



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL
MUNICIPIO DE SAN ROQUE, ANTIOQUIA.**

AUTOR

DUBAN ARLEY LONDOÑO RUIZ

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA AMBIENTAL
2020**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL
MUNICIPIO DE SAN ROQUE, ANTIOQUIA.**

DUBAN ARLEY LONDOÑO RUIZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
CALIDAD DE AGUA**

**ASESOR
DIANA CATALINA RODRIGUEZ LOAIZA, INVESTIGADOR - DOCENTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA AMBIENTAL
2020**



Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 6 |
| Abstract | 7 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 2. OBJETIVO GENERAL..... | 9 |
| 2.1 Objetivos Específicos | 9 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 9 |
| 3.1 Características fisicoquímicas del agua..... | 9 |
| 3.1.1 Parámetros físicos..... | 10 |
| 3.1.2 Parámetros Químicos:..... | 10 |
| 3.2 Características microbiológicas..... | 13 |
| 3.3 Índices de calidad de Agua ICA e ICO..... | 13 |
| 3.4 Índices de Riesgo de calidad del agua de consumo humano IRCA..... | 14 |
| 3.5 Normatividad Vigente | 15 |
| 4. METODOLOGÍA | 17 |
| 4.1 Área de estudio..... | 17 |
| 4.1.1 Geografía | 17 |
| 4.1.2 Ordenamiento Territorial | 17 |
| 4.1.3 Población..... | 17 |
| 4.1.4 Economía..... | 18 |
| 4.1.5 Ecología | 18 |
| 4.1.6 Vías de comunicación | 19 |
| 4.1.7 Servicios públicos | 19 |
| 4.2 Recolección de Datos | 20 |
| 4.3 Variables seleccionadas | 21 |
| 4.4 Análisis de la información..... | 21 |
| 4.5 Técnicas de análisis fisicoquímicos..... | 22 |
| 4.6 Técnicas de análisis microbiológicos | 24 |
| 5. RESULTADOS | 24 |
| 5.1 Parámetros físicos: | 25 |
| 5.2 Mapas de lluvias..... | 30 |
| 5.3 Parámetros químicos: | 35 |
| 5.4 Parámetros Microbiológicos:..... | 41 |
| 5.5 Análisis de enfermedades relacionadas con el uso de agua | 44 |
| 5.6 Índice de Calidad de Agua | 45 |
| 6. ANÁLISIS | 50 |
| 7. CONCLUSIÓN..... | 52 |
| 8. RECOMENDACIONES..... | 53 |
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 55 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 - Características físicas del agua | 15 |
| Tabla 2 - Características químicas con influencia en la salud humana | 16 |
| Tabla 3 - Características microbiológicas | 16 |
| Tabla 4 - Población Total municipio de San Roque 2013..... | 18 |
| Tabla 5 - Hectáreas de Suelo con protección de los Recursos naturales | 19 |
| Tabla 6 - Valores admisibles para aguas de consumo..... | 21 |
| Tabla 7 - sitios de muestreo de Agua Potable, convenciones y coordenadas | 21 |
| Tabla 8 - sitios de muestreo de Agua Superficial y cruda, convenciones y coordenadas | 22 |
| Tabla 9 - Parámetros de análisis acreditados en el Ideam..... | 22 |
| Tabla 10 - Propiedades Físicas Agua Potable | 25 |
| Tabla 11- Propiedades físicas Agua cruda superficial..... | 25 |
| Tabla 12- Propiedades Químicas Agua Potable | 35 |
| Tabla 13- Propiedades Químicas Agua cruda superficial..... | 36 |
| Tabla 14- Propiedades Microbiológicas Agua Potable | 41 |
| Tabla 15- Propiedades Microbiológicas Agua cruda superficial | 42 |
| Tabla 16 – Resultados por estación vs valores admisibles para el agua potable | 43 |
| Tabla 17– Resultados por estación vs valores admisibles para el agua superficial cruda..... | 44 |
| Tabla 18 - Puntaje de riesgo IRCA. Fuente: Res. 2115/2007..... | 45 |
| Tabla 19 – Índice de Riesgo de la calidad del Agua..... | 46 |
| Tabla 20– Resultados IRCA 2018 y nivel de riesgo | 46 |
| Tabla 21 – Resultados IRCA 2019 y nivel de riesgo..... | 47 |
| Tabla 22– Resultados IRCA 2018 y nivel de riesgo para San Roque. Fuente: secretaria seccional de salud de Antioquia | 48 |
| Tabla 23 – Resultados IRCA 2018 y nivel de riesgo para municipios vecinos a San Roque. Fuente: secretaria seccional de salud de Antioquia..... | 48 |
| Tabla 24 – Clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para consumo humano. Fuente: Res. 2115/2007 | 49 |
| Tabla 25 – Criterios de calidad para destinación del recurso hídrico para consumo humano. Fuente: Dec 1594 de 1984 | 54 |

Listado de gráficas

| | |
|--|----|
| Gráfica 1 – Comportamiento del pH en el agua potable..... | 26 |
| Gráfica 2 – Comportamiento del pH en el agua superficial cruda | 26 |
| Gráfica 3 – Comportamiento de la turbiedad en el agua potable | 27 |
| Gráfica 4 – Comportamiento de la turbiedad en el agua superficial cruda .. | 27 |
| Gráfica 5 – Comportamiento del color en el agua potable | 28 |
| Gráfica 6 – Comportamiento del color en el agua superficial cruda..... | 28 |
| Gráfica 7 – Comportamiento de la temperatura en el agua potable..... | 30 |

| | |
|--|----|
| Gráfica 8 – Comportamiento de la temperatura en el agua superficial cruda | 30 |
| Gráfica 9 – Comportamiento del aluminio en el agua potable | 37 |
| Gráfica 10 – Comportamiento del aluminio en el agua superficial cruda | 37 |
| Gráfica 11 – Comportamiento del cianuro en el agua potable | 38 |
| Gráfica 12 – Comportamiento del cianuro en el agua superficial cruda..... | 38 |
| Gráfica 13 – Comportamiento del mercurio en el agua potable | 39 |
| Gráfica 14 – Comportamiento del mercurio en el agua superficial cruda | 39 |
| Gráfica 15 – Comportamiento del COT en el agua potable..... | 39 |
| Gráfica 16 – Comportamiento del COT en el agua superficial cruda..... | 39 |
| Gráfica 17 – Comportamiento de los fluoruros en el agua potable..... | 40 |
| Gráfica 18 – Comportamiento de los fluoruros en el agua superficial cruda.. | 40 |
| Gráfica 19 – Comportamiento del cloro residual en el agua potable | 41 |
| Gráfica 20 – Comportamiento de los coliformes totales en el agua potable. | 42 |
| Gráfica 21 – Comportamiento de los coliformes totales en el agua superficial cruda | 42 |
| Gráfica 22 – Comportamiento de la E.Coli en el agua potable..... | 43 |
| Gráfica 23 – Comportamiento de la E.Coli en el agua superficial cruda..... | 43 |

Listado de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Ubicación del municipio de San Roque. Fuente: Alcaldía municipal | 17 |
| Figura 2 – Mapa de lluvias correspondiente al mes de noviembre 2018. Fuente Ideam | 31 |
| Figura 3 – Mapa de lluvias correspondiente al mes de enero 2019. Fuente Ideam | 32 |
| Figura 4– Mapa de lluvias correspondiente al mes de Julio 2019. Fuente Ideam | 33 |
| Figura 5 – Mapa de lluvias correspondiente al mes de septiembre 2019. Fuente Ideam..... | 34 |
| Figura 6 – Mapa de lluvias de Antioquia correspondiente al año 2019. Fuente Ideam | 35 |
| Figura 7– Mapa de nivel de riesgo de la calidad de agua para la zona de influencia. Fuente: Elaboración propia..... | 49 |

Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar un diagnóstico de la calidad del agua de consumo de la población del municipio de San Roque. Teniendo conocimiento de que se realizan muestreos por parte de los técnicos de la seccional de salud de Antioquia en la zona urbana, donde cuentan con sistemas de potabilización, de igual manera, se realizan muestreos en la zona rural donde el agua es superficial cruda; los resultados del muestreo en la zona urbana son reportados al ministerio de Salud pero los del agua superficial cruda no, debido a que en las fuentes de información y para las autoridades, el agua del municipio es apta para consumo y no representa un riesgo para sus consumidores. Se analizaron 28 muestreos de agua potable y 54 de agua superficial cruda desde octubre de 2018 hasta noviembre de 2019 en 16 estaciones, 8 en la zona urbana y 8 en la zona rural. Los resultados obtenidos indicaron que el agua potable cumple con los requisitos establecidos por el ministerio de salud y de ambiente bajo la resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007, sin embargo, el agua superficial cruda reportó la presencia de coliformes totales y E. Coli hasta en 80 UFC/100 ml por cada uno de estos parámetros, además valores de turbiedad de 345 UNT y valores de color de 100 UPC, también se analizó la presencia de Aluminio, Mercurio, Cianuro libre y dissociable, COT, fluoruros y cloro residual. Aplicando una metodología IRCA para 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se obtuvo un puntaje de riesgo indicando que el agua de la zona urbana es apta para consumo mientras que en la zona rural no lo es, siendo un riesgo para la salud de cerca de 4000 consumidores. Se soportaron los resultados con mapas de lluvias obtenidos desde el IDEAM y se realizan unas recomendaciones con miras a generar alertas para los entes de control sobre la planificación del territorio y la solución de necesidades básicas insatisfechas como el acceso al agua potable.

Palabras claves: calidad de agua, agua potable, agua superficial cruda, parámetros físicos, parámetros químicos, parámetros microbiológicos, sistemas de vigilancia.

Abstract

The objective of this work was to generate a diagnosis of the quality of the drinking water of the population at the municipality of San Roque. Knowing that samplings are carried out by the technicians of the Antioquia health section in the urban area, where they have purification systems, in the same way samplings are carried out in the rural area where the water is raw surface; The results of the samplings in the urban area are reported to the Ministry of Health but the raw surface water is not, so from the information sources and for the authorities, the municipal water is suitable for consumption and does not represent a risk for its consumers. 28 samples of drinking water and 54 of raw surface water were analyzed from October 2018 to November 2019 in 16 stations, 8 in the urban area and 8 in the rural area. The results obtained indicated that the drinking water meets the requirements established by the Ministry of Health and Environment under resolution 2115 of 2007 and Decree 1575 of 2007, however, raw surface water shows the presence of total coliforms and E. Coli up to 80 CFU/100 ml for each of these parameters, in addition to turbidity values of 345 NTU and color values of 100 CFU, the presence of Aluminum, Mercury, free and dissociable cyanide, TOC, fluorides and residual chlorine. Applying an IRCA methodology for 12 physicochemical and microbiological parameters, a risk score is obtained indicating that the water in the urban area is suitable for consumption while in the rural area it is not, being a health risk for about 4000 consumers. The results are supported with source maps obtained from IDEAM and some recommendations are made with a view to generating alerts for control entities about land planning and the solution of unsatisfied basic needs such as access to clean water.

Keywords: water quality, drinking water, raw surface water, parameter parameters, chemical parameters, microbiological parameters, surveillance systems.

1. INTRODUCCIÓN

hablar de calidad de agua para consumo humano involucra la salud de las poblaciones que hacen uso de esta, lo que significa que una mala calidad representa la propagación de enfermedades por agentes patógenos como la enfermedad diarreica aguda (EDA), hepatitis A, polio y parasitosis por protozoarios y helmintos; entre estas, amebiasis, giardiasis, cryptosporidiasis y helmintiasis (Briñez et al., 2012).

La calidad del agua puede verse afectada por causas naturales como la erosión del suelo, los procesos atmosféricos, sedimentación de lodos y sales, lixiviación natural de materia orgánica y demás procesos biológicos que puedan alterar física o químicamente los afluentes (Petro & Wees, 2014). Así mismo, por actividad antrópica a causa de los vertimientos domésticos debido a la ausencia del sistema de alcantarillado, producto de un crecimiento poblacional poco planificado y la falta de vigilancia por parte de las autoridades lo que hace inviable que muchos cuerpos de agua puedan servir de suministro para potabilizar y abastecer a una población.

Hacer vigilancia a la calidad del agua es un tema de preocupación generalizado donde la responsabilidad mayor recae en los prestadores del servicio que mediante el muestreo, aportan información clara y concisa sobre el estado de las fuentes lo que permite tomar decisiones sobre la viabilidad de su consumo, a fin de mitigar la propagación de dichas enfermedades en los consumidores (MinSalud, 2019).

En Colombia, el seguimiento es responsabilidad del ministerio de Salud a través del SIVICAP donde se recopilan datos de muestreos fisicoquímicos y biológicos, dichos parámetros fueron establecidos de acuerdo con el decreto 1575 de 2007 y se estableció un índice de categoría de riesgo para la calidad de agua (IRCA) que define un puntaje, así: de 0 a 5% sin riesgo; de 5,1 a 14% es riesgo bajo; de 14,1 a 35% es riesgo medio; de 35,1 a 80% es riesgo alto y de 80,1 a 100% es inviable sanitariamente (Briñez et al., 2012).

A nivel departamental, la secretaría de salud de Antioquia designa inspectores que están en los municipios, estableciéndose diferentes puntos de muestreo en la cabecera municipal de San Roque y en dos de sus tres corregimientos (Providencia y San José del Nus) excluyendo al corregimiento de Cristales, para este trabajo de grado dichos muestreos se recopilaron desde el año 2018 de manera aleatoria.

Con la información recolectada se plantean las siguientes preguntas de investigación; ¿En qué estado se encuentra la calidad de agua de consumo humano en la cabecera municipal, ¿Cómo está la calidad de agua en sus corregimientos?, ¿Cómo está en comparación con los municipios vecinos?,

¿Cómo contrasta esta información con los reportes epidemiológicos en los últimos años?

En este estudio se analizó la calidad de agua de consumo humano a nivel urbano y rural en el municipio de San Roque en el Nordeste de Antioquia, a través del índice de calidad de agua (IRCA) para el año 2020.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad de agua de consumo humano en el municipio de San Roque, Antioquia, mediante un análisis de muestreos fisicoquímicos y microbiológicos con ayuda de herramientas de Gestión Ambiental.

2.1 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de calidad del agua a partir de muestras de agua potable tomadas en puntos seleccionados de la cabecera municipal y en las aguas crudas superficiales de los corregimientos de San Roque, Antioquia.
- Determinar la variación espacial y temporal de la calidad del agua en el área de estudio, a partir de análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- Proponer medidas de manejo ambiental para la mejora de la calidad de agua en la Población de San Roque.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Características fisicoquímicas del agua

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de la vida y los procesos que se desarrollan en la naturaleza. El suelo y la atmosfera le confieren elementos y propiedades específicas, sin embargo, en contacto con vertimientos generados por el hombre, se ve afectada su composición original (Gil, 2012), lo que lleva a generar estrategias para la mitigación del impacto ambiental.

3.1.1 Parámetros físicos

Turbiedad: Mide el nivel de transmitancia de luz en el agua y sirve como medida de calidad de agua con relación a la materia suspendida coloidal y residual. La turbiedad varía debido a la fuente de luz incidente sobre el cuerpo de agua y al método de medición, también varía de acuerdo con las propiedades para absorber luz por parte del material suspendido lo que conlleva a afirmar que no es viable hacer comparaciones de estos valores entre diferentes fuentes de muestreo. En Colombia se usa el método nefelométrico 2130 para medir turbiedad (Briñez et al., 2012)

Color: Se debe a la pigmentación de sustancias orgánicas en suspensión o disueltas en ella, entre las causas más comunes son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, también al contacto del agua con desechos procedentes de la descomposición de vegetales como hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición. También puede deberse a la presencia de sales solubles de Fe y Mn. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción. (Marin, 2010).

Temperatura: Se establece por la absorción de la radiación en las capas superiores del líquido. Cuando varía, afecta todas sus propiedades, tanto químicas como microbiológicas, por ejemplo, la solubilidad de sales. Este fenómeno no es común en las aguas profundas de embalses y lagos donde es poco posible la mezcla vertical de capas de agua (Romero, 2002).

Olor-sabor: El agua natural es incolora y no debe tener ningún sabor posterior al proceso de potabilización. Las fuentes de sabores y olores en el agua se deben a dos causas: naturales y antrópicas; las primeras incluyen gases, sales, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y otros procedentes de la actividad vital de los organismos acuáticos. Mientras tanto, los compuestos productores de olores y sabores de origen artificial pueden ser también orgánicos e inorgánicos están más claramente definidos y puede ser más fácil identificar la fuente causante cuando estos se manifiestan en el agua (Ros, A. 2011).

3.1.2 Parámetros Químicos:

pH: La determinación del potencial de hidrógeno (pH) en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad. Es el potencial de hidrógeno en el agua y se mide en una escala de 0 a 14 siendo 7 un valor

neutral; el pH por debajo de éste es ácido, y por encima de éste es alcalino. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos y es importante conocerlo para interpretar su tendencia a la corrosión y la incrustación. (Bríñez et al., 2012).

Alcalinidad: Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos a diferentes rangos de pH. En aguas naturales la alcalinidad la determinan los iones carbonato y bicarbonato, aunque en ocasiones se debe a otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos que pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Marín, 2010).

Acidez: Representa la cantidad de iones $(H_3O)^+$ en el agua y es un indicador del equilibrio entre carbonatos, bicarbonatos y dióxido de carbono cuando de potabilizar el agua se trata. También se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de la disociación generan hidronio $(H_3O)^+$, también a la presencia de cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III) contribuyendo a la acidez del medio (Romero, 2002).

Dureza Total y cálcica: Se entiende por dureza total, a la Cantidad de carbonatos de calcio y magnesio presentes en el agua. De acuerdo con la clasificación proporcionada por la organización mundial de la salud (OMS) y la agencia de protección ambiental (EPA) citado por Rodas en 2010, una concentración mayor a 300 mg/L es dura, y de 150 a 300 mg/L, es blanda. La dureza de no-carbonatos es causada por la asociación de los cationes con sulfatos, cloruros y nitratos. También se le conoce como dureza permanente porque no puede ser removida (Sawyer, 2001).

Cloruros: Según el Iowa Department of Natural Resources, 2009, citado por García y sus colaboradores. El cloro (Cl_2) es usualmente utilizado como desinfectante, sin embargo, en combinación con un metal, como el sodio (Na), es esencial para la vida, dado que, pequeñas cantidades de cloruros son requeridas para la función celular en los seres vivos. Tienen la capacidad de proveer al agua un sabor salado y depende de la composición química del agua, si el catión presente en el agua que acompaña al cloruro es sodio, se presenta un sabor salado con una concentración de 250 mg/L, en cambio, si el catión predominante es el calcio y el magnesio el sabor puede estar ausente hasta concentraciones de 1000 mg/L. Cloruros, fosfatos y nitritos son indicadores típicos de contaminación por vertimientos domésticos al agua (Sierra, 2011).

Color residual: El cloro es un producto químico relativamente económico 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. El cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación (OMS, 2009).

El uso de cloro como desinfectante es un método muy utilizado en todo el mundo para la potabilización de agua, esto se debe a su bajo costo y relativa facilidad de manejo y tiempo residual, sin embargo en la actualidad se ha comprobado la generación de subproductos nocivos para la salud durante el proceso de desinfección, entre los cuales están los trihalometanos que son generados en reacciones secundarias con la materia orgánica y se han comprobado como cancerígenos (Espinosa & González, 2009).

Compuestos nitrogenados: Provenientes de materias orgánicas, desechos humanos (urea y amonio) o de la disolución de rocas (nitratos). Los nitritos son sales o ésteres del ácido nitroso (HNO_2), en los nitritos inorgánicos se encuentra el anión NO_2^- . Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico HNO_3 , en los nitratos está presente el anión NO_3^- . Mediante la acción microbiana son oxidados hasta nitritos y nitratos (Marín, 2010).

Fluoruros: El flúor, es el más electronegativo de los elementos químicos conocidos, se encuentra en la litosfera en diversos minerales, como topacio fluorita (CaF_2), fluorapatito ($\text{CaF}_2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), etc., así como integrante de algunas micas (flogopita). Dada la escasa solubilidad de estas rocas y minerales, la presencia de fluoruro en aguas es minoritaria. La concentración de F^- en aguas naturales no suele superar en valor medio el mg/L, pudiendo ser mucho mayor en zonas volcánicas ricas en rocas fluoradas, y en algunas aguas minerales. Por otra parte, los vertimientos residuales procedentes de industrias del vidrio pueden contener habitualmente hasta 100 mg/L (Ayora, 2010).

Metales en Agua: Como cianuro, Hierro, Aluminio y Mercurio, con alto poder contaminante proveniente de la actividad industrial. El aluminio puede variar su concentración en el agua entre 0.012 y 2.25 mg/L siendo más alta en aguas ácidas. El Hg puede acceder al agua por procesos naturales como emisiones volcánicas, de manera antrópica por exploración minera sin debidos procesos técnicos y el por uso de agro quimos en el suelo. El cianuro con alto poder contaminante proviene de la actividad industrial, en disolución se halla disociado, y en aguas naturales se encontrará fundamentalmente como especie no disociada de mayor toxicidad que la especie iónica. Estos compuestos son potencialmente tóxico y bioacumulable pues suele ser rápidamente adsorbidos por cualquier ser vivo (Ros, 2011).

Materia Orgánica: Proceden de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos como carbono, hidrogeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrogeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Otros elementos importantes tales como azufre, fosforo y hierro pueden hallarse también presentes. Los principales grupos de sustancias orgánicas hallados en el agua residual son las proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasas y aceites (10%) (Sierra, 2011)

3.2 Características microbiológicas

El agua puede contener microorganismos, que pueden indicar la salud del cuerpo de agua o por el contrario la presencia de patógenos causantes de enfermedades. Hay presencia en ríos, en aguas fluviales más contaminadas, así como las bacterias típicas de las aguas residuales en función del grado de contaminación: escherichia coli y las denominadas coliformes, salmonellas y estreptococos fecales (Talarico, 2007).

3.3 índices de calidad de Agua ICA e ICO

Las aguas para consumo humano se están viendo limitadas para ser aprovechadas debido a la contaminación de origen antrópico y natural, por lo que implementar métodos de diagnóstico de calidad del agua se hace necesario y representativo para la toma de decisiones frente a los diferentes usos y el riesgo sanitario mediante procesos de potabilización. (Torres et al., 2010)

Los pioneros en generar una metodología unificada para el cálculo del índice de calidad (ICA) fueron Horton (1965) y Liebman (1969). Sin embargo, estos solo fueron utilizados y aceptados por las agencias de monitoreo de calidad del agua en los años setenta cuando los ICA tomaron más importancia en la evaluación del recurso hídrico (Samboni et, al. 2007).

A nivel mundial, el índice general de calidad del agua fue desarrollado por Brown et al. 1970 y mejorado en 1975 por Deininger para la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS, 1975), donde desarrollaron ICA para ríos de Estados unidos y fueron ampliamente usados en estudios posteriores a nivel internacional.

En 1970 los trabajos se basaron en la metodología Delphi, como el The National Sanitation Foundation (NSF), realizando el índice de calidad de

agua (WQI), que en español es conocido como ICA, con base en nueve parámetros: DBO5, OD, coliformes fecales, NO_3 , N, pH, cambio de temperatura, SDT, fósforo total y turbiedad (NSF, 2006). Este índice es en la actualidad uno de los más utilizados por agencias e instituciones en los Estados Unidos. (Samboni et, al. 2007)

Según Fernández y Solano (2005), en el mundo hay por lo menos 30 índices de calidad de agua que son de uso común, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. Prácticamente todos estos índices incluyen al menos 3 de los siguientes parámetros: OD, DBO o demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno en forma amoniacal y de nitratos (NH_4 , N^- y NO_3 , N), fósforo en forma de ortofosfato (PO_4), pH y sólidos totales (ST).

En Colombia, de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (Ideam, 2000), el servicio público domiciliario de agua potable se encuentra regulado por la Ley 142 de 1994 y la medición de parámetros fisicoquímicos es una actividad rutinaria. Sin embargo, no ha sido así el cálculo de índices de calidad de agua, aunque; estos están siendo aplicados regularmente en la industria del petróleo y algunas corporaciones autónomas regionales, en las ciudades principales del país, estimando los ICA e ICO en sus programas de monitoreo (Fernández y Solano, 2005).

En el 2002, diferentes entidades que conforman el Sistema de Información Ambiental Colombiano, incursionaron sobre la base de los índices desarrollados por Rojas (1991), Behar et al (1997), Ramírez y Viña (1998), en los que se han desarrollado catorce indicadores ambientales, de los cuales tres corresponden a la oferta hídrica, dos a la sostenibilidad del recurso, seis a la calidad del agua dulce y tres ICA adicionales para las aguas marinas y costeras (Ideam et al., 2002).

A pesar del gran esfuerzo realizado en Colombia, algunos de estos indicadores, especialmente los de calidad del agua, apenas están planteados debido a la poca densidad de puntos de colección de datos y su falta de sistematización y estandarización (Ideam et al., 2002).

3.4 Índices de Riesgo de calidad del agua de consumo humano IRCA

Colombia posee una población aproximada de 47 millones de personas, y según los indicadores de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2012), se estima que, en promedio, el 92% de la población total tiene acceso a fuentes de agua potable (99% en zona urbana y 72% en zona rural) y, en promedio el 77% de la población tiene acceso a instalaciones de

saneamiento básico. Una de las estrategias utilizadas para evaluar la incidencia de la calidad del agua potable es el Índice de riesgo de la calidad de agua para Consumo Humano IRCA, establecido en la Resolución 2115 de 2007 (Yáñez & Acevedo, 2013).

Por tal razón, se estableció el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano con el Decreto 1575 de 2007, el cual define los instrumentos, así como las funciones y acciones, que permiten una gestión coordinada entre los responsables de la garantía de la calidad del agua, mediante la gestión de reglamentación y diseño de protocolos de los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de Salud y Protección Social, incluyendo al Instituto Nacional de Salud, el cual ha desarrollado el aplicativo Sivicap, que permite a todas las autoridades sanitarias departamentales reportar los datos de la vigilancia de la calidad del agua en función de sus actividades de inspección, vigilancia y control (Lopez et al., 2015).

Como iniciativa, entonces, se crea el Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para consumo humano, el cual, con base en características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, determina el riesgo en la salud humana. (Minprotección, Res 2115, 2007). Al tratarse de un indicador ampliamente acogido, sobre él se generan informes nacionales, departamentales y municipales, en los cuales se expone el riesgo del agua potable; como consecuencia y buscando dar cumplimiento a la normatividad, se incluyen en los proyectos de desarrollo departamentales y municipales, planes con acciones futuras para el mejoramiento del índice y, por ende, de la calidad del agua abastecida (López et al., 2015).

3.5 Normatividad Vigente

Inicialmente, el ministerio de la protección Social y el ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial mediante la Resolución 2115 de 2007, señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano. Establece los valores máximos aceptables que no podrán sobrepasar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua para el consumo.

Tabla 1 - Características físicas del agua

| Características físicas | Expresadas como | Valor máximo aceptable |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Color Aparente | Unidades de platino cobalto | 15.0 |

| | | |
|------------------------|--|-----------|
| | (UPC) | |
| Turbiedad | Unidades nefelométricas de Turbiedad (UNT) | 2.0 |
| Conductividad | Microsiemens/cm | 1000.0 |
| Potencial de Hidrogeno | Unidades de pH | 6.5 a 9.0 |

Fuente: MinAmbiente & Min Protección Social - 2007

Así mismos las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana y en la economía

Tabla 2 - Características químicas con influencia en la salud humana

| Elementos y mezclas químicas | Expresadas como | Valor máximo aceptable (mg/L) |
|------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Nitritos | NO ₂ | 0.1 |
| Nitratos | NO ₃ | 10.0 |
| Fluoruros | F ⁻ | 1.0 |
| Alcalinidad Total | CaCO ₃ | 200.0 |
| Cloruros | Cl ⁻ | 250.0 |
| Aluminio | Al ³⁺ | 0.2 |
| Dureza total | CaCO ₃ | 300.0 |
| Hierro total | Fe | 0.3 |
| Sulfatos | SO ₄ | 250.0 |
| Fosfatos | PO ₄ | 0.5 |

Fuente: MinAmbiente & Min Protección Social - 2007

Además, Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse en 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) o 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra

Tabla 3 - Características microbiológicas

| Parámetros microbiológicos | Coliformes totales | Escherichia Coli |
|----------------------------|--|--|
| Filtración por membrana | 0 UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml |
| Enzima sustrato | < de 1 microorganismo en 100 cm ³ | < de 1 microorganismo en 100 cm ³ |
| Sustrato definido | 0 microorganismo 100 cm ³ | 0 microorganismo 100 cm ³ |
| Presencia – Ausencia | Ausencia en 100 cm ³ | Ausencia en 100 cm ³ |

Fuente: MinAmbiente & Min Protección Social - 2007

Así mismo, el ministerio de protección social decreta algunos aspectos concernientes a la calidad del agua mediante el Decreto 1575 de 2007 por el cual se establece el sistema de protección y control de la calidad del agua para el consumo humano; a través de pautas y recomendaciones dirigidas entre otros a las personas prestadoras del servicio de distribución o suministro de agua para el consumo doméstico.

4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

4.1.1 Geografía

El municipio se encuentra localizado al noreste del departamento de Antioquia, Situada en la cordillera central a los 6 grados, 29 minutos y 07 de latitud norte y a 75 grados, 01 minuto y 11 segundos de longitud oeste del meridiano de Bogotá. Presenta una elevación de 1.475 m.s.n.m., una extensión de 441 Km² y una temperatura promedio de 21°C (Alcaldía de San Roque, s.f).

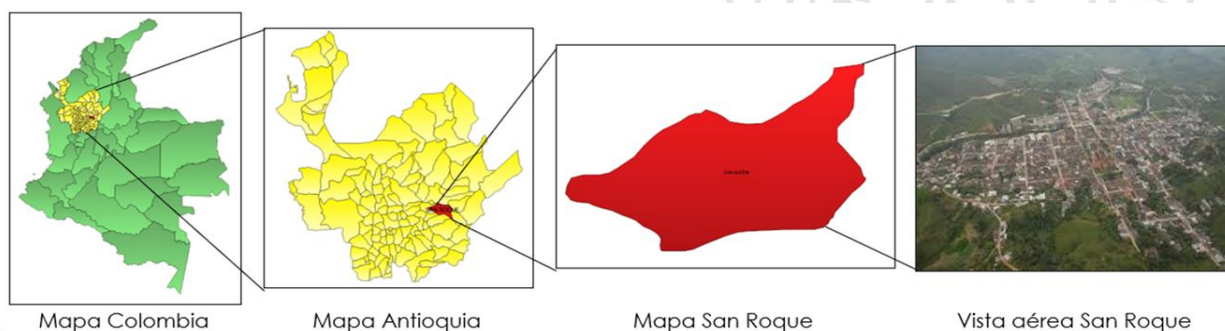


Figura 1 – Ubicación del municipio de San Roque. Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Ordenamiento Territorial

La cabecera municipal está ubicada a 121 Km de Medellín, Limita por el Norte con los municipios de Yolombó y Cisneros; por el Oriente con Maceo y Caracolí; por el Sur con San Carlos, San Rafael y Alejandría; y por el Occidente con Santo Domingo. Se encuentra dividido administrativamente en tres corregimientos (Cristales, San José del Nus y Providencia) y 54 veredas (Alcaldía de San Roque, s.f).

4.1.3 Población

Según Planeación municipal para el 2013, el municipio de San Roque estableció como línea base para su proyección poblacional un total de

21.000 personas, distribuidas de la siguiente forma: 5.917 en la cabecera municipal, correspondiente al 28% y 15.083 en la zona rural del municipio; incluyendo las cabeceras de los corregimientos, correspondiente al 72%.

Tabla 4 - Población Total municipio de San Roque 2013

| Población Municipio de San Roque 2013 | Total | Hombres | Mujeres | Hogares | Viviendas |
|---------------------------------------|--------|---------|---------|---------|-----------|
| Total Municipio | 21.000 | 10.272 | 10.272 | 5.948 | 5.864 |
| Total Cabecera | 5.917 | 2.797 | 3.121 | 1.804 | 1.768 |
| Total corregimientos | 4.624 | 2.252 | 2.372 | 1.297 | 1.295 |
| Total Veredas | 10.459 | 5.679 | 4.779 | 2.847 | 2.801 |

Fuente: Alcaldía municipal - 2013

4.1.4 Economía

San Roque es un municipio con una economía de subsistencia, es decir los productores no alcanzan a producir los requerimientos mínimos que la comunidad demanda y, por consiguiente, deben abastecerse de bienes básicos en el área urbana del municipio o de las localidades vecinas. El 80% de la población está dedicada a la agricultura y a la ganadería, aportando el 76% del producto interno bruto del municipio, la estructura económica da el sector primario, la cual está conformada por la agricultura, la ganadería, piscicultura y la minería. Los principales productos del municipio son: el café, la caña panelera, el plátano, yuca, maíz, frijol y otros que ocupan una menor área en el territorio. (Machado et al., 2010)

4.1.5 Ecología

En concordancia con las políticas ambientales y con miras a la protección de los recursos naturales y la valoración de las características ecológicas de algunas zonas de interés, se establecieron algunos sitios de interés:

- Parque lineal de la quebrada San Roque
- Ciclo vías del parque lineal de la quebrada San Roque y la Unidad Deportiva del municipio de San Roque
- Parque mirador el Salvador en la zona urbana
- Parque mirador, en el parque ecológico
- Mirador Urbano La Mielera
- Mirador Urbano San José
- Mirador Urbano Balcones de la Playa
- Construcción de un circuito peatonal entre los miradores San José y la Mielera en la cabecera municipal de San Roque
- Parque mirador en el barrio centro del corregimiento de Providencia
- Escenario cultural al aire libre en el parque la Inmaculada en la cabecera municipal de San Roque

- Parque boulevard en el barrio Juan XXIII del Corregimiento de San José del Nus
- Parque "De la Estación" en el barrio central del Corregimiento de Providencia.
- Parque lineal sobre el río Nus en la zona urbana de los Corregimientos de Providencia y San José del Nus
- Diseño y construcción de los Miradores Naturales en el Corregimiento de Cristales

Tabla 5 - Hectáreas de Suelo con protección de los Recursos naturales

| Suelo de Protección | Hectáreas |
|---|-----------|
| Suelo de protección Cabecera | 9.6151 |
| Suelo de protección Corregimiento de Cristales | 11.2068 |
| Suelo de protección Corregimiento de Providencia | 17.6490 |
| Suelo de protección Corregimiento de San José del Nus | 10.4081 |
| Suelo de protección Corregimientos | 39.264 |
| Suelo de protección Rural | 9.184 |
| Total suelo de protección | 9.233 |

Fuente: Alcaldía municipal - 2013

4.1.6 Vías de comunicación

El sistema de comunicación vial terrestre (carretera), que permite la integración del municipio de San Roque con el resto del país, y a su vez con la región del Área Metropolitana de Medellín y el Nordeste Antioqueño, se establece a partir de la conexión vial de la Troncal Medellín- Puerto Berrio, la cual le permite comunicarse con la capital del departamento de Antioquia y con el sistema central vial colombiano, por medio de la conexión al municipio de Puerto Berrio y de este con la ruta del sol y la conexión hacia la capital del país y la costa atlántica. Este eje de comunicación recorre el municipio desde el paraje Sofía en límites con el municipio de Cisneros, hasta el corregimiento de san José del Nus en límites con el municipio de Maceo (Alcaldía de San Roque, s.f).

4.1.7 Servicios públicos

Las aguas de consumo son tomadas de fuentes naturales consideradas nacimientos por lo que se considera aceptable y el tipo de tratamiento usado es compacta. (S.A.S, 2020). Según el plan de ordenamiento territorial del año 2013, el municipio contaba con 18 acueductos entre veredales y urbanos. Para los corregimientos de San José del Nus y Providencia, el agua no se potabiliza, se capta, se almacena y se distribuye a la población, que, para el mismo año, en la cabecera municipal habitaban 4.624 personas, en Providencia habitaban 1648 personas y en San José del Nus habitaban 2540

personas. En el corregimiento de Cristales habitaban 436 personas y a pesar de contar con acueducto local no se caracteriza el agua ni se analiza su calidad (Roque, 2014).

La cobertura total de acueducto en la zona urbana es de 100 % y de este, el 100% es potable. El acueducto, Empresas Públicas de San Roque que abastece el área urbana tiene un índice IRCA de 0% con una calidad del agua sin riesgo, para el consumo humano. Mientras que, en la zona rural, el suministro se realiza a través de pequeños abastos. No se tiene una caracterización previa de la calidad en el suministro del agua, por lo que sanitariamente el consumo de estas aguas es inviable (Cornare, 2014), ante lo cual nace la necesidad de generar una caracterización de la calidad de agua que se consumen en el resto de la población.

4.2 Recolección de Datos

Para la recolección de muestras se seleccionaron tres sitios del municipio. El primero de ellos en la cabecera municipal donde se tomaron muestras de agua potable en diferentes puntos del centro poblado, el segundo sitio se estableció en el corregimiento de San José del Nus y el tercer sitio se estableció en el Corregimiento de Providencia, específicamente en la oficina del acueducto local. En estos dos últimos puntos, el agua muestreada fue agua superficial cruda.

Las fuentes de agua que abastecen estos sistemas de acueducto son La quebrada San Javier ubicada en la zona norte del casco urbano del municipio de San Roque saliendo hacia el municipio de San Rafael, la quebrada La Plata ubicada sobre una zona de conservación a un costado del corregimiento de Providencia en jurisdicción del municipio de Yolombó y la quebrada La Chinca ubicada al sur del corregimiento de San José del Nus saliendo hacia el municipio de Caracolí.

Las muestras fueron tomadas por funcionarios de la secretaría seccional de salud de Antioquia y analizadas por el laboratorio de estudios ambientales de la universidad de Antioquia y reportadas al SIVICAP para la vigilancia del control de la calidad de Agua. El periodo tomado en cuenta para el análisis comprendió entre enero 2018 a diciembre de 2019.

La evaluación por realizar consta de un análisis estadístico simple mediante la tabulación de los resultados obtenidos, a través de la elaboración de gráficos de variación espacial y comparando lo obtenido con los valores máximos permitidos para los parámetros exigidos en la normatividad.

4.3 Variables seleccionadas

Después de una búsqueda de fuentes referenciadas relacionadas a la calidad del agua y de acuerdo con los muestreos tomados en los últimos meses por la secretaría de salud, se eligieron las variables fisicoquímicas y microbiológicas más representativas. Fueron seleccionadas 4 (cuatro) variables físicas: pH, turbiedad, temperatura y color. Además, fueron escogidas cinco (5) variables químicas como Aluminio, cianuro libre, mercurio total, COT, fluoruros y cloro residual, y 2 (dos) variables microbiológicas como: Coliformes totales y E. Coli

Para el método analítico de las variables microbiológicas (E. Coli y coliformes totales), se usó el método por filtración por membrana (SM 9222-H).

Los Valores admisibles para aguas de consumo enunciadas en la resolución No. 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Tabla 6 - Valores admisibles para aguas de consumo

| Parámetro | Unidades | Valor Admisible |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Coliformes totales | UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml |
| E. Coli | UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml |
| pH | Unidades de pH | 7 |
| Turbiedad | N.T.U | Menor o igual a 2 |
| Color Aparente | UPC | Menor o igual a 15 |
| Temperatura | °C | NA |
| Aluminio | Mg/L Al | Menor o igual a 0.2 |
| Cianuro libre | Mg/L CN ⁻ | Menor o igual 0.05 |
| Mercurio Total | Mg/L Hg | Menor o igual a 0.001 |
| COT | Mg/L C | Menor o igual a 5 |
| Fluoruros | Mg/L F ⁻ | Menor o igual a 1 |
| Cloro residual | Mg/L | NA |

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales - UdeA

Seguidamente, para la toma de muestras se tuvieron en cuenta las siguientes observaciones: Cloro Libre (mg/L Cl₂ Residual) igual a 0.0, pH (Unidades de pH) igual a 7.0 y temperatura (°C) igual a 20,0.

4.4 Análisis de la información

Tabla 7 - sitios de muestreo de Agua Potable, convenciones y coordenadas

| Estación | Sitio de muestreo Lugar | Coordenadas | |
|----------|----------------------------|--------------|---------------|
| | | Latitud | Longitud |
| E1 | Coliseo municipal | 6°29'15.7''N | 75°01'00.4''W |

| | | | |
|----|--------------------------------|--------------|---------------|
| E2 | Esquina Salida a Santo Domingo | 6°29'12.1''N | 75°01'21.5''W |
| E3 | CDA Adulto Mayor | 6°29'10.1''N | 75°01'03.1''W |
| E4 | Barrio Rincón Santo | 6°28'58.2''N | 75°01'08.7''W |
| E5 | Parcelación Agua dulce | 6°29'11.8''N | 75°00'55.2''W |
| E6 | Puente Salida Santo Domingo | 6°29'10.0''N | 75°01'12.5''W |
| E7 | Parque infantil El Reposo | 6°29'26.3''N | 75°00'55.6''W |
| E8 | Altos de Los Montoya | 6°29'17.2''N | 75°01'13.1''W |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 - sitios de muestreo de Agua Superficial y cruda, convenciones y coordenadas

| Estación | Sitio de muestreo | | Coordenadas | |
|----------|--|--|--------------|---------------|
| | Lugar | | Latitud | Longitud |
| E9 | Acueducto La Plata - Providencia | | 6°31'00.1''N | 74°54'11.2''W |
| E10 | I.E Sección primaria – San José del Nus | | 6°29'49.2''N | 74°49'51.0''W |
| E11 | Calle principal – San José del Nus | | 6°29'39.6''N | 74°49'33.1''W |
| E12 | Barrio los Almendros – San José del Nus | | 6°29'26.2''N | 74°49'32.4''W |
| E13 | Restaurante Puerto Nus – San José del Nus | | 6°29'50.5''N | 74°49'38.2''W |
| E14 | Oficina de Servicios públicos – San José del Nus | | 6°29'42.3''N | 74°49'34.8''W |
| E15 | Puente Salida hacia Puerto Berrío – San José del Nus | | 6°29'46.2''N | 74°49'30.0''W |
| E16 | Estadero San José – San José del Nus | | 6°29'46.2''N | 74°49'31.5''W |

Fuente: Elaboración propia

4.5 Técnicas de análisis fisicoquímicos

Para realizar el análisis de cada una de las variables seleccionadas, dichas muestras fueron enviadas al laboratorio de estudios ambientales de la universidad de Antioquia, acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005, bajo resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017. Se analizaron los parámetros acreditados con el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – Ideam descritos en la tabla 9

Tabla 9 - Parámetros de análisis acreditados en el Ideam

| Matriz | Parámetros |
|-------------|--|
| Matriz Agua | Alcalinidad Total |
| | Aluminio Disuelto |
| | Aniones (Nitrato, Nitrito, Cloruros, Sulfatos, Ortofosfatos, Fluoruro) |
| | Cationes (Calcio, Magnesio) |
| | Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totales, |
| | Cianuro Total, |

Matriz Sedimentos

| |
|--|
| Compuestos Orgánicos Volátiles (m-Xileno, p-Xileno, Benceno, Etilbenceno, o-Xileno, Xileno Total) |
| Conductividad Eléctrica |
| Cromo Hexavalente |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) |
| Cadmio |
| Calcio, Calcio Disuelto |
| Cloruros |
| Cobalto |
| Cobre |
| Cromo Total |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) |
| Detergentes |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) |
| Dureza Total |
| Escherichia coli |
| Ortofosfatos |
| Fósforo Total |
| Grasas y Aceites |
| Hidrocarburos Totales |
| Hierro Total |
| Metales Disueltos (Calcio, Magnesio) |
| Metales Totales (Aluminio, Arsénico, Bario, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc) |
| Nitrógeno Amoniacal |
| Nitrógeno Total Kjeldahl |
| Pesticidas Organoclorados (4,4'- DDD, 4,4-DDT, Heptacloro, Alfa-BHC, Endosulfan II, Endrin Aldehido, Metoxicloro, 4,4-DDE, Diledrín, Beta-BHC, Gama-BHC, Endosulfan I, Endrín) |
| Pesticidas Organofosforados (Clorotalonil, Clorpirifos) |
| Pseudomonas Aeruginosas |
| Sólidos Disueltos Totales |
| Sólidos Suspendidos Totales |
| Sólidos Totales |
| Sulfatos |
| Sulfuros |
| Bario |
| Cromo |
| Cadmio |
| Cobalto |
| Cobre |
| Manganeso |
| Níquel |
| Plomo |
| Zinc |
| Hidrocarburos Totales |

| | |
|---|--|
| Matriz Aire- Calidad del Aire | Partículas Suspendidas Totales |
| | Material Particulado como PM ₁₀ |
| | Dióxido de Azufre (SO ₂) |
| | Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) |
| | Compuestos Orgánicos Volátiles (Benceno, Etilbenceno, o-Xileno, Xileno Total). |
| Matriz Aire- Fuentes Fijas | Material Particulado |
| | SO ₂ |
| | SO ₃ |
| | Neblinas de H ₂ SO ₄ |
| | Óxidos de Nitrógeno |
| | Metales (Cadmio, Plomo) |
| Compuestos Orgánicos Volátiles (Metano) | |

Fuente: Laboratorio de estudios Ambientales - UdeA

4.6 Técnicas de análisis microbiológicos

Para el análisis de los coliformes totales y la *Escherichia coli* se empleó el método de filtración por membrana el cual consiste en pasar la muestra con ayuda del vacío a través de una membrana de celulosa de 0.45 micras de tamaño de poro, para que queden retenidas en él, las bacterias de tipo coniforme y las mesofílicas. El filtro es colocado en un medio de cultivo específico para lo que se desea determinar en la muestra coliformes totales, coliformes fecales y microorganismos mesofílicos, incubando a 35°C +/- 2°C durante 18 a 20 horas. Ofrece ventajas en el tiempo de análisis y es comparable con el método de tubos múltiples usado en muchos laboratorios para analizar los Coliformes (Paez, 2008).

5. RESULTADOS

Se evaluó la calidad del agua clasificando los parámetros en fisicoquímicos y microbiológicos y agrupando algunos de ellos en básicos, volumétricos y colimétricos según el método asignado para sus análisis mencionados en la tabla 9. De acuerdo con los resultados del laboratorio de estudios ambientales de la UdeA los cuales fueron tabulados y analizados en Excel, se muestran los siguientes resultados. Los Valores admisibles reportados en los resultados para aguas de consumo, se enuncian en la Resolución No. 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

5.1 Parámetros físicos:

- Se incluyeron en esta sección parámetros como el pH, turbiedad, color y temperatura, tanto para agua superficial cruda como para agua potable.

Tabla 10 - Propiedades Físicas Agua Potable

| Parámetro | UND | Valor admisible | LD M | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
|-------------|----------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| pH | Unidades de pH | 6,5 – 9,0 | | 7,0 | 6,9 | 7,0 | 7,1 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 6,9 |
| | | Desviación típica | | 0,05 | 0,13 | 0,09 | 0,25 | 0,00 | NA | 0,05 | NA |
| Turbiedad | UNT | ≥2 | 0,1 | 0,9 | NA | 1,8 | 0,7 | 0,6 | NA | 0,6 | NA |
| | | Desviación típica | | 0,7 | NA | 1,8 | NA | 0,1 | NA | NA | 0,7 |
| Color | UPC | ≥15 | 5 | 15,0 | NA | 15,0 | 15,0 | 15,0 | NA | 15,0 | NA |
| | | Desviación típica | | 0,0 | NA | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | NA | 0,0 |
| Temperatura | °C | Promedio | | 18,8 | 18,8 | 19,4 | 18,8 | 18,5 | 19,0 | 19,0 | |
| | | Desviación típica | | 0,4 | 0,4 | 2,0 | 0,5 | 0,7 | NA | 0,0 | 0,4 |

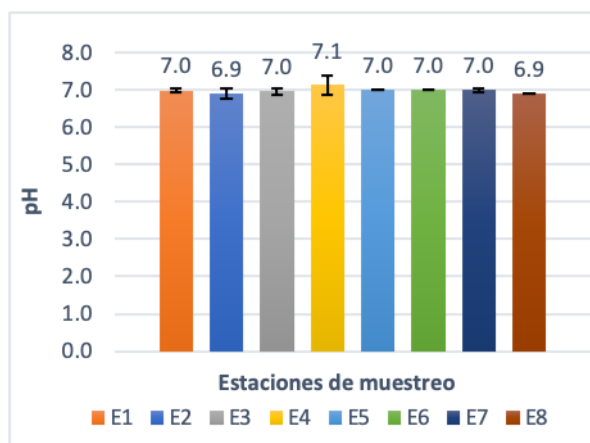
La tabla 10 muestra la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos muestreados en las ocho (8) estaciones para el análisis del agua potable en el casco urbano. Se puede observar que en las ocho (8) estaciones los resultados mostraron que el pH tuvo un comportamiento similar con oscilaciones entre 6,9 y 7,1 mientras que la temperatura mostró un comportamiento con variaciones entre 18,5 y 19,4. En el caso de la turbiedad y el color, dichos parámetros no fueron medidos en las estaciones 2, 6 y 8. Para la turbiedad, el valor mínimo fue de 0,6 UNT y el máximo de 1,8 encontrándose por debajo del valor admisible de 15 UNT, mientras que para el color, el resultado estuvo dentro del valor admisible de 15 UPC.

Tabla 11- Propiedades físicas Agua cruda superficial

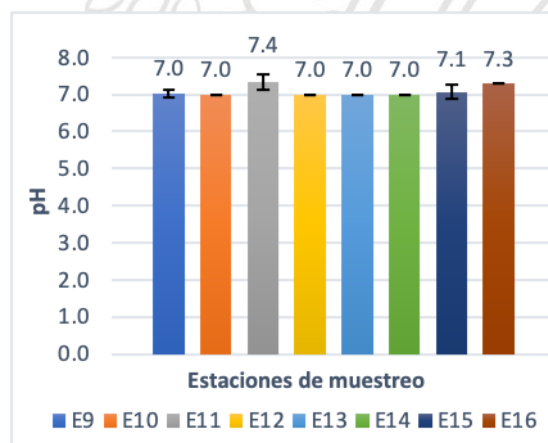
| Parámetro | UND | Valor Admisible | LD M | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | E16 |
|-------------|----------------|-------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH | Unidades de pH | 6,5 – 9,0 | | 7,0 | 7,0 | 7,4 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,1 | 7,3 |
| | | Desviación típica | | 0,7 | NA | 1,8 | NA | 0,1 | NA | NA | NA |
| Turbiedad | UNT | ≥2 | 0,1 | 41,0 | 8,4 | NA | 1,0 | 23,8 | 2,5 | 9,8 | NA |
| | | Desviación típica | | 107,4 | 9,4 | NA | NA | 35,2 | NA | 3,8 | NA |
| Color | UPC | ≥15 | 5 | 35,6 | 9,1 | NA | 15,0 | 40,0 | 15,0 | 40,0 | NA |
| | | Desviación típica | | 37,0 | 8,4 | NA | NA | 52,2 | NA | 14,1 | NA |
| Temperatura | °C | Promedio | | 20,5 | 21,7 | 22,0 | 21,2 | 21,7 | 22,0 | 21,7 | 23,1 |
| | | Desviación típica | | 0,91 | 0,5 | 0,0 | 1,5 | 0,5 | 0,0 | 0,4 | NA |

Al analizar las mismas propiedades en el agua superficial cruda a lo largo de las 8 estaciones distribuidas en la zona rural del municipio de San Roque, observamos que el pH tiende a ser un poco más básico que el agua potable de la cabecera municipal variando entre 7,0 y 7,4. En el caso de la turbiedad, al ser agua no potabilizada, los resultados se elevan desde 1 hasta 41 UNT, lo que significa que se encuentran por encima del valor admisible para consumo humano. Se aclara que en 2 estaciones no se muestreó el parámetro.

Para el color los resultados muestran que tuvo un valor mínimo de 9,1 medida que se encuentra dentro del valor admisible y un máximo de 40 UPC lo cual no es admisible para consumo humano y aclarando nuevamente que en dos estaciones no se muestreó el parámetro. Finalmente, para la temperatura, al encontrarse estos puntos en zonas con relieve de menor elevación, la temperatura varió entre 20,5°C y 23,1.



Gráfica 1 – Comportamiento del pH en el agua potable

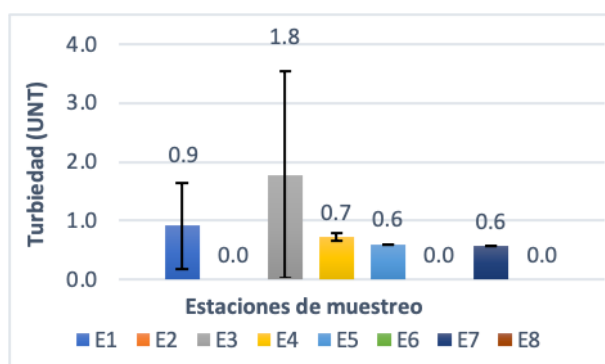


Gráfica 2 – Comportamiento del pH en el agua superficial cruda

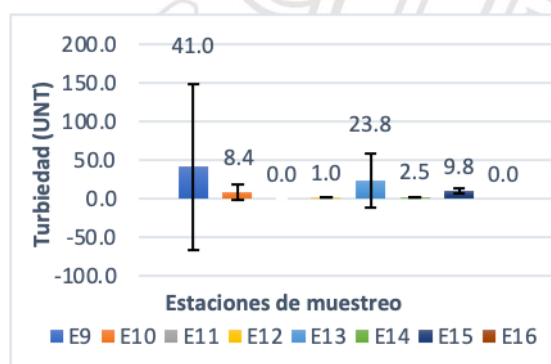
En el caso del potencial de hidrógeno (pH), la Gráfica 2 muestra las estaciones distribuidas a lo largo del casco urbano del municipio de San Roque, donde el parámetro se mantuvo en un rango entre 6,9 y 7,1 unidades de pH, encontrándose el valor dentro de un rango permisible establecido de 7,28 unidades porcentuales de la neutralidad del agua, característica ideal para la funcionalidad de la bioquímica humana. Al analizar la desviación típica, se observa que se mantuvo en cero para las estaciones 5, 6 y 8 debido a que se tomaron muestras del parámetro una sola vez durante el espacio de tiempo en que se analizó el comportamiento de este; no fue así para las estaciones 1 y 7 donde la desviación típica fue de 0,05, mientras que la estación 2 tuvo una desviación típica de 0,13; la estación 3 de 0,09 y la estación 4 de 0,25 encontrándose mayor desviación típica en ésta estación que en el resto de las estaciones debido a, que de 4 muestreos realizados entre noviembre de 2018 y agosto de 2019, una estación mostró un

comportamiento mayor (7,5 unidades de pH) lo que significa que no existe la posibilidad de causar una afectación a los consumidores por tener un resultado más alcalino que ácido.

La Gráfica 3 muestra las estaciones distribuidas a lo largo de la zona rural del municipio de San Roque, en los corregimientos de Providencia y San José del Nus, los resultados muestran un comportamiento que oscila entre 7 y 7,4 siendo mayor el resultado en la estación E11 ubicada en la calle principal de San José del Nus, el agua es más alcalina en este punto, pero no es nociva para la salud ni representa un peligro para los consumidores. Al analizar la desviación típica, es cero para las estaciones E10, E12, E13, E14 y E16, mientras que para la estación E9 es de 0,11; en la estación E11 es de 0,21 y en la estación E15 fue de 0,19 por lo cual se puede afirmar que los resultados obtenidos tienen alto valor de confiabilidad y fueron constantes en la mayoría de las estaciones por lo que el agua de consumo de la población en el área rural del municipio de San Roque tiende a ser más alcalina que ácida sin representar un peligro para sus consumidores.



Gráfica 3 – Comportamiento de la turbiedad en el agua potable



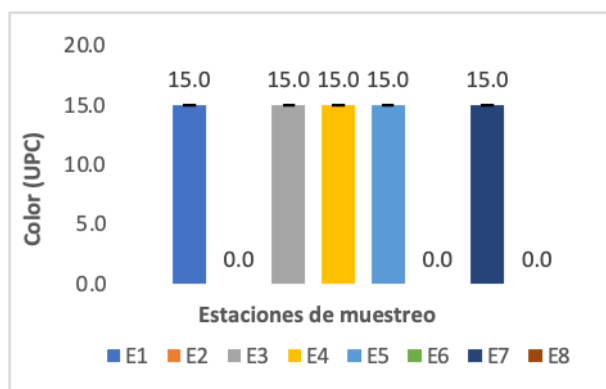
Gráfica 4 – Comportamiento de la turbiedad en el agua superficial cruda

En el caso de la turbiedad para el agua potable, no se midió el parámetro en las estaciones E2, E6 y E8, oscilando el resultado en el resto de las estaciones entre 0,6 y 1,8 UNT. Si analizamos cuanto fue la desviación típica del resultado, observamos que en la estación E1 fue de 0,7, en la estación E5 de 0,1 y en la estación E3 ubicada en la oficina de las empresas públicas municipales fue de 1,8; dicha desviación puede deberse a que, en uno de los muestreos, el resultado fue superior a 3 UNT lo que indica presencia de sedimentos debido probablemente a la alta cantidad de sólidos que puede traer el afluente.

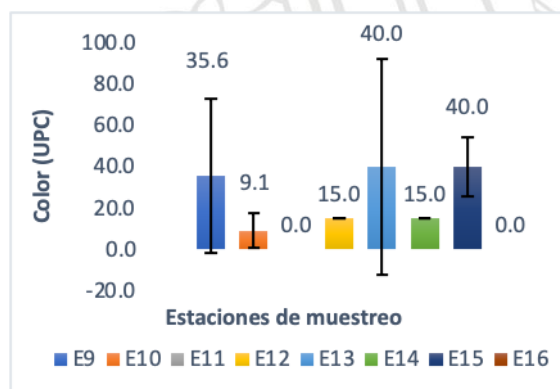
Analizando el mismo parámetro en las estaciones por fuera del casco urbano, se observa que la estación E9 tiene una alta presencia de sedimentos tanto móviles como suspendidos, con un valor de 41 UNT, seguidamente la estación E13 con 23,8 UNT; mientras que la estación E10 y E15 con valores de 8,4 y 9,8 respectivamente. Finalmente, las estaciones E12

y E14 con 1,0 y 2,5 UNT; tampoco se estudió el parámetro en las estaciones E11 y E16. Al analizar la desviación típica se observa que en la estación E9 fue de 107,4, en la estación E10 fue de 9,4; en la estación E13 fue de 35,2 y en la estación E15 fue de 3,8. Al explicar la gran diferencia de la información se puede inferir a la variabilidad de los resultados a lo largo de los muestreos realizados siendo por ejemplo la Estación E9 ubicada en el corregimiento de Providencia el resultado con mayor valor el 27 de noviembre de 2018 con 325 UNT lo que indica la alta cantidad de sedimentos que presentaba el agua ese día asociado a eventos de precipitación, en contraste con el resultado obtenido el 19 de febrero de 2019 con 0,194 UNT asociado a eventos de alta sequía. Para la estación E10 donde la desviación típica fue de 9,4; vemos que el mayor valor se obtuvo el 30 de octubre de 2018 con 15 UNT mientras que el menor valor se obtuvo el 28 de mayo de 2019 con 1.71 UNT que, a pesar de ser época de altas precipitaciones, el resultado se encontró por debajo del límite de detención del método.

Al analizar la información obtenida en la estación E13, en la mayoría de los casos el resultado estuvo por encima del límite de detención del método, con excepción del resultado obtenido el 30 de julio de 2019 con 64,4 UNT que indicaba alta cantidad de sedimentos. Mientras tanto en la estación E15 la desviación fue de 3,79 con resultados de 7,14 y 12,5 UNT en dos fechas diferentes donde se realizó el muestreo en ese punto, a pesar de que la desviación no es muy significativa con respecto al resto de estaciones de la zona rural del municipio de San Roque se observa la alta presencia de sólidos tanto suspendidos como móviles en las aguas de consumo para la población.



Gráfica 5 – Comportamiento del color en el agua potable



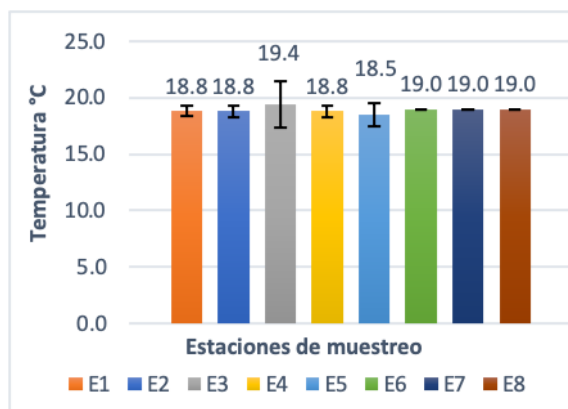
Gráfica 6 – Comportamiento del color en el agua superficial cruda

En el caso del color, para las estaciones ubicadas en la zona urbana donde el agua es potabilizada, los resultados fueron similares en todas las estaciones a excepción de las estaciones E2, E6 y E8 donde no se midió el parámetro. En todos los casos el resultado dentro del valor admisible de 15 UPC, así mismo al calcular cuánto se desvió el resultado del valor promedio se observa que es cero en las estaciones donde se midió el parámetro por lo que los

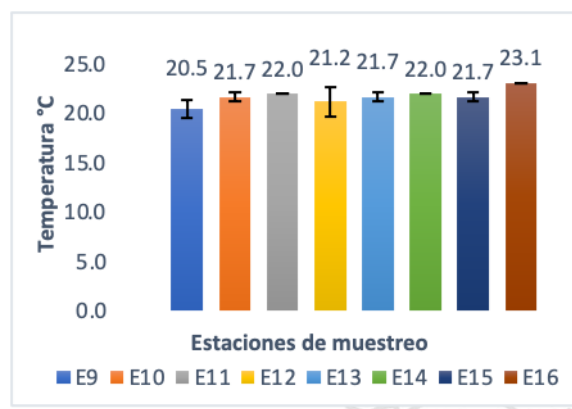
resultados fueron constantes en la mayoría de las estaciones y no representan una variabilidad significativa lo que significa que el agua se encuentra dentro de los valores admisibles enunciados en la Resolución 2115 de 2007.

Analizando el mismo parámetro en el agua superficial cruda, existen variaciones importantes a mencionar, los resultados más significativos se observan en las estaciones E9, E13 y E15 con 35,6 y 40 UPC respectivamente, seguidamente de las estaciones E9 con 9,1 UPC y las estaciones E12 y E14 con 15 UPC, en las estaciones E11 y E16 no se analizó el parámetro. En concordancia a los resultados obtenidos con la medición de la turbiedad, observamos valores por encima del valor admisible para consumo humano, lo cual se debe a la presencia de sedimentos, sólidos en suspensión y posiblemente materia orgánica.

Al evaluar la desviación típica de este parámetro, la principal desviación se observa en la estación E13 con un resultado de 52,5 UNT, luego está la estación E9 con 37 UPC, la estación E15 con 14,1 y la estación E10 con 8,4; en las demás estaciones no se ajustó este estadístico porque no se midió el parámetro o se midió una sola vez. En la estación E9 se realizó el muestreo en 9 ocasiones y en dos de ellas el resultado fue de 100 UPC en contraste con 4 estaciones donde el resultado fue cercano al límite del valor admisible de 15 UPC, los resultados donde los valores fueron de 100 UPC se dieron el 27 de noviembre de 2018 y el 30 de julio de 2019. Para la estación E10 en el muestreo realizado el 30 de octubre de 2018 fue de 3,15 UPC en contraste con el resultado del muestreo realizado el 28 de mayo de 2019 donde el resultado fue de 15 UPC. Para la estación E13, se analizó el parámetro en 3 oportunidades, arrojando como resultado 5, 15 y 100 UPC en las fechas respectivas del 29 de enero de 2019, el 25 de junio de 2019 y el 30 de julio de 2019 por lo que la desviación fue de 52,2 con respecto al promedio cuantificado de 40 UPC para este reporte. Finalmente, en la estación E15 la desviación típica fue de 14,14 debido a que el parámetro se midió en dos oportunidades, el 27 de noviembre 2018 y el 24 de septiembre de 2018 con resultados de 30 y 50 UPC respectivamente, indicando alta presencias de sólidos y materia orgánica disuelta en el agua que consumen en la zona rural del municipio de San Roque.



Gráfica 7 – Comportamiento de la temperatura en el agua potable



Gráfica 8 – Comportamiento de la temperatura en el agua superficial cruda

Dentro de los parámetros físicos se analizó también la temperatura. En el caso del agua potable de la cabecera municipal el resultado osciló entre 18,8 hasta 19,4°C lo que indica que los resultados no tuvieron variaciones significativas a lo largo de las 8 estaciones en la cabecera municipal donde se midió el parámetro y si se verifica la desviación con respecto al promedio fue de 0,45; 0,48; 2,07; 0,5 y 0,71 para las estaciones E1, E2, E3, E4 y E5 respectivamente; para el resto de las estaciones la desviación fue 0.

Con respecto a las estaciones ubicadas por fuera de la cabecera municipal la temperatura osciló entre 20,5 y 23,1°C con desviaciones oscilando entre 0,0 y 1,5; siendo la estación E12 con mayor variabilidad en los resultados, sin embargo, no es muy significativa o no representan una afectación que pueda alterar el resto de los resultados de los demás parámetros. En comparación entre el agua potable y el agua superficial cruda se puede percibir mayor energía cinética en el segundo caso debido a la diferencia de elevación del relieve en las estaciones donde se analizó agua superficial cruda que está por debajo de los 1000 msnm en comparación con la cabecera municipal que está a 1.475 m.s.n.m. Otra justificación puede deberse a que, en el segundo de los casos, las fuentes de agua se encuentran sobre llanuras abiertas con poca vegetación lo que incide en mayor radiación llegando a la superficie del agua aumentando su temperatura, en comparación con la cabecera municipal donde las coberturas de bosques en el territorio y en las riveras de ríos es mayor.

5.2 Mapas de lluvias

En el caso de las estaciones E9 a E16 donde el agua analizada es cruda, la presencia de sedimentos interfiere en los resultados de turbiedad y color. La presencia de sedimentos se debe al arrastre de sólidos desde la cuenca alta de la quebrada La Plata y el río Nus, principales afluentes que aportan el agua de consumo de las poblaciones objeto de análisis. Como son cuencas

pequeñas, eventos de precipitación provocan respuestas inmediatas con grandes arrastres de sólidos y materia orgánica.

Por ejemplo, para la estación E9 ubicada en el corregimiento de Providencia, en muestreo realizado el 27 de noviembre de 2018 arrojó un valor de 325 UNT; en comparación con el mapa de lluvias obtenido a través del ideam para esa fecha se observan precipitaciones en la zona entre 200 y 400 mm de lluvia.

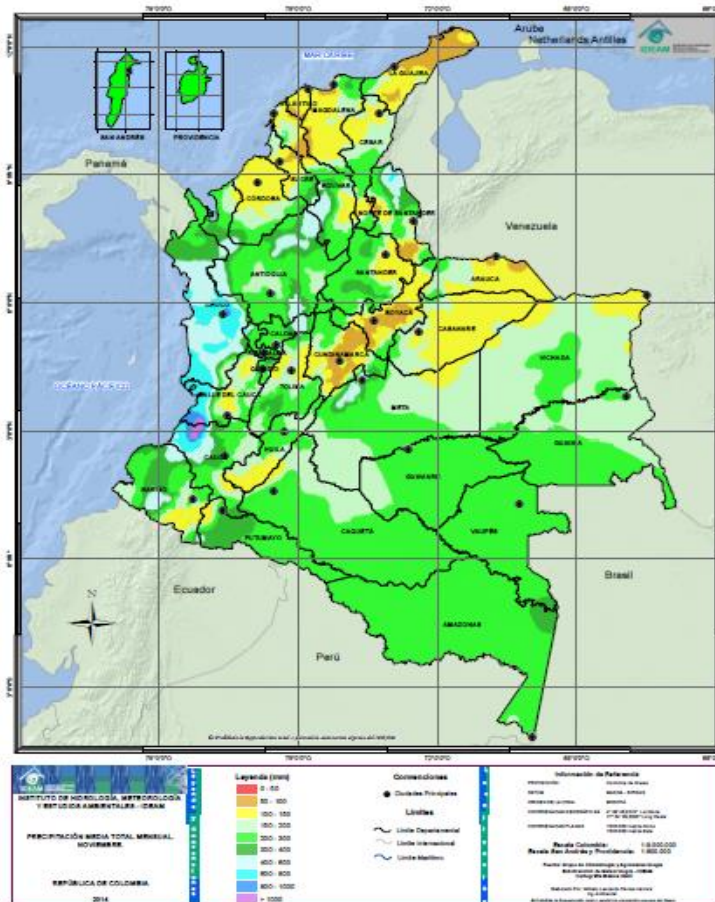


Figura 2 – Mapa de lluvias correspondiente al mes de noviembre 2018. Fuente Ideam

De la misma manera, al analizar el resultado obtenido en el muestreo realizado el 29 de enero de 2019 en la misma estación, el resultado fue de 0,195 UNT. Valor que indica poca turbiedad en el agua debido a la baja presencia de sólidos suspendidos y volátiles lo que facilita que la columna de luz pueda penetrar a mayor profundidad por lo que explícitamente indica que el nivel de radiación es mayor con menor índice de lluvias. Observando el mapa de lluvias para esta fecha obtenido a través de Ideam, se observan precipitaciones entre 0 a 100 mm de lluvia.

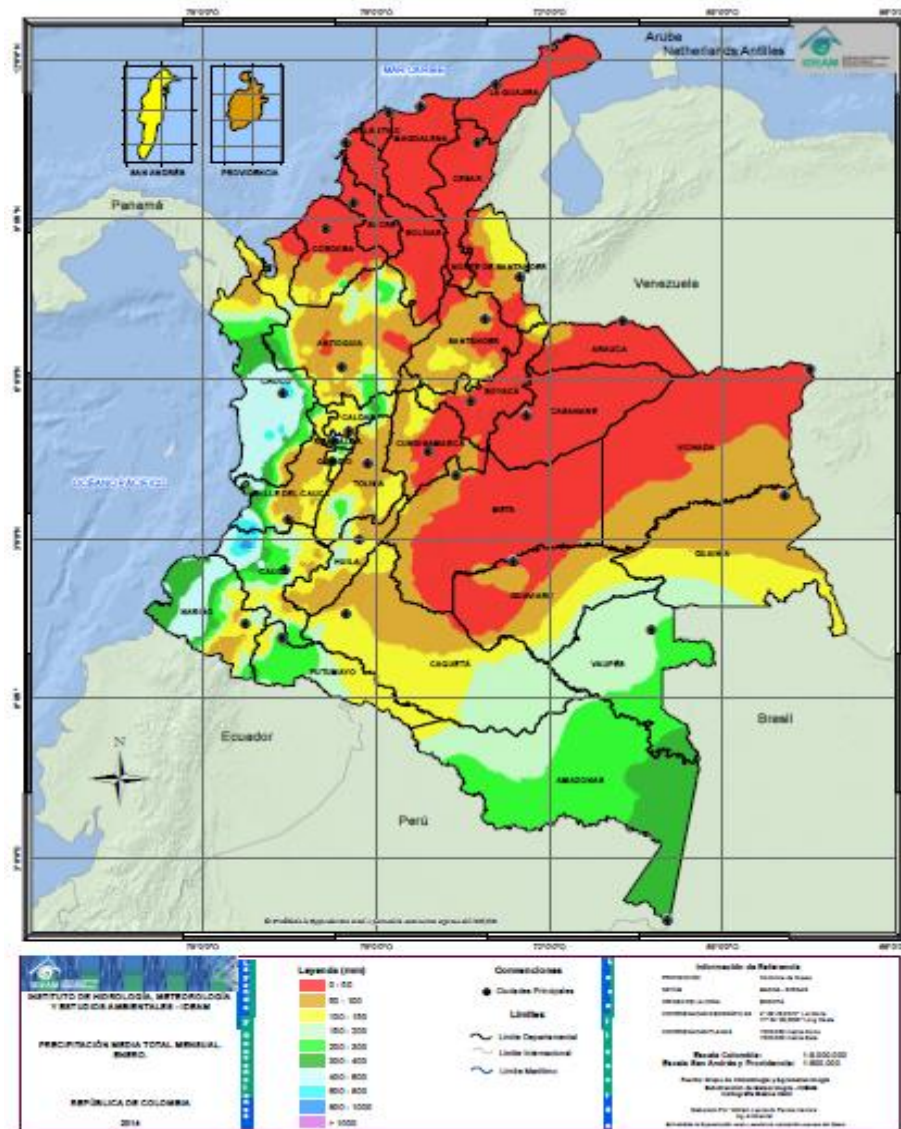


Figura 3 – Mapa de lluvias correspondiente al mes de enero 2019. Fuente Ideam

Otro de los resultados que llamaron la atención son los obtenidos en turbiedad para la estación E13 de 64,4 UNT y 100 UPC para el color, correspondiente al muestreo del 30 de julio de 2019, en la misma fecha en la estación E9, la turbiedad fue de 34,2 UNT y 100 UPC en color, así mismo para la estación E3 ubicada en la oficina de las empresas públicas municipales, el resultado de la turbiedad fue de 3,16 el cual es alto para un sistema de agua potable mientras que el color fue de 15 UPC. Comparando esta información con el mapa de lluvias del mes de julio del año 2019 se observan valores entre 200 y 300 mm de lluvia.

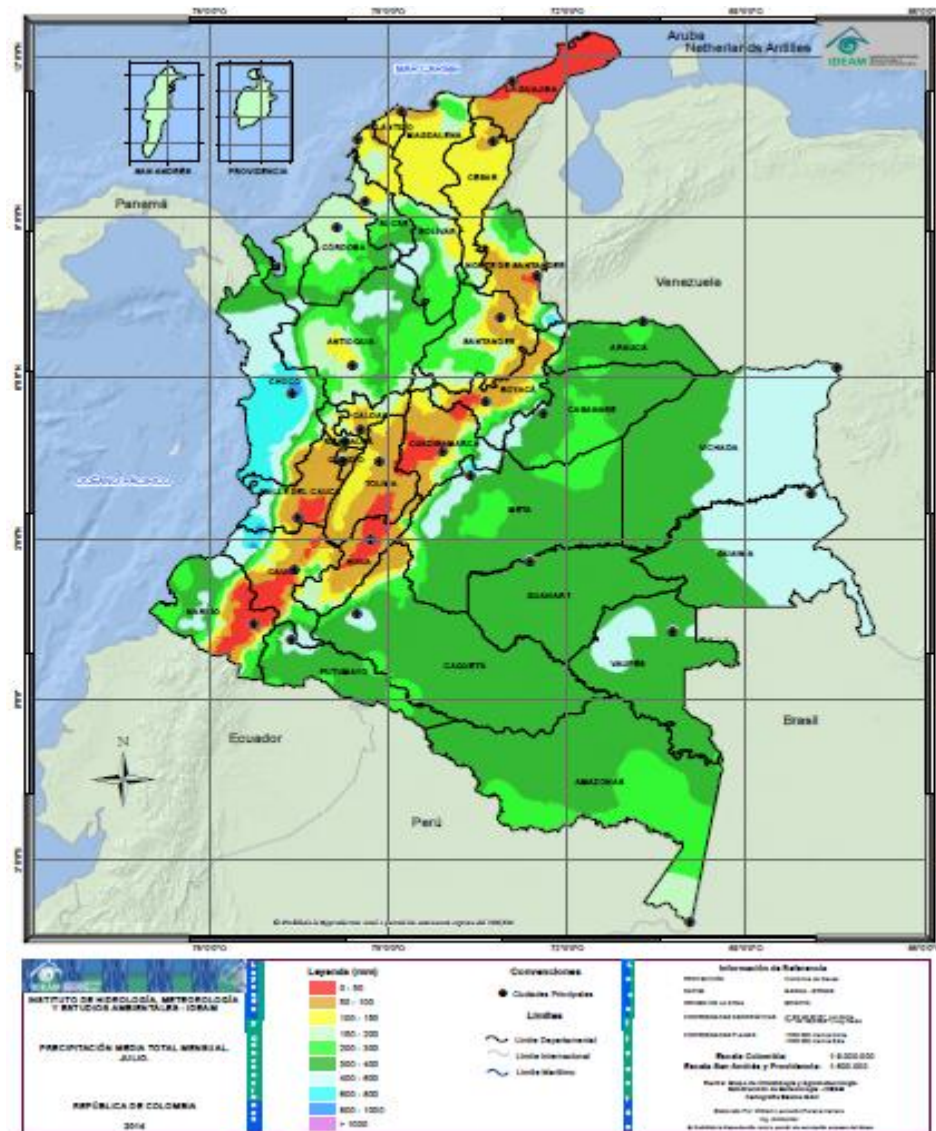


Figura 4- Mapa de lluvias correspondiente al mes de Julio 2019. Fuente Ideam

Otro resultado que llama la atención es el correspondiente al obtenido en la estación E15 de 12,5 UNT para la turbiedad y 50 UPC para el color obtenidos el 24 de septiembre de 2019. En la misma fecha para la estación E9 la turbiedad fue de 4,18 UNT para la turbiedad y 30 UPC para el color, lo que indica presencia de sólidos para esas fechas en el agua. Comparando con el mapa de lluvias del mes de septiembre de 2019 se observan hasta 400 mm de lluvias.

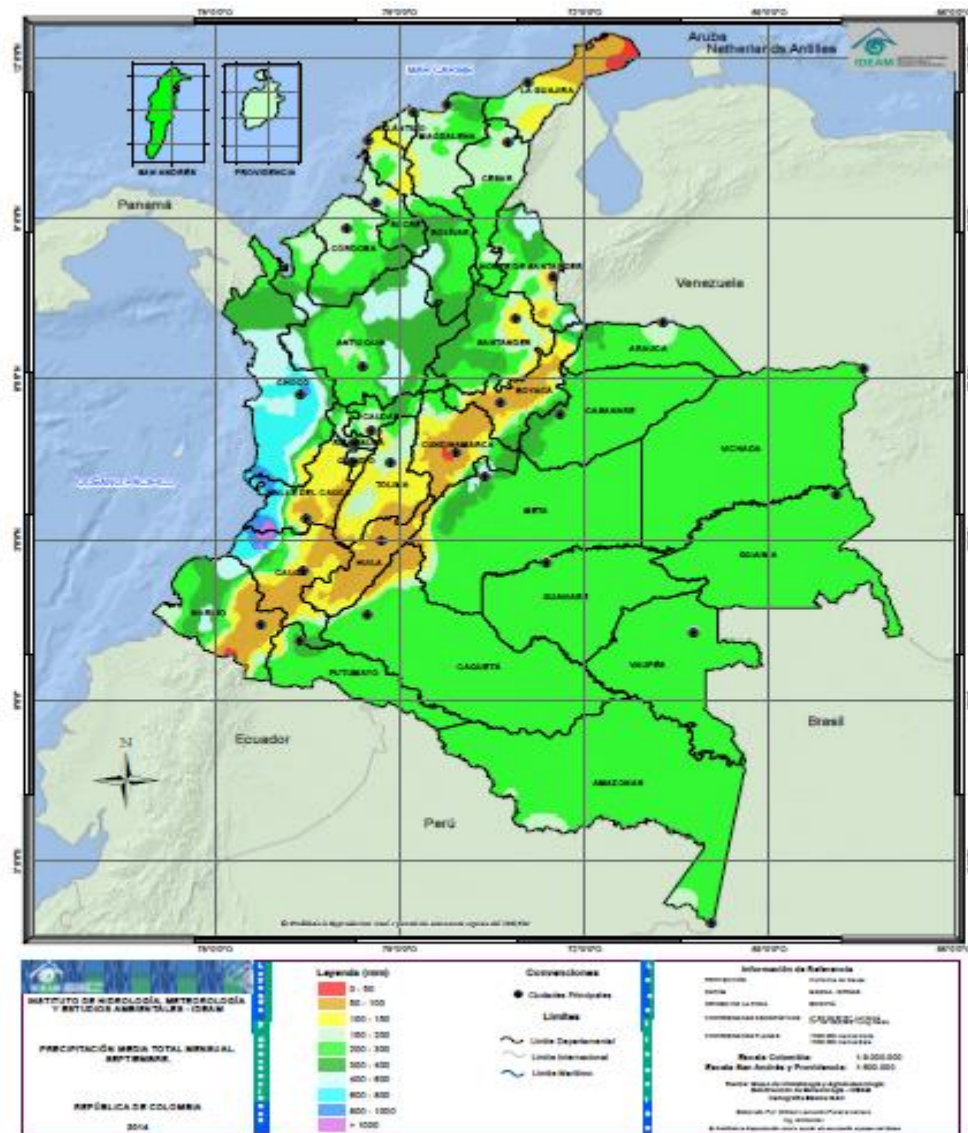


Figura 5 – Mapa de lluvias correspondiente al mes de septiembre 2019. Fuente Ideam

Anualmente la región del Nordeste se caracteriza por ser de clima cálido, con intercambios iguales de días secos y días lluviosos. Con los resultados obtenidos para los parámetros físicos se observa que las fuentes de agua son muy sensibles a los eventos de precipitación, el acumulado anual para el departamento de Antioquia según información obtenida a través del ideam para esta zona de interés indica niveles entre 2500 y 4000 mm de lluvia acumulada, por lo cual, en las estaciones de agua superficial cruda los resultados de turbiedad siempre estuvieron presentes en cantidades que indican que no son aptas para consumo humano.

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|--------------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| Cloro Residual | Mg/L | 0,3 - 2,0 | 1,08 | 1,48 | 1,22 | 1,225 | 1,20 | 0,90 | 0,975 | 1,20 |
| | | <i>Desviación típica</i> | 0,06 | 0,77 | 0,1 | 0,17 | 0 | NA | 0,17 | NA |

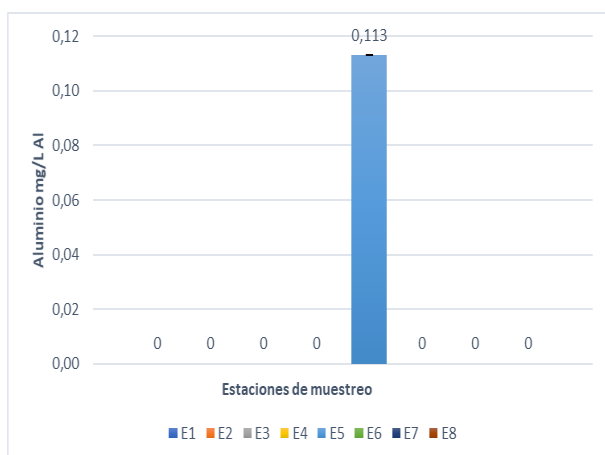
La tabla 12 muestra la variación espacial de los parámetros fisicoquímicos muestreados en las ocho (8) estaciones para el análisis del agua potable en el casco urbano. Se puede observar que en las ocho (8) estaciones los resultados mostraron que el Aluminio solo se midió en una estación a lo largo del muestreo encontrándose el resultado por debajo del límite de detención del método. En cuanto al cianuro, se midió el parámetro en 3 estaciones a lo largo del muestreo arrojando la presencia de este en cantidades iguales o inferiores al valor admisible las cuales no son elevadas, pero si indican la presencia de este en el agua de consumo humano. De igual manera sucede con el mercurio, el cual fue medido en dos estaciones evidenciando pequeñas trazas de este compuesto en el agua. En cuando a los COT solo se midió en una estación encontrándose la presencia de este en el agua en cantidades iguales o inferiores al valor admisible y en la misma estación se analizó la presencia de fluoruros evidenciándose también cantidades inferiores al valor admisible. Con respecto al cloro residual, los resultados oscilaron entre 0,9 y 1,48

Tabla 13- Propiedades Químicas Agua cruda superficial

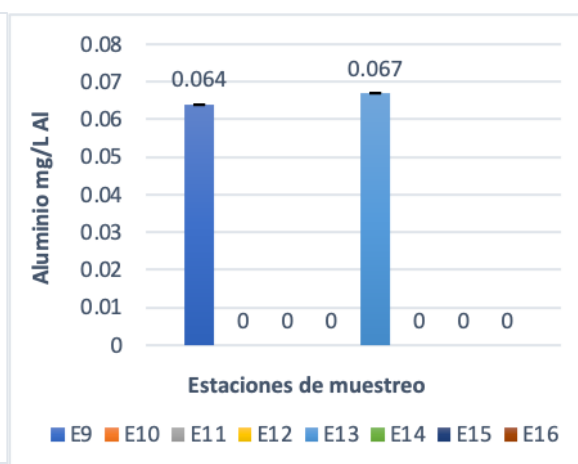
| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | E16 |
|----------------|----------------------|--------------------------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|
| Aluminio | Mg/L Al | ≥0,2 | 0,25 | 0,064 | NA | NA | NA | 0,067 | NA | NA | NA |
| | | <i>Desviación típica</i> | | 0 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Cianuro libre | Mg/L CN ⁻ | ≥0,05 | 0,05 | 0,05 | NA | NA | NA | 0,05 | NA | 0,05 | NA |
| | | <i>Desviación típica</i> | | 0,0 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Mercurio Total | Mg/L Hg | ≥0,001 | 0,001 | 0,001 | NA | NA | NA | 0,001 | NA | 0,001 | NA |
| | | <i>Desviación típica</i> | | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| COT | Mg/L C | ≥5 | 1 | 1,94 | NA | NA | NA | 1,18 | NA | NA | NA |
| | | <i>Desviación típica</i> | | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Fluoruros | Mg/L F | ≥1 | 0,05 | 0,11 | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA |
| | | <i>Desviación típica</i> | | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Cloro Residual | Mg/L | 0,3 - 2,0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | <i>Desviación típica</i> | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

En la tabla 13 – se observan los resultados de las propiedades químicas del agua en las ocho (8) estaciones ubicadas por fuera del casco urbano del municipio de San Roque, en los corregimientos de Providencia y San José del Nus. En el caso del aluminio se registró la presencia de éste en dos estaciones en cantidades inferiores al valor admisible. En cuando al Cianuro libre y el mercurio total, se evidenció la presencia de este en tres estaciones en las cuales se midió el parámetro en cantidades iguales o inferiores al valor admisible para ambos parámetros. Por su parte el COT muestreado en dos estaciones, el resultado fue inferior al valor admisible y en el caso de los

fluoruros muestreado igualmente en dos estaciones, el resultado indica que se encuentra presente en el agua en cantidades iguales al valor admisible. Se analiza la presencia de cloro residual.

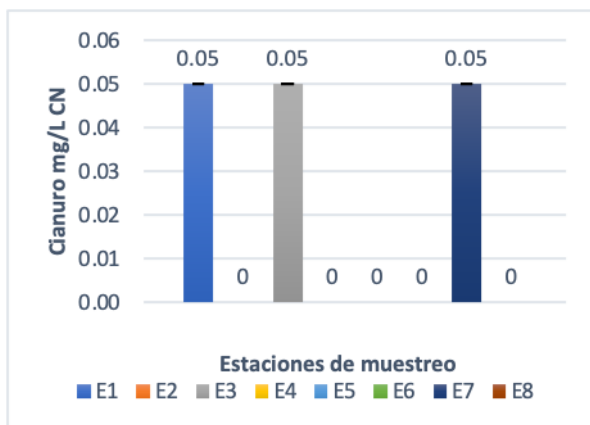


Gráfica 9 – Comportamiento del aluminio en el agua potable

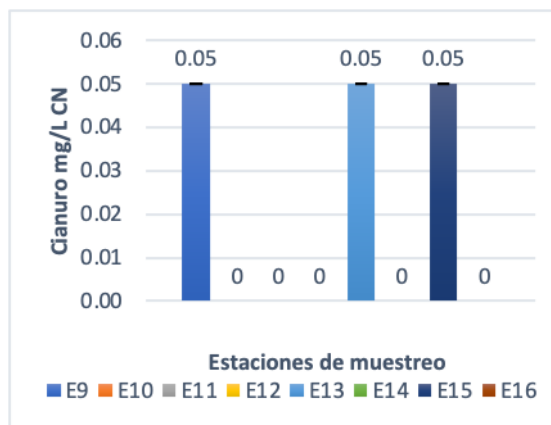


Gráfica 10 – Comportamiento del aluminio en el agua superficial cruda

Para la Gráfica 10 se observa el resultado de la medición del aluminio en las estaciones ubicadas en la zona urbana donde se analizó el parámetro en una sola estación E5 con resultado igual a 0,113 Mg/L Al sin desviación típica dado que fue una sola medición durante todo el período de análisis y dentro del valor admisible para el consumo humano. En la Gráfica 11 se observa la presencia de Aluminio en dos estaciones donde se midió el parámetro ubicadas por fuera del casco urbano, la estación E9 ubicada en el corregimiento de Providencia y la estación E13 ubicada en el restaurante Puerto Nus ubicada sobre la vía principal que conduce hacia Puerto Berrío en el corregimiento de San José del Nus. Los resultados muestran un valor de 0,064 y 0,067 Mg/L Al. No se calculó desviación típica porque fueron las únicas mediciones durante el período de tiempo analizado y ubicándose por debajo del valor admisible para el consumo humano. Tanto en el agua potable como en el agua cruda superficial los resultados arrojados muestran la presencia del metal, pero en cantidades que no afectan la salud humana de sus consumidores.



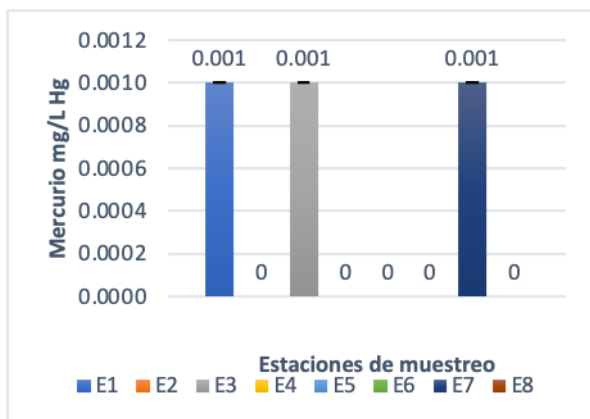
Gráfica 11 – Comportamiento del cianuro en el agua potable



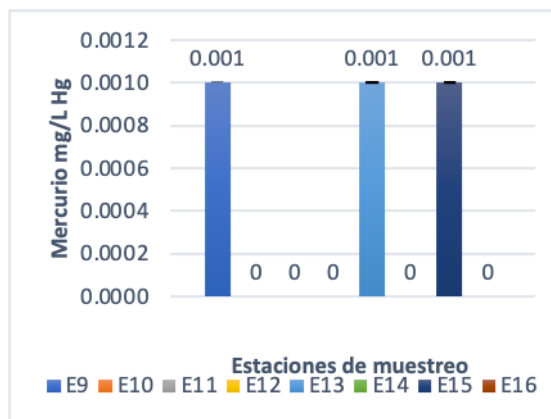
Gráfica 12 – Comportamiento del cianuro en el agua superficial cruda

En las Gráficas 12 y 13 se observa la medición del cianuro libre y disociable en a lo largo de 6 estaciones, 3 estaciones ubicadas en el centro poblado del municipio de San Roque y el resto ubicadas en los corregimientos de Providencia y San José del Nus. Para el caso urbano se tomó la muestra en las estaciones E1, E3 y E7, con resultados de 0,05 mg/L CN en cada una de las estaciones. Para estos casos no se calculó la desviación típica dado que solo se realizó un muestreo por cada estación reportada el 27 de noviembre de 2018 en E1, el 30 de julio de 2019 en E3 y el 24 de septiembre de 2019 en E7. Al comparar el resultado con el valor admisible según la resolución vemos que se encuentra dentro del valor admisible para consumo humano que es igual o inferior al límite de detención del método señalado por el laboratorio ambiental de la universidad de Antioquia.

En cuanto a la cuantificación del muestreo realizado en el agua superficial cruda evidenciado en las estaciones E9, E13 y E15 se observa el mismo resultado de 0,05 mg/L CN en cada estación. Tampoco se calcula la desviación típica para el resultado dado que, por ejemplo, para la estación E9 ubicada en el corregimiento de Providencia, se muestreó el 27 de noviembre de 2018 y el 30 de julio de 2019. Para la estación E13 se tomó la muestra el 30 de julio de 2019 y para la estación E15 se tomó la muestra el 27 de noviembre de 2018. De igual manera que para el resultado obtenido en el agua potable, existe la presencia del compuesto en el agua, pero en cantidades inferiores o iguales a lo admitido por la resolución para las aguas de consumo humano.



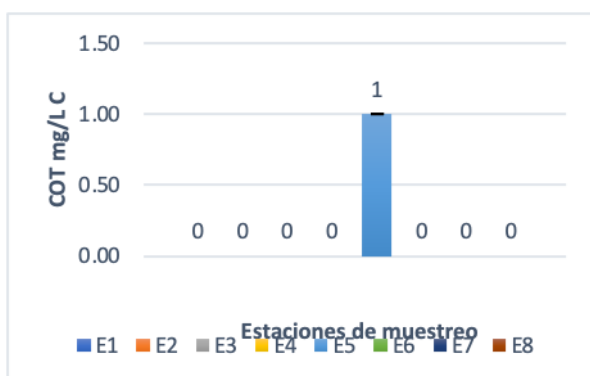
Gráfica 13 – Comportamiento del mercurio en el agua potable



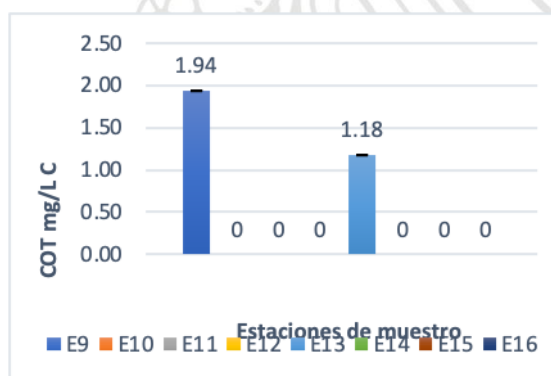
Gráfica 14 – Comportamiento del mercurio en el agua superficial cruda

En el caso del mercurio, se tomaron muestras en 6 estaciones, 3 de ellas ubicadas en el casco urbano (Gráfica 14), una ubicada en el corregimiento de Providencia y dos ubicadas en el corregimiento de San José del Nus (Gráfica 15). Para la estación E1 el resultado fue de 0,001 mg/L Hg, dicho muestreo se realizó el 27 de noviembre de 2018, para la estación E3 el resultado de fue 0,001 mg/L Hg con muestreo realizado el 30 de julio de 2019, mientras que para la estación E7 el resultado fue de 0,001 mg/L Hg y la muestra fue tomada el 24 de septiembre de 2019. Para el caso de la estación E9 ubicada en el corregimiento de Providencia, el muestreo se realizó en dos oportunidades, el 27 de noviembre de 2018 y el 30 de julio de 2019 con resultado igual o inferior a 0,001 mg/L Hg.

Comparando los resultados con el valor admisible para consumo humano, se observa que en todas las estaciones el resultado de fue 0,001 mg/L de Hg lo cual indica que existe la presencia del compuesto en el agua, pero en cantidades que son admisibles y no comprometen la salud de la población que la consume. En ningún caso se calculó desviación típica por ser únicos eventos las fechas en que se realizaron los muestreos.

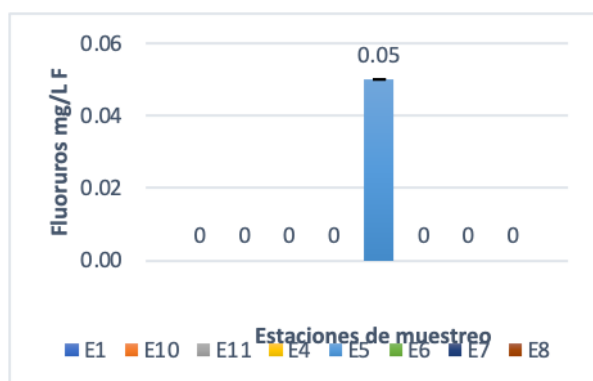


Gráfica 15 – Comportamiento del COT en el agua potable

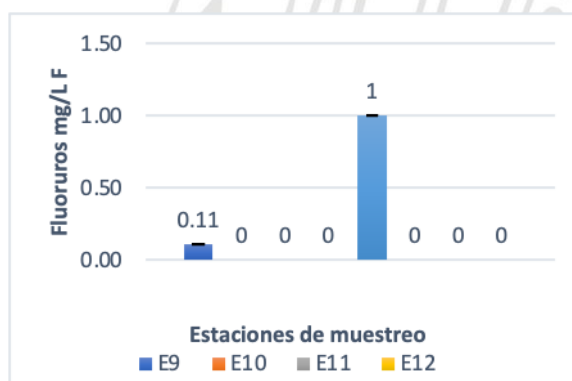


Gráfica 16 – Comportamiento del COT en el agua superficial cruda

En el caso del COT se tomaron muestras en las estaciones E5 en el casco urbano, E9 en el corregimiento de Providencia y E13 en el corregimiento de San José del Nus. Para el caso de la estación E5 el muestreo fue realizado el 26 de junio de 2019 con resultado de 1 mg/L de Carbono; en la estación E9, el muestreo se realizó el 25 de junio de 2019 con resultado de 1,94 mg/L de Carbono, y para la estación E13, para la misma fecha se tomó el muestreo para analizar la presencia del parámetro en aguas del corregimiento de San José del Nus con resultado de 1,18 mg/L de Carbono. En ninguno de los casos se calculó desviación típica debido a que solo se muestreó durante una sola vez en el espacio de tiempo analizado. Comparando los resultados con el valor admisible para consumo humano se observa que la estación E9 existe una cantidad mayor de dióxido de carbono generado durante la oxidación de la materia orgánica, seguidamente por las aguas del corregimiento de San José del Nus y en menor cantidad por las aguas de la cabecera municipal donde el agua es potabilizada. En cualquier caso, se observa que la cantidad de COT registrada debe estar por debajo de 5 mg/L C, por lo que no representa un riesgo para la salud de los consumidores.



Gráfica 17 – Comportamiento de los fluoruros en el agua potable



Gráfica 18 – Comportamiento de los fluoruros en el agua superficial cruda

Al analizar la presencia de los fluoruros, se observa en la Gráfica 18 que se muestreó solo en la estación E5 ubicada en el casco Urbano del municipio de San Roque, de igual manera se tomó registro en la estación E9 en el corregimiento de Providencia y en la estación E13 en el corregimiento de San José del Nus. Para el caso de la estación E5 el dato fue tomado el 25 de junio de 2019 con resultado de 0,05 mg/L de F, para la estación E9 el dato se tomó el 25 de junio de 2019 con resultado de 0,11 mg/L de F y para la misma fecha se tomó el dato de la estación E13 con resultado de 1 mg/L de F. No se calculó desviación típica en ningún caso.

Al comparar los resultados con los valores admisibles se observa que para que esta no represente un riesgo a la salud de los consumidores, debe estar por debajo de 1 mg/L de F, vemos que en la Estación E13 se encuentra justo

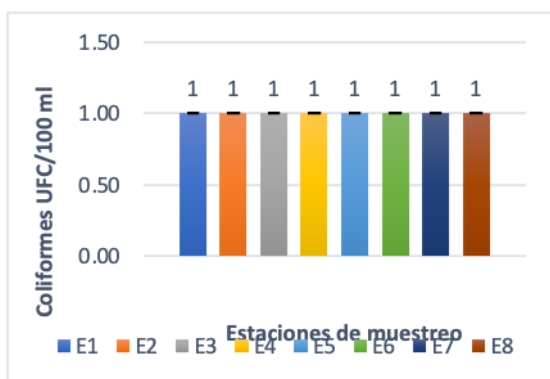
| | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|
| E. Coli | UFC/100 ml | Desviación típica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | NA | 0 | NA | |
| | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | Desviación típica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | NA | 0 | NA | |

En cuanto a las propiedades microbiológicas del agua potable, se evidencia un cubrimiento del 100% en todas las estaciones contempladas. Aunque el valor admisible tanto para coliformes como para E. Coli es de 0 UFC/100 ml el resultado estuvo por debajo del límite de detención del método de 1 UFC/100 ml de muestra.

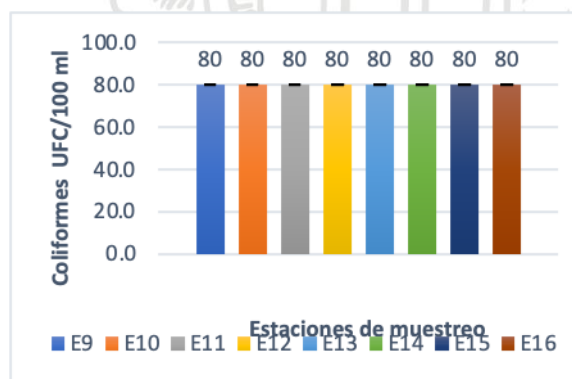
Tabla 15- Propiedades Microbiológicas Agua cruda superficial

| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | E16 |
|--------------------|------------|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Coliformes Totales | UFC/100 ml | 0 | 1 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| | | Desviación típica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | NA | 0 | NA |
| E. Coli | UFC/100 ml | 0 | 1 | 19,5 | 55,67 | 80 | 60,75 | 49,25 | 54,2 | 60,43 | 28 |
| | | Desviación típica | 31,05 | 43,64 | 0 | 38,5 | 35,51 | 30,32 | 33,43 | NA | |

En cuanto a las propiedades microbiológicas del agua superficial cruda, hubo un cubrimiento de 100% en todas las estaciones establecidas. Para los coliformes, los resultados se ubican de manera semejante en 80 UFC/100 ml mientras que para la E. Coli los resultados variaron en cada estación, oscilando entre 19,5 y 80 UFC/100 ml de muestra.



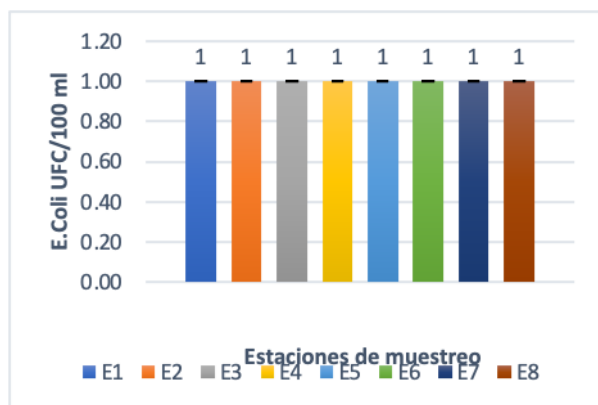
Gráfica 20 – Comportamiento de los coliformes totales en el agua potable



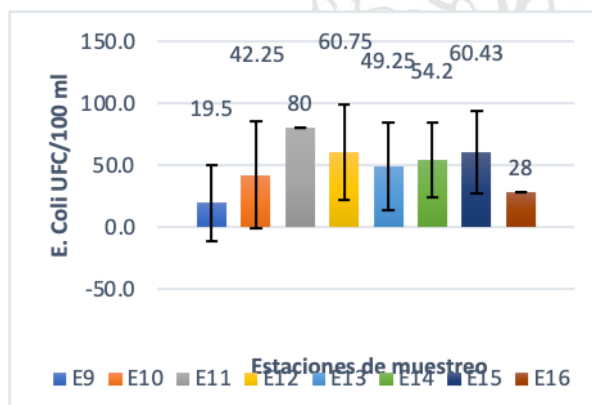
Gráfica 21 – Comportamiento de los coliformes totales en el agua superficial cruda

En cuanto a los resultados obtenidos en las muestras de agua para los coliformes, se evidencia que desde las estaciones E1 a E8 el resultado fue similar de 1 UFC/100 ml de muestra. Teniendo en cuenta que dichas estaciones se encuentran en la cabecera municipal y corresponde a las aguas con procesos de potabilización se considera que no cumple con el valor admisible de 0 UFC/100 ml de muestra. En el mismo sentido se analiza el resultado obtenido en las estaciones E9 a E16 con resultado similar en cada estación de 80 UFC/100 ml de muestra, lo que evidencia la alta cantidad de coliformes que existen en las aguas que consumen en la zona rural del municipio de San Roque. De acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 son aguas que no son aptas para consumo humano y su cuantía en cada estación es

directamente proporcional al grado de contaminación de la misma, lo que indica que las aguas, en todos los casos, se encuentran contaminadas y por ende, mayor es la incidencia de casos asociados a enfermedades gastrointestinales asociados al consumo del agua, lo cual lleva a la población a tomar medidas como hervir el agua o consumir agua de botellón en sus labores diarias.



Gráfica 22 – Comportamiento de la E.Coli en el agua potable



Gráfica 23 – Comportamiento de la E.Coli en el agua superficial cruda

En cuanto al análisis de la presencia de la E. Coli en el agua, se observa que desde la estación E1 hasta la estación E8 hubo presencia de esta en 1 o menor a esta cantidad medida en UFC/100 ml de muestra y considerando la resolución 2115 de 2007 está levemente por encima del valor admisible lo cual puede considerarse un riesgo para la salud de la población. La situación cambia cuando observamos en la Gráfica 24 el resultado de las estaciones E9 a E16 ubicadas en zona rural, se evidencia como los valores oscilan entre 19,5 hasta 80 UFC/100 ml de muestra. Calculando de manera específica la desviación típica para este parámetro en estas estaciones los resultados obtenidos son respectivamente E9: 31,05; E10: 43,64; E11: 0; E12: 38,5; E13: 35,51; E14: 30,32; E15: 33,43 y E16: 0. Esto debido a que en algunas mediciones los resultados se acercaban a 80 UFC/100 ml de muestra mientras que en otros no sobrepasaba los 10 UFC/100 ml de muestra. Aun así, los resultados arrojados de acuerdo con el método de filtración de membrana evidencian que el agua de consumo en estas estaciones es no apta.

Tabla 16 – Resultados por estación vs valores admisibles para el agua potable

| Parámetro | Propiedades Físicas Agua Potable | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------------------|-----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | UND | Valor Admisible | LDM | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
| pH | Unidades de pH | 6,5 - 9,0 | | 7,0 | 6,9 | 7,0 | 7,1 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 6,9 |
| Turbiedad | UNT | ≥2 | 0,1 | 0,9 | NA | 1,8 | 0,7 | 0,6 | NA | 0,6 | NA |
| Color | UPC | ≥15 | 5 | 15,0 | NA | 15,0 | 15,0 | 15,0 | NA | 15,0 | NA |
| Temperatura | °C | | | 18,8 | 18,8 | 19,4 | 18,8 | 18,5 | 19,0 | 19,0 | 19,0 |
| | Propiedades Químicas Agua Potable | | | | | | | | | | |

| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
|---|----------------------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Aluminio | Mg/L Al | ≥0,2 | 0,25 | NA | NA | NA | NA | 0,113 | NA | NA | NA |
| Cianuro libre | Mg/L CN ⁻ | ≥0,05 | 0,05 | 0,05 | NA | 0,05 | NA | NA | NA | 0,05 | NA |
| Mercurio Total | Mg/L Hg | ≥0,001 | 0,00 | 0,00 | NA | 0,00 | NA | NA | NA | 0,00 | NA |
| | | | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | |
| COT | Mg/L C | ≥5 | 1 | NA | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA |
| Fluoruros | Mg/L F ⁻ | ≥1 | 0,05 | NA | NA | NA | NA | 0,05 | NA | NA | NA |
| Cloro Residual | Mg/L | 0,3 - 2,0 | | 1,08 | 1,48 | 1,22 | 1,22 | 1,200 | 0,90 | 0,97 | 1,20 |
| | | | | 0 | 0 | 0 | 5 | | 0 | 5 | 0 |
| Propiedades Microbiológicas Agua Potable | | | | | | | | | | | |
| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 |
| Coliformes Totales | UFC/100 ml | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E. Coli | UFC/100 ml | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabla 17– Resultados por estación vs valores admisibles para el agua superficial cruda

| Propiedades físicas Agua cruda superficial | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-----------------|------|-----------|-----------|------|-----------|-------|------|-------|------|
| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | E16 |
| pH | Unidades de pH | 6,5 - 9,0 | | 7,0 | 7,0 | 7,4 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,1 | 7,3 |
| Turbiedad | UNT | ≥2 | 0,1 | 41,0 | 8,4 | NA | 1,0 | 23,8 | 2,5 | 9,8 | NA |
| Color | UPC | ≥15 | 5 | 35,6 | 9,1 | NA | 15,0 | 40,0 | 15,0 | 40,0 | NA |
| Temperatura | °C | | | 20,5 | 21,7 | 22,0 | 21,2 | 21,7 | 22,0 | 21,7 | 23,1 |
| Propiedades Químicas Agua cruda superficial | | | | | | | | | | | |
| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | E16 |
| Aluminio | Mg/L Al | ≥0,2 | 0,25 | 0,06 4 | NA | NA | NA | 0,067 | NA | NA | NA |
| Cianuro libre | Mg/L CN ⁻ | ≥0,05 | 0,05 | 0,05 | NA | NA | NA | 0,05 | NA | 0,05 | NA |
| Mercurio Total | Mg/L Hg | ≥0,001 | 0,00 | 0,00 | NA | NA | NA | 0,001 | NA | 0,001 | NA |
| | | | 1 | 1 | | | | | | | |
| COT | Mg/L C | ≥5 | 1 | 1,94 | NA | NA | NA | 1,18 | NA | NA | NA |
| Fluoruros | Mg/L F ⁻ | ≥1 | 0,05 | 0,11 | NA | NA | NA | 1 | NA | NA | NA |
| Cloro Residual | Mg/L | 0,3 - 2,0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Propiedades Microbiológicas Agua cruda superficial | | | | | | | | | | | |
| Parámetro | UND | Valor Admisible | LDM | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | E16 |
| Coliformes Totales | UFC/100 ml | 0 | 1 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| E. Coli | UFC/100 ml | 0 | 1 | 19,5 | 55,6 7 | 80 | 60,7 5 | 49,25 | 54,2 | 60,43 | 28 |

5.5 Análisis de enfermedades relacionadas con el uso de agua

Para el año 2015, según fuentes del E.S.E hospital San Roque, se atendieron 160 casos relacionados con diarrea y gastroenteritis de 2800 consultas realizadas por los usuarios al sistema de salud que representan el 5,71% del total de las consultas.

Según la OMS, la ausencia de agua potable y el saneamiento básico tienen consecuencias importantes para la salud de las personas. Existen

enfermedades causadas por microorganismos presentes en el agua donde, si no se aplican mecanismos de desinfección, ingresa al cuerpo humano por ingestión ocasionando enfermedades como dengue, hepatitis, cólera, fiebre amarilla entre otras (OMS, 2014)

Se quiere en este punto asociar los resultados obtenidos en el presente estudio con la información de morbilidad y mortalidad asociada al recurso agua en el período 2018-2019, sin embargo, la información obtenida por parte de la E.S.E Hospital San Roque corresponde a un periodo medido anteriormente.

La presencia de E. Coli en el agua puede deberse a la falta de medidas de control en los sitios de abastecimiento, los cuales están ubicados generalmente en potreros sin cerramientos donde animales transmisores de enfermedades pueden ingresar sin mayor inconveniente. Otras situaciones pueden deberse es a la falta de higiene en la manipulación de los sistemas de abastecimiento.

5.6 Índice de Calidad de Agua

De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, en el Capítulo IV, Art. 13° índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano que, en concordancia con el Art. 12 del Decreto 1575 de 2007, para el cálculo del IRCA al que se refiere el artículo se asignará el puntaje de riesgo contemplado en la tabla 18 a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la presente Resolución:

Tabla 18 - Puntaje de riesgo IRCA. Fuente: Res. 2115/2007

| Características | Puntaje de riesgo |
|----------------------|-------------------|
| Color aparente | 6 |
| Turbiedad | 15 |
| pH | 1.5 |
| Cloro Residual Libre | 15 |
| Alcalinidad Total | 1 |
| Calcio | 1 |
| Fosfatos | 1 |
| Manganeso | 1 |
| Molibdeno | 1 |
| Magnesio | 1 |
| Zinc | 1 |
| Dureza Total | 1 |
| Sulfatos | 1 |
| Hierro Total | 1.5 |
| Cloruros | 1 |
| Nitratos | 1 |

| | |
|--|------------|
| Nitritos | 3 |
| Aluminio (Al3+) | 3 |
| Fluoruros | 1 |
| COT | 3 |
| Coliformes Totales | 15 |
| Escherichia Coli | 25 |
| Sumatoria de puntajes asignados | 100 |

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

Tabla 19 – Índice de Riesgo de la calidad del Agua

| |
|---|
| De 0.0 a 5%: SIN RIESGO |
| De 5.1 a 13%: BAJO |
| De 13.1 a 34%: MEDIO |
| De 34.1 a 79%: ALTO |
| De 79.1 a 100%: INVIABLE SANITARIAMENTE |

De acuerdo con el Art. 14º. de la Res 2115 de 2007, el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA, se realizará utilizando las siguientes fórmulas:

IRCA por muestra:

IRCA (%)

$$= \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Resultados para el año 2018, los resultados se agrupan en la Tabla 20, para las estaciones E3, E11, E13 y E16 no se generaron muestreos durante el período mencionado.

Tabla 20– Resultados IRCA 2018 y nivel de riesgo

| ESTACION | UBICACIÓN | PRESTADOR DEL SERVICIO | SUSCRIPTORES | PROM 2018 | AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO | NIVEL DE RIESGO |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------------------------------|-----------------|
| E1 | Coliseo municipal | | 5917 | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E2 | Esquina Salida a Santo Domingo | | | 26,55 | No | Medio |
| E3 | CDA Adulto Mayor | | | ND | ND | ND |
| E4 | Barrio Rincón Santo | Empresas Públicas de San Roque | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E5 | Parcelación Agua dulce | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E6 | Puente Salida Santo Domingo | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E7 | Parque infantil El Reposo | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |

| | | | | | | |
|-----|--|---|------|-------|----|------------|
| E8 | Altos de Los Montoya | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E9 | Acueducto La Plata - Providencia | JAC | 1713 | 55,52 | No | Alto |
| E10 | I.E Sección primaria – San José del Nus | | 2551 | 70,97 | No | Alto |
| E11 | Calle principal – San José del Nus | | | ND | ND | ND |
| E12 | Barrio los Almendros – San José del Nus | | | 51,61 | No | Alto |
| E13 | Restaurante Puerto Nus – San José del Nus | Acueducto y alcantarillado San José del Nus | | ND | ND | ND |
| E14 | Oficina de Servicios públicos – San José del Nus | | | 51,61 | No | Alto |
| E15 | Puente Salida hacia Puerto Berrío – San José del Nus | | | 76,70 | No | Alto |
| E16 | Estadero San José – San José del Nus | | | ND | ND | ND |

Los resultados del calculo para el % del IRCA correspondiente al 2019 son:

Tabla 21 – Resultados IRCA 2019 y nivel de riesgo

| ESTACION | UBICACIÓN | PRESTADOR DEL SERVICIO | SUSCRIPTORES | PROM 2019 | AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO | NIVEL DE RIESGO |
|----------|---|---|--------------|-----------|----------------------------------|-----------------|
| E1 | Coliseo municipal | | 5917 | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E2 | Esquina Salida a Santo Domingo | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E3 | CDA Adulto Mayor | | | 3,80 | Si | Sin riesgo |
| E4 | Barrio Rincón Santo | Empresas Públicas de San Roque | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E5 | Parcelación Agua dulce | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E6 | Puente Salida Santo Domingo | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E7 | Parque infantil El Reposo | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E8 | Altos de Los Montoya | | | 0,00 | Si | Sin riesgo |
| E9 | Acueducto La Plata - Providencia | JAC | 1713 | 52,44 | No | Alto |
| E10 | I.E Sección primaria – San José del Nus | | 2551 | 51,61 | No | Alto |
| E11 | Calle principal – San José del Nus | | | 70,80 | No | Alto |
| E12 | Barrio los Almendros – San José del Nus | Acueducto y alcantarillado San José del Nus | | 51,61 | No | Alto |
| E13 | Restaurante Puerto Nus – San José del Nus | | | 60,98 | No | Alto |

| | | | | |
|-----|--|-------|----|------|
| E14 | Oficina de Servicios públicos – San José del Nus | 56,45 | No | Alto |
| E15 | Puente Salida hacia Puerto Berrío – San José del Nus | 54,72 | No | Alto |
| E16 | Estadero San José – San José del Nus | 70,80 | No | Alto |

Así mismo se consultó en la secretaría secciona de salud y protección social de Antioquia el consolidado del índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano para los acueductos urbanos:

Tabla 22– Resultados IRCA 2018 y nivel de riesgo para San Roque. Fuente: secretaria seccional de salud de Antioquia

| MUNICIPIO | PERSONA PRESTADORA DEL SERVICIO | NUMERO DE SUSCRIPTORES RESIDENCIALES | % IRCA PROMEDIO 2018 | AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO | NIVEL DE RIESGO |
|-----------|--|--------------------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------|
| San Roque | Empresas Públicas de San Roque S.A.S. E.S.P. | 1634 | 1,27 | Si | Sin Riesgo |

De la misma manera, se compara este resultado con los porcentajes IRCA obtenidos por los municipios vecinos a San Roque

Tabla 23 – Resultados IRCA 2018 y nivel de riesgo para municipios vecinos a San Roque. Fuente: secretaria seccional de salud de Antioquia

| MUNICIPIO | PERSONA PRESTADORA DEL SERVICIO | # DE SUSCRIPTORES RESIDENCIALES | PROM 2018 | AGUA APTA PARA EL CONSUMO HUMANO | NIVEL DE RIESGO |
|---------------|--|---------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------------|
| Aleandría | Unidad de Servicios Públicos Domiciliarios de Aleandría | 958 | 2,5 | Si | Sin Riesgo |
| Caracolí | Empresas de Servicios Públicos Domiciliarios de Caracolí S.A E.S.P | 1031 | 0,26 | Si | Sin Riesgo |
| Cisneros | Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios S.A. E.S.P - Sistema Algarrobo - El Caney | 732 | 75,95 | No | Alto |
| Maceo | Aguas de Maceo S.A.S E.S.P. | 1336 | 0,00 | Si | Sin Riesgo |
| San Carlos | Unidad de Servicios Públicos de Aguas y Aseo del Tabor | 2670 | 2,72 | Si | Sin Riesgo |
| San Rafael | Empresas Públicas de San Rafael S.A. E.S. P | 3046 | 0,00 | Si | Sin Riesgo |
| Santo Domingo | Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo S.A. E.S.P | 996 | 1,07 | Si | Sin Riesgo |
| Yolombo | Empresa de Servicios Públicos de Yolombó S.A E.S.P | 1971 | 0,81 | Si | Sin Riesgo |

Con base en los resultados obtenidos se generó un mapa donde se evidencia el nivel de riesgo para el municipio de San Roque y sus municipios vecinos.

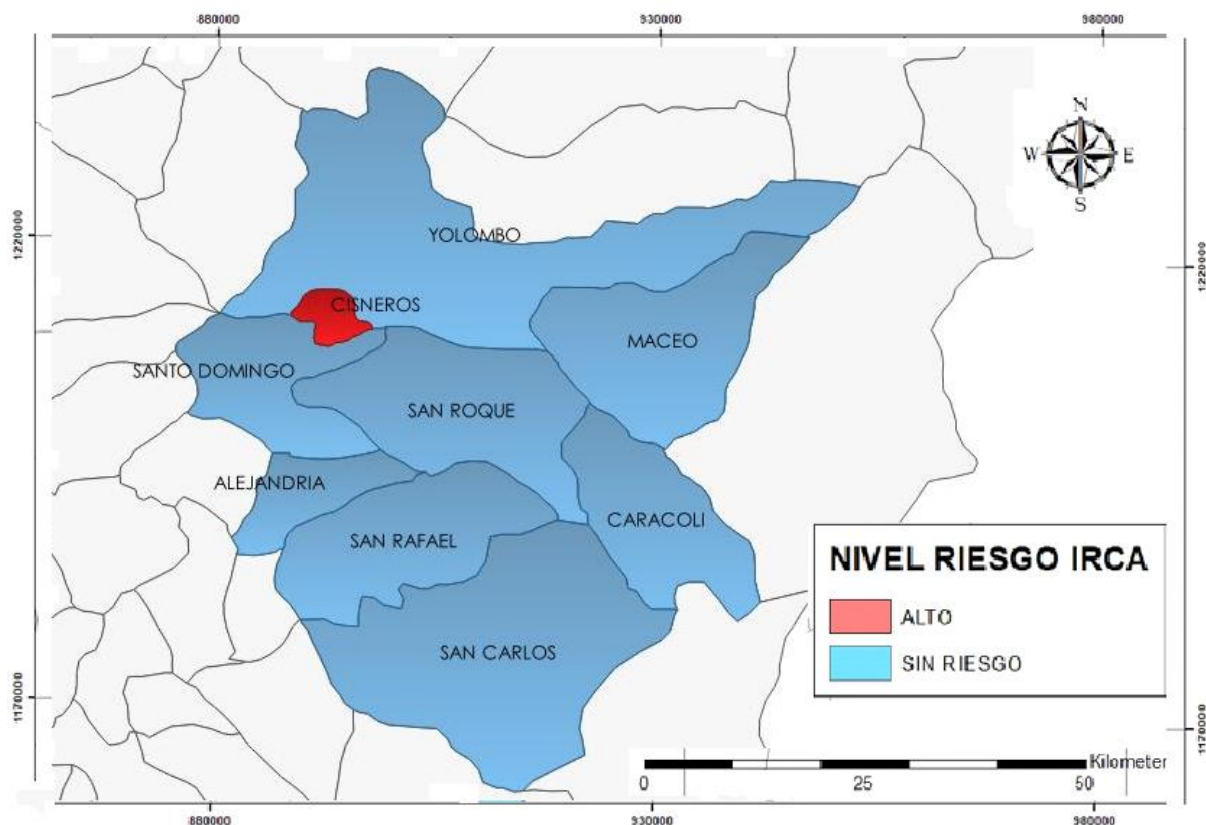


Figura 7– Mapa de nivel de riesgo de la calidad de agua para la zona de influencia. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados del IRCA para cada estación, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente:

Tabla 24 – Clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para consumo humano. Fuente: Res. 2115/2007

| Clasificación IRCA (%) | Nivel de Riesgo | IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata) | IRCA mensual (Acciones) |
|------------------------|-------------------------|--|--|
| 80.1 -100 | INVIABLE SANITARIAMENTE | Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General. | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo con 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 con 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. |
|-------|---------------|--|--|

6. ANÁLISIS

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede analizar sobre la calidad de agua para consumo humano en el municipio de San Roque, Antioquia que:

Las muestras de agua potable en los puntos seleccionados en el municipio para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos muestran como cumple con los valores mínimos de acuerdo con la resolución 2115 de 2007 para los parámetros fisicoquímicos pero está en riesgo para los parámetros microbiológicos asociado a la presencia de E. Coli y coliformes en el agua asociado a la presencia de cloro residual por encima de 1 mg/L Cl₂ lo que hace viable la resistencia a la eliminación de virus y bacterias y por consiguiente a la posibilidad de presentarse casos de enfermedades asociadas al consumo del agua.

Las muestras de agua superficial cruda en los puntos seleccionados en el municipio para análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos muestran que no cumplen con los valores mínimos establecidos en la resolución 2115 de 2007 donde se observan valores elevados de turbiedad y color asociados a la presencia de sólidos suspendidos en el agua. Así mismo, el agua superficial cruda contiene tasas elevadas de coliformes y E. Coli aumentando el riesgo de presentarse eventos asociados a enfermedades gastrointestinales debido a la presencia de materia orgánica en las fuentes.

El diagnóstico indica que, como estrategia comunitaria de grupos organizados para acceder al líquido vital, las comunidades por fuera del área urbana del municipio de San Roque han establecido sus propios acueductos para abastecer a sus poblaciones de agua, más allá de esto solo constan de sistemas de captación, almacenamiento y distribución pero no cuentan con sistemas de filtración y sedimentación que faciliten la remoción de sólidos y mejores los indicadores de turbiedad y color, a la vez carecen de sistemas de desinfección para eliminar la carga bacteriana asociada a los coliformes y a la E. Coli presente en el agua.

En todas las estaciones se midió en algún momento alguno de estos parámetros químicos (Aluminio, Cianuro, Mercurio, COT, Fluoruros) arrojando como resultado la presencia de estos compuestos en las aguas tanto potables como crudas, aun así, se encuentran en cantidades inferiores a los valores admisibles por la resolución 2115 de 2007 lo cual indica que es apto para consumo.

Durante el análisis de la turbiedad, para la estación E3 el resultado fue de 1.8 UNT, el cual se encuentra muy cercano al valor límite de 2 UNT, indicando la presencia de sólidos y elementos presentes en el agua y al comparar con el cloro residual libre este es de 1,22 mg/L Cl₂. Ambos parámetros se pueden relacionar en la medida que el cloro no es eficiente en aguas con presencia de lodos ya que éstos se pueden esconder en él y no ser alcanzadas por el cloro.

Desde las estaciones E9 a E16 que se encuentran por fuera del casco urbano del municipio de San Roque se evidencia la presencia en altas concentraciones de coliformes totales y Escherichia Coli que indican contaminación en el agua. Los coliformes totales pueden provenir del suelo o por la interacción de microorganismos en la superficie del agua. En el caso de la E. Coli, su presencia indica contaminación fecal porque es un habitante del tracto digestivo de animales de sangre caliente, su presencia debe generar alerta en el suministro de agua de estas poblaciones porque tienen la capacidad de generar gastroenteritis y causar la muerte.

De acuerdo con los cálculos del IRCA, el diagnóstico en general indica que para las estaciones E1 a E8 durante el año 2018 el nivel de riesgo es bajo lo cual es apto para consumo humano, en algún momento en una estación la alta presencia de cloro residual marcó un puntaje de 26,55 según la metodología de cálculo siendo un riesgo medio pero no apto para consumo porque la presencia del cloro en un sistema que se considera potabilizado indica que no hubo mucha efectividad en la etapa de desinfección por lo que es posible que para ese momento existiera la presencia de bacterias en el agua.

El diagnóstico en general indica que el agua distribuida a la población urbana del municipio de San Roque es apta para consumo, de acuerdo con los cálculos del IRCA, para las estaciones E1 a E8 durante el año 2019 los resultados indican bajo riesgo, donde los procesos de tratamiento han sido efectivos. En comparación con la información reportada por la secretaría de

salud de Antioquia para el año anterior indica un porcentaje de 1,27 lo cual confirma los resultados.

En el mismo sentido no es concluyente los informes de la secretaría de Salud de Antioquia indicando que el agua de consumo de los habitantes de San Roque es baja, porque sus resultados solo se refieren al 35% de la población medida por lo que el 65% de la población restante está en alto riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales o inclusive la muerte por la presencia de E. Coli.

En comparación con los resultados del cálculo del IRCA para los municipios vecinos, a excepción del municipio de Cisneros, los demás municipios vecinos tienen índices de riesgo bajo por lo que existe la seguridad en que una de las mayores necesidades de las poblaciones de esta región del Nordeste y Magdalena medio Antioqueño cuentan con sistemas seguro disminuyendo la probabilidad de enfermedades y contribuyendo a la mejora de la calidad de sus vidas.

7. CONCLUSIÓN

Al comparar la calidad del agua con los estándares de calidad establecidos en la normatividad, se evidenció que el agua de consumo humano no cumple en su totalidad con las obligaciones reglamentadas para las estaciones E9 a E16 para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, por lo que no es recomendable ingerirla directamente, tampoco usarla para cocinar, solo usarla para el aseo y el riego.

Aunque el agua que consume la población rural del municipio de San Roque no es apta para consumo humano, se aclara que, por conciencia de la población, a esta se le da otros usos como el aseo personal, el aseo de las viviendas, para el lavado de la ropa, el riego del jardín y de cultivo. Para consumo humano, la población con mejor capacidad económica adquiere botellones de agua de empresas certificadas como Postobón o Cocacola, el resto población con menor capacidad adquisitiva hierven el agua para poder consumirla.

El diagnóstico obtenido, considera que la población Sanrocana, la mayoría de ellos residen en el área Rural si se tiene en cuenta que las personas que viven en el casco urbano es apenas el 35%, el 65% de ellos están distribuidos el 25% entre los corregimientos de Providencia y San José del Nus, el 40% restante corresponde al corregimiento de Cristales y al resto de veredas del

municipio. Se separan estos porcentajes porque es importante aclarar que los muestreos realizados están abarcando el 60% de la población mientras que en el restante 40% no se tiene ninguna información sobre la calidad de sus aguas y se infiere que están en las mismas condiciones de las estaciones E9 a E16 dado que son sistemas colectores y no plantas de tratamiento de agua potable como tal.

Para la secretaría seccional de salud de Antioquia el agua del municipio de San Roque es apta para consumo humano porque solo tienen en cuenta para esta medición los análisis realizados en las estaciones E1 a E8, no consideran la información arrojada en los muestreos de las estaciones E9 a E16 que consumen cerca del 25% de la población Sanrocana lo cual es una cantidad considerable.

Así mismo, no existe un cumplimiento explícito al artículo 30 de la Resolución 2115 de 2007 con relación al suministro de agua cruda, en donde se afirma: "Cuando en un municipio se suministre agua cruda por red de distribución o cuando se suministre por otros medios, la autoridad sanitaria realizará los análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua que suministran estos sistemas, teniendo en cuenta el número de habitantes que se abastecen de ellos" y de acuerdo con el diagnóstico obtenido, un 65% de la población San Rocana es rural y solo al 25% de ésta se le hace seguimiento de la vigilancia de la calidad de agua que deben realizar las autoridades sanitarias

8. RECOMENDACIONES

Con un diagnóstico obtenido sobre la calidad del agua del municipio de San Roque, esta investigación representa un instrumento base para futuras investigaciones que den lugar a proyectos que estén enfocados en solucionar necesidades básicas insatisfechas de sus habitantes, por lo que se recomienda:

- Generar mayor alcance en la población que se incluyen en los muestreos, pues los resultados indican que estos solo se hacen en el 60% de la población incluyendo la población urbana que representa el 35% y los corregimientos de Providencia y San José del Nus que juntos suman un 25% adicional por que dichos muestreos y futuros diagnósticos deben ser más incluyentes y generar mayor alcance en el territorio.
- Instalar sistemas de tratamiento de agua potable para los corregimientos de Providencia, San José del Nus y Cristales y crear sistemas de acueducto multiveredales de manera que se lleve agua

potable a estas comunidades, en su defecto, desde la administración municipal está la responsabilidad de garantizar el suministro de este a través de otros mecanismos para disminuir estadísticas asociadas a enfermedades gastrointestinales reportadas por el sistema de Salud

- Mejorar los índices de calidad para el consumo humano. Esto se logra propiciando la creación de acueductos veredales y fortalecerlos administrativa, financiera y técnicamente, facilitando el acceso de estos a los subsidios que por Ley 142 de 1994 se tienen a través de suscripción de convenio con la entidad territorial.
- Correlacionar la información recolectada del control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano con la información de morbilidad y mortalidad asociada a la misma y determinar el posible origen de los brotes o casos reportados en las direcciones territoriales de salud, de conformidad con lo establecido en el Decreto 3518 de 2006 sobre vigilancia en salud pública.
- De acuerdo con el decreto 1594 de 1984, en el Art. 38. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional, por lo que las fuentes analizadas para agua superficial cruda cumplen con los requisitos establecidos por este decreto y puede ser objeto de potabilización como criterio de calidad para destinación del recurso.

Tabla 25 – Criterios de calidad para destinación del recurso hídrico para consumo humano.
Fuente: Dec 1594 de 1984

| Referencia | Expresado como | Valor |
|----------------------|--------------------------------|---------------|
| Amoníaco | N | 1.0 |
| Arsénico | As | 0.05 |
| Bario | Ba | 1.0 |
| Cadmio | Cd | 0.01 |
| Cianuro | CN | 0.2 |
| Cinc | Zn | 15.0 |
| Cloruros | Cl | 250.0 |
| Cobre | Cu | 1.0 |
| Color | UPC | 75 unidades |
| Compuestos Fenólicos | Fenol | 0.002 |
| Cromo | Cr+6 | 0.05 |
| Difenil Policlorados | Concentración de agente activo | No detectable |
| Mercurio | Hg | 0.002 |
| Nitratos | N | 10.0 |
| Nitritos | N | 10. |

| | Unidades de pH | 5.0 -9.0 unidades |
|--------------------|--|-------------------------------|
| pH | | |
| Plata | Ag | 0.05 |
| Plomo | Pb | 0.05 |
| Selenio | Se | 0.01 |
| Sulfatos | SO-4 | 400.0 |
| Tensoactivos | Sustancias activas al Azul de metileno | 0.5 |
| Coliformes totales | NMP | 20000 microorganismos/100 ml. |
| Coliformes fecales | NMP | 2000 microorganismos/100 ml. |

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A., & Rubiños Panta, J. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 1-13.
- Ayora, M. (2010). Análisis de agua. En A. D. Universidad Jaen. *rchivos Química Analítica Ambiental.*, 1-22.
- Briñez, K., & Guarnizo, J. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 175-181.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global. *Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia*, 1-14.
- Cornare. (2015). Referentes Ambientales para la construcción de los planes de Desarrollo en los municipios del Oriente Antioqueño. *Cornare*, 1-11.
- Cornare. (2016). Resolución No. 112-0030. *Cornare*, 1-5.
- económico, M. d. (2000). Documento técnico normativo del sector de agua potable y saneamiento básico. *Ministerio de Desarrollo económico* , 1-114.
- Espinosa, T., & Gonzales, V. (2009). Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora. *Ingeniería UC*, 51-57.
- Fernández, C., & Solano, Y. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 1-9.
- García-Ubaque, C. A., García-Ubaque, J. C., Rodríguez-Miranda, J. P., Pacheco-García, R., & García-Vaca, M. C. (2018). Limitaciones del

- IRCA como estimador de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Salud Pública*, 204-207.
- Gil, M. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 1-22.
- González Díaz, J. M., Gómez Díaz, N., & Quijano Cuellar, A. M. (2010). Comparación entre los índices de agua potable IAP y los índices de riesgo de la calidad de agua para consumo humano IRCA utilizados para la determinación de la calidad del agua para consumo humano. *Revista Publicaciones e Investigación*, 53-69.
- Gualdrón Durán, L. E. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 1-20.
- Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 177-190.
- Hernández Víquez, C. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón. *Universidad Nacional*, 13-97.
- Ideam. (2002). Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos. *Ideam*, 1-265.
- Jimenez, M. A., & Velez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Escuela de Geociencia y Medio Ambiente*, 1-18.
- López Jiménez, V. L., Martínez Ramos, J. J., & Almario Guio, D. P. (2015). Análisis del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano Irca y su Relación con Variables Meteorológicas y Ubicación Geográfica para el Departamento del Tolima en los Años 2012 – 2013. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia*, 69-81.
- López Sánchez, M., Romano Mendoza, E., & Triana Méndez, J. (2005). El agua. *Universidad de las palmas de Gran Canaria*, 1-71.
- Machado, L. G., Ospina, J. H., Henao, N. A., & Marín, F. D. (2010). Problemática Ambiental ocasionada por el mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de Providencia. *Universidad de Antioquia*, 15-73.

- Marín Galvín, R. (2015). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA)*, 1-37.
- Marín, B. (2010). Sistema de Indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - SISCAM. *Invemar*, 1-50.
- Milán Valoyes, W. Y., Caicedo Quintero, O., & Aguirre Ramírez, N. J. (2011). Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos. *Gestión y Ambiente*, 85-94.
- Ministerio de la protección social. Ministerio de Ambiente, v. y. (2007). 2007. *Ministerio de la protección social. Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial*, 1-23.
- Montoya-Dominguez, E. (2019). Normatividad del agua en Colombia. *Luna Azul*, 1-20.
- Obando Camino, I. M. (2018). El derecho humano al agua revisitado: antecedentes normativos e implicancias jurídicas. *The human right to water: normative background and juridical implications*, 1-27.
- OMS. (2009). Estadísticas Sanitarias Mundiales. OMS, 1-50.
- Paez, L. (2008). Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud pública del Huila. *Pontificia Universidad Javeriana*, 1-12.
- Perez Vidal, A., Torres Lozada, P., & Cruz Velez, C. (2009). Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. *Revista de ingeniería e investigación*, 1-7.
- Petro Niebles, A. K., & Wees Matrinez, T. d. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco, Bolivar, Caribe Colombiano. *Universidad Tecnológica de Bolivar*, 7-78.
- pueblo, D. d. (2006). Diagnóstico sobre calidad de agua para consumo humano. *Defensoría del pueblo*, 9-37.
- Rodriguez Perdomo, J., Polanía Patiño, A., Zapata Ríos, E., Villegas Guzmán, P., & Montañez, M. N. (2019). Caracterización fisicoquímica del agua de la quebrada La Toma, de la ciudad de Neiva, Huila, Colombia. *Teknos*, 1-10.
- Romero, R. (2002). Calidad del Agua. *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería*, 1-50.

- Roque, M. d. (2014). Esquema de ordenamiento Territorial. *Municipio de San Roque*, 1-240.
- Roque, M. d. (2017). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. *Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres*, 1-62.
- Ros, A. (2011). El agua, calidad y contaminación. *Mailxmail*, 1-50.
- Salud, I. N. (2019). Boletín de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano Octubre 2019. *Instituto Nacional de Salud*, 1-22.
- Samboni Ruiz, N. E., Escobar, Y. C., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista de ingeniería e investigación*, 1-10.
- Sawyer, C. (2001). Química para ingeniería ambiental . *Casa del libro*, 1-713.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Medellín: Libros de ingeniería.
- Social, M. d. (2007). Decreto numero 1575 de 2007. *Ministerio de la Protección Social*, 1-14.
- Talarico, C. (2007). Catedra Ingeniería Sanitaria. *Universidad tecnológica nacional de Buenos Aires*, 1-50.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Indices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 1-16.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. C., & Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 1-10.
- Valcarcel Rojas, L., Alberro Macías, N., & Frías Fonseca, D. (2010). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 1-5.
- Yáñez Contreras, M., & Acevedo González, K. (2013). El acceso al agua para consumo humano en Colombia. *Revista de Economía Institucional*, 15, 29.