

**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y VIROLÓGICA DE AGUAS CRUDAS Y POTABLES DE CUATRO PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA UBICADAS EN EL DEPARTAMENTO, NORTE SANTANDER**



**MARIO ALONSO YAÑEZ SILVA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA  
PAMPLONA  
2016**

**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y  
VIROLÓGICA DE AGUAS CRUDAS Y POTABLES DE CUATRO PLANTAS  
POTABILIZADORAS DE AGUA UBICADAS EN EL DEPARTAMENTO, NORTE  
SANTANDER**

**MARIO ALONSO YAÑEZ SILVA**

**Directora  
MSc. PhD. RAQUEL AMANDA VILLAMIZAR GALLARDO**

**Trabajo de grado para optar al título de Microbiólogo**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA  
PAMPLONA  
2016**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

Firma del Primer Jurado

---

Firma del Segundo Jurado

Pamplona (Norte de Santander - Colombia), 14 de Junio de 2016

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este logro especialmente a Dios, ya que él lo hace todo posible, dándome ese sentimiento de alegría, serenidad, fortaleza y esperanza en cada momento para terminar este trabajo.

A mi mamá, Ángela Silva por darme la formación y el apoyo en todo momento, por sus consejos, por su amistad, motivación y perseverancia para que yo alcanzara mis metas.

A mi padre, José Darío Yañez por ayudarme con sus consejos, por su amistad, motivación en todo momento.

A mi abuela Paulina Quintero, que se preocupó y siempre me brindó su apoyo como segunda madre.

A mis tíos Heynar Silva y Betty Silva, que han estado siempre presentes en toda mi formación, gracias a ellos por sus consejos, valores y palabras transmitidas en momentos que los necesite.

A mis hermanos, German Darío Yañez y Luis Gabriel Yañez por su amistad, sus consejos, su experiencia como personas, por ayudarme en los momentos difíciles por esa mano amiga que siempre estuvo allí.

A mi novia, Kelly Johana Orozco por estar siempre conmigo y ser ese gran apoyo en todo momento, por brindarme esa amistad amor y comprensión.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la profe Raquel Amanda Villamizar gracias por abrirme las puertas en su grupo de investigación Nanosost, por su amistad y apoyo en el proceso de mi formación académica.

A Dios por permitirme estudiar en la Universidad de Pamplona, a todos los docentes del Departamento de Microbiología por los conocimientos brindados durante la carrera y a los auxiliares de laboratorio por su gran amistad y tener paciencia.

A mis compañeros del grupo de investigación Nanosost de la Universidad de Pamplona gracias por brindarme su amistad y hacer un trabajo agradable.

Agradezco a mis amigos de carrera gracias por compartir y brindarme su cariño, apoyo incondicional gracias por su valiosa amistad.

## CONTENIDO

|   | <b>Pàgs.</b> |
|---|--------------|
| INTRODUCCIÓN .....  | 11           |
| 1. OBJETIVOS.....   | 12           |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL.....                                 | 12           |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                           | 12           |
| 2. JUSTIFICACIÓN.....                                     | 13           |
| 3. MARCO REFERENCIAL .....                                | 15           |
| 3.1 BASES LEGALES .....                                   | 15           |
| 3.2 ANTECEDENTES.....                                     | 16           |
| 3.3 MARCO TEÓRICO .....                                   | 18           |
| 4. METODOLOGIA .....                                      | 21           |
| 4.1 SELECCIÓN DE PLANTAS.....                             | 21           |
| 4.1.1 Planta de tratamiento Cariongo_Pamplona. ....       | 21           |
| 4.1.2 Planta de tratamiento Monteadentro - Pamplona ..... | 21           |
| 4.1.3 Planta El Pórtico – Cúcuta.....                     | 22           |
| 4.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....                          | 23           |
| 4.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS .....                         | 24           |
| 4.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....                          | 26           |
| 4.5 ANÁLISIS VIROLÓGICO .....                             | 27           |
| 5. RESULTADOS.....  | 28           |
| 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                           | 36           |
| 7. CONCLUSIONES .....                                     | 41           |
| 8. RECOMENDACIONES.....                                   | 42           |
| 9. GLOSARIO .....   | 43           |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES..... | 46 |
| REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS..... | 47 |
| ANEXOS.....                    | 50 |

## LISTADO DE TABLAS

**Págs.**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Métodos empleados en los análisis para aguas crudas y potables en las plantas de potabilización.....  | 25 |
| Tabla 2. Características microbiológicas del agua para consumo humano, valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico.....                        | 26 |
| Tabla 3. Análisis en las etapas de Captación para las plantas Cariongo, Monteadentro, Pórtico, Tonchalá en las ciudades de Pamplona-Cúcuta.....                      | 29 |
| Tabla 4. Análisis en las etapas de Almacenamiento y Distribución para las plantas Cariongo, Monteadentro, Pórtico, Tonchalá en las ciudades de Pamplona-Cúcuta ..... | 30 |

## LISTADO DE FIGURAS

Págs.

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Representación esquemática de las etapas del proceso de potabilización de la planta Cariongo, ubicada en Pamplona, Norte de Santander .....  | 21 |
| Figura 2. Representación Esquemática de las etapas del Proceso de Potabilización El Pórtico ubicada en Cúcuta Norte de Santander.....  | 22 |
| Figura 3. Modelo digital representativo de procesos de la planta Tonchalá .....  | 23 |
| Figura 4. Recuento de Coliformes Totales y Fecales a través de la Técnica del NMP en caldo LMX para el análisis de aguas crudas para la etapa de Captación en las 4 plantas de estudios (Cariongo, Monte dentro, Portico y Tonchala). En las ciudades de Pamplona y Cucuta ..... | 31 |
| Figura 5. Resultados de los análisis de Coliformes Fecales y Coliformes Totales mediante la técnica NMP de las fuentes de Captación de las 4 plantas.....  | 32 |
| Figura 6. Recuento de los análisis de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Aerobios Mesofilos de Almacenamiento y/o Distribución de las 4 plantas.....   | 32 |
| Figura 7. Colifagos somáticos obtenidos a partir de aguas crudas en una planta de potabilización A) Fase de captación B) Fase de clarificación. ....   | 33 |
| Figura 8. Se observa una Microfotografía Electrónica empleando Tinción Negativa de los Colifagos Somáticos obtenidos en la planta potabilizadora Cariongo-Pamplona N de S.....   | 34 |
| Figura 9. Se describen los conteos para los Colifagos en las etapas tratamiento de Captación de las 4 plantas en las ciudades de Pamplona y Cucuta.....  | 34 |
| Figura 10. Se describen los conteos para colifagos en las etapas de tratamiento Almacenamiento y/o Distribución de las 4 plantas en las ciudades de Pamplona y Cucuta .....  | 35 |

## LISTADO DE ANEXOS

Págs.

|   |    |
|---|----|
| Anexo A. Evento de la Programación de la Red Colciencias Departamental en el ISER .....                         | 51 |
| Anexo B. Foto del evento de la presentación del encuentro de red colciencias en el iser en el mes de mayo. .... | 52 |
| Anexo C. Ubicación geografía planta Monte dentro Pamplona y Planta Cariongo Pamplona .....                      | 53 |
| Anexo D. Ubicación geografía planta Carmen de Tonchala y planta el Portico en Cucuta .....                      | 54 |
| Anexo E. Fotos Planta Monte dentro .....  | 56 |
| Anexo F. Fotos de Cucuta en las bocatomas el portico en la zona de san pedro ..                                 | 57 |
| Anexo G. Fotos Toma de muestra en distribución el portico en (centro de estimulación a niños y adultos) .....   | 58 |

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos naturales de agua es una problemática latente, principalmente en los países en vías de desarrollo, donde no existe una cultura de disposición final de residuos adecuados así como su reciclaje. Esto hace que se generen grandes volúmenes de desechos domésticos e industriales que son vertidos directamente a los ecosistemas acuáticos sin tratamiento previo, convirtiendo al agua en un vehículo transmisor de patógenos. Esto crea la necesidad de hacer un seguimiento constante al recurso vital que permite llevar a cabo funciones vitales y de cuya calidad depende la productividad de una población debido a las repercusiones que tiene a nivel de salud pública.

Según datos de la UNICEF-Colombia y basado en el análisis de 1008 planes de desarrollo nacional, existen 502 municipios que no poseen plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), de los cuales el 80% corresponde a zonas rurales y el 20 % a zonas urbanas. De otra parte, en aquellos municipios en los que si se dispone de una PTAP no siempre los procesos de potabilización son eficientes, lo que va en contravía del séptimo objetivo del milenio, en el que se debe garantizar el acceso a **“agua potable”** para todas las poblaciones.

Por tal motivo, a través de esta investigación se realizó monitoreo continuo durante 3 meses a la calidad de las aguas crudas y potables de dos plantas potabilizadoras de la ciudad de Pamplona y Cúcuta respectivamente, analizando su calidad fisicoquímica, microbiológica basada en indicadores bacterianos (Coliformes totales, Coliformes Fecales y Aerobios Mesófilos) y virológica, analizando el contenido de colifagos somáticos como indicadores de contaminación de origen bacteriano y viral. Todo esto con el fin de comparar la calidad del agua que consume dos poblaciones del departamento que se abastecen de la misma fuente hídrica.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Comparar la calidad fisicoquímica, microbiológica y virológica de aguas crudas y potables de las plantas de tratamiento Monteadentro, Cariongo, Pórtico y Tonchalá ubicadas en la ciudad de Pamplona y Cúcuta, respectivamente.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar fisicoquímicamente aguas crudas y potables provenientes de 4 plantas potabilizadoras, siguiendo los protocolos establecidos en el RAS 2000.
- Analizar el grado de contaminación microbiológica existente en las fuentes hídricas basado en los indicadores bacterianos establecidos en la resolución 2115 de 2007.
- Determinar la presencia de Colifagos somáticos como indicadores de contaminación de origen bacteriano y viral, en aguas crudas y potables a través de la metodología de camp simple modificada.
- Evaluar la calidad del agua que emplean dos poblaciones del departamento Norte de Santander para suplir sus necesidades básicas.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Un agua apta para el consumo humano es aquella que se encuentra libre de microorganismo patógenos, sustancias tóxicas y con características organolépticas óptimas. No obstante, existe una problemática que no solo afecta a este departamento sino al país y el mundo en general.

La Constitución Política de Colombia establece como uno de los fines principales de la actividad del Estado, la solución de las necesidades básicas insatisfechas, entre las que está el acceso al servicio de agua potable, que es fundamental para la vida humana con el fin de disminuir satisfactoriamente enfermedades transmitidas por el agua.

La escasez del recurso hídrico a consecuencia del cambio climático se ha incrementado y las pocas fuentes hídricas que quedan deben ser preservadas y su calidad controlada. Sumado a los cambios ambientales, también se encuentra la explosión demográfica, de la cual la ciudad de Pamplona es un claro ejemplo. La población de Pamplona ha aumentado en la última década (según censo de 2005 del DANE la población era de 53147 habitantes y las proyecciones para el año 2016 son de 57803 [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)) lo cual hace que el volumen de contaminantes producto de la actividad antrópica aumente también.

Cómo en la ciudad de Pamplona no hay plantas de tratamiento de aguas residuales, todos los residuos son descargados al río Pamplonita, el cual a través de su curso se convierte en un vehículo transportador de patógenos y contaminantes de origen químico que llegan a todas las zonas aledañas al río de donde se abastecen muchas personas que la emplean para actividades de consumo, recreación y agricultura. Finalmente, el agua llega a la ciudad de Cúcuta, donde esta fuente hídrica se convierte en el recurso a potabilizar para suplir las necesidades básicas de cerca de 600 mil personas que habitan la ciudad.

A la fecha no se conoce ningún estudio comparativo en términos fisicoquímicos-microbiológicos y virológicos que demuestren la calidad del agua que se emplean para consumo directo como para actividades de recreación y/o agrícolas de los habitantes de estos dos municipios del departamento.

Por tanto, a través de esta investigación se analizaron aguas crudas y potables de las plantas Cariongo, Monteadentro, Pórtico y Tonchalá ubicadas en la ciudad de Cúcuta y Pamplona. Todo esto con el fin de evaluar la calidad del recurso hídrico que se consume en parte del departamento. Este estudio, se convierte en el punto de partida, para generar conciencia sobre la importancia de la monitorización sistemática del agua de nuestra región a fin de reducir al máximo

las implicaciones a nivel de salud pública que puedan derivarse debido a su uso inapropiado.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1 BASES LEGALES

**Decreto 2105 de 1983.** Ministerio de salud, por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a Potabilización del Agua.

**Decreto 1594 de 1984.** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979. En cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

**Decreto 475 de 1998.** Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.

Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico Ras - 2000 Sección II título C sistemas de potabilización el cual tiene como objetivo cumplir con los requisitos de calidad para aguas crudas y potables.

**Resolución 2115 de 2007.** Esta Resolución establece los requisitos que deben cumplir tanto fisicoquímica y microbiológicamente para el control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

**Decreto 1575 de 2007.** Establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

### 3.2 ANTECEDENTES

Ramirez. *et al.*. (2003) presentan una discusión detallada sobre la calidad fisicoquímica del agua, en el que se hizo la caracterización de un ciclo anual de la microcuenca El Volcán, tramo que hace parte de la red de abastecimiento del municipio de Pamplona (Norte de Santander). Para ello, los investigadores tomaron tres estaciones de estudio las cuales fueron evaluadas a través de cuatro períodos, cubriendo los períodos de sequía, transición a lluvias y lluvias. Los resultados encontrados denotan condiciones fisicoquímicas excelentes y buenas para el curso estudiado. La parte baja de la cuenca muestra la menor condición de calidad, así como las mayores variaciones en el tiempo, en particular en lo que se refiere a los sólidos suspendidos y a la mineralización de las aguas (Ramírez *et al.*, 2003).

En el año 2010 Avila. *et al.*, evaluaron la calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque en época seca y época de lluvia por medio de la determinación de coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus spp.* Para ello emplearon la técnica de filtración por membrana y se identificaron los microorganismos con pruebas rápidas Crystal BBL. Se obtuvo como resultado un recuento significativamente alto en UFC/100mL de coliformes totales y *Enterococcus spp.*, con un comportamiento similar en época seca y época de lluvia, mientras que la cantidad de k aumentó en época de lluvia (Avila *et al.*, 2010). En el año 2011 Cardona, realizó un estudio sobre la 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 (previo proceso de potabilización). El río La Vieja no es ajeno a problemática de contaminación, y siendo la única fuente de abastecimiento de agua superficial de la ciudad de Cartago, se hace necesario realizar un diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica de sus aguas. (Cardona 2011).

En el año 2013 Larrea *et al.* Presentaron un trabajo sobre la utilidad de las bacterias indicadoras en la evaluación de la calidad del agua. Se exponen estudios que demuestran la factibilidad del uso de *E. coli* y *enterococos* como indicadores de contaminación fecal para la evaluación de la calidad de agua y las técnicas utilizadas para su detección, así como el uso de la relación *E. coli*/enterococos para determinar el origen de la contaminación (Larrea *et al.* 2013) Usualmente, las infecciones gastrointestinales transmitidas por el agua no se identifica el agente causal, por falta de métodos sensibles y se reportan como de origen desconocido (Pelaes D, et al, 2010). Metodologías más convencionales, sencillas y efectivas, han sido empleadas para determinar la presencia de fagos (agentes más resistentes que las bacterias) como indicadores de contaminación fecal de origen bacteriano y viral.

Tal es el caso Boudaud N *et al.*, en el año 2012, quienes investigaron el grado de remoción de los fagos MS2, GA y Q $\beta$  para comprobar la eficiencia del proceso de tratamiento de agua a escala piloto mediante el uso del método de capa doble de agar (Boudaud N *et al.*, 2012). Beaudoin NR *et al.* el año 2007, aislaron fagos a partir de aguas residuales usando el ensayo de formación de calvas usando capas sólidas y blandas de agar TS. En tan solo 24 horas, los autores determinaron la presencia de los virus y los emplearon para remover bacterias patógenas en agua de parques recreacionales (Beaudoin NR *et al.*, 2007). En Colombia, Campos C *et al.*, 5 en el año 2002, usaron virus F+, somáticos y fagos de *Bacteroides fragilis* y los compararon con las bacterias tradicionales usadas como indicadores de contaminación fecal. Los autores concluyeron que los fagos fueron más resistentes a los tratamientos de desinfección de aguas residuales (Campos. *et al.*, 2002). Aricapa G *et al.*, en el año 2005, encontraron presencia de 0-95 UFP/100 mL colifagos en una planta de tratamiento en la vereda la Cabaña, en Manizales (Aricapa G *et al.*, 2005). En el 2012, Gaviria A *et al.*, lograron establecer un protocolo para el aislamiento de bacteriófagos a partir de aguas residuales específicos para *E. coli* DH5 $\alpha$ . (Gaviria A *et al.* 2012). En el 2015, Villamizar R *et al.*, publicaron un estudio sobre el uso de Colifagos somáticos como indicadores de la calidad del agua en período lluvioso y seco en diferentes fases del proceso de potabilización (captación, decantación, filtración, cloración y almacenamiento) en dos plantas del noreste colombiano. Los resultados de la investigación permitieron determinar que los Colifagos representan un método alternativo para conocer la calidad bacteriológica del agua en tan solo 12 horas (Villamizar, *et al.*, 2015).

### 3.3 MARCO TEÓRICO

El agua es una sustancia de gran importancia para la vida con excepcionales propiedades consecuencia de su composición y estructura. Es una molécula sencilla formada por tres pequeños átomos, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes. Este enlace tiene es importante porque confiere al agua propiedades que se corresponden con mayor masa molecular. De ahí sus elevados puntos de fusión y ebullición, imprescindibles para que el agua se encuentre en estado líquido a la temperatura de la Tierra. Su alto calor específico la convierte en un excepcional amortiguador y regulador de los cambios térmicos, manteniéndola temperatura corporal constante. Otra propiedad que hace que esta molécula sea única es su amplia capacidad como disolvente de sustancias polares (Azcona, *et al.*, 2012).

El río Pamplonita nace al sur del departamento, en el municipio de Pamplona, en las quebradas Monte dentro y Volcán que se encuentran ubicadas en el centro del alto grande (Paramo de García) a una altura de 3.200 msnm y una temperatura de 8° C. Desemboca en el río Zulia al norte del departamento en el municipio de Puerto Santander a una altura de 50 msnm con una temperatura de 30° C.

El área aproximada de la microcuenca es de 9.8 Km<sup>2</sup> y su perímetro es de 15.8 Km. Los afluentes principales son las quebradas Teorama, Cepeda, Cerrajones, Piñuelal y La Corcova. La cuenca hidrográfica del río Pamplonita, se encuentra en el departamento Norte Santander, el cual se ubica en la zona Nor-Oriente de la Republica de Colombia, limitando al norte y al oriente con Venezuela, al sur con los departamentos de Boyacá y Santander, y al occidente con Santander y Cesar (Hernandez N, 2010).

Al río Pamplonita desde su nacimiento hasta su desembocadura llegan residuos procedentes de la actividad antropogénica, especialmente de aquellas actividades relacionadas con la agricultura, servicios domésticos, y minería. Todos estos impactos representan una fuerte amenaza a la calidad del recurso hídrico que miles de personas usan para su consumo directo, riego o recreación.

El agua que se toma de una fuente hídrica de un lago, río, fuente, pozo subterráneo, etc. debe ser sometida a una serie de procedimientos para garantizar que sea apta para el consumo humano. Con tal fin se han diseñado plantas de tratamiento de agua (Peralta. A; 2014).

Una planta de potabilizadora es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes presentes en el agua.

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de proceso que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta. También se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada; en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente (Vera, Y; 2006).

Los procesos de potabilización como han sido descritos van enfocados a la eliminación de patógenos indicadores tales como Coliformes totales, fecales y aerobios mesófilos. Los primeros se definen como parámetros de calidad del agua. Y los Coliformes son Indicadores de contaminación fecal; mientras que los segundos como Los aerobios mesófilos abarcan una serie de microorganismos que son indicadores de calidad sanitaria. (Decreto 475 / 1998), (Decreto 2115 / 2007).

No obstante, existen microorganismos que pueden sobrevivir a procesos de desinfección. Se considera que más de 140 tipos de virus diferentes pueden ser encontrados en Fuentes hídricas (Pelaez, *et al*, 2010). Estudios a nivel internacional han demostrado la presencia de virus entéricos en aguas tratadas, lo que confirma la alta resistencia que estos agentes virales presentan frente a los procesos de desinfección. (Gutiérrez, 2007).

A nivel de salud pública, los virus entéricos son el grupo de patógenos más críticos, debido a que la dosis mínima infecciosa es muy baja. Sin embargo, no se dispone de información debido a que las infecciones virales se confunden a menudo con infecciones no específicas y la epidemiología se hace difícil por la escasa cantidad información que se reporta a las autoridades sanitarias (Espinoza, 2008). Desde el punto de vista virológico, su detección es más compleja que la de otros patógenos por la necesidad que hay de concentrarlos a partir de volúmenes de agua mayores que los utilizados en la detección de bacterias y parásitos. Por tanto, una estrategia para su correlación consiste en el análisis y detección de bacteriófagos, que sirven como indicadores de su presencia y la analítica empleada para su estudio es muy sencilla.

Los bacteriófagos son virus ampliamente distribuidos en el mundo, que infectan y lisan exclusivamente a bacterias. Son nanomáquinas naturales muy abundante en la tierra, ya que se calcula que hay alrededor de  $1 \times 10^{31}$  fagos en el planeta (Sulakvelidze. 2013). Fueron descubiertos en 1896 por Ernest Hankin. En 1915 Frederick Twort describió la actividad antibacteriana que tenían, sin embargo, fueron utilizados por primera vez como terapia antimicrobiana en 1919 por Félix d'Herelle. Según su ciclo de vida los bacteriófagos se pueden clasificar en líticos o virulentos y en lisogénicos o temperados (García. *et al.*, 2008).

Los colifagos somáticos son un tipo de bacteriófago pertenecientes a las familias Myoviridae y Siphoviridae, siendo los más abundantes con  $10^4$  a  $10^8$  en el planeta. La utilización de colifagos somáticos de *Escherichia coli* confieren

mayores ventajas a la hora de ser utilizados como indicadores de la eficiencia de los procesos de potabilización debido a su alta resistencia a los procesos de desinfección, así como a su parecido estructural a algunos virus entéricos presentes después de los procesos de cloración. Los colifagos somáticos inician la infección uniéndose a receptores ubicados permanentemente en la pared celular de los hospedadores, donde llevan a cabo la replicación de su material genético y ensamblaje para su posterior liberación (Villamizar. *et al*, 2015).

## 4. METODOLOGÍA

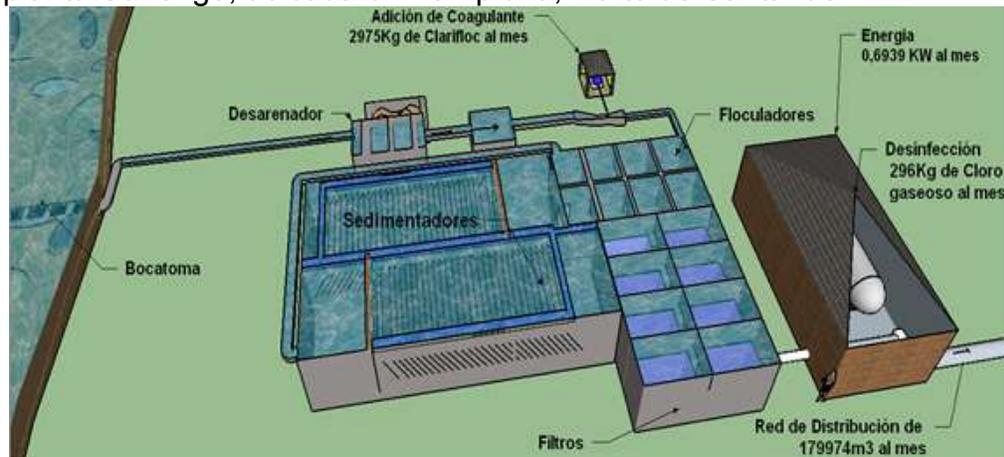
### 4.1 SELECCIÓN DE PLANTAS

En la presente investigación se analizaron cuatro plantas de tratamiento de agua, las cuales se describen a continuación:

**4.1.1 Planta de tratamiento Cariongo\_Pamplona.** Ubicada en el barrio Cariongo al sur de la ciudad. Fue puesta en marcha en el año 1945. El tratamiento utilizado en esta planta es de tipo convencional de funcionamiento hidráulico e involucra los procesos de: Captación, Sedimentación, Filtración, Desinfección y Almacenamiento. El sistema de acueducto de la planta de tratamiento Cariongo de Empopamplona, cuenta con 2 captaciones de dos fuentes superficiales: El Rosal o el Volcán y Cariongo o Monte dentro (Vera Y; 2006).

La entrada a la planta esta dotada de una válvula de 12" de Hierro Fundido. La planta esta diseñada para 200 litros/ seg, se trata en promedio 110 litros/ seg.

Figura 1. Representación esquemática de las etapas del proceso de potabilización de la planta Cariongo, ubicada en Pamplona, Norte de Santander

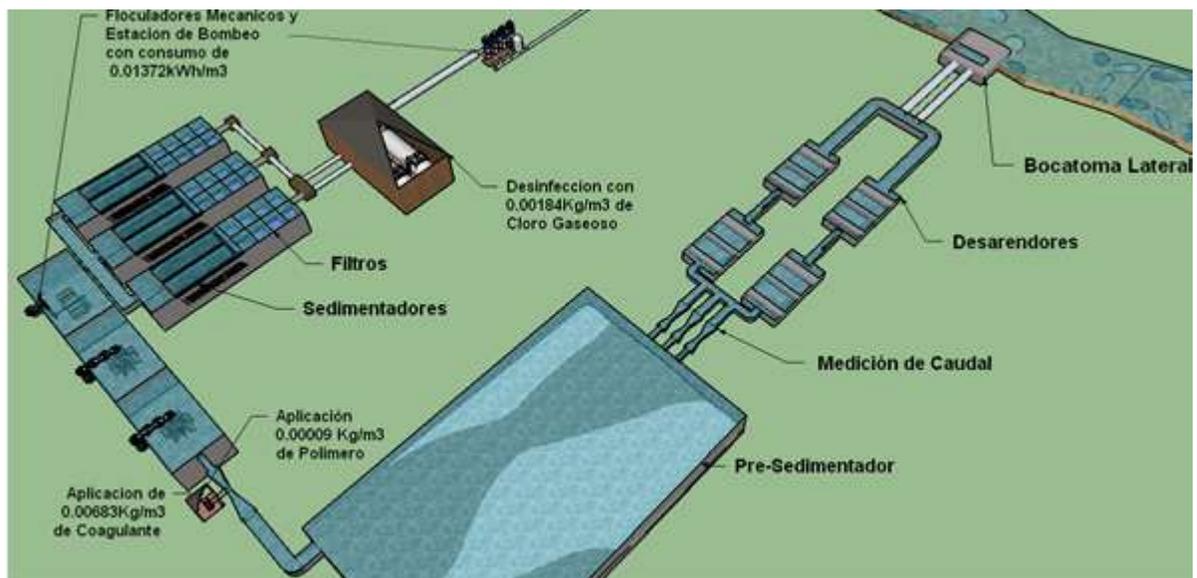


Fuente (Gutierrez, 2015)

**4.1.2 Planta de tratamiento Monte dentro - Pamplona.** Comenzó a operar en julio de 2004 por la necesidad de reducir costos de energía generados por las siete estaciones de bombeo existentes en el Municipio que eran necesarias para abastecer el servicio de agua a los sectores altos de Pamplona. El funcionamiento de la planta se produce por energía hidráulica en todos los procesos unitarios. El modelo de la planta, se conoce con el nombre de planta integral, porque en un espacio reducido tiene todos los procesos unitarios normales en las demás plantas llamadas convencionales. La planta se abastece de dos quebradas, que son el mono y potreritos, que vienen del Paramo de García (Vera, 2006).

**4.1.3 Planta El Pórtico – Cúcuta.** Es una de las dos Plantas Potabilizadoras con las que cuenta la ciudad de Cúcuta. En la figura 1 se aprecia que el proceso de potabilización comienza en la captación con una bocatoma lateral en el río Pamplonita. De allí el agua es desarenada por 4 desarenadores y medido el flujo en tres canaletas Parshall y conducida a un pre-sedimentador. El agua pre-sedimentada se divide en dos flujos el primero es dirigido a una canaleta Parshall. El segundo flujo va a una estructura en concreto llamada vertedero rectangular donde se le aplica el coagulante y el polímero, esta mezcla fluye a través de tres floculadores mecánicos en el primer flujo. El segundo flujo a una serie de floculadores hidráulicos y uno mecánico. El agua floculada es sedimentada y filtrada en ambos flujos para finalmente ser clorada y entregada a la red de distribución mediante un bombeo y re-bombeo. (Gutierrez. 2015).

Figura 2. Representación esquemática de las etapas del proceso de potabilización El Pórtico ubicada en Cúcuta

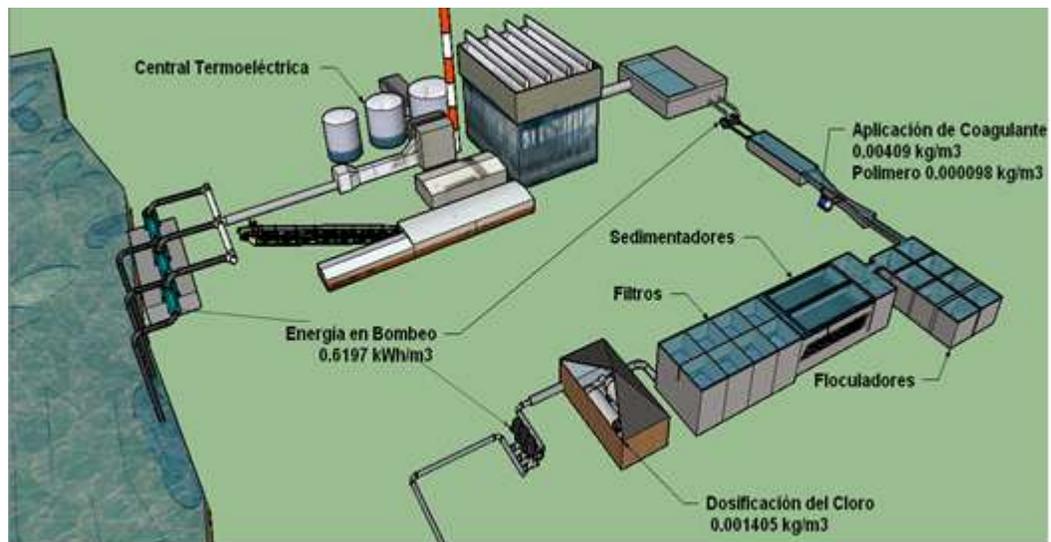


Fuente (Gutierrez, 2015)

**4.1.4 Planta Tonchalá.** El proceso de potabilización en esta planta comienza en la captación ubicada en el margen izquierdo, la cual posee tres bombas eléctricas de gran capacidad que elevan el agua desde la cota del río Zulia a la central termoeléctrica Termotasajero, donde es empleada en el proceso de generación eléctrica. El agua restante es bombeada por dos bombas eléctricas a la plana el Carmen de Tonchalá. En la planta se le adiciona coagulante y polímero al agua, posteriormente se hace circular por una unidad de floculadores hidráulicos, el agua floculada pasa por la unidad de sedimentación donde se extraen partículas formadas en la floculación el agua es filtrada. Finalmente es clorada para ser enviada por bombeo a los barrios periféricos de Cúcuta.

La disposición real de la planta difiere del modelo, sin embargo la mecánica del proceso de potabilización es lo que se quiso representar. Este desfase es el resultado de algunas políticas de confidencialidad de la empresa encargada de la operación de la planta Tonchalá. Los datos mostrados en la Fig. 4 hacen referencia a la cantidad de materia y energía requerida para producir un metro cubico de agua potable (Gutierrez. 2015).

Figura 3. Representación esquemática de las etapas ubicada en Cúcuta



Fuente (Gutierrez. 2015).

## 4.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de agua recolectadas se clasificaron en dos grupos: muestras no tratadas (las cuales se colectaron en el lugar de captación del agua “bocatoma”) muestras tratadas (colectadas en diferentes etapas del proceso de potabilización. Ajustándose a los lineamientos establecidos para las entidades de vigilancia y control dado por la Resolución 2115 dada por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombiano (MPS/MAVDT 2007), el número de muestras tomadas fue de 5 (1 por semana).

Las muestras fueron recogidas por duplicado en frascos de vidrio estériles de 500 mL de capacidad. Se recolectaron en frascos esteriles de 500 mL por duplicado, tipo de muestreo puntual. Para las muestras tratadas, se adicionó previamente 0,1 mL/100 mL de tiosulfato de sodio al 1,8 % (p/v) como declorinante. Las muestras fueron transportadas al laboratorio usando neveras provistas de hielo seco y fueron procesadas en el menor tiempo posible después de su recolección (Resolución 2115 de 2007).

#### **4.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS (COLOR, DQO, DBO<sub>5</sub> ,SÓLIDOS TOTALES, POTENCIAL DE HIDROGENO, TEMPERATURA, OXIGENO DISUELTO, TURBIDEZ, CONDUCTIVIDAD, ALCALINIDAD Y DUREZA TOTAL)**

Se realizó la evaluación de los parámetros físicoquímicos en aguas crudas y potables de las 4 plantas objeto de estudio. Se analizó potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad, Temperatura, Turbiedad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales, Color, DQO, DBO<sub>5</sub>, Alcalinidad y Dureza Total. Su determinación se llevó a cabo en el laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona, bajo el seguimiento de métodos normalizados para cada caso.

Los valores fuera del rango se sugiere contrastarlos con los parámetros contemplados en el decreto 475/98, la resolución 2115/07 y RAS 2000 para clasificar las fuentes de abastecimiento.

Tabla 1. Métodos empleados en los análisis para aguas crudas y potables en las plantas de potabilización

| Parametro        | Materiales  | Equipos   | Reactivos  | Método         |
|------------------|---|---|--|----------------|
| Dureza           | Bureta 25 ml, probeta 100 ml, erlenmeyer 250 ml, gotero, soporte                  | no  | EDTA 0.1 N, Solucion Buffer, Indicador negro de Eriocromo T, Agua destilada. | Volumetrico    |
| Alcalinidad      | Bureta 25 ml, probeta 100 ml, erlenmeyer 250 ml, gotero, soporte                  | no  | Acido Sulfurico 0.1 N, Indicador naranja de matilo, Agua destilada.          | Volumetrico    |
| Salidos Totales  | Capsula de Porcelana  | Balanza analitica, Horno, Mufla, Estufa   | no   | Gravimetrico   |
| DQO              | Tubos de digestion, Barra agitadora, Pipeta 5 ml, Pipeta 10 ml, Balones aforados. | Espectrofotometro HACH DR/2010, Bloque de calentamiento en aluminio fundido para operar a 150 °C. | Solucion digestora, Reactivo de acido sulfurico, Agua destilada.             | Colorimetrico  |
| DBO5             | Botellas OxiTop, espátula, probeta, vasos precipitado, agitadores magneticos.     | Manómetros OxiTop, Incubadora OxiTop  | Inhibidor de nitrificacion, Perlas de hidroxido de sodio.                    | Respirometrico |
| Turbidez         | Celda de Cuarzo   | Turbidimetro  | Agua destilada   | Nefelometrico  |
| Color            | Celda de Cuarzo   | Espectrofotometro HACH DR/2010  | Agua destilada   | Colorimetrico  |
| pH               | Vaso de Precipitado, Frasco limpiador.  | Sonda Muntiparametros (Ph-meter)  | Agua destilada   | Electrometrico |
| Conductividad    | Vaso de Precipitado, Frasco limpiador.  | Sonda Muntiparametros (conductimetro)   | Agua destilada   | Electrometrico |
| Oxigeno Disuelto | Vaso de Precipitado, Frasco limpiador.  | Sonda Muntiparametros   | Agua destilada   | Electrometrico |
| Temperatura      | Termometro  | no  | no   | Termico        |

Fuente: Propia.

#### 4.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO (COLIFORMES FECALES, COLIFORMES TOTALES Y AEROBIOS MESOFILOS)

El análisis de Coliformes Totales y *Escherichia coli* se realizó empleando las técnicas sugeridas en la resolución 2115 de 2007 para análisis microbiológicos de aguas. Para el agua sin tratar “Bocatoma” se empleó la técnica de sustrato definido usando caldo LMX-Fluorocult. Para las aguas potables se empleó la técnica de filtración por membrana de acuerdo a la APHA, 1998, filtrando 100 mL de agua a través de membranas estériles 0,45 µm de diámetro de poro (Pall Life Sciences®) y usando agar chromocult (Merck®) para el crecimiento selectivo y diferencial de coliformes y E. coli. Además, se uso agar TSA para la identificación de aerobios mesófilos (AM). Los resultados se reportaron como microorganismos /100 mL para el agua sin tratar y Unidades Formadoras de Colonia (UFC)/100 mL para las muestras de distribución, siguiendo los valores de referencia establecidos en la resolución (tabla 2). Como controles negativos se emplearon medios estériles sin inocular.

Tabla 2. Características microbiológicas del agua para consumo humano, valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección

| Técnicas Utilizadas     | Escherichia Coli                                  | Coliformes Totales                                |
|-------------------------|---|---|
| Filtración por membrana | 0 UFC/100 cm <sup>3</sup>                         | 0 UFC/100 cm <sup>3</sup>                         |
| Enzima Sustrato         | <de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>       | <de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>       |
| Sustrato definido       | Menos de 0 microorganismos en 100 cm <sup>3</sup> | Menos de 0 microorganismos en 100 cm <sup>3</sup> |
| Presencia-Ausencia      | Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>                   | Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>                   |

Fuente: Resolución 2115, 2007

#### 4.5 ANÁLISIS VIROLÓGICO

Todo el análisis de fagos se llevó a cabo empleando la metodología de Villamizar R et al (2015).

**Preparación de la cepa hospedera de *E.coli*.** La cepa hospedadora (*E. coli*) fue aislada a partir de una muestra de 100 mL agua sin tratar procedente de la etapa de B de la planta de tratamiento. La muestra fue diluida en base 10 hasta  $10^{-2}$  en solución salina estéril al 0,85% y sembrada por duplicado en cajas de agar Chromocult. Seguidamente, las cajas fueron incubadas a 37°C/24 h. Las colonias confirmadas fueron sembradas por agotamiento en agar tripticasa de soya (TSA). Las cepas fueron reactivadas para los ensayos de determinación de fagos sembrando en agar TSA para obtener cultivos jóvenes de no más de 18 horas. A partir de estos se preparó una solución con una densidad óptica (DO) de 0.5 ( $<300 \times 10^6$  ufc/mL) a 600 nm usando espectrofotómetro (Thermo Spectronic Genesys 10 UV/Vis spectrophotometer®) equivalente al patrón 4 en la escala de Mac Farland. Como controles negativos se emplearon medios estériles sin inocular.

**Obtención del filtrado fágico.** El contenido fágico fue obtenido de las aguas de las etapas de Captación y Distribución del proceso de potabilización, se filtraron 500 mL y 1000 mL de agua, usando filtros de membrana de 0,45  $\mu$ m de diámetro de poro (Advantec).

**Cuantificación de colifagos por el método de capa simple modificado.** A 50 mL de agar TSA licuado, se le adicionó 0,08 g nitrato de amonio, 0,11 g de nitrato de estroncio, 3 mL de cloruro de trifetil tetrazolio (TTC, Sigma) al 1% (p/v), 3 mL de la suspensión bacteriana (OD=0,5) y 3 mL de la muestra de agua filtrada. La mezcla fue vertida en tres cajas de Petri que fueron seguidamente incubadas a 37°C/12-18h. Finalmente, se hizo el recuento de las zonas de lisis o aclaramiento en cada una de las cajas (placas), las cuales fueron reportadas como Unidades Formadoras de Placas (UFP)/mL mediante la expresión, donde,  $\bar{x}$  y V representan respectivamente al promedio de placas, el recíproco de la dilución y el Volumen inoculado. Todos los ensayos se hicieron por triplicado.

**Caracterización Microscopía Electrónica.** Microscopía de transmisión electrónica (TEM) empleando el Tecnai G2 F20 de FEI y tinción negativa fue aplicada para obtener las imágenes de los colifagos somáticos aislados. Los Colifagos fueron concentrados y enviados en tubos conteniendo PBS pH 7.0. Este proceso fue llevado a cabo en la Unidad de Microscopía de la Universidad de Antioquia, Colombia.

## **5. RESULTADOS**

### **ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS**

En la tabla No (3 y 4) se puede apreciar los valores obtenidos para el parámetro de analizados para aguas crudas y potables en (Captación y Almacenamiento) en las 4 plantas de estudio en las ciudades de Pamplona y Cucuta en el departamento de Norte de Santander. Se observa los valores en (rojo) sobrepasan los límites admisibles por las normatividades correspondientes (La comparación se realizó con los valores de los parámetros contemplados en el decreto 475/98, la resolución 2115/07 y decreto 1594/84) para las 4 planta de tratamiento Cariongo, Monteadentro, Portico y Tonchala.

Tabla 3. Análisis en las etapas de Captación para las plantas Cariongo, Monteadentro, Portico, Tonchala en las ciudades de Pamplona- Cucuta.

| ANALISIS/<br>PARAMETRO | RESULTADOS/<br>PORTICO | RESULTADOS/<br>TONCHALA | RESULTADO<br>S/CARIONGO | RESULTADOS/<br>MONTEADENTRO | MAXIMO<br>ADMISIBLE/<br>NORMATIVA | NORMA  |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| COLOR                  | 1990                   | 20                      | 221                     | 37                          | < 10 y >= 40<br>UPC               | Rango propuesto por el RAS<br>2000   |
| DBO5                   | NR                     | NR                      | 7.8                     | 1.6                         | <= 1.5 y > 4 mg/l                 | Rango propuesto por el RAS<br>2001 (promedio mensual)  |
| DQO                    | 33                     | 42                      | 39                      | 8                           | 1-6 mg/l                          | Conferencia Internacional Usos<br>Múltiples del Agua: Para la<br>Vida y el Desarrollo Sostenible.<br>Indices fisicoquimicos de agua<br>un estudio comparativo. |
| ST                     | 390                    | 100                     | 103.3                   | 93.3                        | < 500 mg/l                        | Decreto 475/98   |
| pH                     | 7.73                   | 7.47                    | 6.37                    | 6.31                        | 6 - 10,5                          | Rango propuesto por el RAS<br>2000   |
| T°                     | 27                     | 24                      | 16.3                    | 15.9                        | 20°C (optima)                     | Conferencia Internacional Usos<br>Múltiples del Agua: Para la<br>Vida y el Desarrollo Sostenible.<br>Indices fisicoquimicos de agua<br>un estudio comparativo. |
| OD                     | 5.05                   | 5.17                    | 3.38                    | 3.61                        | < 4 y >= 4 mg/l                   | Rango propuesto por el RAS<br>2000   |
| TURBIEDAD              | 443                    | 2.62                    | 8.02                    | 7.17                        | <2 y >= 150 NTU                   | Rango propuesto por el RAS<br>2000   |
| CONDUCTIVIDAD          | 173                    | 34.5                    | 40.1                    | 39.2                        | < 1000<br>microsiemens/cm         | Resolucion 2115 de 2007  |
| ALCALINIDAD            | 142                    | 68                      | 33                      | 27                          | 200 mg/l CaCO3                    | Resolucion 2115 de 2007  |
| DUREZA TOTAL           | 127                    | 45                      | 14                      | 19                          | 300 mg/l CaCO3                    | Resolucion 2115 de 2007  |

Fuente: Propia

Tabla 4. Análisis en las etapas de Almacenamiento y Distribución para las plantas Cariongo, Monte dentro, Portico, Tonchala en las ciudades de Pamplona- Cucuta

| ANALISIS/<br>PARAMETRO | RESULTADOS/PO<br>RTICO | RESULTADOS/TON<br>CHALA | RESULTADOS/CA<br>RIONGO | RESULTADOS/MO<br>NTEADENTRO | MAXIMO<br>ADMISIBLE/NORMATIVA | NORMA  |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| COLOR                  | 5                      | 1                       | 11                      | 14                          | 15UPC                         | Resolucion 2115 de 2007  |
| DBO5                   |                        |                         | 1.2                     | 2.6                         | 0.2 mg/l                      | Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Indices fisicoquimicos de agua un estudio comparativo. |
| DQO                    | 8                      | 4                       | 6                       | 13                          | 1 mg/l                        | Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Indices fisicoquimicos de agua un estudio comparativo. |
| ST                     | 135                    | 100                     | 15                      | 20                          | < 500 mg/l                    | Decreto 475/98   |
| pH                     | 7.5                    | 7.11                    | 6.51                    | 6.56                        | 6.5 - 9                       | Resolucion 2115 de 2007  |
| T°                     | 27                     | 24                      | 14.1                    | 13.2                        | 20°C (optima)                 | Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Indices fisicoquimicos de agua un estudio comparativo. |
| OD                     | 4.98                   | 5.25                    | 3.2                     | 3.5                         | > = 4 mg/l                    | Rango propuesto por el RAS 2000  |
| TURBIEDAD              | 0.668                  | 0.373                   | 0.152                   | 0.215                       | 2NTU                          | Resolucion 2115 de 2007  |
| CONDUCTIVIDAD          | 253                    | 113.5                   | 52.2                    | 54.6                        | < 1000 microsiemens/cm        | Resolucion 2115 de 2007  |
| ALCALINIDAD            | 134                    | 59                      | 27                      | 29                          | 200 mg/l CaCO3                | Resolucion 2115 de 2007  |
| DUREZA TOTAL           | 125                    | 40                      | 18                      | 18                          | 300 mg/l CaCO3                | Resolucion 2115 de 2007  |

Fuente: Propia

Caracterización fisicoquímica del agua en los puntos de muestreo captación, y distribución de las plantas El Pórtico y Tonchalá de la ciudad de Cucuta, y zonas de gran influencia antrópica sobre el río Pamplonita y río Zulia.

### **ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS**

La determinación de microorganismos patógenos como indicadores de contaminación fecal, hace que se deba tener estricta vigilancia y evaluación de la seguridad microbiológica en los sistemas de abastecimiento de agua.

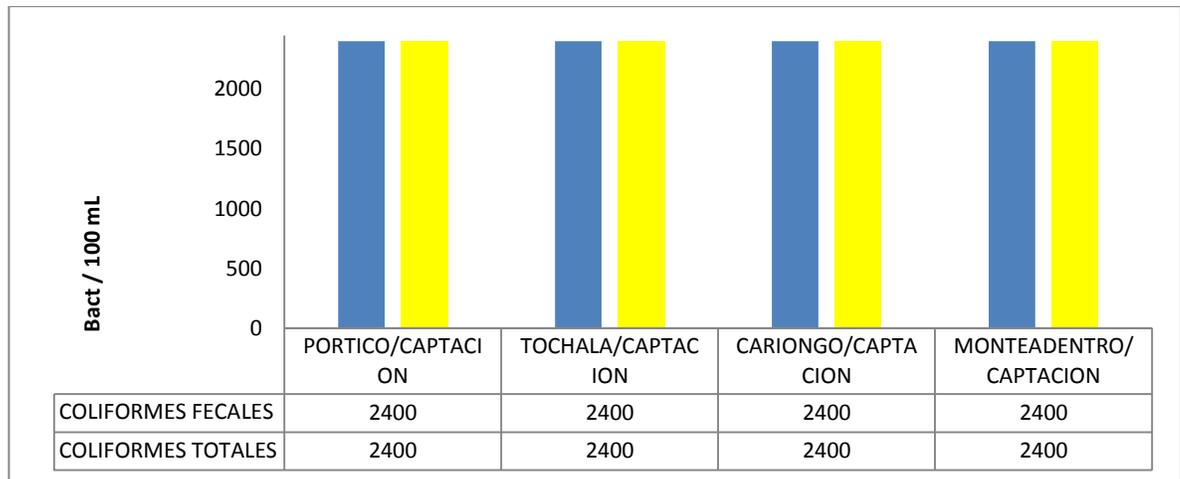
Además, un buen indicador debe ser específico de contaminación fecal debe hallarse en forma constante en las heces y estar asociado a las aguas residuales. Asimismo, debe ser fácilmente aislable, identificable y enumerable en el menor tiempo posible y con el menor costo. (Fig. 5)

Figura 4. Recuento de Coliformes Totales y Fecales a través de la Técnica del NMP en la cuatra plantas de estudio (Cariongo, Monteadentro, Portico y Tonchala)



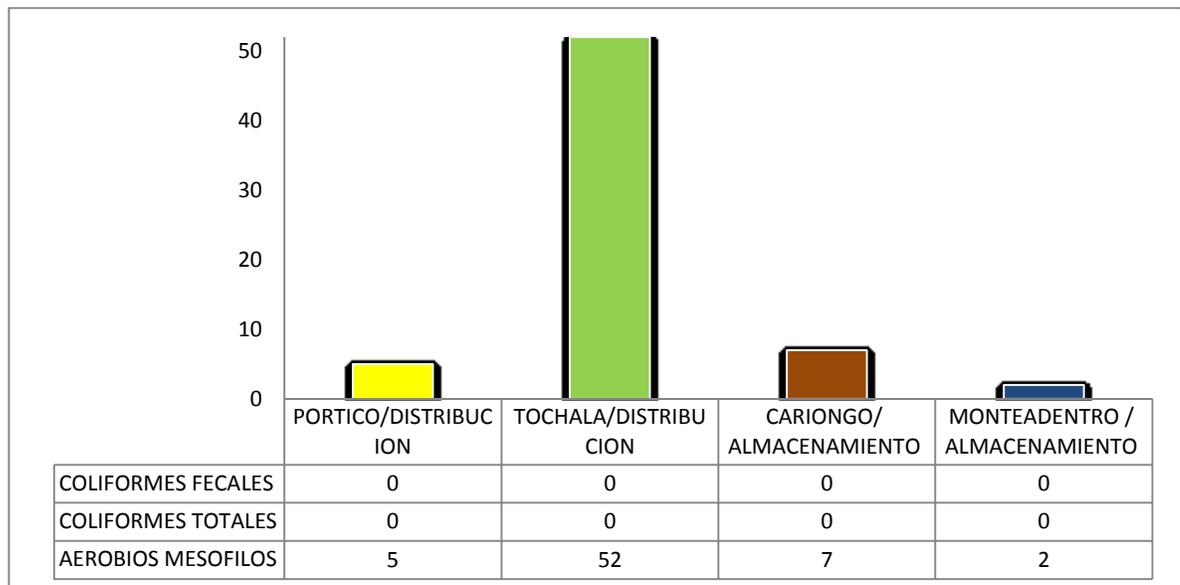
Fuente: Propia

Figura 5. Resultados de los análisis de Coliformes Fecales y Coliformes Totales mediante la técnica NMP de las fuentes de Captación de las 4 plantas.



Fuente: Propia

Figura 6. Recuento de los analisis de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Aerobios Mesófilos de Almacenamiento y/o Distribución de las 4 plantas



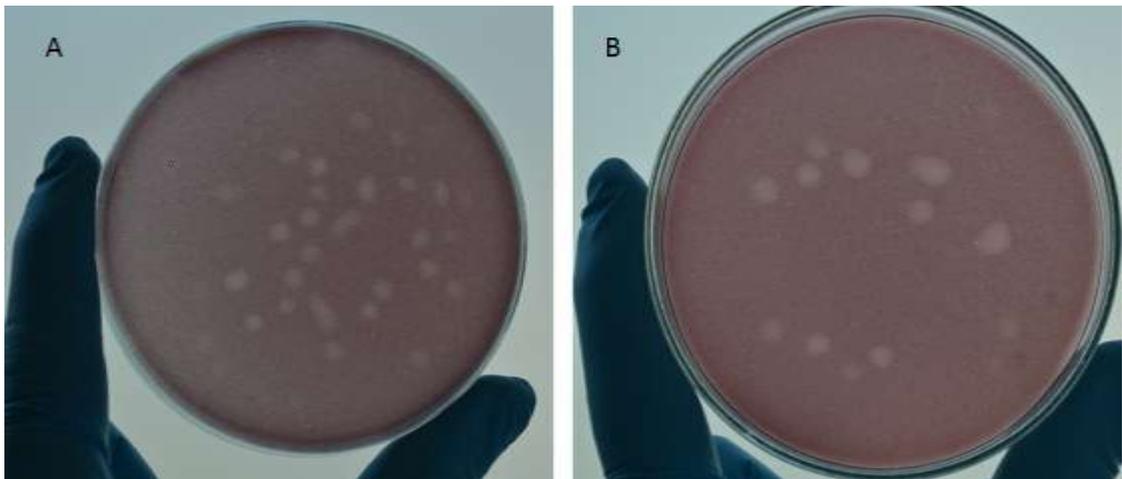
Fuente: Propia

## ANÁLISIS VIROLÓGICO

Los bacteriófagos (fagos) son virus que sólo utilizan bacterias como hospedadores para la replicación. Los colifagos utilizan *E. coli* y otras especies emparentadas próximamente con ella como hospedadores y, por lo tanto, pueden ser liberados por estos hospedadores bacterianos a las heces humanas

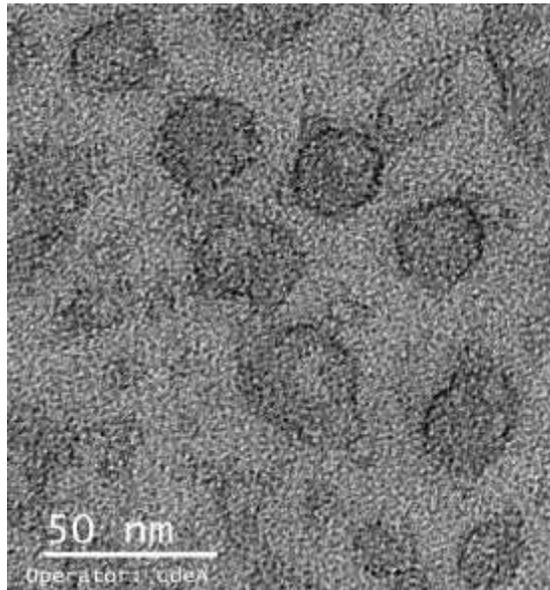
Las figuras( 7- 10) muestran los resultados de la determinación de colifagos somáticos en aguas, los cuales sirven como indicadores de contaminación no solo de origen bacteriano sino viral en medio de cultivo TSA modificado. La fig No.6 muestra una microfotografía obtenida a través de TEM de los fagos aislados en esta investigación.

Figura 7. Colifagos somáticos obtenidos a partir de aguas crudas en una planta de potabilización A) Fase de captación B) Fase de clarificación.



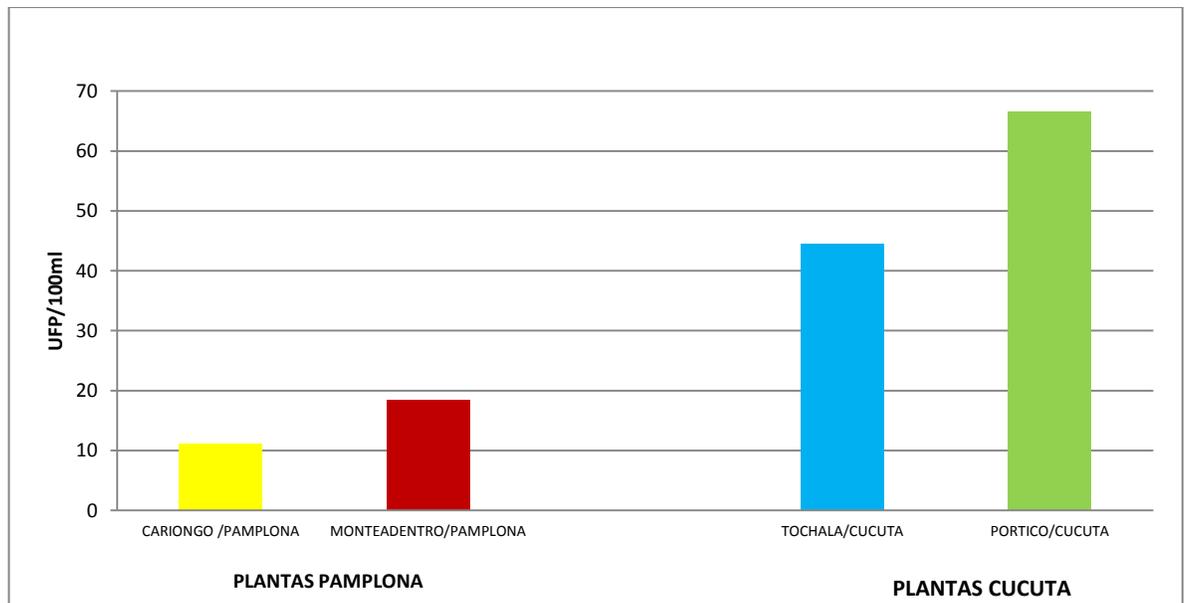
Fuente: Propia

Figura 8. Microfotografía Electrónica de los Colifagos Somáticos



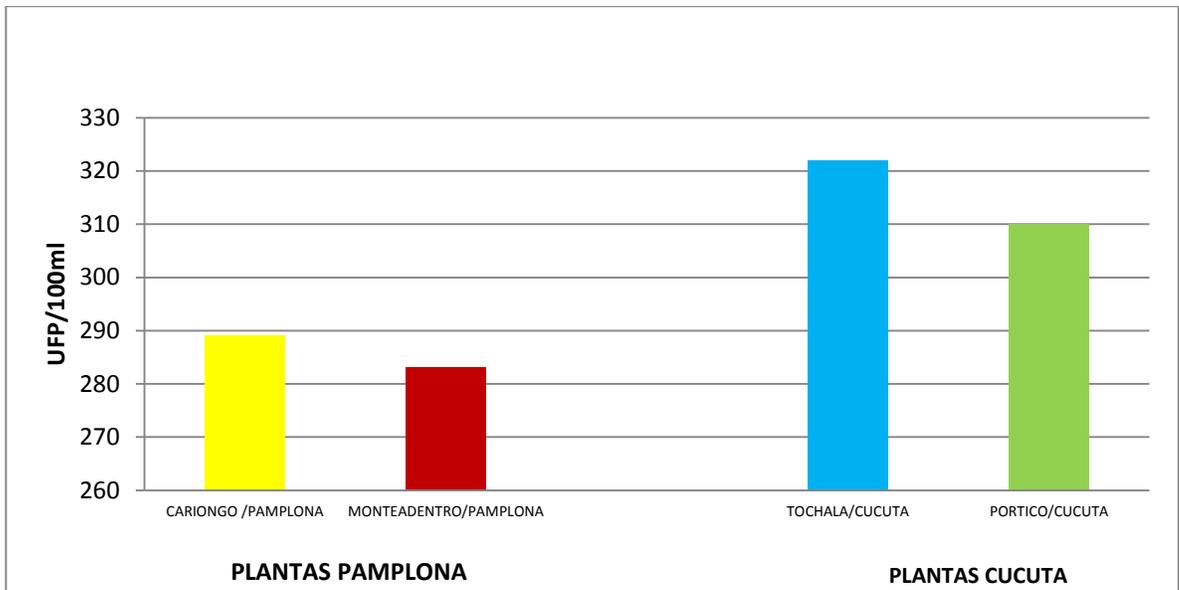
Fuente: Propia

Figura 9. Colifagos en las etapas de Almacenamiento y/o Distribucion de las 4 plantas (Cariongo, Monteadentro, Portico y Tonchala)



Fuente: Propia

Figura 10. Colifagos en las etapas de Captacion en las 4 (Cariongo, Monteadentro, Portico y Tonchala)



Fuente: Propia

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos que registraron valores fuera del rango se sugiere contrastarlos con los parámetros contemplados en el decreto 475/98, la resolución 2115/07 y RAS 2000 para clasificar las fuentes de abastecimiento, ya que para estos análisis de aguas crudas no se dispone de normatividad.

Los valores que se encuentran por fuera de los límites admisibles para la etapa de captación en las 4 plantas Cariongo, Monte dentro, Portico y Tonchala fueron: Color, DBO5, DQO, OD y Turbiedad (Ver tabla. 3). Estos valores pudieron presentarse debido a que la concentración de sustancias disueltas en el agua, en la bocatoma pueden variar dependiendo de la localización geográfica, el estado del tiempo, asentamiento de personas (con actividades agrícolas, ganaderas, domésticas, arrastre de materiales como arcillas, arenas y elementos vegetales. Generando contaminación que de alguna u otra forma llegan a las corrientes de agua aumentando la concentración de materia orgánica de la misma. Estos residuos al descomponerse se disuelven en el agua generando compuestos minerales que afectan directamente el color y que durante el proceso de potabilización es muy difícil eliminarlos.

La evaluación del color como parámetro fisicoquímico en las 4 plantas analizadas en la etapa de captación arrojó valores que excedieron el límite máximo admisible de  $<10$  y  $\geq 40$  UPC propuesto por el RAS 2000 (Ver tablas 3). Estas fuentes se pueden clasificar como muy deficiente.

Las causas más comunes del color en el agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferente estado de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido.

Con relación al DBO5 solo se realizó para las plantas Cariongo y Monte dentro arrojando resultados altos. Para Cariongo en la etapa de Captación. Pudo deberse al asentamiento de personas (con actividades agrícolas, ganaderos y domésticas) aguas arriba de la captación, generando contaminación que de alguna u otra forma llegan a las corrientes de agua, alterando la concentración de materia orgánica de la misma.

Por la naturaleza de estos parámetros, se establecen que los causantes de la contaminación orgánica deben estar ausentes en las aguas para consumo humano. La muestra de Monte dentro para el parámetro de DBO5 en Captación

pudo fundamentarse en 2 aspectos en su comportamiento, el primero, debido a causas en las bacterias cuando están en presencia de detergentes se rodean de una película que las aísla del medio e impide su acción, y la segunda se relaciona con la degradación considerablemente durante el almacenamiento entre su recolección y análisis mostrando un valor bajo de 1,6 mg/L. Este parámetro no pudo ser evaluado en las plantas de Portico y Tonchala debido al material no estaba disponible en el momento de hacer el análisis de laboratorio.

Con respecto a DQO en las etapas de captación en las plantas Portico y Tonchala se obtuvieron valores que exceden el límite máximo admisible, (Ver tabla 3) esto puede deberse a actividades antrópicas como la agricultura (uso de agroquímicos), pastoreo de ganado y domesticas (mala disposición de residuos), que se realizan en la ronda de los afluentes agua arriba de las captaciones, que contaminan el agua.

**Turbiedad.** Los valores exceden el límite máximo admisible en la etapa de Captación en Portico, Cariongo y Monte dentro. Esto pudo originarse a partir de pequeñas partículas suspendidas que no son removidas en el desarenado y que viajan a través de la tubería de aducción hasta llegar a la entrada de planta donde interfieren en el proceso de potabilización. Muchas veces cuando se tienen valores muy bajos en el agua cruda (tabla 3) se hace necesario la adición de partículas arcillosas para aumentar la turbiedad y así lograr un mejor tratamiento aumentando el número de colisiones entre las partículas lo que provoca una mejor coagulación. Mientras en la etapa de Distribución para las 4 plantas, están dentro de los límites admisibles de 2 NTU contemplados por la resolución 2115 de 2007.

Los análisis para la evaluación de los aspectos relacionados al potencial de hidrogeno para la calidad del agua cruda se pueden apreciar en la (tabla 3). Se observan que los valores evaluados en las 4 plantas están por dentro de los valores admisibles por la resolución 2115 de 2007 para las etapas de Captación.

Para las etapas de Almacenamiento y/o Distribución los valores fuera de los límites admisibles en las 4 plantas Cariongo, Monte dentro, Portico y Tonchala fueron: DBO5, DQO, OD ambos resultados para las cuatro plantas se marcaron de (color rojo)

El DBO5 en Cariongo y Monte dentro en la etapa de Almacenamiento los valores fueron muy bajos, se puede clasificar en fuente aceptable, nivel de calidad de acuerdo al grado de polución sugerida por el Ras 2000.

Con respecto a DQO en las etapas de Almacenamiento y/o Distribución en las plantas Cariongo y Monte dentro se obtuvieron valores que exceden el límite máximo admisible, (Ver tabla 4) esto puede deberse a actividades antrópicas como la agricultura (uso de agroquímicos), pastoreo de ganado y domesticas

(mala disposición de residuos con respecto al vertimiento que se realizan en la ronda de los afluentes agua arriba de las captaciones, que contaminan el agua. Los valores admisibles para el parámetro OD en almacenamiento y/o Distribución para las plantas Portico y Tonchala se encuentran dentro del límite admisible esto es un indicativo que da soporte a la vida vegetal y animal presente en el agua. Se indica que el agua es de mejor calidad de acuerdo a la resolución 2115 de 2007.

En las plantas Caringo y Monte dentro los valores obtenidos para OD están por fuera del admisible. Este resultado puede presentarse debido a la falta de oxigenación del agua, y al poco intercambio gaseoso entre la atmósfera y el cuerpo de agua, todo esto influenciado por los bajos caudales (por ende baja velocidad del agua) causando que los resaltes hidráulicos presentes en el cauce no contengan la energía suficiente para generar la oxigenación del agua.

Los análisis para la evaluación de los aspectos relacionados al potencial de hidrógeno para la calidad del agua potable en las etapas de Almacenamiento y/o Distribución, se pueden apreciar en la (tabla 4). Se observan que los valores evaluados en las 4 plantas están por dentro de los valores admisibles por la resolución 2115 de 2007. Se sugiere contrastar con los parámetros contemplados en el decreto 475/98, la resolución 2115/07 y RAS 2000 para clasificar las fuentes de abastecimiento. Un pH de 7.5 y 7,6 estos valores pueden afectar el proceso de desinfección, ya que como se indica en el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico RAS, el agua debe desinfectarse a un pH inferior a 7.5 pues valores superiores retardan las reacciones entre el cloro y el amoníaco, por esta razón es aconsejable mantener un pH entre 6 y 7 para lograr la eficiencia en el proceso de desinfección (Estupiñán, et al; 2010).

En cuanto a la evaluación de los parámetros: Sólidos Totales, pH, Temperatura, Alcalinidad y Dureza total, no se reportaron cambios significativos, indicando que estos se encuentran dentro de los límites admisibles sugeridos por la normatividad, contemplados con los parámetros en el decreto 475/98, la resolución 2115/07 y RAS 2000 para clasificar las fuentes de abastecimiento.

Se realizó una comparación con el estudio de Cardona 2011 sobre la evaluación periódica del río la Vieja, como herramienta para definir su grado de contaminación actual, en aspectos de calidad físicoquímica y microbiológica de sus aguas. Se afirmó que los parámetros estudiados en ambos ríos la Vieja en la ciudad de Cartago y el Pamplonita en municipio de Pamplona son comparables con lo que respecta a los resultados obtenidos fuera del límite admisible en el presente trabajo sobre las 4 plantas de estudio en el departamento de Norte de Santander.

## **ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Para el análisis microbiológico realizado en las etapas de tratamiento en las 4 plantas de estudio se pudo observar que las aguas crudas provenientes de la Bocatoma de los ríos Pamplonita y Zulia se encontraron niveles muy altos de cargas bacterianas Coliformes Fecales y Totales de  $>2400$  Bact / 100 ml. El agua cruda en estas zonas se caracteriza por presentar un nivel de riesgo muy alto por la alta intervención humana y por descargas de agua residual, domésticas, agrícolas en su cuenca. Mientras que en la etapa de Distribución los Coliformes Fecales y Totales fue de 0 UFC/ 100 ml, además se realizó un análisis complementario para la identificación y cuantificación de Aerobios Mesófilos, el cual arrojó valores que no superaron los límites de 100 UFC /  $100^3$  emitidos por la resolución 2115 de 2007 (Ver tabla 2). Los estudios coinciden con lo reportado por (Villamizar. *et al* 2015) donde encontraron que el agua es apta para su consumo humano ya que no se evidencia presencia de Coliformes Totales ni de *E. coli* en las etapas de cloración, almacenamiento y distribución lo cual se ajustan a los valores exigidos por la resolución 2115 de 2007. Los resultados son iguales, se presentaron los mismos efectos ya que la mayor presencia de estas bacterias se da por arrastre de materia orgánica y por vertimientos a la cuenca del río, que se dan más que todo en temporada invernal, y obtuvieron en las muestras evaluadas para aguas crudas y potables.

## **ANÁLISIS VIROLÓGICO**

En las fuentes de Captación y Almacenamiento se pudo determinar la presencia de zonas de lisis. (Villamizar. *et al*, 2015) ya que aborda los principales aspectos que han sido reportados acerca de la utilidad de las bacterias indicadoras en la evaluación de la calidad del agua. En las plantas de tratamiento objeto de estudio se demuestran la factibilidad del uso de *E. coli* como indicadores de contaminación fecal para la evaluación de la calidad del agua en las etapas de tratamiento y su posterior distribución. Los resultados de la investigación por (Villamizar. *et al*, 2015). Determinaron que los Colifagos representan un método alternativo para conocer la calidad bacteriológica del agua en tan solo 12 horas.

En la (Fig. 9 y 10) se describen los conteos obtenidos de los bacteriófagos cuantificados en la etapa de captación en las 4 plantas de tratamiento.

Los conteos más altos se presentaron en la ciudad de Cucuta en sus dos plantas de tratamiento en comparación con los de Pamplona debido a que el agua en la Bocatoma y/o Captación presenta mayor concentración de bacterias, contaminación y su nivel de riesgo es considerable por la alta intervención humana y por las descargas de agua residual, domésticas y agrícolas vertidas en el transcurso de la fuente hídrica.

Ambos ríos (Pamplonita y el Zulia) se unen en la bocatoma de la planta el Portico ubicada en la zona de San Pedro (Ver anexo F). Con respecto a las plantas de

potabilización en la ciudad de Pamplona se evidencia que en Monte dentro el conteo son menores a la del cariongo ya que donde esta planta capta el agua del rio pamplonita, esta tiene muy poca intervención humana debido a que casi no hay presencia de poblaciones cerca a esta fuente y por lo tanto no se ve muy afectadas. Mientras en la de cariongo se describen un poco más altos los conteos debido a que el agua antes de llegar a esta planta pasa por una población y unos cultivos presentes que estos a su vez alteran con vertimientos el curso de la fuente hídrica en el paso del rio desde Monte dentro hasta la bocatoma en la planta cariongo. (Ver figura 10) y (Anexo H).

En tanto a las etapas de almacenamiento y/o Distribución se describen conteos más altos en las plantas de Cucuta en comparación con las de Pamplona esto pudo presentarse debido a que los niveles de cloro residual estaban muy bajos y esto facilito la presencia de virus entéricos indicadores de contaminación fecal donde estos son muy resistentes a procesos de cloración.

La reducción de los conteos del bacteriófago en ambas ciudades en las plantas no fue lo suficientemente eficiente para el tratamiento de cloración mostrando claras deficiencias en el proceso de potabilización y por lo ende se observan mas altos lo niveles en las plantas de Portico y Tonchala.

La presencia de bacteriófagos en aguas de almacenamiento y/o distribución pueden ser indicativos de enfermedades gastrointestinales que afectan la salud de las poblaciones a la que abastecen.

Cabe resaltar estas bases teóricas para que en un futuro no muy lejano se puede incluir la detección de virus entéricos en la legislación colombiana.

En cuanto a la caracterización microscópica, se encontró un virus con simetría icosaédrica de unos 30-35 nm de diámetro. Según la literatura, morfología similar las presentan fagos como el MS2 (26 nm) el cual se clasifica dentro de la familia *Leviviridae* (<https://ViralZone.expasy.org>.) Estos bacteriófagos pueden ser empleados para verificar la eficiencia del proceso de potabilización. (Villamizar. *et al.* 2015)

Ademas estos bacterifagos son muy frecuentes en aguas. En los estudios realizados por (Boudaud. *et al.* 2012) se evaluo la cinética de inactivación de concentraciones del bacteriófagos MS2 durante un tiempo de contacto que mostro una reducción de 4,8 log, a 1,8 log partículas/ ml respectivamente. La reducción logarítmica inicial del bacteriófago en comparación con la final, se debe a la acción secuencial de cloro residual que primero afecta a la integridad de su cápside antes de degradar el ARN genómico.

No obstante, este hecho particular, debe ser estudiado en más detalle en futuras investigaciones, para poder establecer que el colifago somático obtenido en esta investigación podría encontrarse dentro de la misma familia.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a estudio hecho en las plantas de tratamiento de las dos ciudades, se logró comparar la calidad fisicoquímica, microbiológica y virológica de aguas crudas y potables. Se pudo establecer que en la etapa de captación presentaron mucha contaminación debido a que el agua siempre se comporta de una manera diferente que esta relacionado con las sustancias que pueden venir disueltas en ella lo que altera los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de esta y hace que su tratamiento no siempre sea igual y sencillo.

Se logro cuantificar con éxito la presencia de colifagos somáticos como indicadores de contaminación de origen Fecal en aguas crudas y potables evaluada de las plantas de tratamiento de Pamplona y Cucuta por medio de la metodología de capa simple modificada.

Se determino que el proceso de cloración presenta graves deficiencias con respecto a los virus entéricos de origen fecal presentes en las etapas de almacenamiento y distribución en las plantas de estudio en ambas ciudades.

Se pudo analizar el grado de contaminación microbiológica existente en las fuentes hídricas tanto de Bocatoma como de almacenamiento y/o distribución basados en los indicadores bacterianos establecidos en la resolución 2115 de 2007 donde la calidad de agua que emplean las dos poblaciones del departamento de Norte de Santander es apta para su consumo.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se debe continuar con la investigación y la gestión sostenible de la fuente hídrica analizada en las plantas de tratamiento.

Hacer la caracterización molecular de los bacteriófagos y a que familia pertenecen.

Realizar un monitoreo constante a estas fuente de abastecimiento de aguas crudas provenientes de los ríos Pamplonita y Zulia y determinar su calidad.

Llevar a cabo métodos estandarizados para hacerle seguimiento y detección a los virus en PTAP, en cuanto la baja concentración de estos en la etapa de distribución, y poder minimizar el riesgo de infección viral en aguas.

Cabe resaltar bases teóricas del estudio realizado para que en un futuro no muy lejano se puede incluir la detección de virus entéricos en la legislación colombiana.

## 9. GLOSARIO

**AFORO:** Medida del caudal de una corriente de agua.

**AGUA CRUDA:** Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

**AGUA POTABLE:** Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

**ANÁLISIS BÁSICOS:** Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, Coliformes totales y *Escherichia coli*.

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA:** Son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

**ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO:** Hace referencia a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

**CALIDAD DEL AGUA:** Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:** Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra.

**CARGA CONTAMINANTE:** Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d)

**COAGULANTE:** son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un flóculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales.

**COLIFORMES:** Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son

oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

**CONTAMINACIÓN DEL AGUA:** Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

**DBO<sub>5</sub>** Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica para medir el grado de contaminación normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción.

**DOSIS:** Cantidad o porción de una cosa.

**DQO** La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación.

**EUTROFIZACIÓN:** Enriquecimiento en nutrientes inorgánicos en un ecosistema.

**FLOC:** Aglutinamiento de sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

**INDICE COLIFORMES:** Es la cantidad estimada de microorganismos de grupo coliforme presente en cien centímetros cúbicos (100 cm<sup>3</sup>) de agua, cuyo resultado se expresa en términos de número más probable (NMP) por el método de los tubos múltiples y por el número de microorganismos en el método del filtro por membrana.

**MUESTRA COMPUESTA DE AGUA:** Es la integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el período de toma de muestras.

**MUESTRA PUNTUAL DE AGUA:** Es la toma en punto o lugar en un momento determinado.

**PLANTA DE POTABILIZACIÓN:** Instalaciones necesarias de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población.

**POLUCIÓN DEL AGUA:** Es la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas o microbiológicas del agua como resultado de las actividades humanas o procesos naturales.

**SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE:** Es el conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

**TIEMPO DE CONTACTO PARA EL DESINFECTANTE:** Es el tiempo requerido desde la aplicación del desinfectante al agua hasta la formación como producto del residual del desinfectante, de forma que esa concentración permita la inactivación o destrucción de los microorganismos presentes en el agua

**TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN:** Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.

**TURBIDEZ:** Falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión.

**UPC:** Se determina mediante colorimetría óptico-visual de la coloración amarillenta de aguas frente a patrones de platino-cobalto.

**VALOR ACEPTABLE:** Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| ACTIVIDAD                                      | MARZO |   |   |   | ABRIL |   |   |   | MAYO |   |   |   | JUNIO |   |   |   |
|--|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|
|  | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| Proceso de inducción laboratorio NANOSOST      | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Revisión bibliográfica                         | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Formulación del trabajo de pasantía            | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Toma de muestras Pamplona-Cúcuta               | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Análisis Físicoquímicos                        | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Análisis Microbiológicos                       | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Análisis Viroológicos                          | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Socialización de Resultados en eventos locales | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Escritura Informe                              | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |
| Sustentación                                   | █     | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ | █    | █ | █ | █ | █     | █ | █ | █ |

## REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

Álzate. P., Hernandez, J. (2007). El agua del municipio de Facatativá como vector de transmisión de rotavirus grupo A; Pontificia Universidad Javeriana Facultad de ciencias; Bogotá

Arcos. M., Ávila. S., Estupiñán. S., Gómez. A., (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. VOL.3 No. 4. 1-116.

Asamia. T., Katayamaa. H., Robert. J., Visvanathanb. C., Furumaic. H, (2016). Evaluation of virus removal efficiency of coagulation-sedimentation and rapid sand filtration processes in a drinking water treatment plant in Bangkok, Thailand. doi:10.1016/j.watres.2016.05.012. Volumen 101, 15 September, Pages 84–94.

Ávila. S., Estupiñán. S., Mejía. A., Mora. L. La calidad bacteriológica del agua del humedal jaboque (bogotá, colombia) en dos épocas contrastantes. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa. Bacteriología y Laboratorio Clínico. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47490>. Caldasia 36(2):323-329. 2014.

Bauera. R., Dizerb. H., Graebera. I., Rosenwinkelc. K., López. J. (2010) Removal of bacterial fecal indicators, coliphages and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration; doi:10.1016/j.watres.2010.08.047.

Boudaud. N., Machinal. C., Fabienne. D., Bourdonnec. A., Jossent. J., Bakanga. F., Arnal. C., Pierre. M., Oberti. S., Gantzer. C., (2012) Removal of MS2, Qb and GA bacteriophages during drinking water treatment at pilot scale.

Campo. Y., (2006). Evaluación de la calidad Microbiologica y Fisicoquimica del agua Potable de las Plantas de Tratamiento de Empopamplona S.A E.P.S. Estudio de Alternativas para el manejo de Lodos Residuales. Universidad de Pamplona, Facultada de Ciencias Basicas, Porgrama Microbiologia Pamplona.

Campos. C., Contreras. A., Leiva. F., (2014) Evaluación del riesgo sanitario en un cultivo de lechuga (lactuca sativa) debido al riego con aguas residuales sin tratar en el centro agropecuario marengo (cundinamarca, colombia) 1 biosalud, volumen 14 no. 1 págs. 69 – 78

Cardona. D., (2011) Caracterización 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, Escuela de química. Tecnología química; Pereira.

Casjens. R., (2008). Diversity among the tailed-bacteriophages that infect the Enterobacteriaceae. Department of Pathology, Room 5200K EEJMRB, University of Utah School of Medicine, Salt Lake City, UT 84112, USA. *Research in Microbiology* 159. 340-348.

Colombia. Proyecciones de Población Municipales por Área – Dane 2005- 2020; Bogota. (<http://www.dane.gov.co>)

Decreto 1575 de 2007. Tomado de: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>. Consulta Marzo 4 de 2016

Decreto 1594 de 1984. Tomado de: <http://www.disanejercito.mil.co/index.php?idcategoria=25467>. Fecha de consulta Marzo 4 de 2016.

Decreto 2105 de 1983. Tomado de: [http://www2.igac.gov.co/igac\\_web/normograma\\_files/DECRETO%2015941984%20usos%20del%20agua%20y%20residuos%20liquidos.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/DECRETO%2015941984%20usos%20del%20agua%20y%20residuos%20liquidos.pdf). Fecha de consulta Marzo 4 de 2016.

Decreto 475 de 1998. Tomado de: [http://www.ins.gov.co:81/normatividad/Normatividad/DECRETO%20475%20DE%201998.pdf?Mobile=1&Source=%2Fno%2Fnormatividad%2F\\_layouts%2Fmobile%2Fdispform%2Easpx%3FList%3De2309817-0dd2-4dfa-86ef-d4fef83f2ae2%26View%3D94a9e83f-c37f-48c1-acbf%26ID%3D9%26CurrentPage%3D1](http://www.ins.gov.co:81/normatividad/Normatividad/DECRETO%20475%20DE%201998.pdf?Mobile=1&Source=%2Fno%2Fnormatividad%2F_layouts%2Fmobile%2Fdispform%2Easpx%3FList%3De2309817-0dd2-4dfa-86ef-d4fef83f2ae2%26View%3D94a9e83f-c37f-48c1-acbf%26ID%3D9%26CurrentPage%3D1). Fecha de consulta Marzo 4 de 2016.

Estupiñán. S., Avila. S., (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad. Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia.

Gaviria. G., González. M., Castaño. J., (2012). Técnica para aislamiento de bacteriófagos específicos para E.coli DH5 $\alpha$  a partir de aguas residuales; Universidad del Quindío. Facultad Ciencias de la Salud. Centro de Investigaciones Biomédicas. Grupo de Inmunología Molecular (GYMOL).*Rev.MVZ Córdoba* 17(1):2852-2860.

Gélvez. Y., (2009). Evaluación de los parámetros de diseño hidráulico, de los sistemas de captación, aducción, desarenador y conducción en comparacion con el RAS- 2000 del municipio de Pamplona Norte de Santander, Universidad Industrial de Santander Escuela de quimica Programa Especializacion en quimica ambiental Bucaramanga.

Jamalludeen. N., Kropinski. A., Johnson. R., Lingohr. R., Harel. J., and Gyles. C., (2008). Complete Genomic Sequence of Bacteriophage EcoM-GJ1, a Novel Phage That Has Myovirus Morphology and a Podovirus-Like RNA Polymerase.

Department of Pathobiology, Ontario Veterinary College, University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1, Canada<sup>1</sup>. Laboratory for Foodborne Zoonoses, Public Health Agency of Canada, Guelph, Ontario N1G 3W4, Canada<sup>2</sup>. Department of Microbiology and Immunology, Queen's University, Kingston, Ontario K7L 3N6, Canada<sup>3</sup> and Faculté de Médecine Vétérinaire, Département de Pathologie et Immunologie, Université de Montréal, Saint-Hyacinthe, Quebec J2S 7C6, Canada<sup>4</sup>. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Jan. 2008, p. 516–525 Vol. 74, No. 2. doi:10.1128/AEM.00990-07

Jofre. J., Blanch. A., Lucena. F., Muniesa. M., (2014) Bacteriophages infecting Bacteroides as a marker for microbial source tracking, doi:10.1016/j.watres.2014.02.006.

Laguado. D., Torres. L., (2008). Plan Ordenación y manejo ambiental de la cuenca del rio Pamplonita. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de trabajo social. Bucaramanga.

Larrea. J., Rojas. M., Álvarez. B., Rojas. N., Pérez. M., (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura; Departamento de Microbiología y Virología, Facultad de Biología, Universidad de La Habana; Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 44, No. 3, pp. 24-34.

Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico Ras – 2000. Tomado de: [http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5.\\_Sistemas\\_de\\_potabilizacion.pdf](http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacion.pdf). Fecha de consulta 4 de Marzo de 2016

Resolución 2115 de 2007. Tomado de: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>. Fecha de consulta Marzo 4 de 2016.

Solano. M., Chacón. L., Barrantes. K., Achí. R., (2012). Implementación de dos métodos de recuento en placa para la detección de colifagos somáticos, aportes a las metodologías estándar; Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM; Rev. peru. biol. 19(3): 335 – 340.

# **ANEXOS**

Anexo A. Evento de la Programación de la Red Colciencias Departamental en el ISER



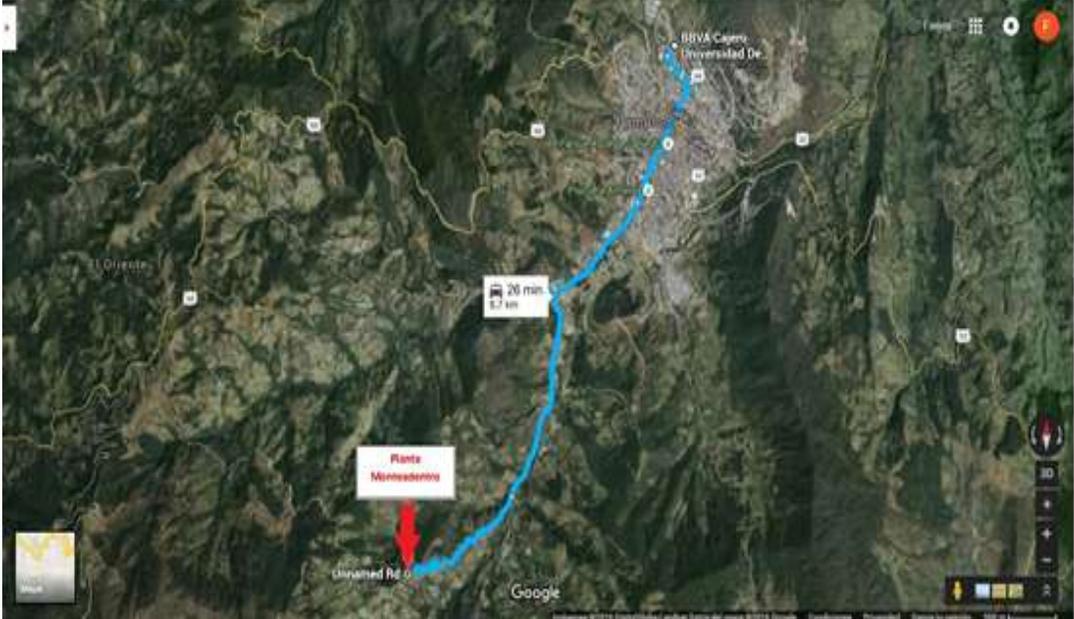
|     | A  | B  | C   | D                   | E        | F   |
|-----|----|--|---|---------------------|----------|---|
| 072 |    | Implementación de una central telefónica IP usando computación distribuida basada en software libre y hardware de bajo costo.  |   |                     |          |   |
| 83  |    | Efecto de la fisioterapia combinada con musicoterapia sobre la actividad electromiográfica de los músculos isquiotibiales en parálisis cerebral espástica. Un estudio de caso.                             | Barla Sarmiento Méza<br>2094278428            | ARTES Y HUMANIDADES | PAMPLONA | MUSICA Y SALUD                                    |
| 84  | 83 | Diseño y aplicación de una propuesta de intervención psicológica a partir de la musicoterapia para el mejoramiento de la calidad de vida en personas con discapacidad del municipio de Pamplona, Colombia. | Mónica Alexandra Saiz González<br>2094278428  | ARTES Y HUMANIDADES | PAMPLONA | MUSICA Y SALUD                                    |
| 85  | 84 | Intervención fonaudiológica en procesos alimenticios y del lenguaje, con musicoterapia   | ISNER PAOLA GARCIA<br>228270890               | ARTES Y HUMANIDADES | PAMPLONA | MUSICA Y SALUD                                    |
| 86  | 85 | DETERMINACIÓN DE LA CARGA BACTERIOLÓGICA Y VIROLÓGICA DE AGUAS CRUDAS Y POTABLES EN EL DEPARTAMENTO NORTE SANTANDER  | MARIO ALONZO YAREZ<br>24487080                | ING Y ARQUITECTURA  | PAMPLONA | NANOTECNOLOGÍA Y GESTION SOSTENIBLE (NANOSIST-UP) |
| 87  | 86 | DETECCIÓN DE Granda lambda EN AGUAS CRUDAS Y SERVIDAS DE LA CIUDAD DE PAMPLONA.  | EDUARDO VIRGILIO MAYORGA BOHICA<br>2094272736 | ING Y ARQUITECTURA  | PAMPLONA | NANOTECNOLOGÍA Y GESTION SOSTENIBLE (NANOSIST-UP) |
| 88  | 87 | ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS PARA LA FORMACIÓN EN LA PAZ Y NOVIOLENCIA DIRIGIDO A NIÑOS Y NIÑAS ENTRE OCHO Y DIEZ AÑOS DE EDAD  | Sandra Marcela Hernández<br>209072238         | EDUCACIÓN           | VILLA    | PEDAGOGÍA INFANTIL                                |
| 89  | 88 | Influencia que tienen las Tecnologías de la Información y de la Comunicación en el Desarrollo Cognoscitivo en la Niñez Temprana en la ciudad de Pamplona.  | Ricky De los Palacios<br>2548805588           | SALUD               | PAMPLONA | PSICOLOGÍA Y SOCIEDAD                             |
| 90  | 89 | Estilos de apego en las relaciones de pareja   | Nelsy Johanna Galindo Torres<br>2002482742    | SALUD               | PAMPLONA | PSICOLOGÍA Y SOCIEDAD                             |
| 91  | 90 | Implementación de una central telefónica IP usando computación distribuida basada en   | Álvaro Andrés Blaz Pérez<br>2092488376        |                     |          |   |

Anexo B. Foto del evento de la presentación del encuentro de red colciencias en el iser en el mes de mayo.



Anexo C. Ubicación geografía planta Monteadentro Pamplona y Planta Cariongo Pamplona

Monteadentro



Cariongo Pamplona



Anexo D. Ubicación geografía planta Carmen de Tonchala y planta el Portico en Cucuta

Carmen de Tonchala



Portico



Fotos planta Cariongo Pamplona



Condiciones Metereologicas en Planta Cariongo



Anexo E. Fotos Planta Monteadentro



Anexo F. Fotos de la bocatoma El Portico



Zona San Pedro Via a La Bocatoma El Portico



Anexo G. Fotos toma de muestra en distribucion El Portico en (centro de estimulacion a niños y adultos)



Planta De pretratamiento despues de la bocatoma El Portico



Ubicación planta pretratamiento El pórtico



Via a la planta El Portico



Via Portico



Anexo H. Fotos Planta aguas kapital ubicación Carmen de Tonchala



Muestra distribución de la planta Tonchala



Zona de ubicación via el Carmen de Tonchala



Termotasajero



Rio Zulia

