

**Evaluación de la eficacia de la planta de tratamiento de agua potable Cariongo de la ciudad de Pamplona por medio de una comparación entre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los afluentes que la abastecen y el agua tratada**

Javier Alberto Vera Medina.



Departamento de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona.

Programa de Ingeniería Química.

Directora:

MSc. Carla Stephanny Cárdenas Bustos

Junio 2021

**Evaluación de la eficacia de la planta de tratamiento de agua potable Cariongo de la ciudad de Pamplona por medio de una comparación entre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los afluentes que la abastecen y el agua tratada.**

Javier Alberto Vera Medina.

Tesis presentada como requisito para optar al título de:

**INGENIERO QUÍMICO.**



Departamento de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona.

Programa de Ingeniería Química.

Directora:

MSc. Carla Stephanny Cárdenas Bustos

Junio 2021

### **Dedicatoria.**

A Dios, primeramente, por protegerme e iluminarme, llenarme de fortaleza y sabiduría durante todo el camino.

A mi madre Yaneth Medina y a mi padre Erasmo Vera por su incondicional apoyo, ejemplo y acompañamiento a lo largo de mi carrera y que hicieron todo lo posible por ayudarme a convertir en un profesional y me motivaron en el cumplimiento de este logro.

A mis demás familiares quienes han estado ahí desde siempre y que me han apoyado y creído en mi desde el principio.

## **Agradecimientos.**

A mis padres por todo su esfuerzo, sacrificios y apoyo durante lo largo de mi carrera y mi vida, a mis familiares que de una u otra forma me han apoyado y aconsejado y ayudado en todo momento.

A cada uno de los profesores de la Universidad de Pamplona por imponer sus conocimientos sobre mí en el transcurso de mi formación profesional, especialmente a mi directora; Carla Sthepanny Cárdenas quien con su dedicación y perseverancia me ayudó e instruyó para que culminara mi tesis.

A la empresa EMPOPAMPLONA E.S.A E.S.P, principalmente a la ingeniera Liseth Amparo López, por su acompañamiento, liderazgo e información suministrada.

### **Tabla de contenido.**

Resumen.....	10
Abstract. ....	11
Capítulo I. ....	12
Introducción.....	12
Planteamiento de problema.....	14
Justificación. ....	16
Objetivos.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	17
Capítulo II. ....	18
Marco referencial.....	18
Marco contextual.....	18
Estado del arte.....	21
Marco conceptual.....	25
Marco teórico.....	26
Planta de tratamiento de agua potable Cariongo.....	26
Fuente de abastecimiento.....	28
Calidad de la fuente.....	29
Parámetros de la calidad del agua para consumo humano.....	31
Parámetros fisicoquímicos.....	31
Color.....	31
Turbidez.....	32
Conductividad eléctrica.....	32
Cloro residual libre.....	33
Nitritos y Nitratos.....	34
Fosfatos.....	35
Hierro total.....	35
Alcalinidad.....	36
Dureza.....	36
Cloruros.....	37

Parámetros microbiológicos.....	37
Coliformes totales .....	37
Citrobacter.....	38
Enterobacter.....	38
Escherichia coli (E.coli).....	38
INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DE AGUA (IRCA). .....	39
Capítulo III.....	42
Metodología.....	42
Revisión bibliográfica.....	42
Reconocimiento del área geográfica para la toma de muestras. ....	43
Recolección de muestras.....	43
Recolección de muestras (agua cruda).....	43
Recolección de muestras (agua tratada).....	44
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	45
Análisis fisicoquímicos.....	45
Análisis microbiológicos. ....	50
Análisis comparativo. ....	50
Capítulo IV.....	52
Resultados y Análisis.....	52
INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DE AGUA (IRCA). ....	68
Conclusiones.....	72
Referencias.....	74
Anexos .....	78

### Índice de tablas.

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento.....	29
<b>Tabla 2.</b> Puntajes de riesgo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el cálculo del IRCA.....	39
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de nivel de riesgo en la salud según el IRCA. ....	41
<b>Tabla 4.</b> Tipos de fertilizantes utilizados para la agricultura a base de Nitrógeno. ....	58
<b>Tabla 5.</b> Tipos de fertilizantes utilizados para la agricultura a base de fósforo. ....	62
<b>Tabla 6.</b> Niveles de cloro para las muestras de agua potable.....	66
<b>Tabla 7.</b> Resultados IRCA por muestra 12 de abril. ....	68
<b>Tabla 8.</b> Resultados IRCA por muestra 26 de abril. ....	68
<b>Tabla 9.</b> Resultados IRCA por muestra 10 de mayo.....	69
<b>Tabla 10.</b> Resultados IRCA por muestra 24 de mayo.....	69
<b>Tabla 11.</b> Resultados IRCA por muestra 08 de junio. ....	70

### Índice de figuras.

<b>Figura 1.</b> Localización general en Colombia y en Norte de Santander del municipio de Pamplona .....	18
<b>Figura 2.</b> Localización de la microcuenca Monte dentro .....	19
<b>Figura 3.</b> Localización de la microcuenca el Rosal. ....	20
<b>Figura 4.</b> Planta de tratamiento de agua potable Cariongo .....	27
<b>Figura 5.</b> Diagrama de bloques de proceso de la planta potabilizadora .....	28
<b>Figura 6.</b> Efecto del cloro residual.....	33
<b>Figura 7.</b> Control y seguimiento de la Temperatura .....	52
<b>Figura 8.</b> Control y seguimiento del pH. ....	53
<b>Figura 9.</b> Control y seguimiento de la Conductividad. ....	54
<b>Figura 10.</b> Control y seguimiento de la Alcalinidad.....	55
<b>Figura 11.</b> Control y seguimiento de la Dureza. ....	55
<b>Figura 12.</b> Control y seguimiento de Cloruros. ....	56
<b>Figura 13.</b> Control y seguimiento de Nitratos.....	57
<b>Figura 14.</b> Control y seguimiento de Nitritos .....	59
<b>Figura 15.</b> Control y seguimiento del Hierro total.....	60
<b>Figura 16.</b> Control y seguimiento de Fosfatos.....	61
<b>Figura 17.</b> Control y seguimiento del Color .....	63
<b>Figura 18.</b> Control y seguimiento de la Turbidez .....	63
<b>Figura 19.</b> Control y seguimiento de coliformes fecales (Escherichia coli) .....	65
<b>Figura 20.</b> Control y seguimiento de coliformes totales.....	65
<b>Figura 21.</b> Control y seguimiento del Cloro .....	67
<b>Figura 22.</b> Toma de muestra punto 0,001 (Venturi) .....	78
<b>Figura 23.</b> Toma de muestra punto 0,002 (Normal) .....	78
<b>Figura 24.</b> Toma de muestra punto 0,006 (barrio Chíchira) .....	79
<b>Figura 25.</b> Almacenamiento de muestras.....	80
<b>Figura 26.</b> Toma de muestras captación el Rosal .....	80
<b>Figura 27.</b> Toma de muestras quebrada el Rosal .....	81



<b>Figura 28.</b> Captación Monte dentro .....	81
<b>Figura 29.</b> Toma de muestras quebrada Monte dentro.....	82
<b>Figura 30.</b> Actividades antrópicas quebrada Monte dentro .....	82
<b>Figura 31.</b> Procedimiento para el análisis de coliformes fecales y coliformes totales .....	83
<b>Figura 32.</b> Procedimiento para el análisis de nitritos, nitratos, hierro total y fosfatos en el laboratorio de control de calidad de la universidad de Pamplona .....	84

### **Resumen.**

El acceso al agua potable es indispensable para el ser humano en el día a día, por esto las ciudades cuentan con plantas potabilizadoras. La ciudad de Pamplona cuenta con la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Cariongo, la cual se abastece de las quebradas Monte dentro y el Rosal. Actualmente, la planta funciona de manera continua, pero no se conoce la eficacia del proceso de potabilización realizado puesto que no hay registro de la calidad del agua a tratar. Con el fin de elucidar la eficacia, en este trabajo se planteó el objetivo de evaluar la calidad del agua de las fuentes hídricas que abastecen la planta de tratamiento y el agua al final del proceso de potabilización; esto a partir de análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Para ello se realizaron muestreos en diferentes partes de estas fuentes hídricas (alta, media y baja), así como muestreos en diferentes puntos de la red de distribución. Los resultados permitieron caracterizar las diferentes muestras de agua siendo el color, la turbiedad, los fosfatos, el hierro y los parámetros microbiológicos como los coliformes fecales (*Escherichia coli*) y los coliformes totales (*Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*) aquellas características de mayor relevancia debido a su presencia en grandes cantidades en estos recursos hídricos por las actividades antrópicas realizadas alrededor de estas quebradas, de igual manera se observó una gran disminución de los parámetros mencionados anteriormente al ser analizados en el agua tratada demostrando la eficacia de la planta potabilizadora. Por último, al calcular el índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano (IRCA) se determinó que las muestras de agua cruda no cumplen con lo exigido por la legislación colombiana de modo que se clasificaron como aguas no aptas para consumo humano, sin embargo, las muestras de agua potable si cumplieron todos los requisitos estipulados en la resolución 2115 de 2007.

**Palabras clave:** Calidad del agua, IRCA, potabilización, PTAP, recurso hídrico.

### **Abstract.**

Access to drinking water is essential for human beings on a day-to-day basis, which is why cities have water treatment plants. The city of Pamplona has the Cariongo drinking water treatment plant (PTAP), which is supplied from the Monteadentro and the Rosal streams. Currently, the plant operates continuously, but the effectiveness of the purification process carried out is not known since there is no record of the quality of the water to be treated. In order to elucidate the effectiveness, in this work the objective of evaluating the quality of the water of the hydric sources that supply the treatment plant and the water at the end of the purification process was raised; this from physicochemical and microbiological analyzes. For this, samplings were carried out in different parts of these water sources (high, medium and low), as well as samplings in different points of the distribution network. The results made it possible to characterize the different water samples, the color, turbidity, phosphates, iron and microbiological parameters such as fecal coliforms (*Escherichia coli*) and total coliforms (*Citrobacter*, *Enterobacter* and *Klebsiella*) being the most relevant characteristics due to its presence in large quantities in these water resources due to the anthropic activities carried out around these streams, in the same way, a great decrease in the parameters mentioned above is indicated when analyzed in the treated water, demonstrating the effectiveness of the water treatment plant. Finally, when calculating the risk index for the quality of water for human consumption (IRCA), it was determined that the raw water samples do not comply with what is required by Colombian legislation, so they were classified as water not suitable for human consumption. However, the drinking water samples did meet all the requirements stipulated in resolution 2115 of 2007.

**Keywords:** Drinking water, IRCA, PTAP, water resource, water quality.

## **Capítulo I.**

### **Introducción.**

La calidad del agua es un problema a nivel mundial, ya que muchas de las actividades humanas como la industrial, la agricultura, la ganadería y actividades cotidianas, aportan en el aumento de los contaminantes presentes en el agua. Además, el crecimiento económico y poblacional del país incrementan el riesgo sobre el agua, por esto es necesario realizar investigaciones que permitan generar conocimientos que contribuyan a determinar decisiones para optimizar los procedimientos productivos en cada sector evitando en todo momento el impacto al ambiente y a las comunidades que se ubican en las zonas de influencia (Díaz Alegría, 2018).

Las fuentes de agua superficiales son de gran importancia para los seres humanos debido a que son indispensables en casi todas las actividades de desarrollo humano como la agricultura, la industria, la producción de energía y la pesca, sin embargo, el aumento de estas actividades, así como el crecimiento poblacional representa un aumento proporcional de desechos descargados en los cuerpos acuíferos y por ende un incremento en la contaminación de estos recursos hídricos. La quebrada Monte dentro y la quebrada el Rosal son fuentes abastecedoras de agua potable para el municipio de Pamplona ubicadas en distintos sectores o veredas que desarrollan actividades antrópicas (principalmente la agricultura y la ganadería) por lo tanto es necesario realizar monitoreos ya que permiten identificar mediante el análisis de variables físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas el estado (calidad y cantidad) del recurso hídrico en el ambiente superficial y su posible alteración por actividades de origen antrópico. Mediante el procesamiento de la información se puede establecer criterios que permitan determinar potencialidades, usos, indicadores, riesgos y amenazas alrededor del recurso hídrico.

La calidad del agua para consumo humano es un factor determinante en las condiciones de la salud de las poblaciones, sus características pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión de agentes que causan enfermedades, tales como: enfermedad diarreica aguda (EDA), hepatitis A, polio y parasitosis por protozoarios y helmintos; entre estas, amebiasis, giardiasis, cryptosporidiasis y helmintiasis. La diferencia entre prevenir o transmitir este tipo de enfermedades de origen hídrico depende de varios factores, los principales son: la calidad y la continuidad del servicio de suministro de agua (Briñez A et al., 2012).

Por otra parte, también se ha encontrado que las aguas superficiales y subterráneas comúnmente se contaminan por la presencia de restos fitosanitarios de abonos y productos de uso agrícola y materia orgánica como resultado de las explotaciones ganaderas; así mismo, cabe mencionar también la elevada cantidad de residuos químicos vertidos a las fuentes hídricas, producto de las actividades domésticas cuya carga de contaminantes está asociada a la presencia de residuos fisiológicos, residuos provenientes del lavado de ropas, de limpieza doméstica, de preparación de alimentos, del lavado de calles y avenidas y al uso de materiales peligrosos y tóxicos similares a los industriales como es el caso de los disolventes, aceites, pinturas, ácidos, bases, aditivos, conservantes, preservantes, etc. La importancia de la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano es aportar información que permita la toma de decisiones para el mejoramiento de su calidad y, así, proporcionar beneficios significativos para la salud, reduciendo la posibilidad de transmisión de enfermedades por agua contaminada.

### **Planteamiento de problema.**

El agua es una necesidad vital que influye de forma directa en la salud donde la calidad del agua para el consumo humano se ha asociado con diversas enfermedades. El mayor impacto sobre la salud pública se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua; la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento incide directamente sobre el nivel de riesgo sanitario, el cual se define como el riesgo de transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades de origen hídrico al hombre y los animales o alterar el normal desempeño de las labores dentro del hogar o la industria (P. Torres et al., 2009).

Los contaminantes de tipo antropogénico se han disipado ampliamente en el ambiente y están afectando seriamente las propiedades fisicoquímicas de las aguas superficiales y subterráneas. Esto básicamente ha sido el resultado de las altas emisiones industriales, la ineficiente disposición de residuos sólidos, los derrames accidentales, la aplicación incontrolada de pesticidas, herbicidas, fungicidas y nutrientes en la agricultura y las actividades domiciliarias que incluyen, la excreción y la disposición natural de una amplia gama de productos químicos, como los Productos Farmacéuticos y de Higiene Personal (PPCPs) denominados patógenos emergentes (Candela, 2007).

Acorde a Pérez & Aguilar (2012) los efectos de los plaguicidas son más notorios en zonas cercanas en donde han sido aplicados. Esto causa, la contaminación inmediata del medio abiótico como suelo, aire, aguas superficiales, aguas subterráneas, etc. y por otro, la muerte de organismos a los que no se deseaba afectar, como los insectos que son enemigos naturales de las plagas o los que el hombre considera como benéficos.

El principal inconveniente de las fuentes hídricas que ingresan a la planta de tratamiento de la ciudad de Pamplona surge por las descargas de residuos provenientes de actividades humanas y naturales que de una u otra forma interfieren y alteran la calidad del agua para el consumo humano, este estudio nos mostrará ¿Cuál es la eficacia de la planta de tratamiento al analizar los afluentes al iniciar y finalizar el proceso de potabilización? Con base a lo anterior la resolución 2115 de 2007 establece el IRCA como una herramienta básica para evaluar y garantizar la calidad del agua.

### **Justificación.**

En Colombia el acceso al agua potable y a sistemas de saneamiento no están garantizados para buena parte de la población, por lo que el consumo de agua contaminada genera enfermedades de origen hídrico (Venegas B et al., 2014). De esta manera, María Del Puerto Rodríguez et al., (1999) demostraron una relación directa entre la calidad de agua para consumo humano y un incremento en las tasas de morbilidad por enfermedades de transmisión digestiva principalmente la hepatitis y las enfermedades diarreicas agudas debido a la deficiente calidad sanitaria de agua para consumo.

En los últimos años se ha presentado un aumento poblacional y del sector agrícola en los terrenos aledaños a las quebradas monteadrento y el rosal lo que ha generado un incremento en la contaminación de estas fuentes hídricas. Lo que se busca con la caracterización de los afluentes es obtener resultados eficaces de agua tratada por la planta potabilizadora tanto en el ámbito físico, químico y microbiológico y de esta manera garantizar que estos parámetros se encuentren dentro del rango permitido por la resolución número 2115 del 2007. El presente estudio se justifica con la magnitud que tiene el problema de la contaminación del recurso hídrico debido a las actividades antrópicas que interfieren en la polución de las quebradas monteadrento y el rosal.



## **Objetivos.**

### **Objetivo general.**

Evaluar la eficacia de la planta de tratamiento de agua potable por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las fuentes hídricas que la abastecen y el agua al final del proceso de potabilización.

### **Objetivos específicos.**

- Identificar los factores de contaminación en los afluentes Monteadrento y el Rosal que afectan la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento y localizar puntos estratégicos para la toma de muestra.
- Realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras, tanto de efluentes como de los puntos en la red de distribución.
- Analizar y comparar los resultados de los afluentes y el agua tratada para determinar el índice de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano (IRCA) estipulada en la resolución 2115 de 2007.

## Capítulo II.

### Marco referencial.

#### Marco contextual.

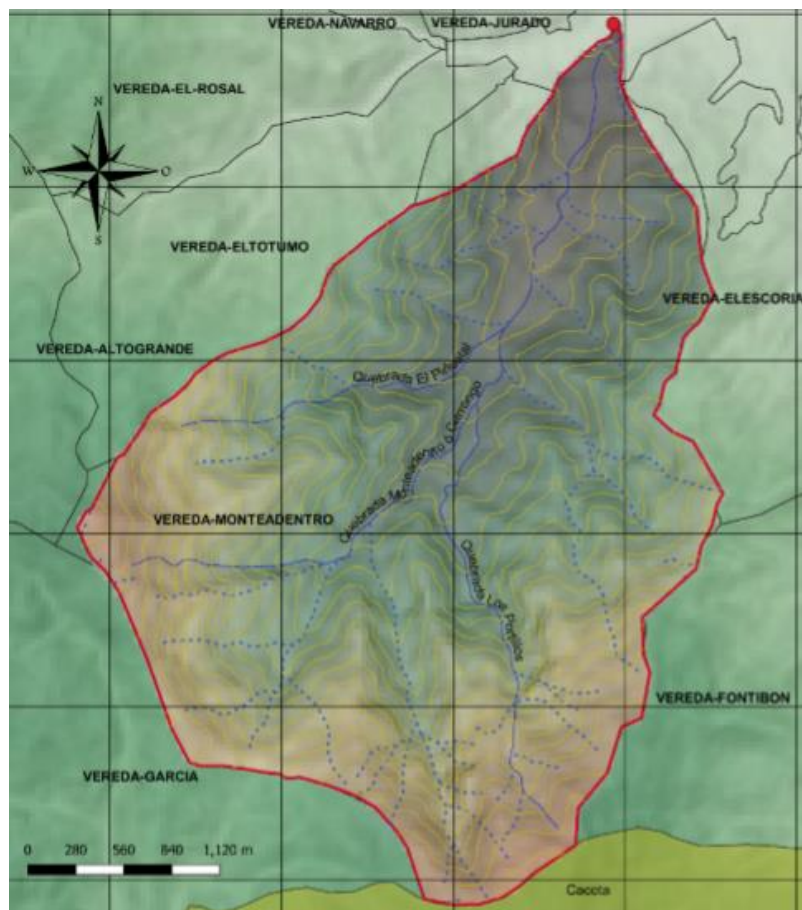
El Municipio de Pamplona pertenece a la Región Sur-Occidente del Departamento con coordenadas geográficas correspondientes al suroccidente con  $07^{\circ} 22' 41''$  de latitud Norte,  $72^{\circ} 39' 09''$  de longitud oeste junto con los Municipios de Pamplonita, Chitagá, Silos, Cacota y Mutiscua. La cabecera municipal de Pamplona se encuentra a una altitud de 2.300 msnm y presenta una temperatura media de  $16^{\circ}\text{C}$ . En la figura 1 se presenta la localización general del municipio en el Departamento de Norte de Santander y en Colombia.



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

Fuente: (Gobernación Norte de Santander, 2014).

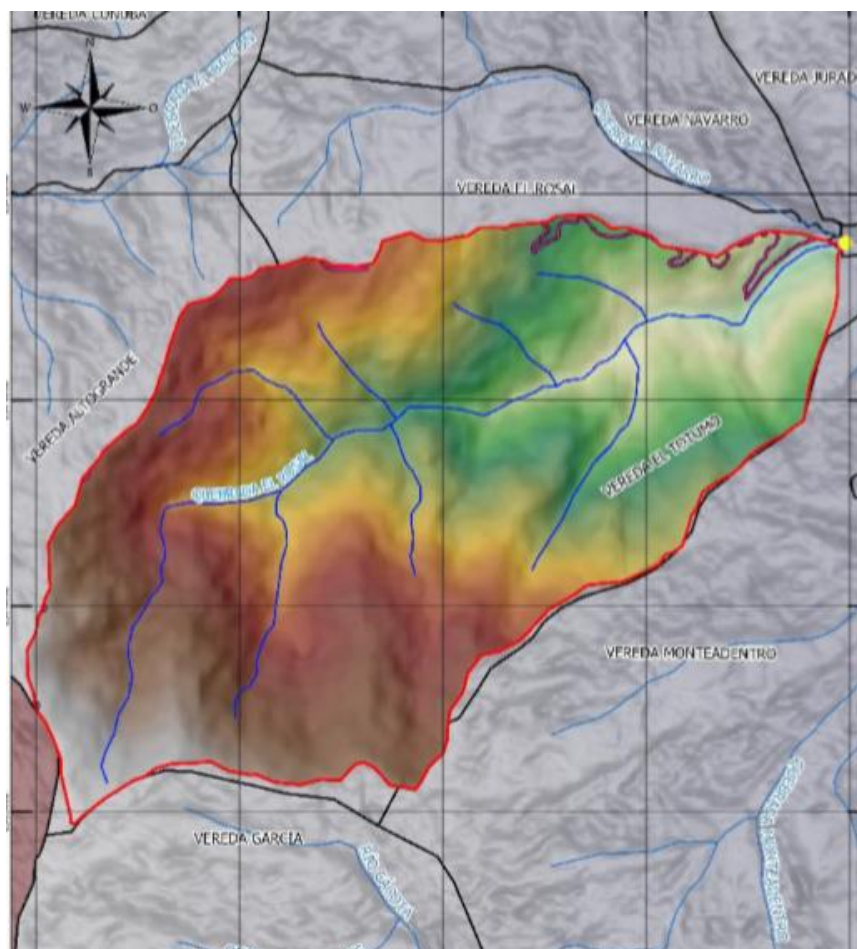
La microcuenca quebrada monteadentro tiene su origen al Sur Oriente del municipio de Pamplona, en la naciente el chorro de las Pavas, a una altura aproximada de 3200 msnm, con coordenadas geográficas en la parte baja (antes de la captación) con  $7^{\circ}21'18''\text{N}$ ,  $72^{\circ}39'33''\text{W}$ . El suelo de la microcuenca de Monteadentro es usado en la actualidad para siembra de cultivos (como papa, arveja, zanahoria, fresa, apio, curuba) y ganadería, estas actividades productivas provocan impactos negativos a la población de Pamplona, puesto que afectan el recurso hídrico provocando una disminución en la producción y calidad de agua.



**Figura 2.** Localización de la microcuenca Monteadentro

Fuente: (González, 2020).

La quebrada el Rosal, está localizada al sur oeste del Municipio de Pamplona a una altura entre 2424 y 3658 msnm con coordenadas  $7.357^{\circ}$  N y  $72.679^{\circ}$  O, la cual forma parte de la cuenca del Río Pamplonita. Es considerada de gran importancia ya que sus aguas surten a la planta de tratamiento de agua potable Cariongo, con una continuidad de 24 horas, las cuales abastecen al acueducto de Empopamplona, que suministra agua potable a la población del municipio de Pamplona (Alcaldía municipal de Pamplona, 2015).



**Figura 3.** Localización de la microcuenca el Rosal.

Fuente: (Jaimes, 2020).

## **Estado del arte**

El estudio de Cava y Ramos (2016) tiene como objetivo la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua para consumo humano de la localidad de Las Juntas del distrito de Pacora (Perú) con la finalidad de identificar los factores que inciden en la calidad del agua y así verificar si la desinfección del agua se ha realizado de manera sistemática y sostenida con el propósito de destruir los organismos patógenos presentes y por último elaborar una propuesta de tratamiento para el fortalecimiento de este servicio que será de gran beneficio para la población.

Por otra parte Imbago (2015) analizó las actividades antrópicas que influyen en la contaminación del río Puluví, donde se realizaron los respectivos análisis fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales encontradas en esta microcuenca y de esta manera determinar su percepción local para la recuperación del recurso hídrico. Por medio de los habitantes de la zona, se obtuvo una recopilación de información de las actividades antrópicas realizadas por los pobladores en cada uno de los sectores llevando al conocimiento e identificación los problemas ambientales causados por la actividad agrícola, ganadera, florícola y las descargas de aguas residuales vertidas, directamente al río Puluví. De igual manera Díaz Alegría (2018) determinó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la Quebrada Chupishiña, para el uso de riego de vegetales y bebida de animales basado en el decreto supremo (D.S) N°004-2017 del ministerio de ambiente (MINAM) debido a que este decreto aprueba los estándares de calidad ambiental (ECA) para fuentes hídricas.

Finalmente Guallpa (2017) determinó el nivel de contaminación del agua, producido por la aplicación de los plaguicidas en los cultivos hortícolas de la parroquia de San Joaquín, a través del método de micro extracción en fase sólida (SPME) acoplada a cromatografía de gases con detección en modo de espectrometría de masas en tándem (GC-MS/MS), para establecer el tipo de

agrotóxicos, su concentración y su posterior comparación con el límite máximo permisible establecido en la normativa ecuatoriana. Además, se realizaron análisis de compuestos organofosforados para ver si existía presencia en el agua; de igual manera se hicieron análisis de fosfatos en 3 puntos del canal de riego, esto con el fin de conocer si el incremento de fosfato es debido al uso de los plaguicidas organofosforados.

Torres y Navia (2010) determinaron si el agua para el consumo humano en el municipio de Bojacá, Cundinamarca, cumplía con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos por la resolución 2115 del 2007. Para el cálculo de estos parámetros se realizaron muestreos en diferentes zonas de la red de distribución, fuentes naturales y tanques de almacenamiento domiciliario. Al momento de analizar las muestras recolectadas se evidenció que la mayoría de estas no cumplieron con el valor mínimo de cloro residual libre por lo que se consideran no aptas para el consumo humano, sin embargo, los demás parámetros si cumplieron con lo estipulado por la normativa colombiana.

Igualmente Forero Acosta (2015) caracterizó fisicoquímica y microbiológicamente las aguas del río Soacha, Cundinamarca. La metodología consistió en realizar varios recorridos por toda la subcuenca del río desde la parte alta hasta la parte baja donde se identificaron y localizaron los tipos y puntos de vertido agrícolas, pecuarios, industriales y domiciliarios. Los resultados obtenidos muestran que las aguas de este río contienen altos índices de contaminación de fósforo, nitrógeno y coliformes, así como una baja concentración de oxígeno disuelto en la parte media y baja de la subcuenca, principalmente; lo cual pone en evidente riesgo la vida de los animales y personas que allí habitan.

El trabajo investigativo de Jiménez (2011) tuvo como propósito inicial realizar un control y seguimiento a la calidad de agua potable suministrada por la empresa de servicios públicos

Tribuna Córcega (ESPTRI). Para ello se realizó un seguimiento durante ocho meses a la calidad de agua que se suministró por dicha empresa para corregir las falencias que se estaban presentando durante el proceso de potabilización y que de forma directa estaban afectando a los usuarios que eran abastecidos. Durante el seguimiento se realizaron demandas de cloro los cuales ayudaron a obtener una dosificación adecuada en el proceso de cloración (desinfección) para lograr que los resultados tanto de análisis físicos, químicos y microbiológicos se hallaran dentro del rango permitido por la resolución 2115 de 2007.

Por último (Aguilar, 2011) realizó la caracterización del río La Vieja debido a que esta fuente hídrica presenta alta densidad poblacional y gran actividad antrópica (básicamente agropecuaria, industrial y turística) que tienen como consecuencia alteraciones al medio ambiente y deterioro de los recursos naturales. Por esto se ve la necesidad de realizar una evaluación periódica del río La Vieja, como herramienta para definir su grado de contaminación actual, y determinar según la normatividad vigente si es una fuente apta para el consumo humano y doméstico.

Palacio (2019) propuso formular alternativas de mejoramiento a la planta de tratamiento que contribuyan a la eficiencia en la prestación del servicio de agua para consumo humano en el casco urbano del municipio de Ábrego. Las alternativas que se establecieron fueron básicamente de orden operativo, donde se tuvo en cuenta las visitas a la planta y los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos utilizados para calcular el índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA). Estas alternativas planteadas son para que la planta de tratamiento de agua potable mejore sus procesos y brinde un mejor servicio de agua para consumo humano a la población del municipio.

Jaimés (2020) evaluó los índices de sequía y creciente presentados en la quebrada El Rosal, situaciones que pueden afectar a la población del municipio de Pamplona puesto que se abastece de esta fuente hídrica. Para ello se determinaron los factores naturales y antrópicos que pueden incidir en la disponibilidad del recurso hídrico, posteriormente realizó la caracterización física y morfométrica de la cuenca en estudio, así mismo obtuvo los factores hidrológicos e hidráulicos de la zona en estudio con la información hidrometeorológica proporcionada por el IDEAM y finalmente realizó el análisis estadístico de las precipitaciones máximas y mínimas de la zona. El autor concluyó que los factores antrópicos que más inciden en la disponibilidad del recurso hídrico son los que tienen que ver con la agricultura y actividades pecuarias desarrolladas en la microcuenca.

Hernández (2010), determinó que la cobertura vegetal es un factor extremadamente importante para la producción del recurso hídrico, por su papel al interceptar y retener el agua. De igual manera, infiere que, al cambiar la cobertura vegetal, la producción de agua disminuye dada la función de los suelos del bosque al absorber el agua en periodos lluviosos para mantener el balance hídrico en el tiempo seco y que en ausencia de la cobertura vegetal provoca desequilibrios como el aumento de escorrentía.

Gonzáles (2020) estimó la relación existente entre el índice de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO en la quebrada Monteadentro. Para ello, determinó parámetros físico-morfométricos asociados al escurrimiento. Así mismo, identificó factores de carácter natural y antrópico que inciden en el comportamiento del nivel del agua y caudal de la zona de estudio. Por otra parte, evaluó el comportamiento hidrológico de la quebrada mediante el programa HEC-HMS y posteriormente, determinó el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP), el cual se correlacionó mediante el coeficiente de Pearson con fenómenos



ENSO caracterizados a partir del índice Niño Oceánico (ONI). Como resultados, se obtuvo que el tipo de suelo y permeabilidad de la zona de estudio, son factores que condicionan el escurrimiento y por ende el caudal de la quebrada.

### **Marco conceptual.**

Según el (Diccionario Hidrológico Internacional OMM-PHI UNESCO, OMM, 1992) la *hidrología* es la ciencia que estudia las aguas superficiales y subterráneas de la tierra, su aparición, circulación y distribución, tanto en tiempo como en el espacio, sus propiedades biológicas, químicas y físicas, sus reacciones con el entorno, incluyendo su relación con los seres vivos.

De acuerdo a (Ambiente & Territorial, 2007) el *agua potable* es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal. El agua para consumo humano es apta para dicho fin, cuando no contiene ningún tipo de microorganismo o sustancia, en una concentración que signifique un riesgo para la salud humana y cumpla con los lineamientos establecidos por la autoridad encargada en cada país (Varó & Segura, 2009).

Según el decreto 475 de 1998 el *control de calidad del agua potable* son los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución

Según Rocha (2018) *las bocatomas* son estructuras hidráulicas construidas sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir, extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal.

Concorde a Yolanda & Cárdenas (2000) la *coagulación* es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Igualmente Salcedo (2008) define los *coagulantes* como sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

### **Marco teórico.**

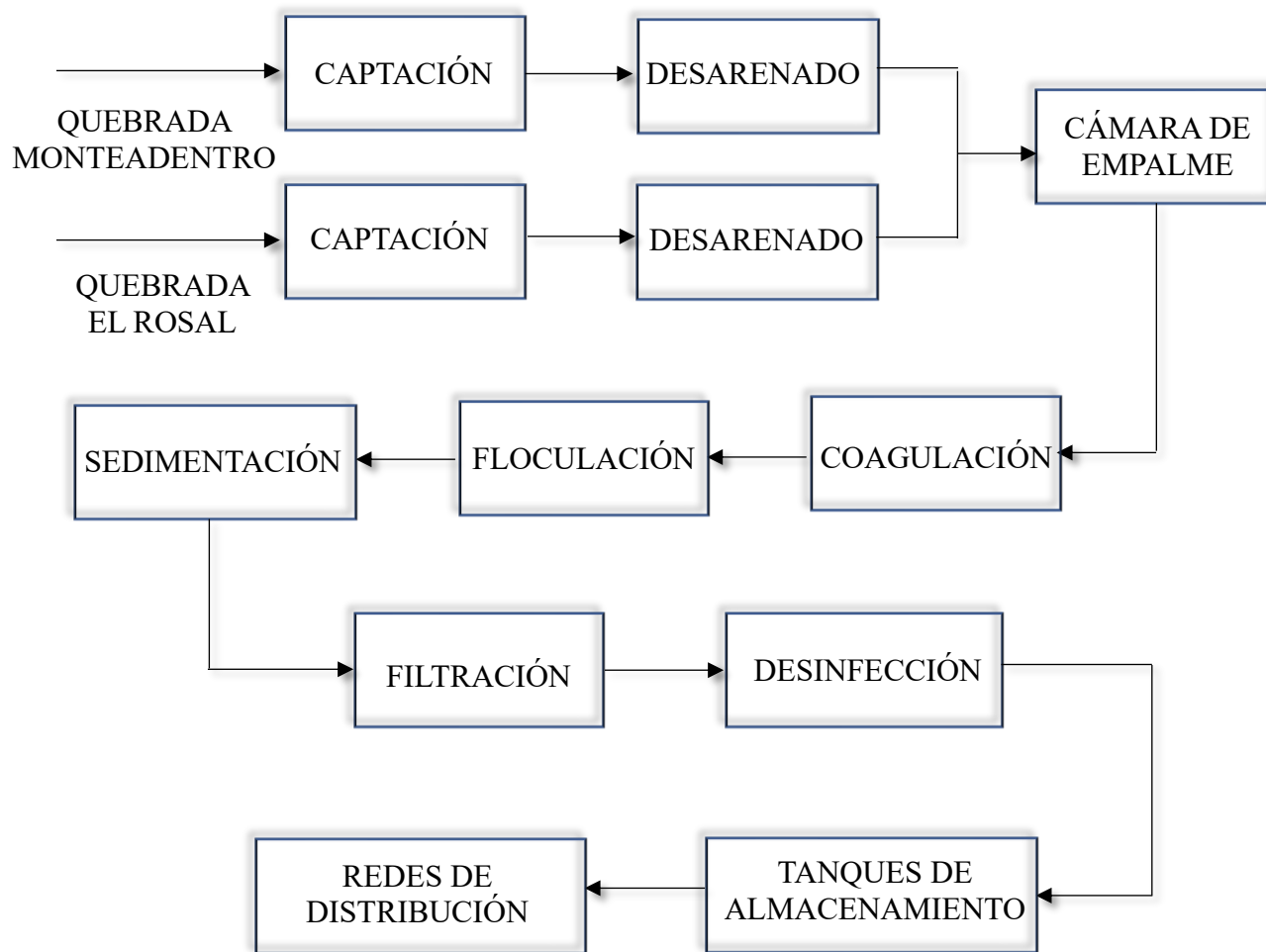
#### **Planta de tratamiento de agua potable Cariongo.**

La Planta de tratamiento Cariongo perteneciente a 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 msnm. Fue puesta en marcha en el año de 1945, con una capacidad de 120 litros/segundo. 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 (Gobernación Norte de Santander, 2014).



**Figura 4.** *Planta de tratamiento de agua potable Cariongo*

Cuenta con un sistema de tratamiento convencional debido a su capacidad de remover turbiedad, sedimentos, microorganismos, dureza, olor, color y las características que se requieren dependiendo del estado en que se encuentre el agua cruda. Los fenómenos ambientales provocan un fuerte impacto en la variación de la calidad del agua de fuentes de abastecimiento, exigiendo que los procesos de potabilización respondan a tales variaciones y mantengan los estándares de la calidad en la producción de agua segura. Esta planta incluye todos los procesos para la obtención de agua potable, como lo son: coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección.



*Figura 5. Diagrama de bloques de proceso de la planta potabilizadora*

### **Fuente de abastecimiento.**

La selección de la fuente debe realizarse basándose en la calidad del agua, la ocurrencia de eventos de sequía y escogiendo aquella que permita la construcción de una captación económica, segura, confiable y que tenga unas características de acceso, operación y mantenimiento fáciles. Cuando se efectúen los estudios de fuentes deben identificarse, plantearse y evaluarse las alternativas técnico-económicas más factibles de utilización, aplicando un análisis financiero y de factibilidad para la identificación y selección de la fuente más conveniente.

### *Calidad de la fuente.*

La empresa prestadora de servicio debe conocer las características físicas, químicas y microbiológicas de fuente. Con el fin de asegurar la calidad del agua en ésta, las muestras para análisis deben extraerse durante las épocas de caudales pico, ya sea el caudal mínimo mensual o el caudal máximo mensual, en todos los posibles sitios de ubicación de las obras de captación y en los afluentes importantes localizados en las cercanías, aguas arriba del sitio de la captación. La calidad del agua de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en período seco y de lluvia (Ministerio de ambiente, 2014). En la tabla 1 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico-químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado.

**Tabla 1.** Clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento.

Parámetro	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación.			
	Norma técnica (NTC)	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
<b>DBO</b>	3630					
Promedio mensual mg/L			< 1.5	1.5-2.5	2.5 – 4	> 4
Máximo diario mg/L			1-3	3-4	4-6	> 6
<b>Coliformes totales (NMP/100mL)</b>		D 3870	0 – 50	50 - 500	500 – 5000	> 5000
Parámetro	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación.			
	Norma técnica (NTC)	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente

Oxígeno disuelto mg/L	4705	D 888	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 4$	$< 4$
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	$< 2$	2 - 40	40 - 150	$\geq 150$
Color verdadero (UPC)			$< 10$	10 - 20	20-40	$\geq 40$
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	$< 50$	50 - 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	$< 1.2$	$< 1.2$	$< 1.2$	$> 1.7$
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
Necesita un tratamiento convencional.			NO	NO	Sí, hay veces	SI
Necesita un tratamiento específico.			NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados.			(1) = Desinfección + Estabilización.	(2) = Filtración lenta o filtración directa + (1).	(3) = Pre- tratamiento + Coagula + Sedime + Filtración + (1)	(4) = (3) + Tratamiento específico.

Fuente: Ministerio de ambiente (2014)

La recepción de aguas contaminadas se da a través de dos fenómenos: las aguas de lluvias que discurren por el suelo y el subsuelo, que luego de su contacto con ella arrastran sub productos de las actividades humanas que cambian su calidad natural y las aguas que luego de ser usada y transformada su calidad fisicoquímica, son reintegradas a los cuerpos de aguas naturales. El receptor de todas las aguas que discurren por el territorio de la cuenca es el océano (Cava & Ramos, 2016).

### **Parámetros de la calidad del agua para consumo humano.**

Por lo general, la calidad del agua se determina en función de una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos respecto a directrices o estándares de calidad del agua basados en niveles de toxicidad científicamente aceptables, permitiendo así caracterizarla como apta o no apta para el consumo humano (Peñuela & Gualí, 2016).

#### ***Parámetros fisicoquímicos.***

Entre los parámetros físicos comúnmente evaluados se encuentran los denominados organolépticos y están relacionados con la percepción del consumidor, entre estos se tienen: color, olor y sabor (Moreno, 2011). Por otro lado, encontramos los parámetros físicos que afectan directa e indirectamente los procesos de tratamiento y pueden no tener influencia sobre la salud humana, entre ellos: turbiedad, sólidos totales, temperatura y conductividad eléctrica (Campos, 2000).

#### ***Color***

El color, uno de los parámetros organolépticos que indican la calidad del agua de consumo humano, está relacionado con las sustancias disueltas y las partículas en suspensión que contiene (Martinez & Osorio, 2018). La medición del color es importante para conocer el nivel de materia

orgánica natural que hay en el agua, ya que su presencia es un factor de riesgo de generación de subproductos nocivos de la desinfección del agua.

### ***Turbidez***

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida en vez de transmitida sin cambios en la dirección del nivel de flujo a través de la muestra: en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. (IDEAM, 2007).

### ***Conductividad eléctrica***

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no dissociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala (Alex et al., 2020).

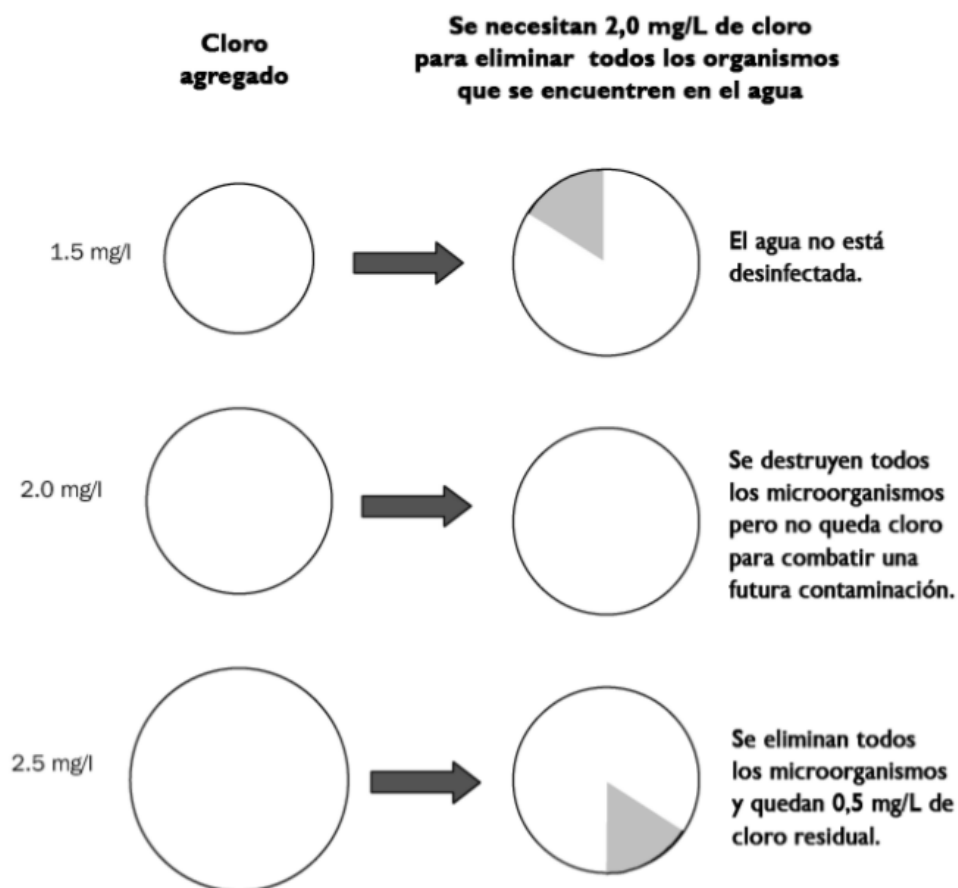
La mayoría de productos químicos presentes en el agua son potencialmente peligrosas para la salud después de una exposición prolongada, especialmente aquellos que tienen propiedades tóxicas acumulativas (p.ej., metales pesados). Los parámetros químicos de mayor interés son aquellos que pueden afectar la salud del consumidor o generar consecuencias de tipo económica (Moreno,



2011). En el presente estudio se evaluaron distintos parámetros químicos entre los que tenemos: Cloro, nitritos, nitratos, hierro total, fosfatos, alcalinidad, dureza y cloruros.

### ***Cloro residual libre***

El cloro residual libre en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amonio (cloraminas), y su poder desinfectante es menor que el libre. La suma de los dos constituye el cloro residual total.



**Figura 6.** Efecto del cloro residual

Fuente: Organización mundial de la salud (OMS).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que no se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable (Rivilla, 2017). 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 las personas. 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; se le llama cloro libre (Figura 6). El cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación (OPS & OMS, 2009).

### *Nitritos y Nitratos*

Los niveles de nitritos y nitratos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua. Ambos se encuentran relacionados con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores, aunque los nitratos son añadidos por medio de fertilizantes que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten. Los nitritos también se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados y se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales. Los nitratos no se consideran en sí tóxicos, pero la ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético (Molina et al., 2003). Por otra parte, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos, las nitrosaminas, por su reacción con aminas secundarias o terciarias, además de interaccionar con los glóbulos rojos de la sangre produciendo metahemoglobinemia que impide el transporte de oxígeno al cuerpo.

### ***Fosfatos***

El ion fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas propagándolos en los cuerpos acuíferos más cercanos (Bolaños et al., 2017). Los abonos inorgánicos están constituidos por diversas clases de fosfatos solubles, los más comunes de los cuales derivan de los aniones metafosfato ( $\text{PO}_3^-$ ), pirofosfato ( $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ) y ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Debido a su elevada solubilidad, estos aniones son arrastrados fácilmente por las aguas superficiales hacia ríos, acuíferos, etc. Otra fuente de fosfatos la constituyen los vertidos urbanos que contienen detergentes: para aumentar su eficacia, algunos detergentes utilizan fosfatos inorgánicos en su composición como agentes alcalinizadores. Las aguas naturales contienen normalmente cantidades de fosfatos por debajo de 1 mg/L. Cantidades superiores de estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas que consumen el oxígeno del medio acuático y provocan la desaparición de especies vegetales y animales (Universidad Pablo de Olavide, 2003).

### ***Hierro total***

El hierro (Fe) en el agua natural proviene de la disolución de las rocas y minerales donde se encuentra contenido. También puede incrementarse artificialmente, porque es muy utilizado en las industrias y existe la posibilidad de vertidos industriales ferrosos en el agua. En aguas de superficie el hierro se encuentra en niveles muy bajos, ya que en estas aguas el ion hierro es prácticamente insoluble (Valencia Espinoza, 2005). Altas concentraciones de hierro en el agua pueden causar problemas con sedimentos en tuberías, sabor metálico y problemas estéticos por

manchas rojas en accesorios y ropa. Otra molestia relacionada al hierro que puede surgir es la bacteria del hierro, esta bacteria usa el hierro como fuente de energía, aunque no causa enfermedad, ésta puede causar crecimiento gelatinoso que obstruyen tuberías, son poco atractivas, y producen olores desagradables (Singler & Bauder, 2014).

### ***Alcalinidad***

La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos, u otras bases que estén presentes (Bojaca, 2005).

### ***Dureza***

El término Dureza se ha utilizado tradicionalmente para referirse a los cationes alcalinotérreos que se hayan disueltos en el agua. Cuando se denomina Dureza Total, se refiere a la concentración total de iones calcio y magnesio (Rangel, 2015). También, se emplea el término Dureza Temporal para indicar la concentración de calcio y magnesio disueltos que precipitan en forma de carbonatos; lo cual ocurre cuando, por efecto del calentamiento del agua a ebullición, se desplaza el equilibrio y se favorece la conversión del hidrogeno carbonato,  $\text{HCO}_3^-$ , en carbonato,  $\text{CO}_3^{2-}$ .

### ***Cloruros***

Según Lapeña (1989) citado por Buitrago Barbosa (2017) el cloruro es definido químicamente como un compuesto entre el cloro y otro elemento químico diferente al oxígeno, ya que con este se formarían óxidos ácidos de cloro. El ion cloruro (Cl<sup>-</sup>) forma sales en general muy solubles. Suele ir asociado al ion Na<sup>+</sup>, especialmente en aguas muy salinas.

### ***Parámetros microbiológicos.***

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo 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 contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Ramos Ortega et al., 2010).

### ***Coliformes totales***

Los coliformes totales se definen como bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37 ° C y producen ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en 24 h, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática β-galactosidasa. Entre ellas se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Larreal Murrell et al., 2013).

### ***Citrobacter***

El género *Citrobacter* es un grupo de bacilos Gram negativos aerobios que se encuentran frecuentemente en el agua, el suelo, la comida, vegetación y como flora saprofita en el tracto intestinal de muchos animales además del hombre. El género *Citrobacter*, aunque desde los puntos de vista bioquímico y serológico es similar a *Salmonella*, es poco común que cause infecciones oportunistas.

### ***Enterobacter.***

Es un género de bacterias Gram negativas facultativamente anaeróbicas de la familia de las Enterobacteriaceae. Muchas de estas bacterias son patógenas y causa de infección oportunista, otras son descomponedoras que viven en la materia orgánica muerta o viven en el ser humano como parte de una población microbiana normal. Algunas enterobacterias patógenas causan principalmente infección del tracto urinario y del tracto respiratorio.

### ***Escherichia coli (E.coli)***

Son bacterias gram-negativo y son un tipo de bacterias coliformes fecales que se encuentran comúnmente en los intestinos de los animales y los seres humanos. La mayoría de las bacterias *E. coli* no causan enfermedad, pero si una persona se enferma de *E. coli*, el sitio primario de infección es el tracto gastrointestinal y los síntomas pueden incluir náusea, vómito, diarrea y fiebre. Esta bacteria vive y crece de forma natural en el tracto gastrointestinal de los seres humanos y los animales, pero si entra en el lugar equivocado en el cuerpo, por ejemplo, los riñones o la sangre, puede causar enfermedad. Según Ingerson y Reid (2011), la infección puede diseminarse en el cuerpo (a la sangre, el hígado y el sistema nervioso) (Rock & Rivera, 2014).

**INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DE AGUA (IRCA).**

El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), es la herramienta cuantitativa para determinar a través de un porcentaje, el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el consumo de agua. La medición del IRCA, es un instrumento básico para garantizar que el agua suministrada por las empresas prestadoras cumpla con las características establecidas para el agua para consumo humano.

Para estimar el grado del nivel de riesgo sobre el agua suministrada, el IRCA asigna a cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas en la Resolución 2115, un puntaje de riesgo como se muestra en la Tabla 2. El incumplimiento de límites máximos permitidos en la Resolución 2115 para una o más características, implica un aumento en el nivel de riesgo de la calidad del agua para consumo humano proporcional al puntaje de riesgo asignado a las características en las cuales se presentan incumplimientos.

**Tabla 2.** Puntajes de riesgo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el cálculo del IRCA.

CARACTERISTICA	PUNTAJE DE RIESGO
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio Zinc	1

Dureza total	1
Sulfatos	1
Hierro total	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al +3)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
<i>Escherichia coli</i>	25
<b>SUMATORIA</b>	<b>100</b>

Fuente: Resolución 2115, 2007.

El cálculo del IRCA por muestra tiene en cuenta el número total de características analizadas en la muestra a evaluar, para lo cual se utiliza la ecuación 1:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} * 100 \quad (1)$$

Fuente: Resolución 2117 de 2007.

Teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora.



**Tabla 3. Clasificación de nivel de riesgo en la salud según el IRCA.**

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

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

### **Capítulo III.**

#### **Metodología.**

La metodología desarrollada en el presente proyecto estuvo constituida por cinco fases las cuales estuvieron orientadas a cumplir con los objetivos planteados en el capítulo I. La primera fase consistió en una revisión bibliográfica con el fin de contar con la información requerida para el desarrollo de la investigación y de esta manera reforzar las bases teóricas. En la segunda fase se realizó el reconocimiento del área geográfica donde se llevó a cabo el posterior muestreo, esto con el objetivo de identificar los puntos de contaminación a lo largo de las fuentes hídricas. En la tercera fase se realizó la toma de muestras en las fuentes hídricas (Monteadentro y el Rosal) como en los puntos de la red de distribución establecidos por la empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. La cuarta fase tuvo como objetivo realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras recolectadas. Finalmente, en la quinta fase se realizó el cálculo del índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) para la posterior clasificación y comparación entre todas las muestras previamente recolectadas.

#### **Revisión bibliográfica.**

En esta primera fase se realizó una revisión bibliográfica lo que permitió profundizar en temas relacionados con el control, seguimiento y caracterización de aguas superficiales, así como la evaluación de plantas de tratamiento de aguas potables (PTAP) en el ámbito internacional, nacional y regional, permitiendo establecer bases teóricas en la presente investigación. Adicionalmente, a partir de la información recolectada se compararon diferentes metodologías para el análisis tanto fisicoquímico como microbiológico con el fin de identificar ventajas y

desventajas de aplicar una u otra metodología al momento de calcular estos parámetros y evaluar la calidad de agua.

### **Reconocimiento del área geográfica para la toma de muestras.**

Se realizó un recorrido a lo largo de las fuentes hídricas donde se llevó a cabo el muestro para el posterior análisis en el laboratorio. Para la identificación de los puntos de muestreo, fue necesario realizar una visita de inspección por donde fluyen las quebradas recorriendo las partes altas, medias y bajas (captación) de cada una de ellas; en este recorrido se identificaron puntos de contaminación, los cuales se establecieron de acuerdo con el tipo de actividad que allí se desarrolla. Por otra parte, los puntos de muestreo de agua tratada establecidos por la empresa EMPOPAPLONA S.A E.S.P se seleccionaron de acuerdo a la ubicación de estos frente a la planta potabilizadora, de esta manera se consideraron 4 puntos: punto 0,001 y punto 0,004 los cuales son los tanques de almacenamiento de la planta cariongo ubicados en el parque recreacional “los tanques”. Adicionalmente el punto 0,002 ubicado en la escuela “Normal superior” a 2 kilómetros de la planta y finalmente el punto 0,006 ubicado en el barrio “Chíchira” a 7 kilómetros de la planta potabilizadora.

### **Recolección de muestras.**

#### **Recolección de muestras (agua cruda).**

Una vez identificados los puntos de muestreo en los afluentes, se procedió a tomar un total de tres muestras en diferentes puntos estratégicos de las quebradas (Monteadrento y el Rosal) de acuerdo a la NTC-ISO 5667. Se realizó un muestreo en serie: “perfil de área” (misma profundidad, diferente localización) cada 2 semanas durante los meses de abril, mayo y junio. Para ello se

utilizaron botellas de polietileno tereftalato (PET) de 600 ml de capacidad. Una vez recolectadas las muestras se refrigeraron y trasladaron lo antes posible al laboratorio para los respectivos análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

#### **Recolección de muestras (agua tratada).**

*Análisis fisicoquímico:* Para la recolección de estas muestras se dispuso de un schott de 500 ml de capacidad previamente lavado y enjuagado con agua destilada. Una vez llegado al punto se abrió la llave para purgar el sistema, dejando fluir el agua mínimo un minuto o más, para quitar la estanqueidad de la tubería asegurando que el agua contenida en las tuberías ha sido renovada y la temperatura del agua se ha estabilizado para tomar las muestras definitivas. Posteriormente se enjuagó dos o tres veces la botella para el examen con la misma agua que se va a analizar y finalmente se llenó el frasco hasta el tope evitando dejar aire atrapado en su interior, previniendo así las modificaciones durante el transporte.

*Análisis microbiológico:* Para la recolección de estas muestras se dispuso de un schott de 250 ml de capacidad previamente esterilizados en la autoclave. Cabe resaltar que para la toma de muestras microbiológicas de agua tratada se añadió 0,1 ml de tiosulfato de sodio por cada 100 ml de muestra almacenada, en este caso se tomaron 200 ml por ende se le añadieron 0,2 ml de tiosulfato sódico, este procedimiento se realizó con el fin de neutralizar el cloro presente en el agua y recuperar carga microbiana. Al momento de tomar la muestra se debe, durante la recolección, usar guantes y, además, tapabocas. Para evitar contaminación secundaria de la muestra, al ser puntos de toma metálicos fueron esterilizados con llama para inactivar cualquier microorganismo presente. Se procedió a destapar el frasco sin soltar la tapa de la mano, para no contaminarla con sustancias o microorganismos externos y se dejó drenar el agua de la llave por un minuto. Cabe resaltar que para la toma de muestras microbiológicas no se enjuagará el frasco con la muestra a

recolectar, puesto que se perdería el preservante (tiosulfato sódico) que contiene. Seguidamente se tomó la muestra rápidamente llenando sólo la mitad o las dos terceras partes del recipiente, de manera que quede un espacio de aire para contribuir al mezclado. Después del muestreo, el recipiente que contiene la muestra deberá taparse ajustadamente, teniendo la precaución de no contaminar la tapa y evitar así contaminaciones accidentales posteriores. Finalmente, la muestra se refrigeró y se llevó al laboratorio para su respectivo análisis.

## **ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.**

### **Análisis fisicoquímicos.**

**Temperatura:** Para determinar la temperatura se realizó mediante un termómetro de mercurio, introduciéndolo dentro de la muestra hasta su estabilización para tener una correcta lectura de la temperatura en cada una de las muestras tanto de agua cruda como de agua tratada.

**Color:** Para la medición de este parámetro se tomaron 15 ml de muestra con ayuda de una probeta y se adicionaron a la celda volumétrica. Antes de introducir la celda con la muestra de agua se deberá ajustar el equipo por medio de una celda que contiene agua destilada la cual nos servirá como referencia al calcular el color debido a que esta nos deberá medir 0 unidades de platino-cobalto (UPC). Posteriormente se introdujo la celda con la muestra de agua al equipo HACH POCKET COLORIMETER II el cual de manera automática nos arrojó el valor del color.

**Turbidez:** Para la medición de este parámetro se tomaron 15 ml de muestra almacenada y con la ayuda de una probeta se adicionaron a la celda volumétrica teniendo la precaución de no formar burbujas dentro de la celda, posteriormente se introdujo dentro del turbidímetro HACH 2100Q donde este equipo de manera automática nos dió el valor de la turbidez.

**pH:** Para la medición de este parámetro se utilizó el pH-metro HACH HQ11d el cual cuenta con un electrodo que se introdujo dentro del recipiente que contiene la muestra de agua, seguidamente se esperó la estabilización del equipo y posteriormente se realizó la lectura de pH que el pH-metro nos dio de manera automática.

**Conductividad:** Para la medición de este parámetro físico se utilizará el conductímetro HACH SENSION5 el cual cuenta con un electrodo que se deberá introducir dentro del recipiente que contiene la muestra de agua y de manera automática este equipo nos arrojará el valor de la conductividad eléctrica.

**Cloro residual libre:** Para la medición del cloro residual se tomaron 10 ml de muestra con la ayuda de una pipeta y un pipeteador y se adicionaron dentro de un tubo de ensayo. Posteriormente se adicionó un sobre de DPA (N-Dietilpencilendiamina) en el tubo de ensayo el cual es un indicador que, al entrar en contacto con la muestra de agua, reaccionará tornándose de un color magenta proporcionalmente a la concentración de cloro que haya en el agua. Luego de tres minutos la muestra contenida en el tubo de ensayo se introdujo en la celda volumétrica del HACH POCKET COLORIMETER DR300 y de manera automática este equipo nos arrojó el valor del cloro residual.

**Dureza total:** Inicialmente se llenó una bureta digital con la solución estándar de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) al 0,01M. Posteriormente se midió 100 ml de la muestra a analizar en una probeta y se adicionaron en un vaso precipitado de 500 ml. Seguidamente se adicionó una microcucharada de negro de eriocromo en la muestra y se le agregó 1 ml de solución reguladora (amoníaco líquido) hasta disolverlo completamente, de esta manera la muestra de agua se tornará de un color rosado magenta. A continuación, se le adicionó poco a poco la solución con EDTA hasta que viró de color a un azul muy claro. Finalmente se leyó en la bureta el volumen de

EDTA gastado para calcular el valor de la dureza en ppm como  $\text{CaCO}_3$  por medio de la ecuación

2.

Para el cálculo de la dureza en ppm de  $\text{CaCO}_3$  se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza total} \left( \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{A*B*C*1000}{M} \quad (2)$$

Donde:

A: Volumen de solución de EDTA gastados en la titulación (ml)

B: Concentración molar de la solución de EDTA (0,01M)

C: Peso molecular del carbonato de calcio (100 g/mol)

M: Volumen de la muestra de agua titulada (100 ml)

Remplazando los valores nos queda:

$$\text{Dureza total} \left( \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = A * 10$$

**Alcalinidad total:** Inicialmente se llenó una bureta digital con la solución estándar de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico) al 0,02N. Posteriormente se midieron 100 ml de la muestra a analizar en una probeta y se adicionaron en un vaso precipitado de 500 ml. Seguidamente se adicionaron tres gotas de verde de bromocresol en la muestra, de esta manera la muestra de agua se tornó de un color azul. A continuación, se adicionó poco a poco la solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hasta que viró de color a un amarillo muy claro. Finalmente se leyó en la bureta el volumen de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gastado para calcular el valor de la alcalinidad en ppm como  $\text{CaCO}_3$  por medio de la ecuación 3.

Para el cálculo de la alcalinidad total en ppm se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Alcalinidad total} \left( \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{A*B*C*1000}{M} \quad (3)$$

Donde:

A: Volumen de solución de ácido gastados en la titulación (ml)

B: Concentración normal del ácido estándar (0,02M)  
 C: Peso molecular del carbonato de calcio (100 g/mol)  
 M: Volumen de la muestra de agua titulada (100 ml)

Remplazando los valores nos queda:

$$\text{Alcalinidad total} \left( \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = A * 10$$

**Cloruros:** Inicialmente se llenó una bureta con la solución estándar de AgNO<sub>3</sub> (nitrato de plata) al 0,01N. Posteriormente se midieron 20 ml de la muestra a analizar en una probeta y se adicionaron en un vaso precipitado de 100 ml. Seguidamente se adicionó tres gotas de cromato de potasio (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) en la muestra, de esta manera la muestra de agua se tornó de un color amarillo. A continuación, se añadió poco a poco la solución de AgNO<sub>3</sub> hasta que viró de color anaranjado-rojizo. Finalmente se leyó en la bureta el volumen de AgNO<sub>3</sub> gastado para calcular el valor de cloruros en ppm como Cl<sup>-</sup> por medio de la ecuación 4.

Para el cálculo de los cloruros en ppm de Cl<sup>-</sup> se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{ppm Cl}^- = \frac{V * N * 35453}{M} \quad (4)$$

Donde:

V: Volumen del nitrato de plata gastados en la titulación (ml)  
 N: Normalidad del nitrato de plata (0,01N)  
 M: Volumen de la muestra de agua titulada (20 ml)

**Hierro total:** Para la medición del hierro total se tomaron 10 ml de muestra con la ayuda de una pipeta y un pipeteador y se adicionaron dentro de un tubo de ensayo. Posteriormente se adicionó un sobre de FerroVer en el tubo de ensayo el cual es un indicador que, al entrar en contacto con la muestra de agua, reaccionará tornándose de un color rojizo-naranja proporcionalmente a la concentración de hierro que haya en el agua. Luego de cinco minutos la



muestra contenida en el tubo de ensayo se introdujo en la celda volumétrica del ESPECTROFOTÓMETRO HACH DR3800 y de manera automática este equipo nos arrojó la concentración del hierro total contenido en la muestra.

**Nitritos:** Para la medición de nitritos se tomaron 10 ml de muestra con la ayuda de una pipeta y un pipeteador y se adicionaron dentro de un tubo de ensayo. Posteriormente se adicionó un sobre de NitrVer 3 en el tubo de ensayo el cual es un indicador que, al entrar en contacto con la muestra de agua, reaccionará tornándose de un color rosa proporcionalmente a la concentración de nitritos que haya en el agua. Luego de diez minutos la muestra contenida en el tubo de ensayo se introdujo en la celda volumétrica del ESPECTROFOTÓMETRO HACH DR3800 y de manera automática este equipo nos arrojó la concentración de nitritos contenidos en la muestra.

**Nitratos:** Para la medición de nitratos se tomaron 10 ml de muestra con la ayuda de una pipeta y un pipeteador y se adicionaron dentro de un tubo de ensayo. Posteriormente se adicionó un sobre de NitraVer 5 en el tubo de ensayo el cual es un indicador que, al entrar en contacto con la muestra de agua, reaccionará tornándose de un color grisáceo proporcionalmente a la concentración de nitratos que haya en el agua. Luego de veinte minutos la muestra contenida en el tubo de ensayo se introdujo en la celda volumétrica del ESPECTROFOTÓMETRO HACH DR3800 y de manera automática este equipo nos arrojó la concentración de nitratos contenidos en la muestra.

**Fosfatos:** Para la medición de fosfatos se tomaron 10 ml de muestra con la ayuda de una pipeta y un pipeteador y se adicionaron dentro de un tubo de ensayo. Posteriormente se adicionó un sobre de PhosVer 3 en el tubo de ensayo el cual es un indicador que, al entrar en contacto con la muestra de agua, reaccionará tornándose de un color azul proporcionalmente a la concentración de fosfatos que haya en el agua. Luego de quince minutos la muestra contenida en el tubo de

ensayo se introdujo en la celda volumétrica del ESPECTROFOTÓMETRO HACH DR3800 y de manera automática este equipo nos arrojó la concentración de fosfatos contenidos en la muestra.

### **Análisis microbiológicos.**

*Coliformes totales y Escherichia Coli:* Para el análisis de coliformes totales y fecales se instaló el manifold previamente esterilizado, dentro de la cabina de flujo laminar para luego insertar el conector sobre la rampa de filtración y posteriormente, ajustar los embudos al equipo. Luego se conectó el manifold a la rampa para generar presión, posteriormente se dispuso la membrana estéril con la superficie cuadrículada hacia arriba sobre el portafiltros poroso del embudo utilizando pinzas estériles, seguidamente se colocó el embudo para llevar a cabo la filtración depositando 100 ml de la muestra sobre el embudo. Se activó el sistema de encendido para que el equipo empiece a filtrar la muestra dispuesta anteriormente. Una vez finalizado el proceso de filtración, se retiró la membrana con pinzas estériles y se colocaron en las placas de petri sobre el medio (Chromocult). Posteriormente se incubó las cajas de petri en posición invertida según temperatura y tiempo de incubación requerida. Para recuento de *E.coli* y coliformes totales será necesario una temperatura 37° por 24 horas. El recuento de microorganismos se llevó a cabo según las especificaciones establecidas por la resolución, cumpliendo la norma vigente.

### **Análisis comparativo.**

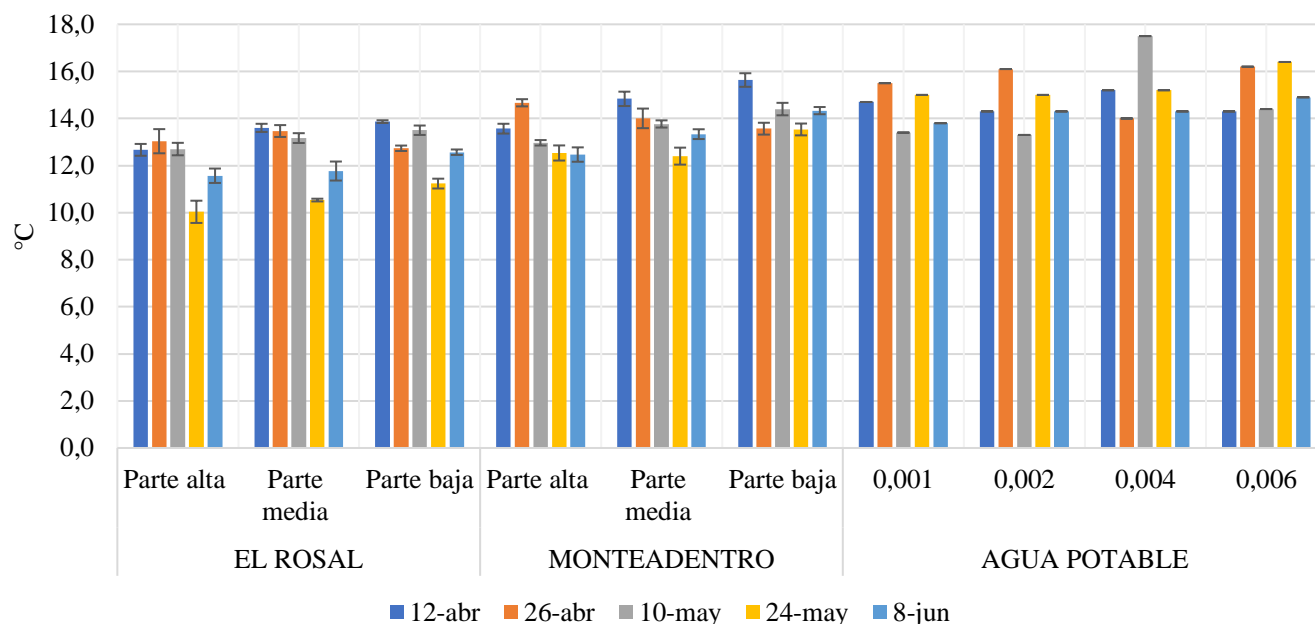
Para realizar el análisis comparativo entre las muestras de agua cruda y agua tratada se realizaron los procedimientos fisicoquímicos y microbiológicos mostrados anteriormente, al obtener estos resultados se realizó el cálculo el IRCA de cada muestra de agua y de esta manera se pudieron clasificar dentro de los cinco niveles de riego estipulados en el artículo 15 de la resolución

2115 de 2007. En la tabla 3 se puede apreciar la clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.

## Capítulo IV.

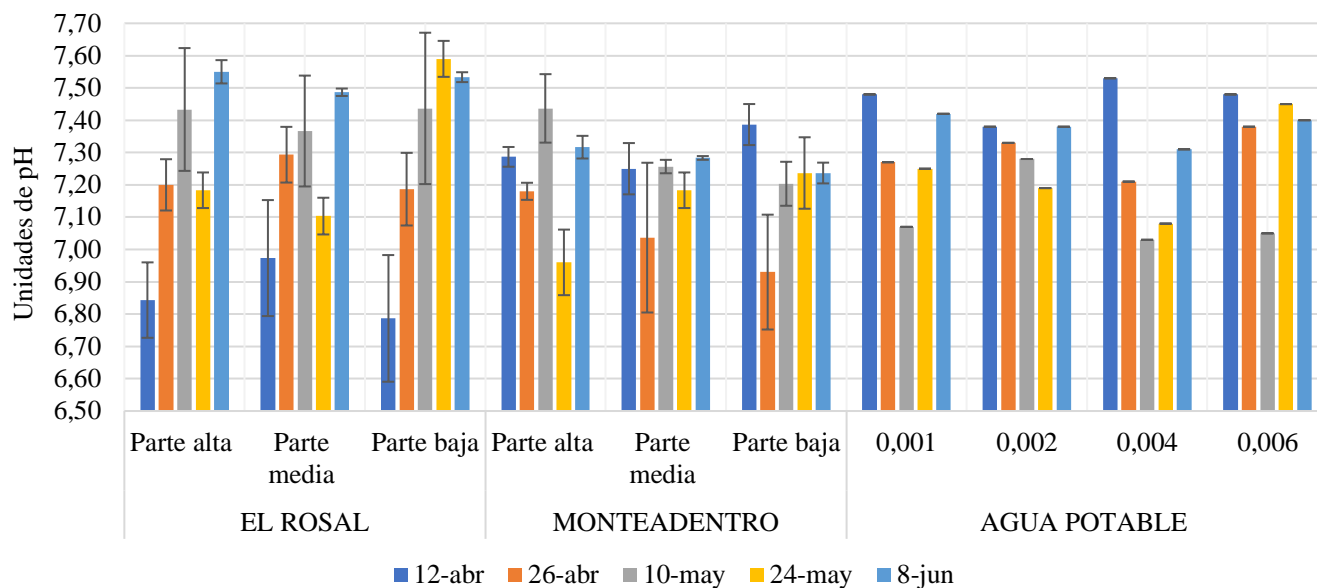
### Resultados y Análisis.

En el presente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos del estudio realizado a cada una de las muestras tomadas en los diferentes puntos de las fuentes hídricas, así como los puntos de la red de distribución asignados por la empresa.



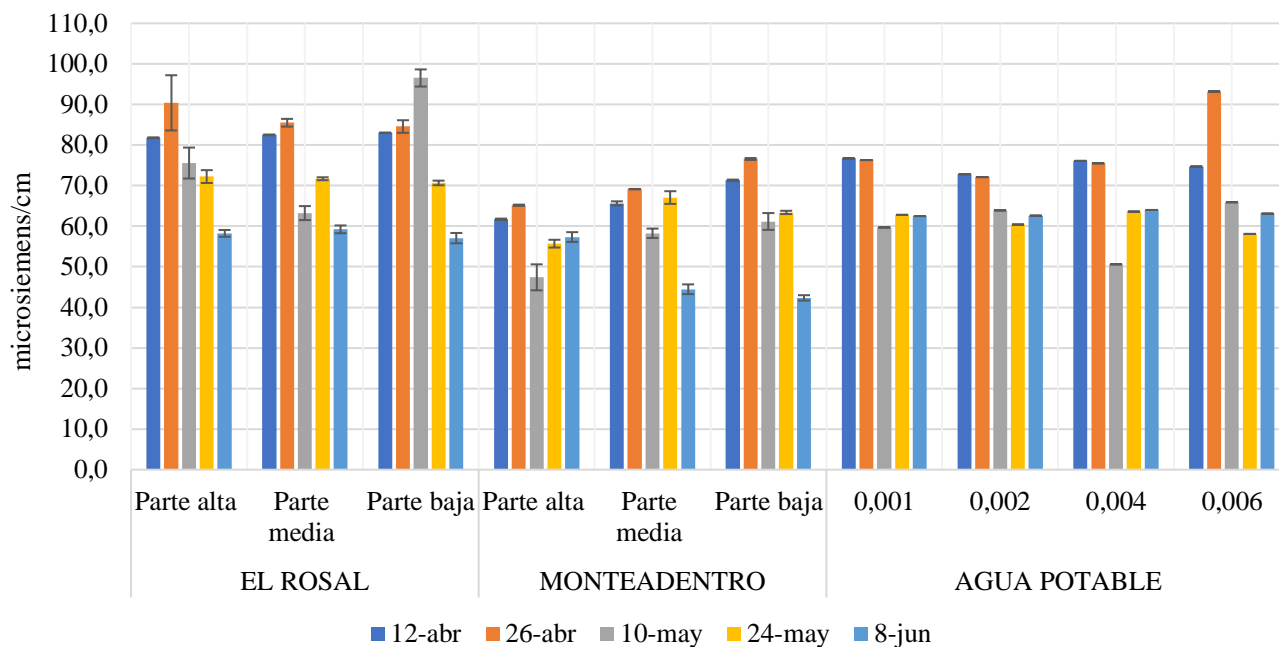
**Figura 7.** Control y seguimiento de la Temperatura

La temperatura tomada de las fuentes superficiales registra una oscilación muy baja entre los diferentes muestreos realizados durante los meses de abril, mayo y junio (Figura 7) esto se debe a la ubicación geográfica del municipio de Pamplona y sus condiciones climáticas. De igual manera se puede apreciar un leve aumento de temperatura entre las muestras de agua potable respecto a las muestras de las respectivas fuentes hídricas debido al tiempo de retención en los tanques de almacenamiento y tuberías de las redes de distribución llegando el valor máximo de temperatura a los 17,5 °C.



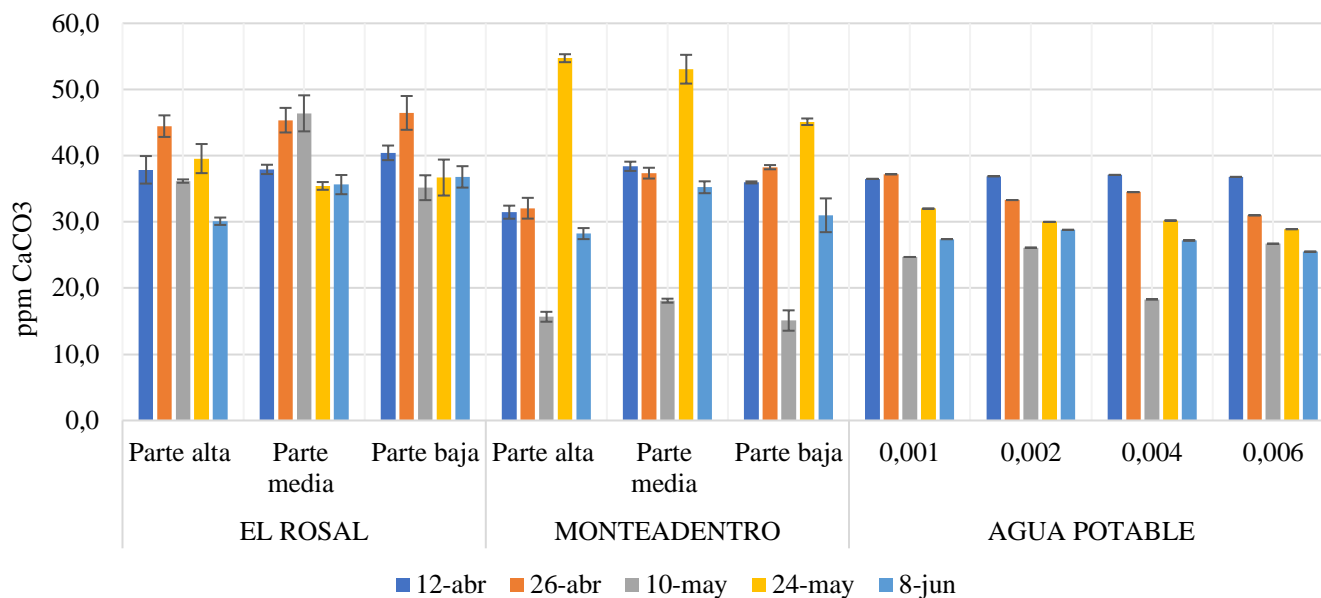
**Figura 8.** Control y seguimiento del pH.

En la figura 8 se observan los resultados medidos de pH para las muestras tomadas en las quebradas a lo largo de los tres meses, donde se observa una variación no muy significativa de este parámetro, además las muestras analizadas se encuentran dentro del rango permitido por la normativa colombiana (resolución 2115 de 2007) entre 6,5 y 9,0 unidades de pH. Así mismo, al analizar los resultados de las muestras de agua potable de la red de distribución se encuentra un resultado similar al de las muestras de agua cruda. Al analizar el pH en los diferentes puntos de monitoreo de las quebradas Monteadentro y El Rosal respecto a las muestras de agua potable tomadas en la red de distribución se valora que el pH se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental.

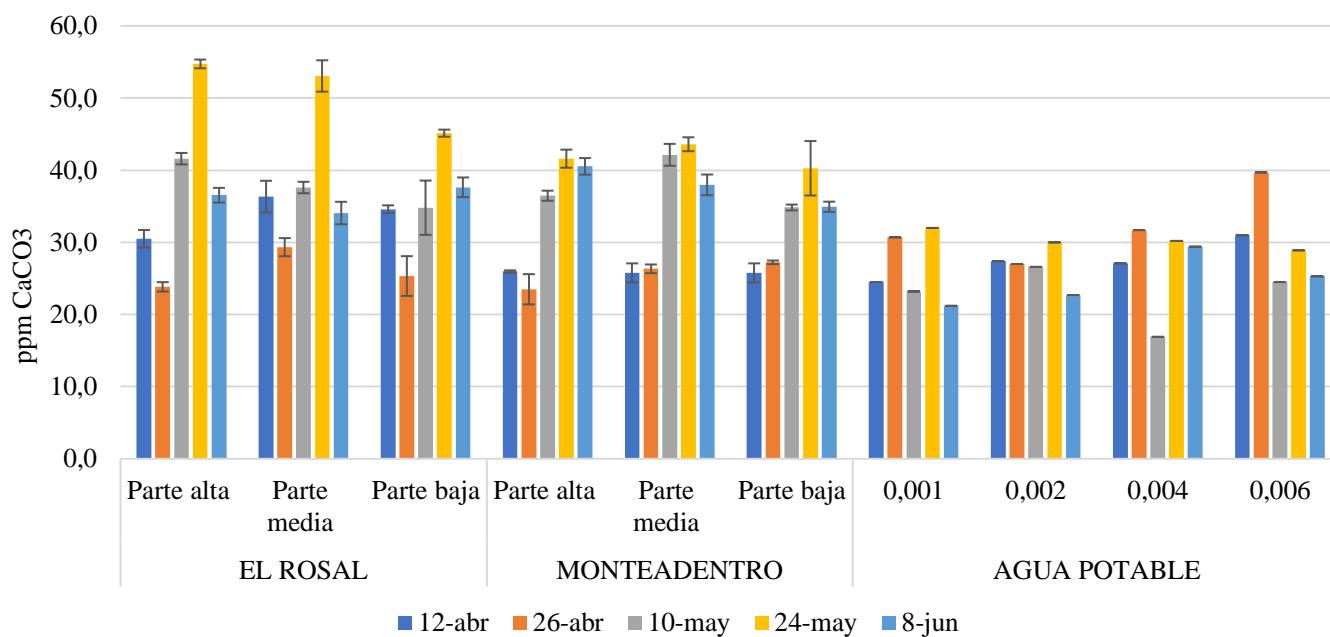


**Figura 9.** Control y seguimiento de la Conductividad.

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, principalmente sales de calcio y magnesio. La conductividad en la quebrada el Rosal osciló en un rango de 55,6 y 98,5 microsiemens/cm y para la quebrada Monteadentro un rango de 41,6 a 76,7 microsiemens/cm (Figura 9). Al comparar el valor de la conductividad de la quebrada el Rosal frente a la quebrada Monteadentro, nos permite concluir que el agua superficial de la quebrada el Rosal posee una mayor concentración de electrolitos disueltos a lo largo de la fuente hídrica debido a procesos de biodegradación (Solís-Castro et al., 2018). Por otro lado, los resultados de la conductividad de las muestras de la quebrada Monteadentro presentan una similitud con las muestras de agua potable las cuales se encuentran en un rango muy bajo del valor máximo permisible (1000 microsiemens/cm) estipulado por la normativa colombiana.

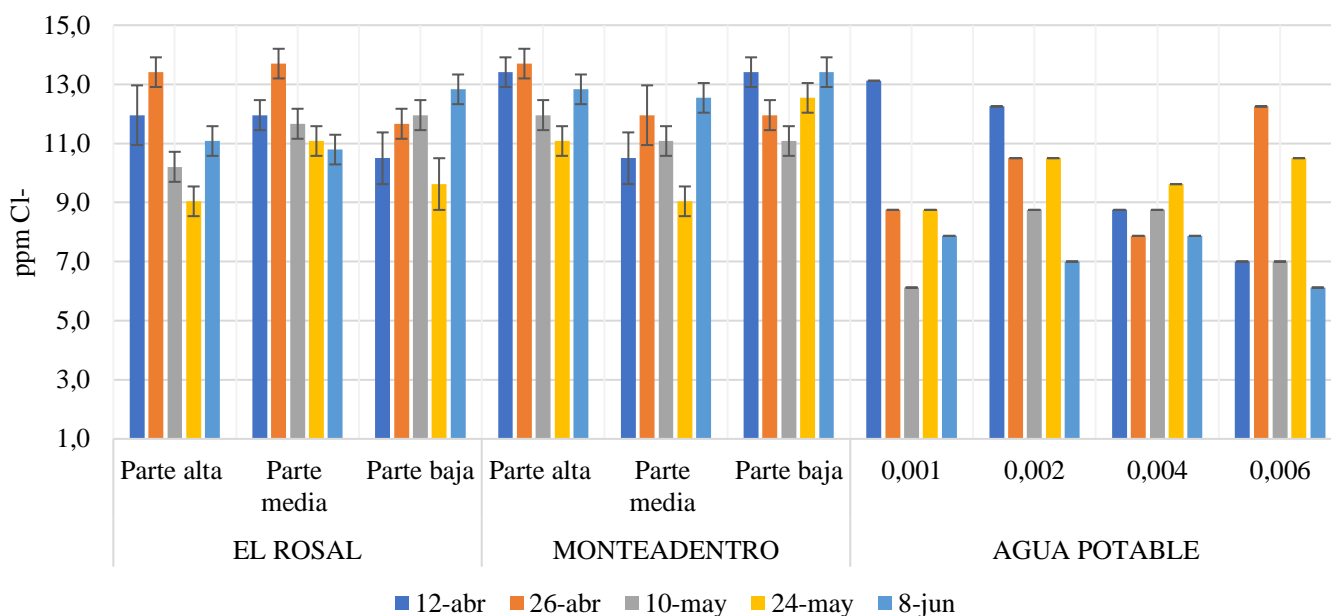


**Figura 10.** Control y seguimiento de la Alcalinidad



**Figura 11.** Control y seguimiento de la Dureza.

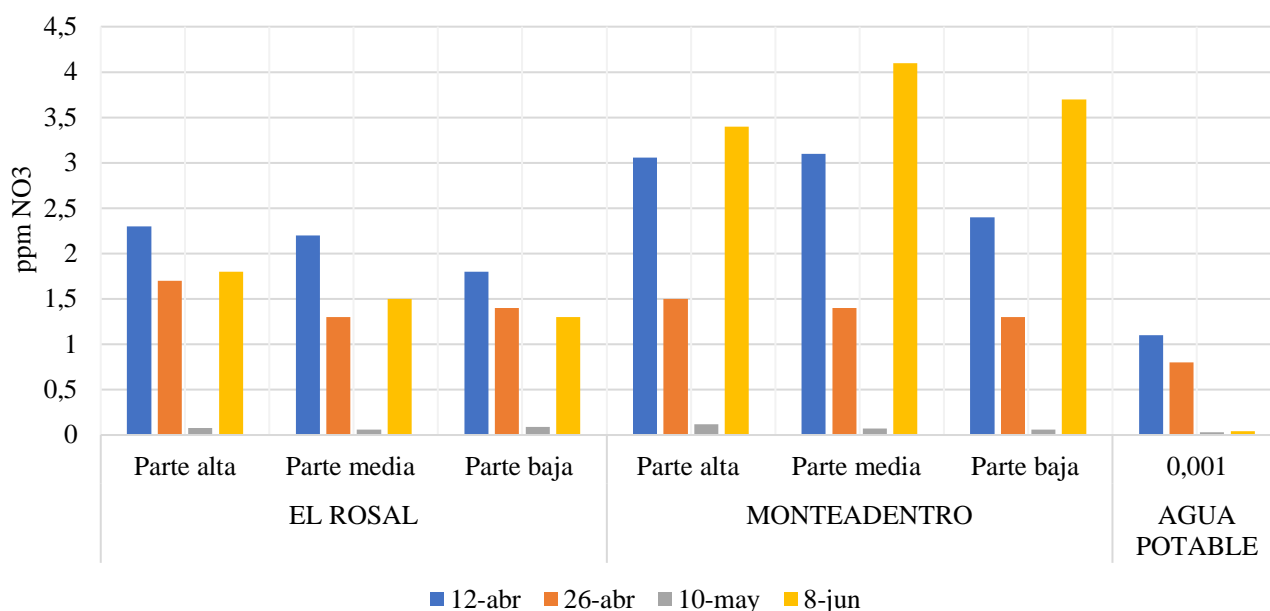
En los análisis de alcalinidad (Figura 10) y dureza (Figura 11) la concentración de dichos parámetros no presentó una variabilidad significativa a lo largo de los muestreos realizados debido principalmente a la ubicación geográfica de los recursos hídricos. En primer lugar, los iones hidróxido ( $\text{OH}^-$ ), los iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y los iones carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) contribuyen a la alcalinidad del agua. La geología del área donde se realizó el muestro influye en la alcalinidad por la cantidad de minerales presentes en las rocas y el suelo circundante, teniendo una relación proporcional. Los análisis de dureza mostraron una pequeña disminución en las muestras de agua potable respecto a las muestras de agua cruda debido a la presencia de sales de calcio y magnesio, sin embargo, estos acuíferos presentan un porcentaje muy bajo de sales carbonatadas al ser aguas superficiales. Por último, la alcalinidad y la dureza están dentro del rango exigido por la normativa colombiana, 200 ppm  $\text{CaCO}_3$  y 300 ppm  $\text{CaCO}_3$  respectivamente.



**Figura 12.** Control y seguimiento de Cloruros.



La presencia de cloruros en las quebradas el Rosal y Monteadentro son muy bajas debido a que principalmente se tratan de aguas dulces y la ubicación geográfica de Pamplona no es representativa de zona árida, como también no hay descargas industriales y mineras, por ende, las muestras analizadas de agua cruda y agua potable están dentro de lo estipulado por la normativa colombiana (Figura 12).



**Figura 13.** Control y seguimiento de Nitratos

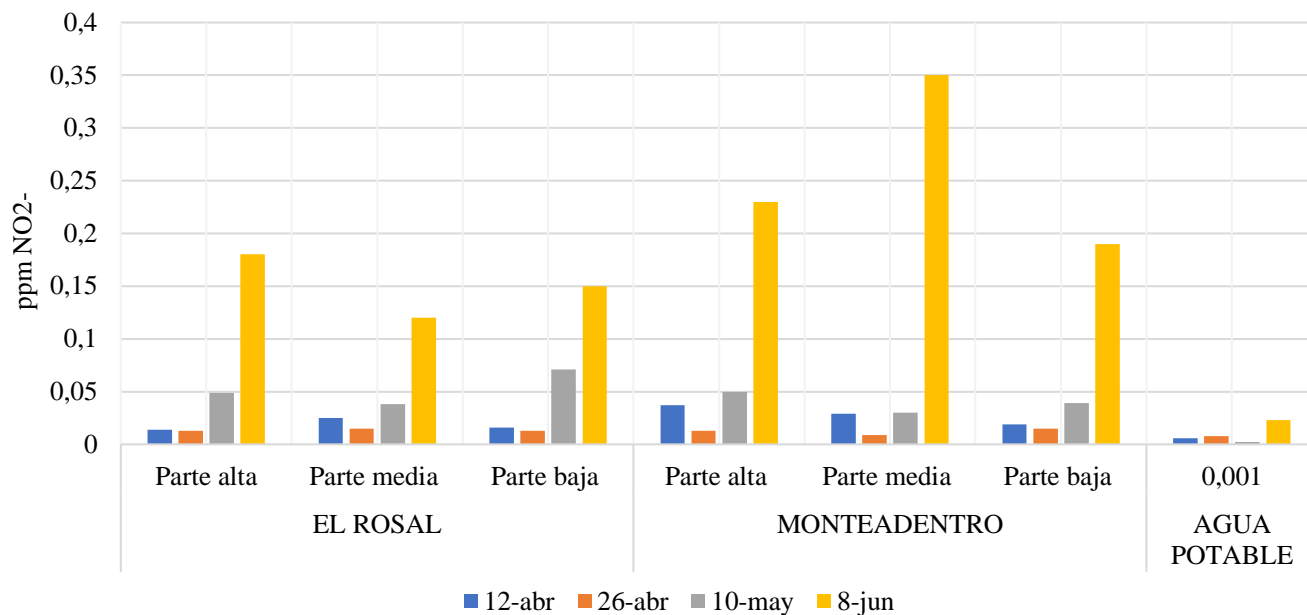
Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las fuentes hídricas son a través de aguas residuales industriales o municipales, por tanques sépticos o descargas de corrales ganaderos, residuos animales (incluyendo aves y peces) y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos. A continuación, se presentan algunos tipos de fertilizantes a base de nitrógeno utilizados en el sector agrícola del municipio de Pamplona que aumentan la concentración de nitratos y nitritos en las quebradas Monteadentro y el Rosal.

**Tabla 4.** Tipos de fertilizantes utilizados para la agricultura a base de Nitrógeno.

<b>NOMBRE</b>	<b>FORMULA</b>	<b>% NITRÓGENO</b>
Urea	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	46 %
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	33 %
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21 %
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	16 %
Nitrato de sodio	$\text{NaNO}_3$	15 %

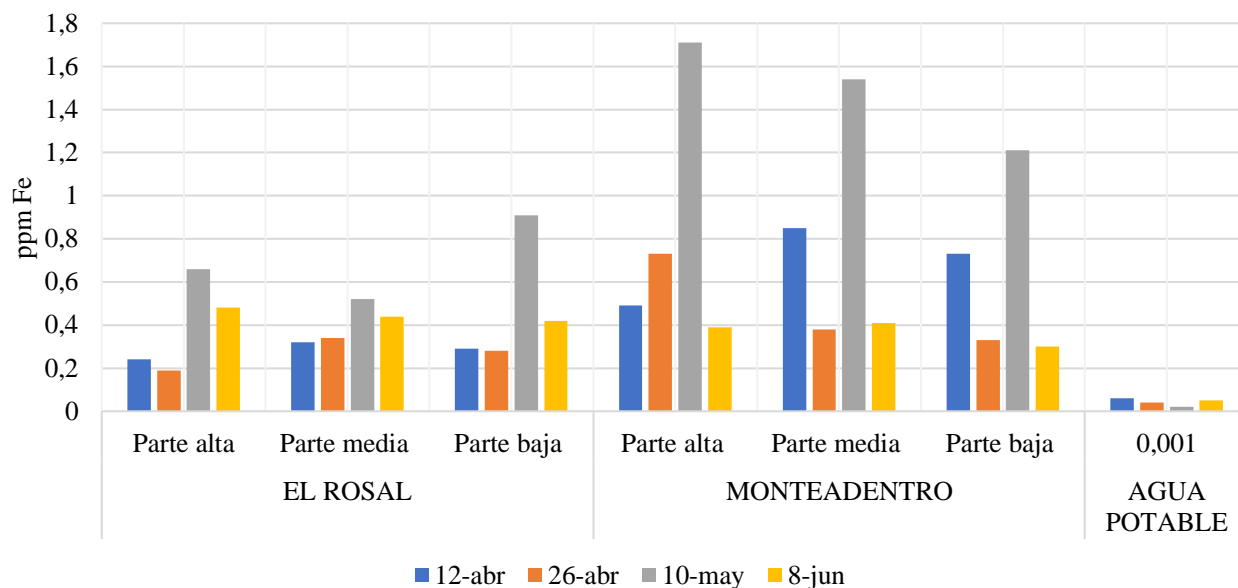
En la figura 13 se observan los resultados de la concentración de nitratos en cada quebrada como en el venturi siendo este un tanque de almacenamiento de agua potable (punto 0,001). Se observa una variabilidad de la concentración de nitratos a lo largo del tiempo en cada una de las fuentes hídricas llegando a un valor máximo de 4,1 ppm  $\text{NO}_3^-$ , no obstante, las muestras de agua potable no presentan una gran diferencia respecto a las muestras de agua cruda debido a que las concentraciones de todas las muestras están dentro del rango exigido por la resolución 2115 de 2007 (10 ppm  $\text{NO}_3^-$ ). Cabe resaltar que los nitratos no se consideran en sí tóxicos pero una ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético.

Con el paso del tiempo, y debido esencialmente a la acción de algunas bacterias, estos nitratos evolucionan a nitritos, iones considerados todavía mucho más tóxicos. Los nitritos también se forman durante la biodegradación de nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados.



**Figura 14.** Control y seguimiento de Nitritos

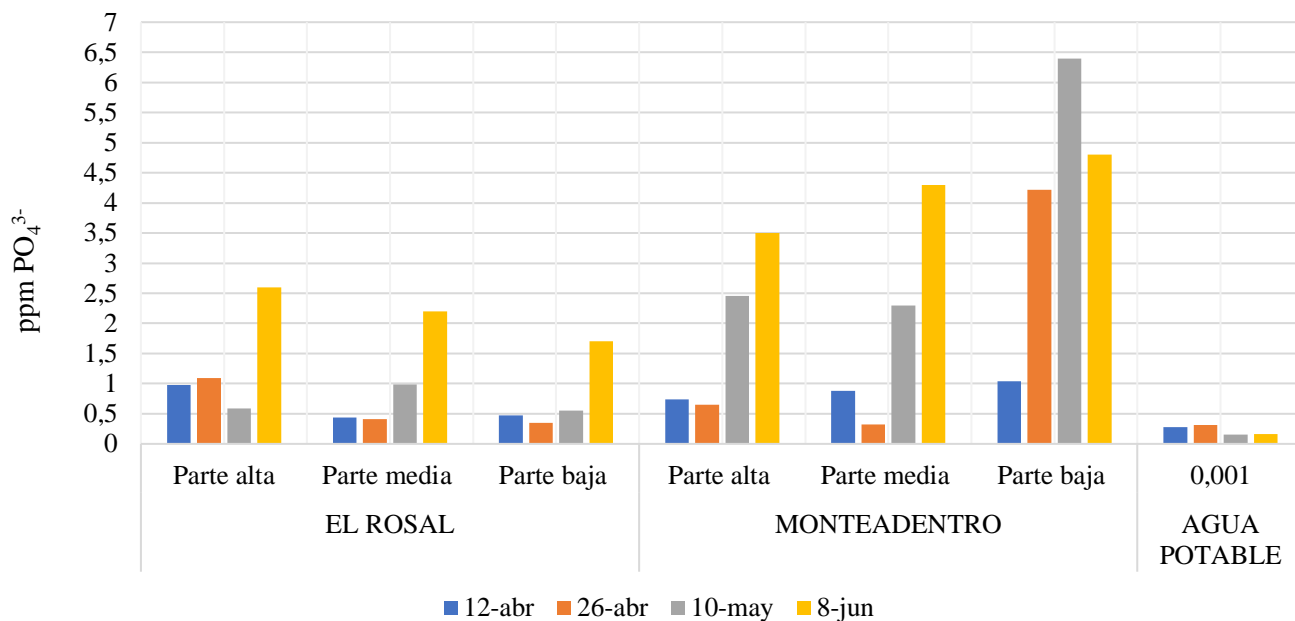
En la figura 14 se observa que los resultados obtenidos el 8 de junio de 2021 presentan una gran cantidad de nitritos en las quebradas el Rosal y Monteadentro llegando a un valor máximo de 0,35 ppm  $\text{NO}_2^-$ , pese a esto, al momento del agua cruda realizar todo el proceso de potabilización (tratamiento convencional) de la planta Cariongo, se observa una gran disminución de la concentración de este parámetro, estando así dentro del rango estipulado por la normativa colombiana (0,1 ppm  $\text{NO}_2^-$ ). Principalmente los medios de propagación y dispersión de estos iones son los procesos de escorrentía o escurrimiento y filtración de desechos de actividades humanas, por ende, es necesario un riguroso control de estos compuestos químicos, dado que la ingesta excesiva de nitritos puede provocar alteraciones de la capacidad de transporte de oxígeno en sangre (metahemoglobinemia).



**Figura 15.** Control y seguimiento del Hierro total.

La figura 15 nos muestra la concentración de hierro en las fuentes hídricas proveniente de la disolución de las rocas y minerales donde se encuentra contenido y en el tanque de almacenamiento de agua potable. Se observa un aumento de hierro en la quebrada Monteadentro estando esta concentración por fuera de los rangos permitidos por la normativa colombiana, esto se debe principalmente por las actividades antrópicas presentadas alrededor de este recurso hídrico. Se presenta una significativa reducción de la concentración de hierro al realizar el proceso de potabilización donde las unidades de filtros retienen la mayor parte de este compuesto. Aguas subterráneas tienden a tener mayores concentraciones de hierro ya que la materia orgánica del suelo absorbe el oxígeno disuelto del agua, normalmente las aguas con gran carga orgánica suelen tener más hierro produciéndose así asociaciones y complejos entre ellos cuya eliminación y potabilización puede ser complicada. Adicionalmente otra problemática de grandes cantidades de hierro en el agua es la “bacteria de hierro” aunque no es causante de enfermedades puede llegar a

producir un material gelatinoso que obstruye el flujo de agua en tuberías, sin embargo, la unidad de cloración ayuda a eliminar este tipo de microorganismos.



**Figura 16.** Control y seguimiento de Fosfatos

La concentración de fosfatos que se encuentran en aguas superficiales analizadas proviene principalmente de: Fertilizantes e insecticidas utilizados en la agricultura, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza. Los insecticidas organofosforados son compuestos orgánicos degradables que contienen principalmente enlaces de fósforo y carbono, utilizados principalmente en el control de plagas como alternativa a los hidrocarburos clorados que persisten en el ambiente. A continuación, se presentan los insecticidas organofosforado más utilizados en el sector agrícola del municipio de Pamplona.

- Clorpirifós
- Dimetoato
- Latigo: Mezcla de insecticida organofosforado (Clorpirifós) y un insecticida piretroide (Cipermetrina).

A continuación, se presentan los fertilizantes a base de fósforo utilizados en la agricultura.

**Tabla 5.** Tipos de fertilizantes utilizados para la agricultura a base de fósforo.

<b>NOMBRE</b>	<b>FORMULA</b>	<b>% FÓSFORO</b>
Fosfato monoamónico	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	48 %
Fosfato diamónico	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	46 %
Polifosfato de amonio	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	34-38 %

En la figura 16 se observa que en la mayor parte de las muestras analizadas la concentración de fosfatos excede lo estipulado por la legislación colombiana ( $0,5 \text{ ppm PO}_4^{3-}$ ) siendo la parte baja (captación) de la vereda monte dentro el punto con los mayores niveles de fosfatos. Esta elevada concentración proviene de los factores naturales del suelo, así como del estiércol y otros tipos de materia orgánica provenientes de desechos agrícolas. La eliminación de este compuesto se da por medio de una precipitación química al momento de adicionar el coagulante en el proceso de dosificación de la planta potabilizadora, para posteriormente pasar por las cámaras de floculación hasta los tanques de sedimentación convencionales y de alta tasa. Por último, se aprecia una disminución significativa del ion sulfato en las muestras de agua potable.

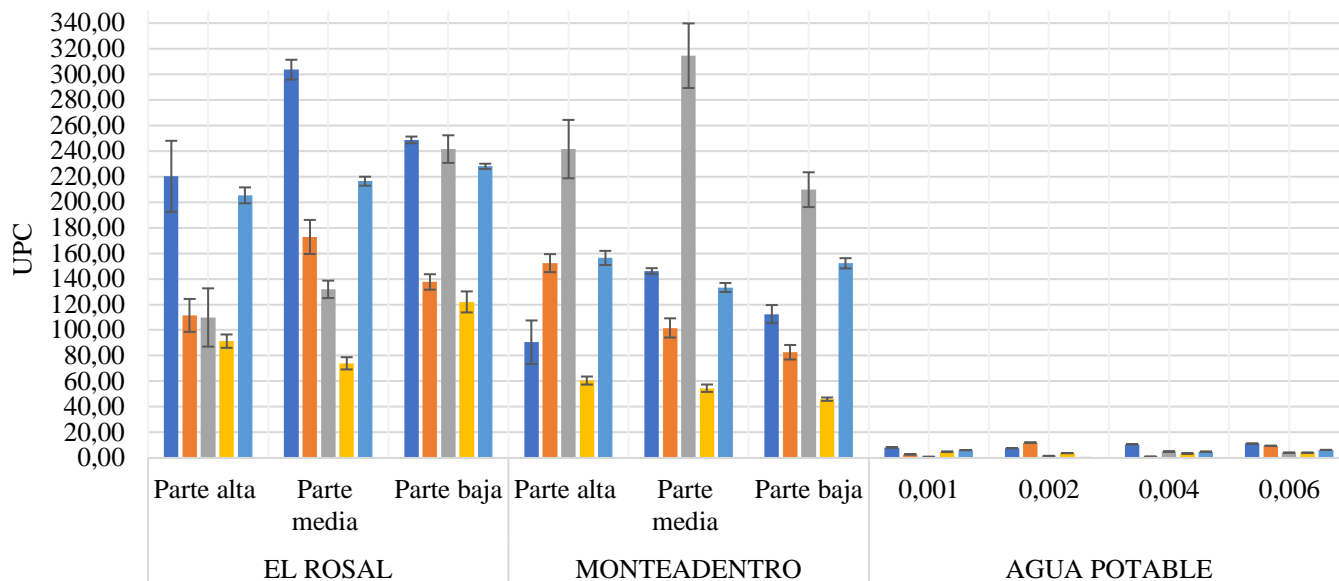


Figura 17. Control y seguimiento del Color

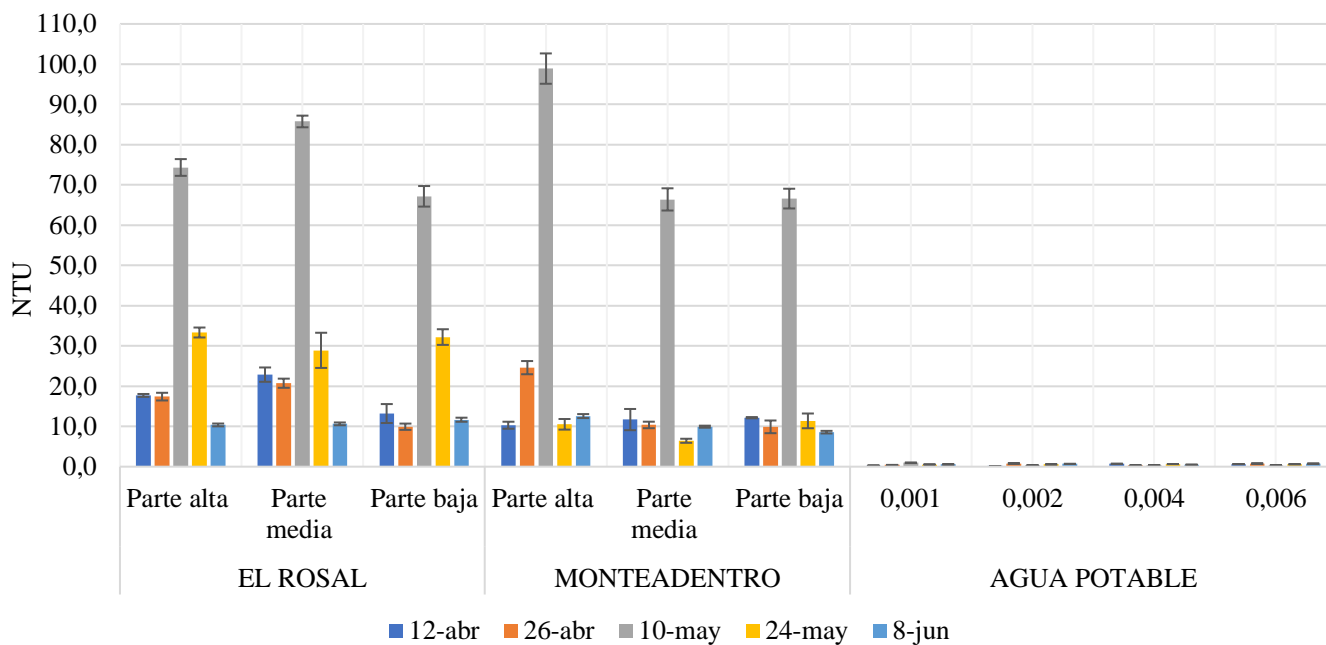
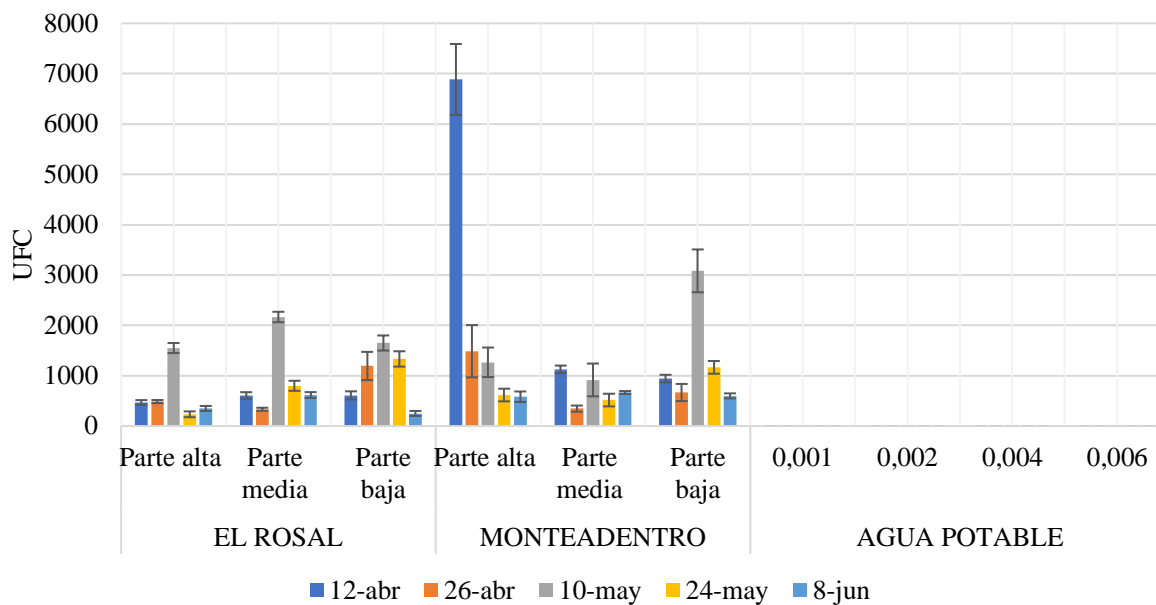


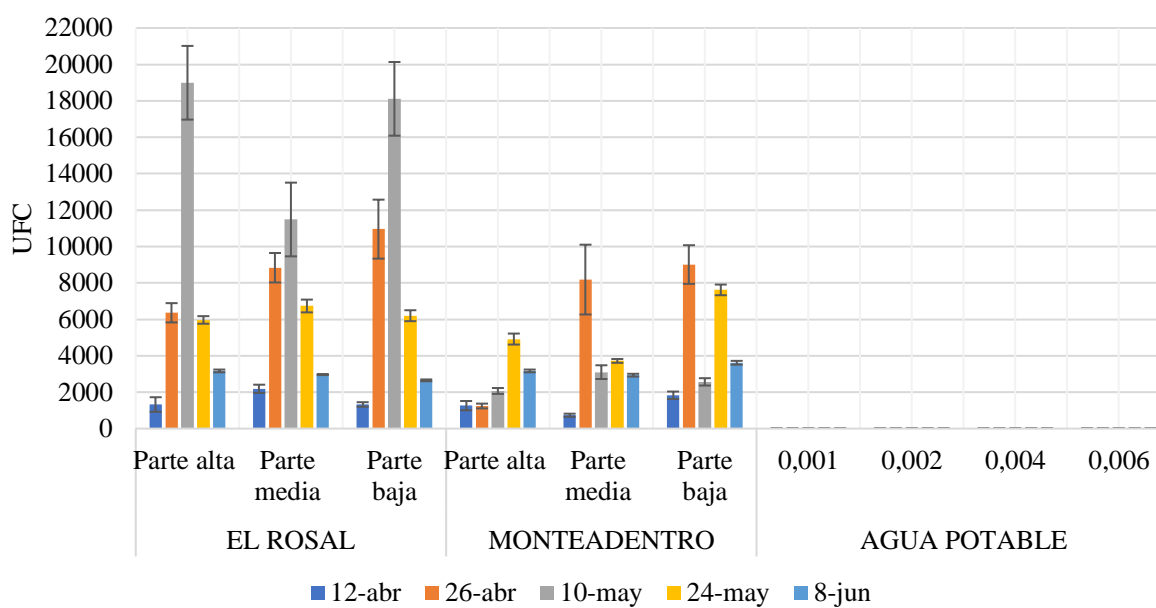
Figura 18. Control y seguimiento de la Turbidez

El color es, junto con la turbidez, el olor y el sabor, características que nos indican la calidad de agua debido a que estos parámetros organolépticos están relacionados con la cantidad de partículas orgánicas disueltas, en suspensión o coloidales por lo que son indicadores de contaminación en los recursos hídricos. La figura 17 y la figura 18 nos muestran la gran variabilidad que hay entre los valores de color y turbidez respectivamente, esto se debe a la influencia de cambios climáticos y principalmente actividades antrópicas, llegando a un valor máximo de 340,9 UPC (Unidades de Platino Cobalto) para el color y 102 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) para la turbiedad. La coagulación química es el proceso más eficiente para la eliminación de estos parámetros, aunque en un tratamiento convencional los desarenadores ayudan con la disminución de estas características físicas. Al momento de realizar la dosificación es necesario suministrar la cantidad óptima de coagulante en este caso (policloruro de aluminio) para una mejor formación de los “flocs” y así facilitar la sedimentación. Cabe resaltar que la turbidez es eliminada principalmente en el proceso de coagulación-floculación-sedimentación mientras que el color se elimina en gran parte en las unidades de filtración. Debido a que estos parámetros son muy propensos a variar con cualquier actividad es difícil dar una actividad en específica de los cambios en el color y turbiedad.





**Figura 19.** Control y seguimiento de coliformes fecales (*Escherichia coli*)



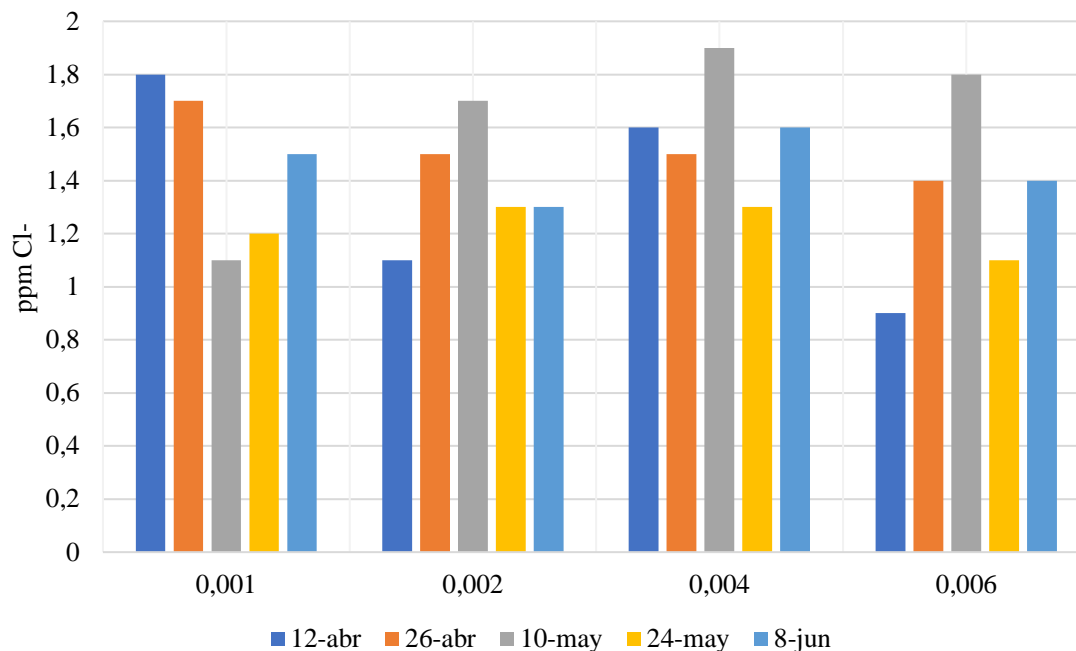
**Figura 20.** Control y seguimiento de coliformes totales

La presencia de *E. coli* en las quebradas Monteadentro y el Rosal es una fuerte indicación de una reciente contaminación de aguas residuales o contaminación debido a excreciones animales o humanas, esto representa un grave riesgo para la salud de los humanos por la alta probabilidad de la existencia de agentes patógenos en la materia fecal (EDA). La ganadería, porcicultura y las granjas avícolas son las principales fuentes de contaminación de materia fecal en las fuentes hídricas que abastecen la planta de tratamiento Cariongo.

La identificación de coliformes totales resulta un poco más complicada puesto que esta bacteria no siempre es de origen intestinal, sino que puede estar presente en el suelo y aguas, entre el grupo de coliformes totales podemos encontrar: La *Klebsiella*, *Citrobacter* y *Enterobacter*. La coagulación, floculación y sedimentación puede llegar a reducir hasta un 80% de la carga microbiana presente en el agua, sin embargo la unidad de cloración o desinfección es el proceso por el cual se elimina el 100% de estos microorganismos.

**Tabla 6.** Niveles de cloro para las muestras de agua potable.

Punto de muestreo	Fecha				
	12 abril	26 abril	10 mayo	24 mayo	8 junio
<b>0,001</b>	1,8 mg/L	1,7 mg/L	1,1 mg/L	1,2 mg/L	1,5 mg/L
<b>0,002</b>	1,1 mg/L	1,5 mg/L	1,7 mg/L	1,3 mg/L	1,3 mg/L
<b>0,004</b>	1,6 mg/L	1,5 mg/L	1,9 mg/L	1,3 mg/L	1,6 mg/L
<b>0,006</b>	0,9 mg/L	1,4 mg/L	1,8 mg/L	1,1 mg/L	1,4 mg/L



**Figura 21.** Control y seguimiento del Cloro

Se puede evidenciar una variabilidad en los niveles de cloro en cada una de las muestras analizadas en las diferentes fechas, sin embargo, estos niveles de cloro permanecen dentro del rango estipulado por la resolución 2115 de 2007 (0,3 mg/L – 2 mg/L) llegando a un valor de 1,9 mg/L la concentración más alta y 0,9 mg/L la concentración más baja (Figura 21). El proceso de desinfección nos muestra la desactivación o eliminación de microorganismos patógenos presentes en los recursos hídricos. En este proceso se utilizó cloro gaseoso a un 99% de pureza y como indicador DPD (Dietil-Pfenil-en-Diamina) debido a que es un método sencillo y funcional para determinar concentraciones de cloro residual libre. Es de vital importancia mantener en las redes de distribución valores dentro del rango de la normativa colombiana para asegurar que el agua ha sido convenientemente desinfectada y de esta manera brindar a los usuarios un agua con excelentes condiciones de calidad.

**INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DE AGUA (IRCA).***Tabla 7. Resultados IRCA por muestra 12 de abril.*

<b>MUESTRA</b>	<b>IRCA (%)</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>
<b>Parte alta el Rosal</b>	88,5	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media el Rosal</b>	89,1	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja el Rosal</b>	87,3	Inviabile sanitariamente
<b>Parte alta Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Punto 0,001</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,002</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,004</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,006</b>	0	Sin riesgo

*Tabla 8. Resultados IRCA por muestra 26 de abril.*

<b>MUESTRA</b>	<b>IRCA (%)</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>
<b>Parte alta el Rosal</b>	88,5	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media el Rosal</b>	89,1	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja el Rosal</b>	87,3	Inviabile sanitariamente
<b>Parte alta Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media Monteadentro</b>	89,1	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Punto 0,001</b>	0	Sin riesgo

<b>Punto 0,002</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,004</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,006</b>	0	Sin riesgo

*Tabla 9. Resultados IRCA por muestra 10 de mayo*

<b>MUESTRA</b>	<b>IRCA (%)</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>
<b>Parte alta el Rosal</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media el Rosal</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja el Rosal</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte alta Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja Monteadentro</b>	90,2	Inviabile sanitariamente
<b>Punto 0,001</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,002</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,004</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,006</b>	0	Sin riesgo

*Tabla 10. Resultados IRCA por muestra 24 de mayo*

<b>MUESTRA</b>	<b>IRCA (%)</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>
<b>Parte alta el Rosal</b>	94,4	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media el Rosal</b>	94,4	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja el Rosal</b>	94,4	Inviabile sanitariamente
<b>Parte alta Monteadentro</b>	94,4	Inviabile sanitariamente

<b>Parte media Monteadentro</b>	94,4	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja Monteadentro</b>	94,4	Inviabile sanitariamente
<b>Punto 0,001</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,002</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,004</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,006</b>	0	Sin riesgo

*Tabla 11. Resultados IRCA por muestra 08 de junio.*

<b>MUESTRA</b>	<b>IRCA (%)</b>	<b>NIVEL DE RIESGO</b>
<b>Parte alta el Rosal</b>	93,7	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media el Rosal</b>	93,7	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja el Rosal</b>	93,7	Inviabile sanitariamente
<b>Parte alta Monteadentro</b>	93,7	Inviabile sanitariamente
<b>Parte media Monteadentro</b>	93,7	Inviabile sanitariamente
<b>Parte baja Monteadentro</b>	91,9	Inviabile sanitariamente
<b>Punto 0,001</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,002</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,004</b>	0	Sin riesgo
<b>Punto 0,006</b>	0	Sin riesgo

De acuerdo a las tablas 7,8,9,10 y 11 se analizaron los índices de riesgo de la calidad de agua para cada muestra en los diferentes lapsos de tiempo, donde las muestras de agua cruda presentan un incumplimiento a lo exigido por la legislación colombiana debido a que parámetros

como el color, la turbiedad, el cloro residual, los fosfatos y parámetros microbiológicos como la *Escherichia coli* (coliformes fecales) y los coliformes totales vulneran los rangos establecidos por la resolución 2115 de 2007. El incumplimiento de límites máximos permitidos en esta resolución para una o más características, implica un aumento en el nivel de riesgo de la calidad del agua para consumo humano proporcional al puntaje de riesgo asignado a las características en las cuales se presentan incumplimientos, por ende, se observa una similitud en el puntaje total para cada muestra y su nivel de riesgo permanece en “inviabile sanitariamente”. Por otro lado, al momento de calcular el índice de riesgo para las muestras de agua potable se aprecia que los parámetros anteriormente mencionados cumplen con lo estipulado por la normativa colombiana, por este motivo todas las muestras de agua potable no tienen riesgo alguno, es decir apta para consumo humano.

## Conclusiones

Respecto a los parámetros de calidad evaluados en las muestras de agua cruda recolectadas de las quebradas Monteadentro y el Rosal y las muestras de agua potable tomadas en las redes de distribución asignadas por la empresa, se evidenció una alta variabilidad en parámetros como el color, turbidez, hierro total, fosfatos y los parámetros microbiológicos, donde lo anterior estuvo evidenciado principalmente por las características del agua cruda y los distintos procesos durante la potabilización como el desarenado, dosificación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (tratamiento convencional) demostrando que el funcionamiento total de planta se desarrollo de forma adecuada en los diferentes lapsos de tiempo. De igual manera los análisis realizados nos muestran que parámetros como el pH, la conductividad, la alcalinidad total, la dureza total, los cloruros, y los nitratos no muestran una amplia diferencia al momento de realizar la comparación del agua cruda con las de agua potable, por ende, son características que están dentro de los exigido por la normativa colombiana cumpliendo con los estándares de calidad.

La contaminación de las fuentes hídricas que abastecen la planta de tratamiento se debe principalmente a las actividades antrópicas realizadas cerca de estas quebradas como la ganadería, las granjas avícolas y principalmente la agricultura, sin embargo, los vertidos de tipo domiciliario son responsables en gran parte de esta contaminación donde los parámetros físicos como el color y la turbiedad, parámetros químicos como los fosfatos y los parámetros microbiológicos son los más afectados debido a la descomposición de materia orgánica, presencia de hierro en el suelo, y la adición de fertilizantes e insecticidas a base de nitrógeno y fósforo, cabe resaltar que se observó una relación directa entra las concentraciones de los parámetros analizados y las precipitaciones de la zonas en estudio, aun así durante épocas de lluvia tienden a registrarse las mayores concentraciones de las características analizadas.



El índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano (IRCA) calculado para cada una de las muestras de agua cruda en los meses de abril, mayo y junio clasificó estas muestras de agua como no apta para consumo humano (inviabile sanitariamente) debido al incumplimiento de parámetros con altos puntajes de riesgo, sin embargo las muestras tomadas en los tanques de almacenamiento y en los puntos de muestreo ubicados en las redes de distribución se clasificaron como aguas aptas para consumo humano (sin riesgo) debido al cumplimiento de todos los parámetros evaluación exigidos por la legislación colombiana. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que el agua suministrada a la población del municipio de Pamplona por la PTAP cariongo fue apta para su consumo y no presentó ningún riesgo para la salud humana, reflejando un eficiente tratamiento de potabilización.

### Referencias.

- Aguilar, D. C. C. (2011). CARACTERIZACION DEL AGUA CRUDA DEL RIO LA VIEJA COMO FUENTE SUPERFICIAL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE EMCARTAGO S.A. E.S.P. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGÍA*, 1–144.
- Alcaldía municipal de Pamplona. (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Pamplona*. 329.
- Alex, J., Riveros, D., Francisco, M., Montañez, N., Gaona, W. G., Leonardo, J., & Martinez, M. (2020). *SUBDIRECCIÓN DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL INFORME CARACTERIZACIÓN RÍO TEJO - OCAÑA PRESENTANDO POR ALVARO ANDRES ARDILA SANDOVAL JORGE IVAN GUEVARA SERRANO JENNY ANGELICA OROZCO CARDENAS SUDIRECTOR Diciembre 2020*. 1–52.
- Ambiente, M. D. E., & Territorial, V. Y. D. (2007). *LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE , VIVIENDA RESUELVE : CAPÍTULO I*.
- Bojaca, R. del P. (2005). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Programa de Fisicoquímica Ambiental*, 1–8.
- Bolaños, J. D., Cordero, G., & Segura, G. (2017). *sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre , en dos cantones de Alajuela ( Costa Rica ) Determination of nitrites , nitrates , sulfates and contamination caused by human activities , in two cantons of Al*. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Briñez A, K., Guarnizo G, J., & Arias V., S. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(2), 175–182.
- Buitrago Barbosa, J. M. (2017). *Extracción de cloruros de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales a través de procesos mecánicos*. 38(4), 108–113.
- Cava, T., & Ramos, F. (2016). Universidad nacional pedro ruiz gallo. *Rueda Montoya, Rudsvi*. 2018. “Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.” 1–250., 1–250.  
<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3424/BC-TES-TMP-2247.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz Alegría, P. (2018). *UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental Determinación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la quebrada Chupishiña, distrito de*

*Rumisapa, provincia de Lamas y región Sa.*

- Forero Acosta, G. (2015). Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 119. <https://doi.org/10.22490/21456453.1410>
- Gobernación Norte de Santander. (2014). *Contratación de una consultoría especializada para la actualización de los indicadores y la generación de un diagnóstico técnico de la línea base de la infraestructura en la prestación de servicios públicos, para el departamento Norte de Santander.*
- González, D. (2020). Estimación de la relación entre el índice de sequía y la variabilidad climática asociada a fenómenos ENSO en la quebrada Monteadentro, Pamplona-Norte de Santander. *Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona*, 1–125.
- Guallpa, J. (2017). Estudio de la contaminación originado por los plaguicidas en los sistemas de riego de los cultivos hortícolas de la parroquia San Joaquín del cantón Cuenca provincia del Azuay. *Universidad Politécnica Salesiana*. [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14713/1/UPS-CT007230.pdf?fbclid=IwAR1z6cetCwVYUAF3sXmsQEzi86r74abDivTkKMCVDwWwwOtwIe9ger\\_sGm0](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14713/1/UPS-CT007230.pdf?fbclid=IwAR1z6cetCwVYUAF3sXmsQEzi86r74abDivTkKMCVDwWwwOtwIe9ger_sGm0)
- Imbago Lanchimba, R. (2015). *Caracterización e identificación de fuentes de contaminación y propuesta de mitigación para la recuperación del Río Puuluví, ubicado en la provincia de Pichincha, Cantón Cayambe, Parroquia Ayora*. 127.
- Jaimes, J. (2020). Determinación del índice de Creciente y Sequía en la Quebrada El Rosal, Pamplona–Norte de Santander. *Departamento de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona*, 1–99.
- Jiménez, 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. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 1–95.
- Larreal Murrell, J. A., Rojas Badía, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernandez, N., & Heydrich Perez, M. M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de calidad de las aguas. *Departamento de Microbiología y Virología, Facultad de Biología, Universidad de La Habana*, 25 No. 455 Entre Calles J e I Vedado, La Habana, Cuba., 44(3), 24–34.

- María Del Puerto Rodríguez, A., Rojas, M. C., Margarita, A., & Fernández, I. (1999). Trabajos Originales Calidad Del Agua Y Enfermedades De Transmisión Digestiva. *Rev Cubana Med Gen Integr*, 15(5), 495–502.
- Martinez, M., & Osorio, A. (2018). VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE COLOR REAL EN AGUA. *Revista de La Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, 1–13.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico. (2014). RAS 2000 Título “B” Sistemas de Acueducto. In *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000*.  
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO B 030714.pdf>
- Molina, E. C., Garciadiego, L. H., Ruíz, H. G., & Cañizares, P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua . Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47, 88–92.
- OPS, & OMS. (2009). Medición del cloro residual en el agua. *Guías Técnicas Sobre Saneamiento, Agua y Salud*, 4. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>
- Palacio, D. (2019). *Formulación de alternativas para el mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua potable a través de la evaluación a los procesos de potabilización en el municipio de ábrego, norte de santander*. 88.  
[https://www.academia.edu/31615930/BOMBAS\\_CENTRIFUGAS\\_CONECTADAS\\_EN\\_SERIE\\_Y\\_EN\\_PARALELO](https://www.academia.edu/31615930/BOMBAS_CENTRIFUGAS_CONECTADAS_EN_SERIE_Y_EN_PARALELO)
- Peñuela, E., & Gualí, A. C. (2016). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA POTABILIZADORA EL DORADO (BOGOTÁ D.C.) A TRAVÉS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SERIES DE TIEMPO. *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES*, 1–114.
- Ramos Ortega, L. M., Vidal, L. A., Sandra, V. Q., & Saavedra-Díaz, L. (2010). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biologica Colombiana*, 13(3), 87–98.
- Rangel, R. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato . *Revista Del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel”*, 2015; Vol 46 (1-2), 46, 17–24.

- Rivilla, C. (2017). Cloro residual. *Agbar Agua*, 1–12.
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. *The University of Arizona - College of Agriculture and Life Sciences - Cooperative Extension, March*, 1–5.  
<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- SALCEDO, C. F. R. (2008). USO Y CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACION EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. *UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL*, 1–97.
- Singler, A., & Bauder, J. (2014). *Hierro o fierro total*. 8.  
[http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Iron 2012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Iron%202012-11-15-SP.pdf)
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revistas Ingenierías Universidad de Medellín*, 80–94.
- Torres, S. M. E., & Navia, S. L. A. de. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *Nova*, 8(14), 206–212.  
<http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/162/324>
- Universidad Pablo de Olavide. (2003). Determinación De Fosfatos. *Técnicas Avanzadas En Química*, 1–8.  
<https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
- Valencia Espinoza, C. E. (2005). QUÍMICA DEL HIERRO Y MANGANESO EN EL AGUA, MÉTODOS DE REMOCIÓN. *UNIVERSIDAD DE CUENCA, FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL*, 1–52.  
<https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
- Venegas B, C., Marcela Mercado R, & Campos, M. C. (2014). Evaluation of the Microbial Quality of Drinking Water and Wastewater in One Population of Bogota ( Colombia ). *Revista Biosalud*, 13(43), 24–35.
- Yolanda, I., & Cárdenas, A. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*.

## Anexos



*Figura 22. Toma de muestra punto 0,001 (Venturi)*



*Figura 23. Toma de muestra punto 0,002 (Normal)*



*Figura 24. Toma de muestra punto 0,006 (barrio Chíchira)*



*Figura 25. Almacenamiento de muestras*



*Figura 26. Toma de muestras captación el Rosal*

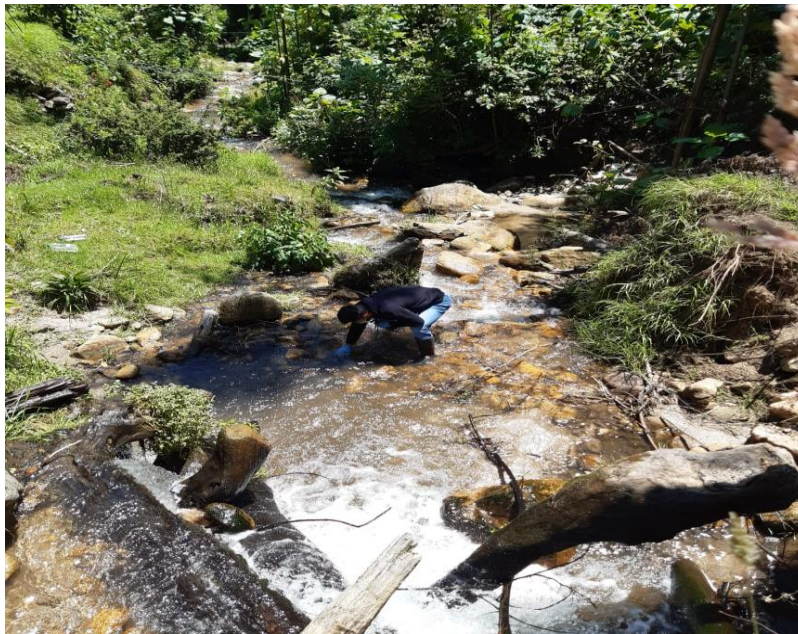




*Figura 27. Toma de muestras quebrada el Rosal*



*Figura 28. Captación Monteadentro*



*Figura 29. Toma de muestras quebrada Monteadentro*



*Figura 30. Actividades antrópicas quebrada Monteadentro*



**Figura 31.** Procedimiento para el análisis de coliformes fecales y coliformes totales



**Figura 32.** Procedimiento para el análisis de nitritos, nitratos, hierro total y fosfatos en el laboratorio de control de calidad de la universidad de Pamplona