	15/10/20	1.2	0.66	7.34	16	1.0	31.5	29.7	17.49	41.1	0	0	0
p.0012	15/10/20	2.0	0.84	7.37	16	0.9	30.0	23.0	24.8	41.2	0	0	0
p.0004	16/10/20	0	0.98	7.24	14	1.7	31.1	27.2	13.99	58.6	0	0	0
p.0001	19/10/20	0	0.45	7.14	15	1.8	31.9	25.2	19.29	58.3	0	0	0
p.0004	19/10/20	0	0.48	7.18	16	1.8	35.0	25.8	17.49	58.0	0	0	0
p.0004	20/10/20	0	0.36	7.18	15	2.2	33.6	27.0	19.24	57.9	0	0	18.63
p.0001	20/10/20	0	0.42	7.10	15	1.7	33.8	27.8	15.74	58.5	0	0	0
p.0001	21/10/20	0	0.52	7.16	16	1.2	30.0	23.0	15.74	58.2	0	0	0
p.0018	21/10/20	0	1.17	7.16	16	1.1	29.5	24.9	17.49	40.3	0	0	0
p.0001	22/10/20	0	0.74	7.21	16	1.2	30.0	29.0	19.24	57.5	0	0	0
p.0004	23/10/20	0	0.44	7.14	16	1.7	33.0	23.4	7.00	59.7	0	0	0
p.0004	26/10/20	0	0.43	7.13	15	1.7	30.3	29.5	20.99	57.8	0	0	0
p.0001	26/10/20	0	0.46	7.20	15	1.7	29.5	25.1	21.87	58.1	0	0	0
p.0019	26/10/20	0	0.45	7.18	17	1.5	33.6	25.0	12.25	58.7	0	0	0
p.0004	27/10/20	0	0.54	7.18	15	2.1	31.0	27.6	10.50	59.5	0	0	18.63
p.0004	28/10/20	0	0.62	7.26	16	1.3	32.8	23.7	20.99	59.1	0	0	0
p.0021	28/10/20	5.3	0.95	7.30	15	1.8	32.3	23.8	13.99	41.7	0	0	0
p.0010	28/10/20	6.8	0.78	7.26	15	1.8	29.0	29.1	13.99	41.3	0	0	0
p.0001	29/10/20	0	0.55	7.24	15	1.4	32.6	24.0	15.74	58.2	0	0	0
p.0004	30/10/20	0	0.71	7.18	14	1.7	31.0	35.7	12.25	57.0	0	0	0

Fuente: Autor

Número de muestras en red de distribución: 32

IRCA mensual =  $37,26/32 = 1,16\%$

### Determinación del IRCA mes de Noviembre

Muestra	Fecha	Color (UPC)	Turbidez (NTU)	pH	T° (°C)	Cloro residual (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	Conductividad (µS/cm)	Coliformes totales	Escherichia coli	IRCA por muestra
p.0004	03/11/20	0	0.89	7.25	15	2.0	29.3	30.0	13.99	53.7	0	0	0
p.0004	03/11/20	0	0.81	7.42	15	1.5	31.0	33.7	21.87	53.0	0	0	0
p.0001	04/11/20	0	0.81	7.22	15	1.2	31.0	34.3	19.24	55.3	0	0	0
p.0004	04/11/20	4.3	1.13	7.36	16	1.6	29.5	30.2	19.24	55.0	0	0	0
p.0011	04/11/20	0	1.05	7.35	17	0.7	29.7	34.8	20.99	39.9	0	0	0
p.0007	04/11/20	0	0.60	7.31	17	1.0	32.2	35.3	21.87	54.3	0	0	0
p.0008	05/11/20	5.6	0.62	7.31	16	1.6	28.5	33.1	15.74	53.2	0	0	0
p.0022	05/11/20	9.0	1.01	7.33	17	0.8	26.1	29.7	19.24	38.2	0	0	0
p.0004	05/11/20	2.1	0.88	7.26	17	1.2	31.9	32.0	13.99	59.7	0	0	0
p.0001	06/11/20	6.6	0.80	7.34	15	1.2	29.9	33.1	16.62	52.6	0	0	0
p.0001	06/11/20	7.2	0.98	7.22	15	1.7	29.7	29.5	10.50	54.3	0	0	0
p.0001	09/11/20	7.0	0.98	7.07	14	1.8	24.7	27.0	19.24	45.2	0	0	0
p.0004	09/11/20	6.6	0.80	7.08	14	1.9	25.9	26.6	15.74	46.2	0	0	0
p.0004	09/11/20	10.1	1.47	7.15	15	1.7	27.3	29.9	17.49	51.5	0	0	0
p.0002	10/11/20	13.3	1.59	7.12	15	1.3	26.3	31.3	17.49	46.8	0	0	0
p.0001	10/11/20	6.3	1.11	7.05	14	1.5	27.2	31.7	17.49	47.3	0	0	0
p.0004	11/11/20	9.6	1.21	7.12	14	1.5	27.8	28.0	13.99	49.1	0	0	0
p.0001	12/11/20	0	0.7	7.18	14	1.9	26.0	28.3	13.99	57.2	0	0	0
p.0005	13/11/20	7.3	0.90	7.43	15	1.8	28.7	30.3	13.99	54.2	0	0	0
p.0016	16/11/20	0	0.92	7.40	16	0.8	27.1	25.8	15.74	38.2	0	0	0
p.0012	16/11/20	9.6	1.34	7.38	16	1.5	30.5	30.7	10.50	40.2	0	0	0
p.0001	17/11/20	4.6	2.05	7.08	15	1.8	19.7	20.4	18.37	39.8	0	0	0
p.0004	17/11/20	3.8	1.7	7.12	15	1.6	20.3	30.3	17.49	39.2	0	0	0
p.0001	18/11/20	7.7	2.5	7.05	14	1.4	15.7	24.2	15.74	38.0	0	0	18.63
p.0004	18/11/20	8.5	2.7	7.01	14	1.5	15.0	22.3	13.99	37.7	0	0	18.63
p.0010	18/11/20	0	1.69	7.18	12	1.5	16.0	21.3	17.49	25.8	0	0	0
p.0017	19/11/20	0	1.54	7.00	17	0.3	18.0	20.0	22.74	28.0	0	0	0
p.0018	19/11/20	0	1.44	7.02	17	0.6	22.2	20.4	19.24	27.3	0	0	0
p.0001	19/11/20	0	1.66	7.07	17	1.6	21.1	24.1	22.74	42.7	0	0	0
p.0004	20/11/20	0	1.84	6.97	13	1.6	23.4	23.3	22.74	52.1	0	0	0
p.0004	23/11/20	0	0.59	7.12	16	1.8	28.3	26.2	19.24	44.2	0	0	0
p.0001	23/11/20	1.2	1.8	7.2	14	1.6	25.2	27.0	19.29	54.1	0	0	0
p.0019	24/11/20	0	0.9	7.14	16	1.9	25.3	29.3	19.24	54.0	0	0	0
p.0004	24/11/20	0	0.6	7.14	15	1.7	19.6	29.5	17.49	58.0	0	0	0
p.0001	24/11/20	0	0.8	7.19	16	1.6	20.9	26.0	17.49	57.0	0	0	0
p.0004	25/11/20	0	0.4	7.21	14	1.9	25.8	29.9	13.99	62.0	0	0	0
p.0004	26/11/20	0	0.6	7.27	13	1.8	26.4	26.9	15.74	56.0	0	0	0
p.0001	26/11/20	0	0.5	7.19	14	1.9	27.3	27.0	13.99	57.0	0	0	0
p.0004	27/11/20	0	0.6	7.28	13	1.7	26.9	28.6	13.12	54.0	0	0	0
p.0021	30/11/20	0	0.6	7.26	16	1.3	28.5	28.2	13.99	39.0	0	0	0
p.0008	30/11/20	0	0.4	7.29	16	1.8	26.6	28.4	13.99	61.0	0	0	0

Fuente: Autor

**Número de muestras en red de distribución: 41**  
**IRCA mensual = 37,26/41 = 0,90%**

### Determinación del IRCA mes de Diciembre

Muestra	Fecha	Turbidez (NTU)	pH	T° (°C)	Cloro residual (mg Cl <sub>2</sub> /L)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	Conductividad (μS/cm)	Coliformes totales	Escherichia coli	IRCA por muestra
p.0004	01/12/20	0.5	7.29	15	0.5	28.3	27.9	17.49	60.0	0	0	0
p.0001	02/12/20	0.4	7.37	14	1.5	28.7	34.0	12.25	57.0	0	0	0
p.0022	02/12/20	0.5	7.34	16	1.2	24.2	26.6	15.74	39.0	0	0	0
p.0006	02/12/20	0.3	7.33	17	1.6	27.1	31.0	13.99	56.0	0	0	0
p.0004	02/12/20	0.6	7.29	15	1.5	28.7	29.0	13.99	60.0	0	0	0
p.0001	03/12/20	0.4	7.36	15	1.5	28.7	31.8	10.50	58.0	0	0	0
p.0019	03/12/20	0.6	7.34	16	1.8	25.8	25.6	12.25	59.0	0	0	0
p.0009	03/12/20	0.5	7.36	17	1.3	25.9	26.2	12.25	55.0	0	0	0
p.0004	04/12/20	0.9	7.31	16	1.2	28.3	27.9	8.75	63.0	0	0	0
p.0004	04/12/20	0.6	7.49	13	1.8	29.1	32.8	7.87	59.0	0	0	0
p.0005	07/12/20	0.7	7.43	14	2.0	29.2	32.7	10.50	62.0	0	0	0
p.0002	07/12/20	0.5	7.43	14	1.8	25.6	32.5	8.75	61.0	0	0	0
p.0001	07/12/20	0.5	7.43	13	1.9	29.3	28.9	11.37	62.0	0	0	0
p.0001	09/12/20	0.3	7.50	13	1.8	28.5	31.8	8.75	61.0	0	0	0
p.0004	09/12/20	0.2	7.49	13	1.9	29.0	33.3	8.75	61.0	0	0	0
p.0022	09/12/20	0.6	7.47	15	1.0	28.2	31.0	13.99	41.0	0	0	0
p.0004	10/12/20	0.6	7.53	13	2.5	30.1	34.2	8.75	66.0	0	0	20,1
p.0016	10/12/20	0.5	7.49	14	1.1	24.1	27.3	8.75	41.0	0	0	0
p.0012	10/12/20	0.4	7.55	14	1.7	26.0	28.1	8.75	42.0	0	0	0
p.0004	10/12/20	0.4	7.43	14	1.9	27.5	28.0	13.99	64.0	0	0	0
p.0001	11/12/20	0.6	7.53	13	1.8	31.8	30.5	13.99	61.0	0	0	0
p.0004	14/12/20	0.9	7.50	12	2.8	28.1	29.5	8.75	66.0	0	0	20,1
p.0003	14/12/20	0.8	7.50	14	2.0	30.6	29.3	13.99	65.0	0	0	0
p.0011	15/12/20	0.8	7.48	15	1.7	27.8	31.0	7.87	43.0	0	0	0
p.0001	15/12/20	0.8	7.47	13	1.9	29.6	32.1	7.87	63.0	0	0	0
p.0004	15/12/20	0.9	7.48	13	2.3	31.1	33.2	7.87	66.0	0	0	20,1
p.0004	16/12/20	0.7	7.46	13	1.5	32.0	30.0	13.99	65.0	0	0	0
p.0001	17/12/20	0.9	7.44	13	1.6	28.1	30.0	15.74	65.0	0	0	0
p.0004	18/12/20	0.9	7.38	13	2.6	28.5	26.0	12.25	69.0	0	0	20,1
p.0004	21/12/20	0.8	7.42	13	1.8	29.9	23.9	12.25	65.0	0	0	0
p.0021	22/12/20	1.0	7.38	14	1.6	28.4	22.0	8.75	43.0	0	0	0
p.0001	22/12/20	0.9	7.39	13	1.6	29.6	27.3	12.25	65.0	0	0	0
p.0001	23/12/20	1.23	7.01	13	1.4	28.5	25.3	10.50	76.3	0	0	0
p.0001	28/12/20	0.92	6.85	13	1.7	29.4	26.2	12.25	51.8	0	0	0
p.0004	28/12/20	0.99	6.83	13	1.6	29.2	26.5	10.50	74.6	0	0	0
p.0010	28/12/20	0.75	6.91	13	2.2	30.4	23.2	8.75	51.6	0	0	20,1
p.0004	29/12/20	0.28	6.88	13	1.8	28.3	24.0	8.75	71.0	0	0	0
p.0001	30/12/20	0.78	6.97	13	2.3	19.2	29.3	13.99	52.9	0	0	20,1

Fuente: Autor

**Número de muestras en red de distribución: 38**  
**IRCA mensual = 120,6/38= 3,17%**

**ANEXO C.** Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual

<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>
<b>80.1 – 100</b>	INVIABLE SANITARIAMENTE	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.
<b>35.1 – 80</b>	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.
<b>14.1 – 35</b>	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
<b>5.1 – 14</b>	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
<b>0 – 5</b>	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

**Fuente:** Resolución MPS 2115, 2007

**ANEXO D.** Equipos utilizados para los análisis fisicoquímicos.



**Imagen 11.** Medidor portátil de pH HACH HQ11D.  
**Fuente:** Autor



**Imagen 12.** Medidor portátil de conductividad HACH Sension5.  
**Fuente:** Autor



**Imagen 13.** Fotómetro HACH DR300.  
**Fuente:** Autor



**Imagen 14.** Turbidímetro HACH 2100Q.  
**Fuente:** Autor



**Imagen 15. Colorímetro HACH**  
**Fuente: Autor**

**ANEXO E.** Resultado de los análisis fisicoquímicos realizados del mes de Octubre a Diciembre.

**Tabla 11.** Resultado promedio de los análisis fisicoquímicos realizados durante el mes de Octubre.

PUNTO DE MUESTREO	COLOR APARENTE (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	pH	TEMPERATURA (°C)	CLORO RESIDUAL (mg Cl <sub>2</sub> /L)	ALCALINIDAD (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	DUREZA (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	CLORUROS (mg Cl <sup>-</sup> /L)	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)
0001	0	0.55	7.18	15	1.5	31.3	26.18	17.16	57.4
0002	0	0.37	7.30	16	1.9	30.2	28.2	13.99	55.4
0004	0	0.57	7.20	15	1.7	32.7	27.51	15.74	57.7
0005	0	0.53	7.29	16	1.9	33,0	32,0	13.99	57.1
0008	0	0.45	7.18	16	1.9	30.1	26.6	10.50	56.5
0009	2.1	1.36	7.20	18	1.2	34.0	24,0	23.04	56.8
0010	6.8	0.78	7.26	15	1.8	29,0	29.1	13.99	41.3
0012	2,0	0.84	7.37	16	0,9	30,0	23,0	24.8	41.2
0016	1.2	0.66	7.34	16	1,0	31.5	29.7	17.49	41.1
0017	0	0.92	7.27	14	0,8	26.1	26,0	15.74	56.7
0018	0	1.17	7.16	16	1,1	29.5	24.9	17.49	40.3
0019	0	0.52	7.13	17	1,4	32.3	26,0	13.21	58.2
0021	5.3	0.95	7.30	15	1,8	32.3	23.8	13.99	41.7
0022	0	0.86	6.97	17	1,1	27.6	26.2	10.50	40.5

Fuente: Autor

**Tabla 12.** Resultado promedio de los análisis fisicoquímicos realizados durante el mes de Noviembre.

PUNTO DE MUESTREO	COLOR APARENTE (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	pH	TEMPERATURA (°C)	CLORO RESIDUAL (mg Cl <sub>2</sub> /L)	ALCALINIDAD (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	DUREZA (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	CLORUROS (mg Cl <sup>-</sup> /L)	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)
0001	3.1	1.22	7.19	15	1,6	24,8	27,7	17,05	50.0
0002	13.3	1.59	7.12	15	1,3	26,3	31,3	17,49	46.8
0004	3.0	1.08	7.18	15	1,7	25.8	28,4	16,67	51.4
0005	7.3	0.9	7.43	15	1,8	28.7	30,3	13.99	54.2
0007	0	0.6	7.31	17	1,0	32.2	35,3	21.87	54.3
0008	2.8	0.51	7.30	16	1,7	27.5	30,7	14.86	57.1
0010	0	1.69	7.18	12	1,5	16,0	21,3	17.49	25.8
0011	0	1.05	7.35	17	0,7	29.7	34,8	20.99	39.9
0012	9.6	1.34	7.38	16	1.5	30.5	30,7	10.50	40.2
0016	0	0.92	7.40	16	0.8	27.1	25,8	15.74	38.2
0017	0	1.54	7.00	17	0.3	18,0	20.0	22.74	28,0
0018	0	1.44	7.02	17	0.6	22.2	20.4	19.24	27.3
0019	0	0.9	7.14	16	1.9	25.3	29.3	19.24	54,0
0021	0	0.6	7.26	16	1.3	28.5	28.2	13.99	39,0
0022	9.0	1.01	7.33	17	0.8	26.1	29.7	19.24	38.2

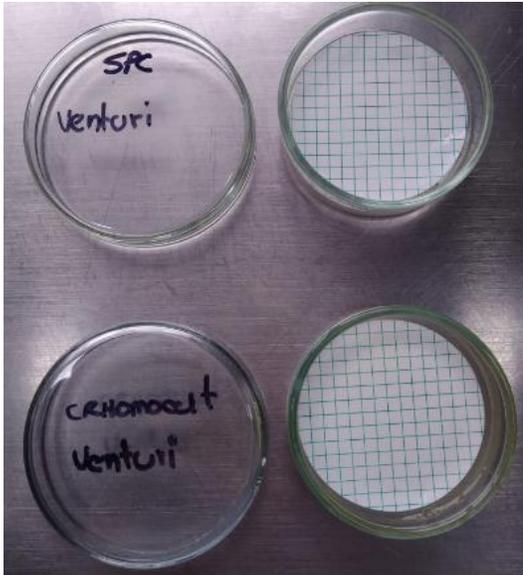
Fuente: Autor

**Tabla 13.** Resultado promedio de los análisis fisicoquímicos realizados durante el mes de Diciembre.

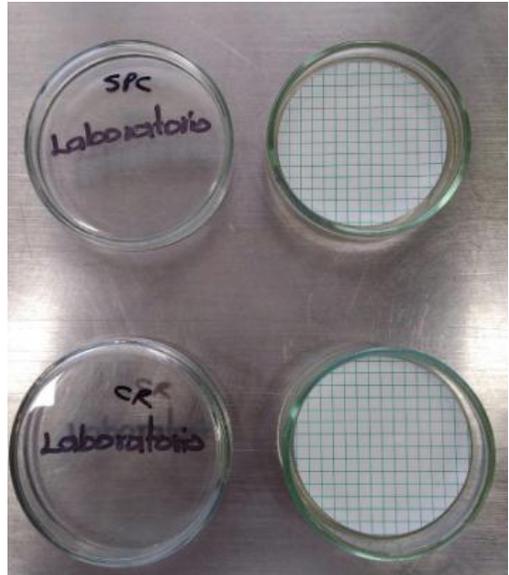
PUNTO DE MUESTREO	TURBIEDAD (UNT)	pH	TEMPERATURA (°C)	COLOR RESIDUAL (mg Cl <sub>2</sub> /L)	ALCALINIDAD (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	DUREZA (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	CLORUROS (mg Cl <sup>-</sup> /L)	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)
0001	0,69	7,30	13,4	1,7	27,5	29,7	11,76	61,1
0002	0,5	7,43	14	1,8	25,6	32,5	8,75	61,0
0003	0,8	7,50	14	2,0	30,6	29,3	13,99	65,0
0004	0,66	7,34	13,5	1,8	29,5	29,0	10,71	64,9
0005	0,7	7,43	14	2,0	29,2	32,7	10,50	62,0
0006	0,3	7,33	17	1,6	27,1	31,0	13,99	56,0
0009	0,5	7,36	17	1,3	25,9	26,2	12,25	55,0
0010	0,75	6,91	13	2,2	30,4	23,2	8,75	51,6
0011	0,8	7,48	15	1,7	27,8	31,0	7,87	43,0
0012	0,4	7,55	14	1,7	26,0	28,1	8,75	42,0
0016	0,5	7,49	14	1,1	24,1	27,3	8,75	41,0
0019	0,6	7,34	16	1,8	25,8	25,6	12,25	59,0
0021	1,0	7,38	14	1,6	28,4	22,0	8,75	43,0
0022	0,55	7,40	15,5	1,1	26,2	28,8	14,86	39,0

Fuente: Autor

**ANEXO F.** Registro fotográfico de los resultados de los análisis microbiológicos realizados.



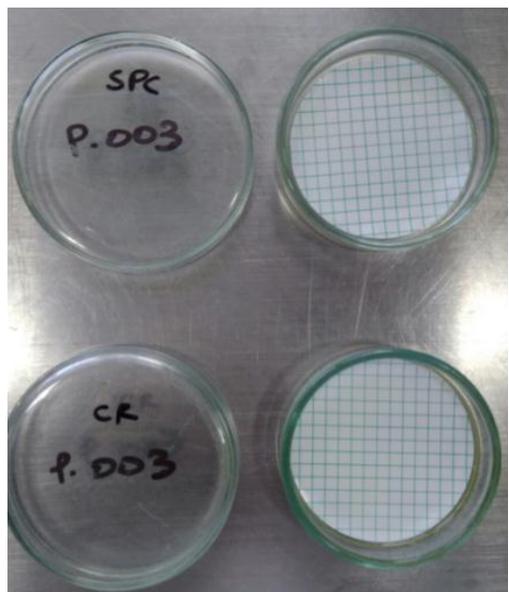
Punto 0001



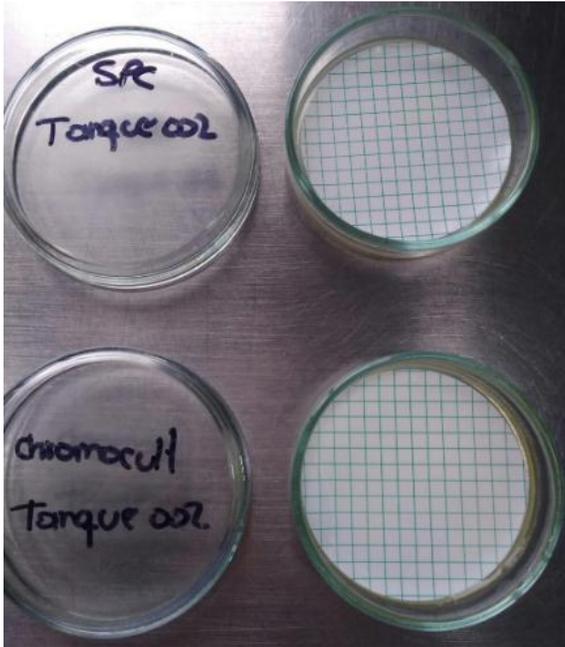
Laboratorio PTAP



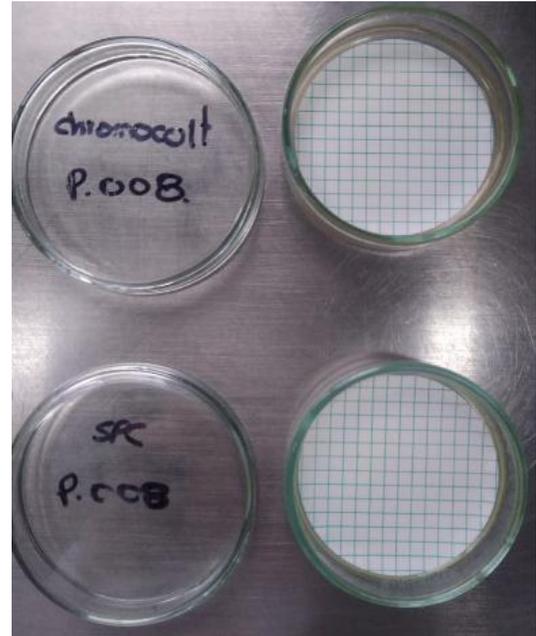
Punto 0002



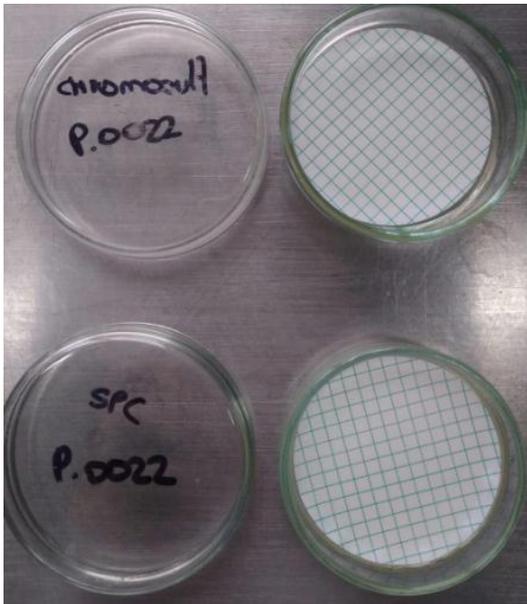
Punto 0003



Punto 0004



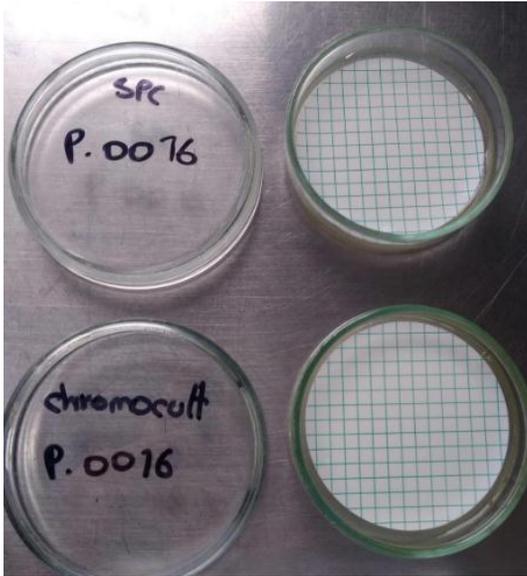
Punto 0008



Punto 0022



Punto 0019



Punto 0016



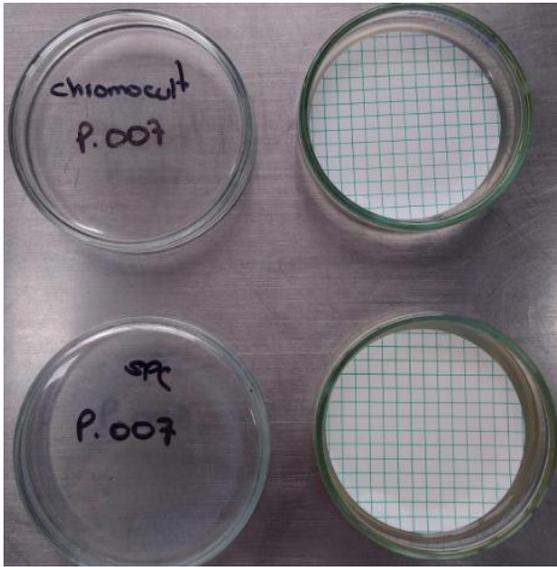
Punto 0009



Punto 0012



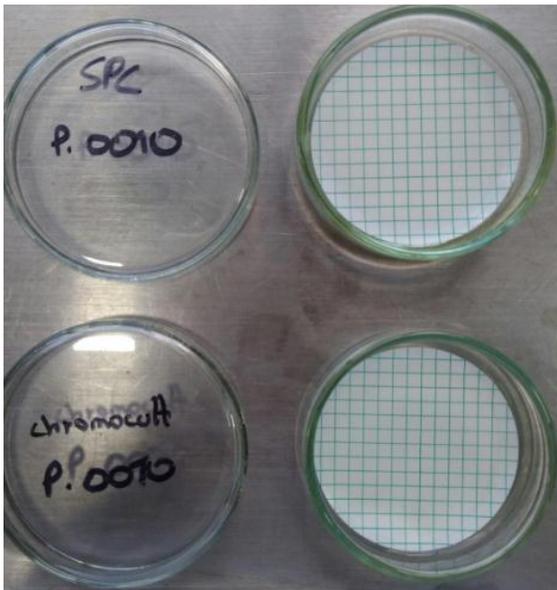
Punto 0021



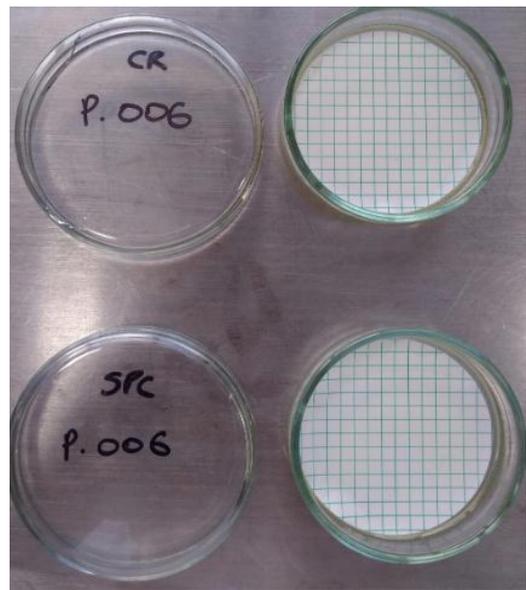
Punto 0007



Punto 0011



Punto 0010



Punto 0006