



**Diagnóstico de la calidad del agua de los acueductos de la zona rural del municipio de la
Ceja**

Luz Elena Arboleda Rios

Trabajo de grado presentado para optar al título de Biólogo

Asesor

Juan Pablo Niño García

Coasesora

María Carolina García Chaves

Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Biología

El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2022

Cita

(Arboleda Rios, 2022)

Referencia

Arboleda Rios, L. (2022). *Diagnóstico de la calidad del agua de los acueductos de la zona rural del municipio de la Ceja, 1997 - 2003* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decana: Adriana Echavarría Isaza.

Jefe departamento: Antonio Torres Palma.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2. Metodología	13
2.1 Área de estudio.....	13
2.2 Análisis Microbiológico y Físicoquímico de las muestras de agua:	14
3. Cálculo IRCA.....	16
4. Análisis de datos	17
5. Resultados	18
6. Discusión.....	28
7. Conclusiones	34
Referencias	36
Anexos.....	37

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de referencia de los parámetros evaluados bajo la resolución 2115 del 2007	15
Tabla 2. Reporte de los resultados por métodos de filtración de membranas y número más probable	18
Tabla 3. Cálculo del IRCA de los acueductos con suministro de agua cruda. Nota: * representa la categoría en la que se ubique cada uno, si es bueno *, si es malo ** y si es muy malo ***.	26
Tabla 4. Diagnóstico general de los acueductos veredales que poseen agua tratada en el municipio de La Ceja	27
Tabla 5. Presupuesto mensual de los acueductos veredales con agua tratada.	31

Lista de figuras

- Figura 1.** Ubicación de los 8 acueductos del municipio de La Ceja, con una extensión municipal de 133.6 km² 13
- Figura 2.** Estructuras microbianas vistas en microscopio óptico binocular (visto en 100X) 19
- Figura 3.** Cambio en el recuento de bacterias indicadoras en las muestras de agua de los acueductos veredales entre 2020 y 2021 a) Valor del delta de cambio para Coliformes totales b) Valor del delta para Escherichia coli. San Miguel (SM), San Gerardo (SG), Romeral-La Miel (RM), Veramiel (V), El Capiro (C), San Nicolas (SN), La Loma (L) y San Rafael-El Salto (SRS). 20
- Figura 4.** Variación de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua provenientes de los diferentes acueductos veredales durante el año 2021 a) Turbiedad. b) Color. c) Hierro d) Cloro e) pH. La línea punteada indica el valor del límite máximo establecido por la resolución 2115. San Miguel (SM), San Gerardo (SG), Romeral-La Miel (RM), Veramiel (V), El Capiro (C), San Nicolas (SN), La Loma (L) y San Rafael-El Salto (SRS). 22
- Figura 5.** Cambio en la concentración de varios parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua de los acueductos veredales entre 2020 y 2021 a) Valor del delta de cambio para Turbiedad. b) Valor del delta de cambio para Color. c) Valor del delta de cambio para pH. d) Valor del delta de cambio para Cloro. San Miguel (SM), San Gerardo (SG), Romeral-La Miel (RM), Veramiel (V), El Capiro (C), San Nicolas (SN), La Loma (L) y San Rafael-El Salto (SRS). 24
- Figura 6.** Comparación entre los porcentajes de IRCA para las muestras de los diferentes acueductos veredales durante el año 2021. Rojo indica nivel de riesgo inviable sanitariamente, verde indica nivel de riesgo alto, naranja indica nivel de riesgo medio y azul nivel de riesgo bajo. 25

Siglas, acrónimos y abreviaturas

C	Capiro
IRCA	Índice de Riesgo de la Calidad del Agua
L	Loma
RM	Romeral-La Miel
SG	San Gerardo
SM	San Miguel
SN	San Nicolas
SGP	Sistema General de Participación
SRS	San Rafael – El Salto
V	Veramiel

Resumen

Empresas públicas de La Ceja ESP es una empresa prestadora de servicios públicos al municipio de La Ceja, entre los cuales está el servicio de laboratorio de aguas, que lleva a cabo el análisis microbiológico y fisicoquímico a diferentes tipos de muestras de agua. En el municipio hay reportado un total de 20 acueductos veredales, de los cuales solamente 8 ejecutan un adecuado proceso de tratamiento del agua requerido para suministrar agua potable; a saber, (San Nicolás, Guamito, San Miguel, San Rafael, San Gerardo, La Loma, El Higuerón y San José). El reporte del Índice de Riesgo para la Calidad del Agua (IRCA) consolidado para año 2021 en el municipio de la Ceja se categorizó en el nivel de riesgo alto, alertando a las autoridades y promoviendo el desarrollo de una propuesta que permitiera obtener un diagnóstico de las condiciones de funcionamiento de los diferentes acueductos veredales. De acuerdo al análisis de los resultados, se evidencia que los acueductos veredales San Gerardo, Romeral - La Miel, La Loma y San Rafael - El Salto no están brindando un suministro de agua potable a los usuarios mientras que los acueductos Guamito, San Nicolas, San Miguel y San Rafael son los únicos que si cumplen con este suministro; razón por la cual se analiza la necesidad de emprender un proceso de sensibilización y capacitación del personal encargado de las mismas a fin de promover y gestionar su correcto funcionamiento.

Palabras clave: acueducto, usuarios, potabilidad, diagnostico.

Abstract

Public companies of La Ceja ESP is a company that provides public services to the municipality of La Ceja, among which is the water laboratory service, which carries out microbiological and physicochemical analysis of different types of water samples. In the municipality there are reported a total of 20 rural aqueducts, of which only 8 execute an adequate water treatment process required to supply drinking water; namely, (San Nicolás, Guamito, San Miguel, San Rafael, San Gerardo, La Loma, El Higuerón and San José). The report of the Risk Index for Water Quality (IRCA) consolidated for the year 2021 in the municipality of La Ceja was categorized in the high risk level, alerting the authorities and promoting the development of a proposal that would allow obtaining a diagnosis of the operating conditions of the different veredal aqueducts. According to the analysis of the results, it is evident that the village aqueducts San Gerardo, Romeral - La Miel, La Loma and San Rafael - El Salto are not providing a supply of drinking water to users while the Guamito, San Nicolas, San Miguel and San Rafael are the only ones that do meet this supply; For this reason, the need to undertake a process of awareness and training of the personnel in charge of them is analyzed in order to promote and manage their correct operation.

Keywords: aqueduct, users, potability, diagnosis.

Introducción

De acuerdo con lo establecido en el decreto 1575 de 2007, cualquier entidad que preste servicio público de acueducto, debe realizar un proceso de consolidación mensual de resultados de análisis de calidad del agua, denominado “Índice de Riesgo para la Calidad de Agua” (IRCA). Este índice cuantifica el riesgo de ocurrencia de enfermedades transmitidas por el consumo de agua que no cumple con los parámetros de calidad para el agua potable (Decreto 1575 de 2007). El valor del IRCA es cero (0) cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la presente resolución y cien (100) para el riesgo más alto cuando no cumple ninguno de ellos. El IRCA se divide en 5 niveles de riesgo los cuales son: sin riesgo (0 - 5.0), bajo (5.1 – 14.0), medio (14.1 – 35.0), alto (35.1 - 80) e inviable sanitariamente (80.1 - 100).

El departamento de Antioquia tiene 4572 veredas, y 2477 acueductos rurales, de los cuales el 65% (1610 acueductos) producen agua potable. 62 de los 2477 acueductos rurales, sirven a una población superior a los 2000 habitantes, 203 de estos acueductos sirven a una población en un rango de 701 y 2000 habitantes y, la mayoría de los acueductos veredales de Antioquia (2200) sirven a pequeñas comunidades. Es importante tener en cuenta que el 94% de éstos 2200 acueductos veredales (2074) son sistemas que simplemente distribuyen el agua y, por lo tanto, están fuera del sistema de vigilancia y control. Actualmente, el porcentaje del IRCA de los acueductos veredales tanto en Antioquia como a nivel nacional se encuentran en el nivel medio con un valor de 18,71 y 16,23 respectivamente, lo que indica que la calidad del agua en los acueductos veredales de Antioquia está por debajo del promedio nacional. Lo anterior evidencia la necesidad de profundizar en las causas de esta situación en Antioquia, más aún teniendo en cuenta que estos reportes afectan la cantidad de recursos del Sistema General de Participación que recibe nuestro departamento (SGP) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2019).

Hoy en día en el municipio de La Ceja del Tambo, Antioquia, hay reportados 20 sistemas de acueductos veredales. Un poco más de la mitad (12) son sistemas simples de abastecimiento, y constan de: bocatoma, tanque desarenador, tanque de almacenamiento y red de distribución.

El resto de los acueductos veredales, (San Nicolás, Guamito, San Miguel, San Rafael, San Gerardo, La Loma, El Higuerón y San José), además del sistema mencionado anteriormente, cuentan con la infraestructura necesaria para el tratamiento de potabilización y, por lo tanto, deben garantizar el servicio de agua potable. Adicionalmente, el municipio cuenta con 3 plantas de tratamiento las cuales son: fátima, milagrosa y palosanto (Empresas Publicas de La Ceja E.S.P, 2020).

En cuanto a la zona urbana, Empresas Públicas de La Ceja E.S.P. es la empresa que presta los servicios públicos de acueducto y alcantarillado. Adicionalmente, esta empresa ofrece a clientes de los diferentes municipios del oriente antioqueño (El Retiro, La Unión, Marinilla, El Carmen de Viboral y Guarne) los servicios de: 1) Cuantificación de coliformes totales, E. coli, y microorganismos mesófilos en agua cruda y tratada; 2) Determinación de color, pH, turbiedad, cloro, dureza, sulfatos, nitritos, hierro, nitratos, conductividad, alcalinidad y cloruros en agua cruda y tratada; y 3) Toma de muestras de aguas residuales, tratadas y crudas (Empresas Públicas de La Ceja E.S.P [EEPP], 2020).

Teniendo en cuenta que el valor municipal del porcentaje IRCA se calcula con los datos de todos los acueductos del municipio, independientemente si son acueductos que sirven al área urbana o al área rural; dicho valor se altera dependiendo de la calidad del agua que distribuye cada acueducto. En ese sentido, es importante entender que acorde con el % del IRCA municipal, se asignan los recursos del Sistema General de Participación (SGP), penalizando a aquellos municipios que reporten un nivel de riesgo medio, alto o inviable sanitariamente. Lo anterior, motiva a las autoridades ambientales del municipio a tomar medidas que disminuyan los % IRCA, de manera que se aseguren los recursos necesarios para el área de saneamiento básico, para subsidios en los servicios públicos domiciliarios y para los proyectos de inversión de acueducto y alcantarillado.

Los resultados presentados en febrero de 2021 a EEPP, por parte del Instituto Nacional de Salud (INS), reveló que el Municipio de la Ceja estaba en la categoría de riesgo alto (40.1 - 70) de acuerdo con los resultados del IRCA mensual (44.63 %), siendo el riesgo del área rural de 47.24%. Por esta razón, la empresa EEPP de La Ceja junto con la alcaldía municipal,

plantearon un proyecto para realizar el diagnóstico técnico, administrativo y financiero de sus acueductos veredales. Para el desarrollo de este proyecto se firmó un convenio entre la alcaldía del municipio de La Ceja y EEPP. Esta última fue la encargada de realizar el contrato de un tercero que realizaría las siguientes actividades: 1) Efectuar el análisis y diagnóstico administrativo, técnico y financiero de los diferentes acueductos veredales constituidos en el municipio de la ceja, 2) Realizar asesorías a los acueductos veredales del municipio de la ceja con el fin de mejorar los procesos, brindando capacitación a cada acueducto, y socialización del informe final, 3) Realizar el análisis y diagnóstico de la infraestructura y capacidad operativa de cada una de las plantas de tratamiento de agua, 4) Realizar la evaluación de las concesiones de agua y requerimientos que la autoridad ambiental exija, así mismo deberá elaborar el diagnóstico que permita implementar las acciones pertinentes con la finalidad de garantizar un servicio, 5) realizar el análisis y diagnóstico del estado actual de la operación técnica y el estado actual y mantenimiento preventivo y correctivo en los sistemas de tratamiento, 6) Realizar el análisis y la interpretación de los parámetros analizados según la resolución 622 del 2020 para acueductos y la 2115 del 2017 para agua potable, todo a la luz del cumplimiento de los indicadores.

En el contexto de este proyecto, fui contratada por EEPP consistió para actividades como: 1) La toma de muestras y caracterización de las diferentes fuentes hídricas que abastecen los acueductos, 2) El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua generada en cada uno de los acueductos. A partir de estos datos, planteé desarrollar mi práctica profesional, con el propósito de contribuir con información que permitiera hacer un diagnóstico inicial de las condiciones actuales de los acueductos veredales. En ese sentido, mi práctica tuvo los objetivos que describo a continuación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Describir la variación en la calidad del agua de 8 acueductos veredales ubicados en el municipio de La Ceja Antioquia.

1.2 Objetivos específicos

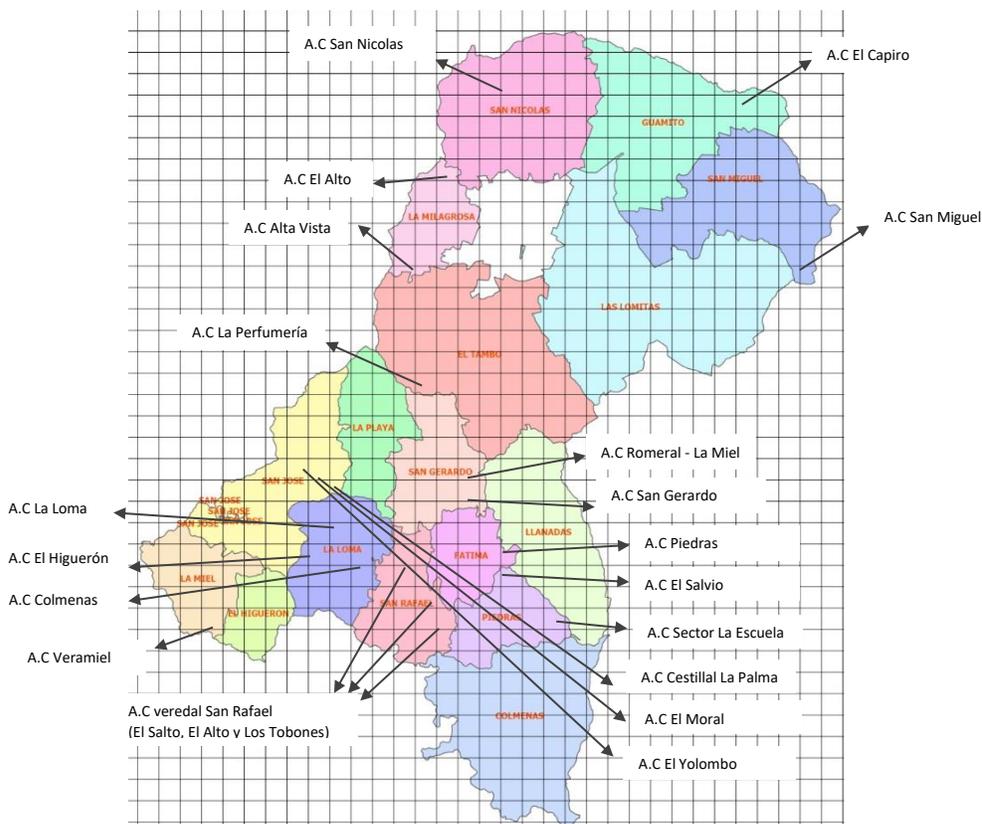
- Analizar los datos técnicos de calidad del agua colectados en los 8 acueductos veredales del municipio de la ceja.
- Identificar, de forma preliminar los riesgos potenciales que pueden estar originando los altos valores del IRCA en algunos acueductos veredales.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El área de estudio correspondió a 8 veredas ubicadas en el municipio de la Ceja localizado en el oriente de Antioquia, dichas veredas fueron: San Nicolás, Guamito, San Miguel, San Rafael, San Gerardo, La Loma, El Higuierón y San José (Figura 1). El criterio de selección se basó en la presencia de bocatoma, tanque desarenador, tanque de almacenamiento, red de distribución y un medio de tratamiento al agua antes de su distribución, ya sea por dosificación de cloro o filtros. En total realizaron 10 tomas de muestras de agua en los 8 acueductos de las veredas en mención, resaltando que el acueducto que está ubicado en la vereda San Nicolas está conformado por 3 etapas y colectó una muestra en cada una de las 3 etapas de este acueducto. Las muestras fueron tomadas durante el mes de noviembre y diciembre en viviendas que recibieran suministro de agua del acueducto. A cada muestra se le realizó análisis microbiológico y fisicoquímico.

Figura 1. Ubicación de los 8 acueductos del municipio de La Ceja, con una extensión municipal de 133.6 km²



2.2 Análisis Microbiológico y Físicoquímico de las muestras de agua:

Determinación microbiológica:

En cada muestra de agua se cuantificó la abundancia de coliformes totales y *Escherichia coli*, siguiendo el método filtración por membrana SM9222 B Ed. 22 (American Public Health Association., 2012), instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-40). Para el control de calidad y evitar el reporte de falsos positivos, luego de obtener los resultados, se verificó por microscopía la presencia de bacilos gran negativos mediante la coloración de gram, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-36) o se confirmó su presencia por el método de número más probable SM 9223 B Ed. 22 (American Public Health Association., 2012), instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-60 (VER ANEXO 1)

Determinación físicoquímica:

Adicionalmente a cada muestra de agua se realizó los siguientes análisis físicoquímicos: 1) cloro siguiendo el método colorimétrico DPD SM 9222 B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-59); 2) pH siguiendo el método valor de pH en agua por potenciometría utilizando un electrodo de hidrógeno estándar SM 4500 H+ B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-29); 3) color siguiendo el método color en agua SM 2120 B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-23); 4) turbiedad siguiendo el método nefelométrico SM 2130 B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-09); 5) nitritos siguiendo el método colorimétrico SM 4500 NO₂ - B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-35); 6) sulfatos siguiendo el método Sulfato en Agua SM 4500 NO₂ - B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-28); 7) cloruros siguiendo el método yodométrico I SM 4500 Cl⁻ B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-22); 8) dureza total siguiendo el método valorimétrico EDTA SM 2340 C Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-25); 9) alcalinidad total siguiendo el método de titulación SM 2320 B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-32); 10) conductividad siguiendo el método SM 2510 B Ed. 22, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-61) (American Public Health Association., 2012); 11) hierro siguiendo el kit comercial, instructivo con código interno de laboratorio (IN15-AN-49) (VER ANEXO 1). Luego de cuantificar cada parámetro, se consideró que las variables como nitritos, cloruros, sulfatos, dureza, alcalinidad y conductividad no se tendrían en cuenta para el análisis debido a que sus valores máximos permitidos son muy altos y además de esto, no presentaron variación dentro de sus valores y se encontraron en los límites permitidos por la resolución 2115 del 2007. Para los valores de los resultados de este análisis VER ANEXO 2.

Los resultados fisicoquímicos se analizaron bajo la resolución 2115 del 2007 la cual regula los valores máximos aceptables (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de referencia de los parámetros evaluados bajo la resolución 2115 del 2007

Parámetro	Unidades	Valores de referencia resolución 2115/2007
pH	Unid. pH	6,5-9,0
Color	UPC	<15
Cloro Libre Residual	mg/l Cl ₂	0,3 - 2,0
Turbiedad	NTU	<2,00
Hierro	mg/l Fe ⁻	0,30
Nitritos	mg/l NO ₂ ⁻	<0,10
Cloruros	mg/l Cl ⁻	<250
Sulfatos	mg/l SO ₄ ⁻²	<250
Dureza Total	mg /l CaCO ₃	<300
Alcalinidad Total	mg /l CaCO ₃	<250
Conductividad	μS/cm	≤1000

3. Calculo IRCA

Para el cálculo del IRCA se tomó como base el ANEXO 2, el cual contempla el puntaje de riesgo a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la resolución 2115.

El cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano por muestra, se realizó utilizando la siguiente fórmula:

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

4. Análisis de datos

Las gráficas y tablas se realizaron en el programa de Microsoft Excel, ambas se realizaron en base a los resultados obtenidos mediante las diferentes técnicas del laboratorio, para las gráficas se usó gráficos de barras.

Para el cálculo del delta (diferencia entre el año 2021 y 2020), se tomaron los datos de cada parámetro (Turbiedad, Color, pH, Cloro) obtenidos durante estos años y se prosiguió de la siguiente manera:

Delta = Resultado del parámetro y 2020 - Resultado del parámetro y 2021

y= parámetros analizados

El Delta se calculó y se logró observar que cuando el cambio arrojaba un resultado negativo indicaba un desmejoramiento o si el cambio era positivo indicaba un mejoramiento de dichos acueductos.

5. Resultados

Cuantificación de coliformes totales y *Escherichia coli* en las muestras de agua en el año 2021

Los análisis microbiológicos evidenciaron la presencia de coliformes totales y *E. coli* en las muestras de agua de las viviendas ubicadas en las veredas Romeral - La Miel, y La Loma. Por otra parte, en las muestras colectadas en la vereda San Gerardo y San Rafael se evidenció la presencia de coliformes totales y la ausencia de *E. Coli*. Finalmente, en las muestras provenientes de las veredas San Miguel, Veramiel, el Capiro y las 3 etapas de San Nicolas se encontró ausencia de coliformes totales y *E. coli* (tabla 2)

Tabla 2. Reporte de los resultados por métodos de filtración de membranas y número más probable

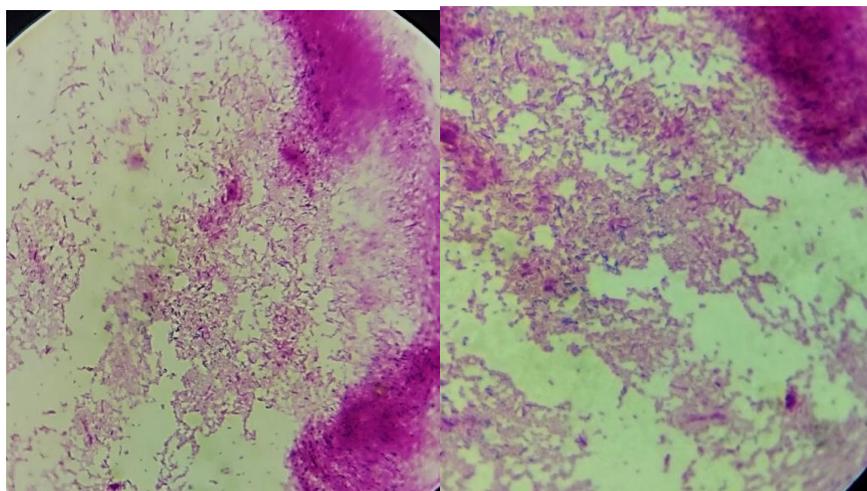
Acueducto	Coliformes totales	<i>Escherichia coli</i>
San Miguel	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml
San Gerardo	78 UFC/100ml	0 UFC/100ml
Romeral - La Miel	>80 UFC/100ml	>80 UFC/100ml
Veramiel	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml
El Capiro	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml
San Nicolas Etapa 1, 2 y 3	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml
La Loma	7701 NMP/100ml	175 NMP/100ml
San Rafael - El Salto	750 NMP/100ml	<1 NMP/100ml

Confirmación de presencia de enterobacterias

Con el fin de confirmar que las muestras positivas para *E. coli* y/o coliformes tenían presencia de enterobacterias, se realizó tinción de gram a dos de las muestras positivas para ambos indicadores. Las otras 2 muestras se confirmaron usando la técnica de número más probable. En la figura 2 se presentan las fotografías de algunas de las tinciones, allí se observa la presencia de bacilos Gram negativos (figura 2). La confirmación de la presencia de

enterobacterias por el método de número más probable arrojó un resultado positivo, y permitió cuantificar por otra vía la abundancia de los indicadores bacterianos en cuestión, arrojando un resultado de 7701 (NMP/100ml) Coliformes totales y 175 (NMP/100ml) E. coli.

Figura 2. *Estructuras microbianas vistas en microscopio óptico binocular (visto en 100X)*

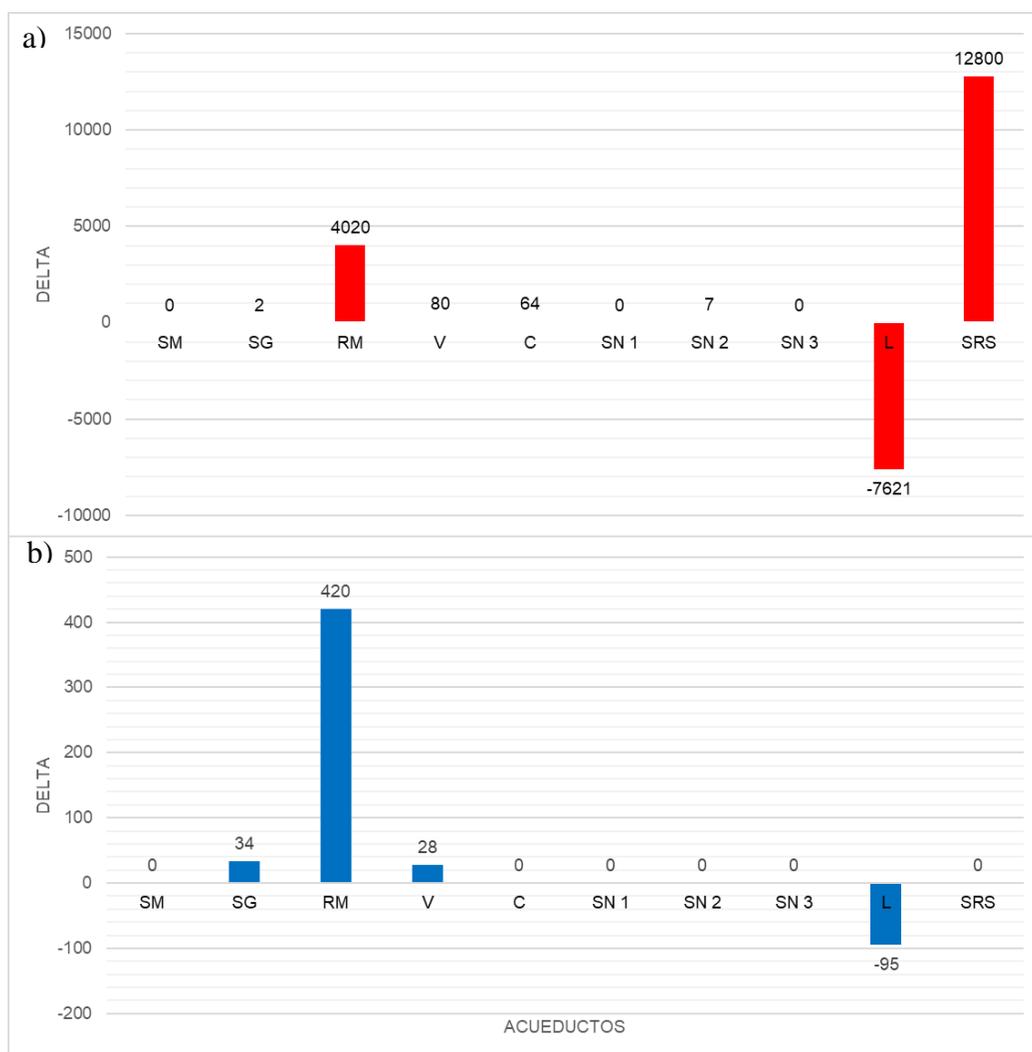


Análisis retrospectivo de parámetros microbiológicos en el periodo 2020 - 2021

Con el propósito de realizar una comparación de los parámetros microbiológicos en el tiempo, se incluyó en este informe los resultados del año 2020 para los mismos acueductos veredales objeto de este estudio, suministrados por el laboratorio de empresas públicas. En la figura 3 se presenta la diferencia entre los recuentos de coliformes totales y E. coli obtenidos en 2020 y los registrados en 2021 para cada acueducto. Esta gráfica permite evidenciar que en 3 de los 10 acueductos la abundancia de los dos indicadores fue el mismo en los dos años (San Miguel, San Nicolas 1 y 3). Por otra parte, en las muestras de los acueductos San Gerardo, Romeral - La Miel, Veramiel, El Capiro, San Nicolas etapa 2 y San Rafael - El Salto, se evidencia una menor abundancia de los indicadores microbianos de contaminación fecal en 2021 en relación a 2020. Finalmente, es importante notar que en las muestras de agua provenientes del acueducto La Loma se observó un incremento en la abundancia de coliformes totales y E. coli en el año 2021 en relación al año justamente

anterior. Cabe aclarar que debido a la ausencia de replicas, no es posible calcular estadígrafos de variación para cada parámetro en cada año, ni hacer comparaciones estadísticas sobre la significancia de los cambios en la abundancia de las bacterias indicadoras entre años.

Figura 3. Cambio en el recuento de bacterias indicadoras en las muestras de agua de los acueductos veredales entre 2020 y 2021 a) Valor del delta de cambio para Coliformes totales b) Valor del delta para *Escherichia coli*. San Miguel (SM), San Gerardo (SG), Romeral-La Miel (RM), Veramiel (V), El Capiro (C), San Nicolas (SN), La Loma (L) y San Rafael-El Salto (SRS).

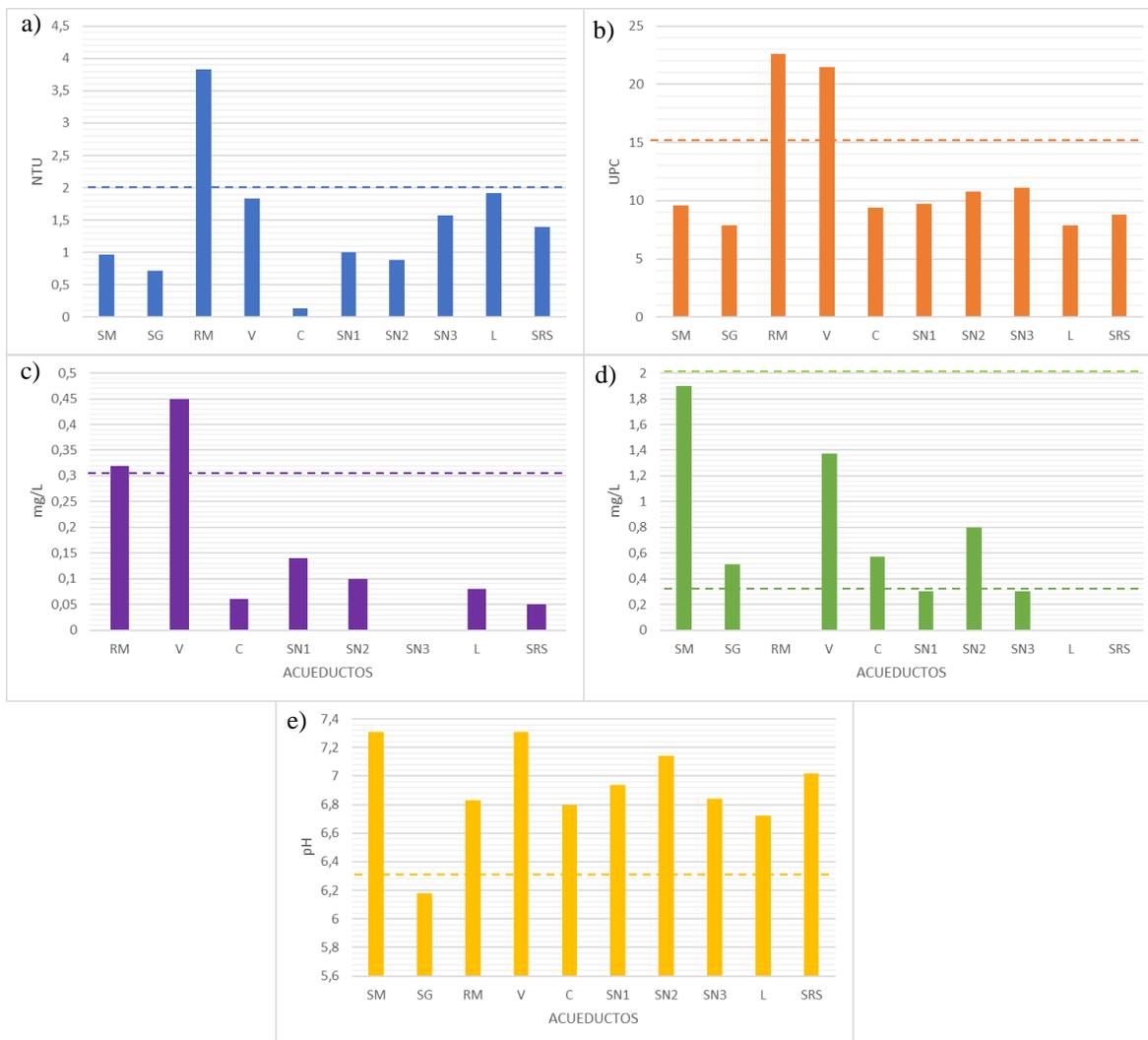


Cuantificación de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua de 2021

Se observó una gran variabilidad en las características fisicoquímicas entre las muestras de agua provenientes de los diferentes acueductos, presentando, los coeficientes de variabilidad: 110% cloro, 90% hierro, 70% turbiedad, 46% color y 5% pH, siendo el parámetro de cloro con mayor variabilidad y el parámetro de pH con menor variabilidad alrededor de la media.

Al comparar las muestras con los valores máximos permitidos para cada parámetro (figura 4), se encontró que en el acueducto Romeral - La Miel todos los parámetros fisicoquímicos: turbiedad, color, cloro y hierro, se encontraron por fuera de los valores máximos; además los acueductos San miguel, El Capiro y San Nicolas etapa 1,2 y 3 cumplieron todos los parámetros con los límites establecidos; por ultimo tenemos que en el acueducto San Gerardo el parámetro pH dio un valor menor al rango permitido, en el acueducto Veramiel el parámetro de color y hierro dieron un valor mayor al límite permitido, y los acueductos La Loma y San Rafael - El Salto obtuvieron un valor más bajo del permitido en el parámetro de cloro, encontrándose por fuera de los límites permitidos.

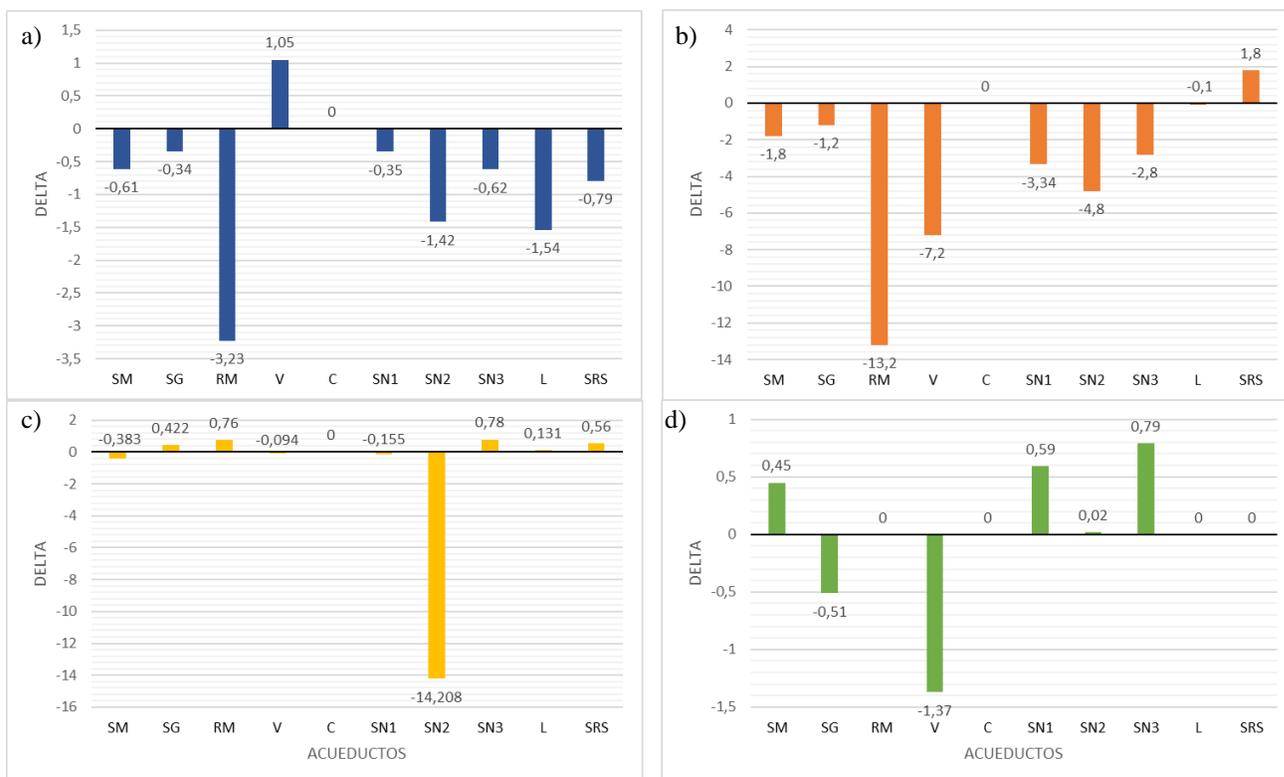
Figura 4. Variación de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua provenientes de los diferentes acueductos veredales durante el año 2021 **a)** Turbiedad. **b)** Color. **c)** Hierro **d)** Cloro **e)** pH. La línea punteada indica el valor del límite máximo establecido por la resolución 2115. San Miguel (SM), San Gerardo (SG), Romeral-La Miel (RM), Veramiel (V), El Capiro (C), San Nicolas (SN), La Loma (L) y San Rafael-El Salto (SRS).



Análisis retrospectivo de parámetros fisicoquímicos en el periodo 2020 - 2021

Con el propósito de realizar una comparación de los parámetros fisicoquímicos en el tiempo, se incluyó en este informe los resultados del año 2020 para los mismos acueductos veredales objeto de este estudio, suministrados por el laboratorio de empresas públicas. En la figura 5 se presenta la diferencia entre los parámetros de turbiedad, color, cloro y pH registrados en el 2021 y los obtenidos en 2020 para cada acueducto. Esta gráfica permite evidenciar que en 1 de los 10 acueductos el valor de todos los parámetros fisicoquímicos fue el mismo en los dos años (El Capiro). Además, en los acueductos San Miguel y San Nicolas Etapa 1 y 2, los parámetros de turbiedad, color y pH aumentaron en el año 2021, caso contrario ocurrió con el parámetro de cloro para estos acueductos debido a que disminuyó en el año 2021, ambos análisis realizados en comparación con el año 2020. Por su parte los acueductos La Loma y San Nicolas etapa 3 aumentaron su valor en los parámetros de turbiedad y color, pero disminuyeron en el parámetro de pH, no obstante, el cloro disminuyó su valor en el acueducto de San Nicolas etapa 3 y mantuvo su resultado en La Loma durante el año 2021 en relación al año 2020. En adelante, los acueductos San Gerardo y Romeral - La Miel aumentaron su valor en el parámetro de turbiedad y color, pero disminuyeron en el parámetro de pH, además el parámetro de cloro aumentó en San Gerardo y se mantuvo en Romeral - La Miel durante el año 2021 comparado con el año 2020. Por su parte el acueducto Veramiel disminuyó el valor de turbiedad, pero aumentó sus valores en los parámetros de color, pH, y cloro durante el año 2021 comparado con el año 2020. Para finalizar el acueducto San Rafael – El Salto aumentó su valor en el parámetro de turbiedad, disminuyó sus resultados en color y Ph, y se mantuvo en el parámetro de cloro en relación al año justamente anterior. Cabe aclarar que debido a la ausencia de replicas, no es posible hacer comparaciones estadísticas sobre la significancia de los cambios en los valores de los parámetros entre años.

Figura 5. Cambio en la concentración de varios parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua de los acueductos veredales entre 2020 y 2021 **a)** Valor del delta de cambio para Turbiedad. **b)** Valor del delta de cambio para Color. **c)** Valor del delta de cambio para pH. **d)** Valor del delta de cambio para Cloro. San Miguel (SM), San Gerardo (SG), Romeral-La Miel (RM), Veramiel (V), El Capiro (C), San Nicolas (SN), La Loma (L) y San Rafael-El Salto (SRS).

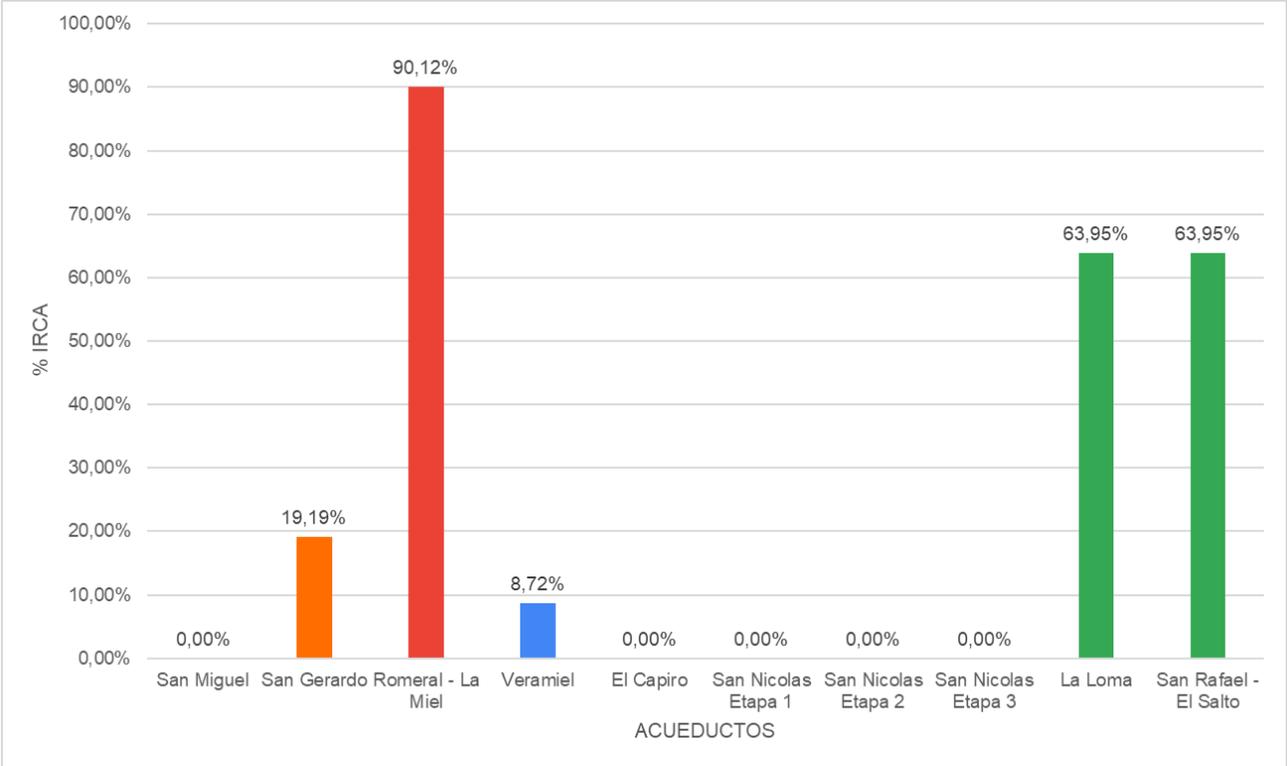


IRCA

En la figura 6 se observa variabilidad en los niveles de riesgo entre los diferentes acueductos en estudio, las viviendas de los acueductos que obtuvieron un valor de 0 y son clasificados como acueductos sin riesgo fueron San Miguel, El Capiro y San Nicolas etapa 1,2 y 3. El agua producida por el acueducto Veramiel tuvo un valor de 8,72 categorizado como nivel de riesgo bajo. El agua proveniente del acueducto San Gerardo alcanzó un valor de 19,19 indicando un nivel de riesgo medio. Las muestras de agua provenientes de los acueductos La Loma y San Rafael - El Salto presentaron un nivel de riesgo alto con un valor de IRCA de

63,95. Finalmente, el agua generada por el acueducto Romeral – La Miel presentó un nivel de riesgo inviable sanitariamente con un valor de IRCA de 90,12. (figura 6)

Figura 6. Comparación entre los porcentajes de IRCA para las muestras de los diferentes acueductos verdales durante el año 2021. Rojo indica nivel de riesgo inviable sanitariamente, verde indica nivel de riesgo alto, naranja indica nivel de riesgo medio y azul nivel de riesgo bajo.



Análisis comparativo de los niveles del IRCA en suministros de agua cruda y agua potable

Luego de realizar el cálculo del IRCA para el agua potable, se procedió con el cálculo de este índice para los acueductos que suministran agua cruda. Es importante aclarar que somos conscientes que el IRCA es un índice calculado solo para análisis de agua potable, sin embargo, se decidió calcularlo para las muestras de agua cruda, como un ejercicio teniendo en cuenta que la mayoría de las veredas contienen suministro de este tipo de agua para el consumo. Los resultados con los que se procedió a calcular el IRCA de dichos acueductos se

obtuvo del laboratorio (VER ANEXO 4). En la tabla 3 se observa que, de acuerdo con el IRCA, estos otros acueductos veredales se podrían categorizar en tres grupos acorde al nivel de riesgo: En la primera categoría (Bueno) se ubicarían los acueductos Piedras El Salvio, San Jose - Cestillal y Piedras, en la categoría (Malo) estarían los acueductos Alta Vista - El Moral, Aguas del Alto, Higuerón, Yolombo y Alta Vista. Por último, en la tercera categoría (Muy malo) se ubicarían los acueductos Perfumería, San Jose – La Palma y Colmenas.

Tabla 3. *Cálculo del IRCA de los acueductos con suministro de agua cruda. Nota:* * representa la categoría en la que se ubique cada uno, si es bueno *, si es malo ** y si es muy malo ***.

Acueducto	IRCA
ACUEDUCTO PIEDRAS EL SALVIO	* 21,13
PERFUMERIA	*** 85,92
SAN JOSE - LA PALMA	*** 85,92
SAN JOSE - CESTILLAL	* 21,13
ALTA VISTA - EL MORAL	** 56,34
AGUAS DEL ALTO	** 56,34
HIGUERON	** 77,46
COLMENAS	*** 88,03
YOLOMBO	** 77,46
PIEDRAS	* 21,13
ALTA VISTA	** 44,37

Soporte de agentes externos para la evaluación de prácticas adecuadas en los acueductos veredales

Usamos datos colectados por el contratista en los acueductos que suministran agua tratada, para extraer información relacionada con aspectos importantes como: la concesión y el año en que fue otorgada, si realiza tomas de muestras de agua, la cantidad de usuarios, si realizan micromedición, lectura y si ejecutan facturación (tabla 4).

Tabla 4. *Diagnóstico general de los acueductos veredales que poseen agua tratada en el municipio de La Ceja*

ACUEDUCTO	CONCESIÓN OTORGADA (m3/d)	AÑO CONCESIÓN	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA	USUARIOS	MICROMEDICIÓN	LECTURA	FACTURACIÓN
SAN GERARDO	855,36	28/08/2013 (25 Años)	NO	22	SI	NO	NO
VERAMIEL	4639,68	05/12/2007 (Vencida)	NO	117	SI	NO	NO
EL CAPIRO	1220,57	11/05/2016 (10 años)	SI	53	SI	SI	MANUAL
SAN MIGUEL	5287,68	04/11/2021 (10 años)	NO	80	SI	SI	SI
SAN NICOLAS	6788,45	01/07/2020 (10 años)	SI	327	SI	SI	SI
ROMERAL - LA MIEL	-	07/06/2018 (Vencida)	NO	160	-	NO	NO
LA LOMA	-	07/06/2018 (Vencida)	NO	80	SI	NO	NO
SAN RAFAEL - EL SALTO	1744,42	22/09/2011	NO	36	SI	SI	MANUAL

6. Discusión

Los parámetros evaluados en este estudio se efectuaron debido a que algunos tienen efectos en la salud humana, para ilustrar, la presencia de microorganismos del grupo Coliformes, que habitan normalmente en el intestino del hombre y otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible de dicho tipo de contaminación. Dado que la capacidad de algunos miembros del grupo Coliformes para sobrevivir en agua es limitada, sus números pueden emplearse también para estimar el grado de contaminación del agua. De acuerdo con Larrea et al (2012) La eliminación inadecuada de excretas, dada por la ausencia o el deficiente sistema de alcantarillado y tratamiento, están asociados a la contaminación del agua y causa numerosas enfermedades, tales como el cólera, la amebiasis, la hepatitis, la fiebre tifoidea y paratifoidea, entre otras. Sumado a esto, la presencia de cloro en altas concentraciones en el agua, puede causar un agravamiento de los síntomas del asma, agregando que existen compuestos químicos como los trihalometanos que derivan de la reacción de la materia orgánica con el cloro y este compuesto puede aumentar el riesgo de contraer cáncer ya sea por inhalación o por consumo de agua. Por otra parte, se tiene el parámetro de hierro el cual no tiene efectos de salubridad, pero afecta el sabor, produce manchas indelebles en los aparatos sanitarios, interfieren en el lavado de ropa y se depositan en la red de distribución, causando ocasionalmente obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y el color. Con el parámetro de la turbiedad, se ha comprobado que las partículas en suspensión interfieren en los procesos de desinfección, protegiendo los microorganismos de la acción de los desinfectantes y obstaculizando el mantenimiento de cloro libre, por esto, se pretende llegar a los límites más bajos posibles de este parámetro a fin de maximizar la eliminación de microorganismos patógenos y eliminar obstáculos que impidan mantener una adecuada concentración de cloro residual. Los valores de turbiedad sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Al realizar un análisis a los resultados obtenidos de los diferentes acueductos veredales, se pudo observar que los acueductos de San Gerardo, Romeral - La Miel, La Loma y San Rafael

- El Salto se vieron afectados en la parte microbiológica obteniendo crecimiento bacteriano y se pudo efectuar una correlación con la falta de desinfección oportuna ya que unos de estos acueductos como lo fueron Romeral - La Miel, La Loma y San Rafael - El Salto obtuvieron una baja concentración en el parámetro de cloro lo que permitió el crecimiento de microorganismos; además de esto, el acueducto Romeral - La Miel se vio afectado en los parámetros de turbiedad, color y hierro, así mismo el acueducto Veramiel presento un aumento en la variable turbiedad y hierro, por último el acueducto San Gerardo presento una disminución en el pH. Con estos análisis, se tiene que el acueducto Romeral-La Miel fue uno de los más afectados en sus resultados, siguiendo el acueducto Veramiel como el segundo más afectado, continuando por San Gerardo y finalizando con el acueducto de La Loma; es de resaltar que los demás acueductos como Guamito, San Nicolas, San Miguel y San Rafael en sus resultados cumplieron con el valor límite de cada parámetro.

Dado lo anterior, al calcular el IRCA para analizar el valor de cada acueducto se logró obtener en primera estancia que los acueductos Guamito, San Nicolas y San Miguel se clasifican en un nivel sin riesgo y fueron los que mejores resultados arrojaron, en segundo lugar, se tiene el acueducto Veramiel que se encontró en nivel de riesgo bajo, en tercer lugar, se tiene el acueducto San Gerardo que se clasificó con nivel de riesgo medio, en cuarto lugar, los acueductos La Loma y San Rafael - El Salto con un nivel de riesgo alto y por último se tiene el acueducto Romeral - La Miel caracterizando este acueducto como inviable sanitariamente catalogando los sectores La Playa - San José - La Miel con alta vulnerabilidad. Así mismo es de resaltar que el municipio debe velar por la salubridad de aquellos sectores en los que el nivel de riesgo del IRCA se clasifica en bajo, medio, alto e inviable sanitariamente.

En este orden de ideas, se obtuvo el IRCA de agua cruda destacando que aunque no es correcto este cálculo como ya se había mencionado anteriormente, se hizo con el fin de obtener una idea del riesgo que cada acueducto tiene en la calidad de agua que están usando para las diferentes actividades como procesamiento de alimentos para hogar y los destinados a su comercialización o distribución, bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilio. Esto puede servir como una base para un

posible tratamiento primario de los acueductos de agua cruda, además que podríamos realizar un comparativo con los resultados obtenidos del agua tratada, debido a que en ambas partes se está dando suministro de agua en esas condiciones detectadas. Con los resultados se puede contemplar que en la actualidad existen acueductos con agua cruda en mejores condiciones que las de agua tratada considerando que los límites para el agua cruda están dados por la resolución 1594 de 1984 la cual trata todo lo relacionado con la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indica que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional.

Con respecto a los cobros que se han estado realizando a los acueductos rurales, me pareció interesante analizar el tema de presupuesto y sostenibilidad de estos (**tabla 5**), se debe tener en cuenta que para el cálculo del presupuesto de los acueductos intervinieron los elementos descritos en el ANEXO 5, para empezar, debo clarificar que el consumo promedio por usuario (considerando que en cada vivienda habitan 4 personas) en la zona urbana es de 14,4 m³/mes, mientras que en el área rural se debe contemplar un promedio de 30,0 m³/mes que es el doble del consumo del área urbana a causa del riego de los cultivos, jardines o huertas, el suministro al ganado además del mantenimiento del hogar siendo estas viviendas más grandes. Por esta razón, luego de hacer una premisa sobre los costos de cada acueducto según la metodología de los marcos tarifarios regulada por la resolución CRA 825 de 2017, la cual está basada en contemplar los costos de cargo por m³, costos de cargo fijo y cantidad de usuarios, se obtiene un valor de pago por usuario para los acueductos rurales, ahora bien, agregado a la concesión de agua, se debe contemplar el reporte de pérdida el cual se relaciona a conexiones ilegales, purgas, daños de bocatoma, entre otros. Luego de realizar este cálculo, se puede comprobar que al aplicar los valores máximos de cobro del marco tarifario para que los acueductos sean “autosostenibles”, cuando los acueductos poseen menos de 160 usuarios no consiguen abarcar los gastos de todo el acueducto ya que es indispensable contemplar los costos que implica sostenerlo, como lo son la presencia de un fontanero, un lector, químicos (filtración, floculación y cloración), mantenimientos, infraestructura (mejoras en el sistema actual), y cualquier daño que implique inversión en material. Es así como se encuentra uno de los obstáculos con respecto a la calidad y sustento debido a que, si no se tiene este aspecto acorde a lo planteado, no se puede conseguir un adecuado mantenimiento de los acueductos

y garantizar un adecuado suministro de agua en cada vivienda y por ello se debe solicitar un mayor aporte para garantizar dichas condiciones.

En cuanto a las características detectadas en los acueductos veredales de agua tratada (**tabla 4**), es importante resaltar solo estas, debido a que potencialmente son los que pueden estar influyendo en la calidad de agua que se está adquiriendo de los diferentes acueductos y perjudicando a la población, así pues, los riesgos potenciales que puedan estar ocasionando un alto valor del IRCA es el caudal manejado para la cantidad de usuarios reportados por cada acueducto teniendo en cuenta que el consumo promedio ya mencionado, agregando a esto el control de la calidad de agua (toma de muestra) y la facturación lo que puede desfavorecer a los acueductos descubriendo lo ya mencionado.

Tabla 5. *Presupuesto mensual de los acueductos veredales con agua tratada.*

ACUEDUCTO	CONCESION OTORGADA (m3/d)	USUARIOS	CONSUMO POR USUARIO (4 personas) (m3/mes)	PAGO POR USUARIO	\$ RECOLECTADO EN CADA ACUEDUCTO	\$ EN PERDIDA
SAN GERARDO	855,36	22	30,0	\$ 48.096,00	\$ 1.058.112	\$ 256.946
VERAMIEL	4639,68	117	30,0	\$ 48.096,00	\$ 5.627.232	\$ 1.436.992
EL CAPIRO	1220,57	53	30,0	\$ 48.096,00	\$ 2.549.088	-\$ 456.381
SAN MIGUEL	5287,68	80	30,0	\$ 48.096,00	\$ 3.847.680	\$ 3.657.346
SAN NICOLAS	6788,45	327	30,0	\$ 48.096,00	\$ 15.727.392	-\$ 3.806.014
ROMERAL - LA MIEL	-	160	30,0	\$ 48.096,00	\$ 7.695.360	-
LA LOMA	-	80	30,0	\$ 48.096,00	\$ 3.847.680	-
EL SALTO	1744,42	36	30,0	\$ 48.096,00	\$ 1.731.456	\$ 849.363

Como se ha mostrado anteriormente, al realizar la comparación de los acueductos en el tiempo, vemos que tan importante es el continuo monitoreo y registro de las condiciones tanto a nivel de infraestructura como de las condiciones del agua ya que ambos factores pueden originar daños en la calidad, aunque ésta reciba tratamiento. Se resalta que el esfuerzo de muestreo fue bajo, pero se obtuvieron resultados que son de gran ayuda para tener un panorama del estado actual de cada sitio. Es de gran importancia mencionar que se debería

llegar a todos los acueductos para solucionar todo tipo de dificultades que cada uno presente ya que no solo se tiene vacíos a nivel de tratamiento sino a nivel administrativo como lo es el tema de micromedición y lectura, aunque se reconoce que es difícil llegar a todos, se recomienda llegar a los acueductos donde principalmente se tuvieron dificultades en los límites de los parámetros según la resolución 2115, dando mayor importancia a los que tuvieron afección con los parámetros de microbiología y cloro debido a que estos dos parámetros presentan más afección a la salud humana conllevando a enfermedades como las ya mencionadas.

En los análisis microbiológicos de los acueductos afectados es importante educar e informar a la población que como primera estancia puedan hervir el agua antes de su consumo y así tratar de eliminar las bacterias allí existentes para evitar a futuro enfermedades de salud pública. Para los análisis fisicoquímicos es significativo por una parte educar a los fontaneros sobre su importancia en la salud y ayudarles con información oportuna del tipo de desinfección y la dosificación en la desinfección acorde a la cantidad de agua tratada, por otro lado, recomendar otros mecanismos de desinfección más efectivos. En los acueductos que cumplen con los parámetros para la resolución 2115/2007, considerándose agua apta para consumo humano, se recomienda ser muy constantes con los procesos de filtración y desinfección y poder garantizar la potabilidad del agua en todo momento. Aunque es claro que las condiciones ambientales pueden afectar los procesos de tratamiento, también es indispensable el cuidado y la vigilancia continua para reducir el consumo de agua contaminada en las viviendas.

Con los valores del IRCA podemos examinar la importancia por parte de la administración municipal de llegar a las veredas para seguir realizando un continuo control de los acueductos y con ellos tener una distinción de los que más necesitan apoyo por diferentes factores resaltando la financiación en vista de lo ya mencionado, así mismo la infraestructura, falta de equipos o reactivos en vista de que se encontró que algunos carecen de sulfato, cloro, falta de almacenamiento, optimización de la bocatoma o falta de capacitación al personal, esto en razón de que al entrar en diálogos con la población residente en los diferentes sectores se logró vigilar la falta de conocimiento sobre la importancia de la desinfección o la filtración

del agua debido a las posibles enfermedades que pueden contraer, y que la mayoría en medio de su ignorancia describen como han consumido de esa agua toda la vida y aun no les ha pasado nada y por esta razón no consideran relevante la inversión y el apoyo de personal en los acueductos.

7. Conclusiones

- Se debe continuar realizando control y verificación a la calidad del agua, principalmente de los acueductos que se vieron afectados en los parámetros del área de microbiología, ya fuera de coliformes totales y e. coli, esto debido a que pueden influir en la salud pública y así llevar a una posible epidemia por enfermedades diarreicas o de carácter gastrointestinal.
- Buscar de manera oportuna, trasladar personal capacitado a las diferentes veredas para instruir a la población sobre la importancia de la desinfección de las plantas de tratamiento ya que esta es una de las principales causas de la producción de trihalometanos un compuesto que produce cáncer en los humanos.
- De acuerdo a los resultados analizados se confirma que los acueductos veredales San Gerardo, Romeral - La Miel, La Loma y San Rafael - El Salto según la resolución 2115 del 2007 no tienen un suministro de agua potable a los usuarios por lo que se debería considerar realizar inversión de recursos para alcanzar que estos acueductos a futuro puedan tener un suministro de agua potable o considerar nombrar este acueducto solo como un medio de abastecimiento.
- Se conoció por medio del contratista encargado del diagnóstico técnico y operativo de los acueductos, que de los ocho (8) que están registrados con potabilización, a la fecha dos de ellos están realizando todos los procesos que garantizan la potabilización con sus requerimientos, los seis (6) restantes solo aplican cloro, lo cual se visualiza con los resultados obtenidos en el laboratorio de aguas.
- Se establece la necesidad de un acompañamiento a las asociaciones de usuarios de las diferentes veredas para escuchar sus necesidades y así explorar medios de apoyo que les sirva para el mantenimiento y sustento de los diferentes acueductos.

- A futuro se espera que la administración municipal considere realizar inversión en infraestructura y personal capacitado en dicho tema para preparar a los fontaneros de estos acueductos y lograr obtener un suministro de agua potable en las viviendas.

Referencias

- American Public Health Association. (2012). *Standard Methods*. Washington: American Water Works Association.
- Decreto 1898 de 2016 “*Esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales*” Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 13 de noviembre de 2016.
- Empresas Públicas de La Ceja E.S.P. (enero de 2020). *EEPP como empresa prestadora de servicios públicos*. <https://eppdelaceja.gov.co/quienes-somos/>.
- Jeny Adina Larrea - Murrell, M. M.-B.-Á.-H.-P. (2012). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura*. CENIC Ciencias Biológicas, 24-34.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2019). *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2019*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-calidad-de-agua-2019.pdf>
- Pérez, J.A. (2002). *Manual de potabilización del agua*. (4 ed.). PARH.
- Rice, E., Baird, R., & Eaton, A. (2012). *Standard Methods for The Examination Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association.

Anexos

- Método filtración por membrana SM 9222 B Ed. 22

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-40, siguiendo:

Los materiales y reactivos utilizados en el análisis fueron:

- Equipo de Filtración por membrana, (compuesto por el manifold y la bomba de vacío)
- Filtros estériles de aproximadamente 47 mm de diámetro, con características de filtración equivalentes a un tamaño de diámetro nominal de poro de 0,45 μm .
- Cojinetes absorbentes.
- Pinzas de bordes lisos, para manejar las membranas.
- Probeta graduada de 100, 500 y 1000 mL.
- Cajas de Petri 45 mm de diámetro en vidrio.
- Pipetas de 1, 5, y 10 mL Clase A.
- Pipeta de 100 mL clase A
- Mechero de Alcohol.
- Filtros de membrana estériles de acetato de celulosa de 0.45 μm de poro, con cuadrícula.
- Agua estéril: Obtenida del desionizador y esterilizada a 121 °C por 20 minutos a 15 psi.
- Alcohol Antiséptico y alcohol industrial.
- M-ColiBlue con fecha de vencimiento vigente para la determinación de coliformes totales y E coli.
- Incubadora

Procedimiento:

El volumen ideal de la muestra para los Coliformes totales es aquel que permite un conteo de aproximadamente de 20 a 80 colonias Coliformes y no más de 200 colonias de todo tipo por filtro.

Para realizar el análisis se desinfecto completamente el área de trabajo, se verifico que todo el material a utilizar estuviera completamente estéril, se colocó el porta filtro estéril sobre la base del manifold, la membrana y por último el embudo el cual debe ser bien enroscado para que no se salga la muestra cuando se introduzca. Con las pinzas estériles

(pasada por alcohol antiséptico y un segundo por el mechero), se puso la membrana de celulosa estéril con la cuadrícula hacia arriba sobre la frisa. Se agitó vigorosamente la muestra, se vertió 100ml en el embudo y filtró con ayuda del vacío, cuando termino de filtrar se cerraron las llaves del manifold, apagando la bomba de vacío, se tomó la membrana con las pinzas estériles y se sobrepuso en un cojinete absorbente estéril saturado previamente con 2 ml del medio líquido (m Colibblue) en una caja de petri para la determinación de Coliformes Totales y E Coli.

Se marcaron las cajas petri con anterioridad (código de la muestra), asegurando que no existieran burbujas de aires atrapado entre la membrana y el medio. Se incubaron las cajas petri en posición invertida y se dejaron 24 horas a 36°C, al terminar este tiempo se leyeron el número de colonias resultantes.

Se realizó la lectura de acuerdo con la siguiente tabla:

Tipos de Colonias	Color de colonias
Coliformes Totales	Rojo y azul
E. Coli	Azul

Tabla 1. Tipos y color de colonias

Se contaron las colonias de acuerdo con el color, el resultado se reportó en UFC (Unidades formadoras de colonias) /100 mL

- Método Numero más probable SM 9223 B Ed. 22

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-60, siguiendo:

Los microorganismos se determinaron basados en la técnica del número más probable para coliformes totales y e. coli con la técnica del colilert, el cual detecta simultáneamente los coliformes totales y E. coli en el agua. Se basa en la tecnología del sustrato definido, así cuando los Coliformes totales metabolizan el indicador ONPG de nutrientes del Colilert, la

muestra toma una coloración amarilla y cuando E. coli metaboliza el indicador MUG de nutrientes del Colilert, la muestra además se torna fluorescente.

Materiales y Reactivos:

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| - Muestra de agua | - Quanti tray/2000 |
| - Micropipeta. | - Sellador |
| - Puntas azules para micropipeta | - Incubadora |
| - Kit de análisis colilert | - Cámara de fluorescencia |

Procedimiento

El procedimiento para la determinación de Coliformes Totales y E. Coli en la matriz de agua potable, consistió en tomar exactamente 100 ml de la muestra a temperatura ambiente, agitando suavemente la muestra 25 veces para homogenizarla y se añadió el contenido de una dosis de Colilert; se tapó y agitó vigorosamente hasta que se disolviera dicho contenido. Se vertió la mezcla de muestra/reactivo en un quanti tray/2000 pasando por el sellador, incubando a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ durante 24 horas, posteriormente se leyeron los resultados de acuerdo con el cuadro de interpretación de resultados, para esto se tiene un blíster (quanti tray/2000) con una referencia en la coloración del tono de amarillo el cual nos indica que una muestra es positiva. Se contaron el número de celdas grandes positivas y celdas pequeñas positivas, se llevó la muestra a la cámara de fluorescencia para observar la cantidad de celdas grandes y celdas pequeñas con fluorescencia, luego extrapolando la cantidad de celdas en la tabla de número más probable NMP, se obtuvo el resultado más probable.

- Identificación de estructuras microbianas

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-36, siguiendo:

Se realizó tinción de Gram o coloración de Gram el cual es un tipo de tinción diferencial empleado en microbiología para la visualización de bacterias, se utiliza tanto para poder referirse a la morfología celular bacteriana como para poder realizar una primera aproximación a la diferenciación bacteriana

Materiales y Reactivos

- Muestra con presencia de bacterias

- Láminas porta objetos
- Gradilla para colocar las láminas
- Asas
- Mechero

- Agua de chorro
- Violeta de genciana
- Lugol
- Alcohol acetona
- Safranina

Procedimiento

La coloración de Gram se realizó disponiendo la muestra sobre una lámina porta objetos, en breve se tomó el asa y se pasó sobre el mechero previamente para esterilizarlo, luego se tomó la colonia dispuesta en la caja petri y se esparció en el portaobjetos el cual se marcó previamente, se fijó con calor pasándola varias veces sobre el mechero dejando esta aproximadamente 5 segundos y se procedió a colorear:

Se cubrió totalmente la muestra con VIOLETA DE GENCIANA por 1 minuto y luego se lavó con agua de chorro, luego se cubrió con LUGOL y se dejó igualmente por 1 minuto, se lavó con abundante agua de chorro, después se procedió a lavar el exceso de colorante y se le adicionó ALCOHOL ACETANA por 15 segundos, y se lavó con abundante agua de chorro. Por último, se le adicionó SAFRANINA esta se dejó por 1 minuto y lavamos con agua de chorro y se dejó secar.

Luego de lo anteriormente mencionado, se llevó al microscopio depositando el portaobjetos en el carro, se pasó por los lentes 4x, 10x y 40x, enfocando previamente la muestra en cada uno de estos para luego pasar de lente. Luego se le adiciono una gota de aceite de inmersión para pasar al lente de 100x y en este se enfocó la muestra y se determinó presencia o ausencia de bacterias gram positivas o gram negativas.

- Cloro SM 4500 CI G

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-59, siguiendo:

En solución débilmente ácida el cloro libre reacciona con dipropil-p-fenilendiamina (DPD), dando un colorante violeta rojizo que se determina

Materiales y Reactivos

- Muestra de agua
- Clorímetro

- Celdas de vidrio con tapa rosca
- Papeletas del reactivo DPD

Procedimiento

Se recolecto la muestra y se procedió a tomar los 100 ml en la celda de medición limpia y seca, se le agrego la papeleta del reactivo, agitando vigorosamente hasta que se disolviera completamente. Se dejó en reposo 1 minuto (tiempo de reacción), luego se introdujo la celda en el clorímetro y se registró el resultado.

- pH SM 4500 H⁺ B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-29, siguiendo:

La medida del pH es uno de los análisis más importantes ya que todas las etapas del tratamiento del agua son dependientes del pH. A una temperatura dada la intensidad acida o carácter básico de una solución está dado por el pH o actividad del ion hidrogeno.

Equipos, materiales y reactivos:

Para las mediciones, se efectuó la determinación de pH directamente en el punto de muestreo. Cuando fue preciso extraer una muestra, se tomó un volumen mínimo de 100 ml en un envase de polietileno limpio y se determinó el pH de inmediato (máximo hasta 15 min).

- pH metro
- Electrodo
- Vasos de polietileno de 100 ml
- Soluciones de pH 7,00 y pH 4,00 trazables.
- Cloruro de Potasio 3.0M para la conservación del electrodo

Procedimiento

Se encendió el pH- metro, se retiró el electrodo de la disolución de conservación de KCl 3.0M y se lavó con agua desionizada. Se estableció el equilibrio entre el electrodo y la muestra agitándola para garantizar la homogeneización; Se agito lentamente para minimizar la incorporación de dióxido de carbono. Se presionó AR y posteriormente RUN/ENTER. Se registro en el formato del laboratorio.

- Color SM 2120 B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-23, siguiendo:

El color de un agua: es la propiedad óptica que consiste en modificar la composición espectral de la luz visible transmitida y puede estar asociado a englobar no solo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión.

Equipos, materiales y reactivos

- Espectrofotómetro

- Agua desionizada

- Celda de 50 mm

Procedimiento

Se usó la curva de calibración grabada en el espectrofotómetro, el código del método es el 32, se seleccionó en el espectrofotómetro el método de color, se realizó la corrección de turbiedad en el equipo. Se leyó la muestra en una celda de 50 mm a una longitud de onda de 445 nm o alternativamente usando la curva de calibración configurada en el equipo. Se registro en el formato del laboratorio.

- Turbiedad SM 2130 B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-09, siguiendo:

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos.

Equipos, Materiales y Reactivos

- Turbidímetro.

- Frasco lavador

- Celdas de vidrio con tapa rosca.

Procedimiento

Se encendió el equipo y se dejó estabilizar. Mientras se agitó cuidadosamente la muestra\Enjuagando la celda dos veces con la muestra para evitar errores por dilución. Se llenó cuidadosamente la celda, secándola y limpiándola de tal manera que no quedara

suciedad, ni motas en sus paredes externas. Se alineó la celda y esperó respuesta. Leímos la turbiedad de la muestra, al finalizar la lectura se registró el valor en el formato del laboratorio.

- Hierro (Kit Comercial)

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-49, siguiendo:

Los iones de hierro en medio amortiguado con tioglicolato, forman con un derivado de triazina un complejo violeta rojizo que se determina fotométricamente.

Equipos, materiales y reactivos

- Espectrofotómetro
- Celda de 10mm cuarzo
- Tubo de ensayo
- Reactivo Fe-1
- Pipeta de 5ml

Procedimiento

Se obtuvo 5.0 ml de la muestra tomada pipeteando en un tubo de ensayo limpio y seco. Añadiendo y mezclando del reactivo Fe-1 3 gotas. Se dejó en reposo 3 minutos (tiempo de reacción), luego introduciendo la muestra de medición en la cubeta y midiendo en el espectrofotómetro. Se registro el valor en el formato del laboratorio.

- Nitritos SM 4500 NO₂- B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-35, siguiendo:

Los nitritos son sales o ésteres del ácido nitroso (HNO₂): El nitrito puede entrar en un sistema de abastecimiento a través de su uso como inhibidor de corrosión en agua de proceso industrial.

Equipos, materiales y reactivos

- Espectrofotómetro
- Celda de vidrio de 1 cm de paso
- Erlenmeyer de 100ml
- de luz
- Pipeta de 2ml
- Reactivo color

Procedimiento

Se tomó 50,0 mL de muestra, adicionando 2 mL del reactivo de color y se mezcló, se esperó a que pasara 10 minutos de haber adicionado el reactivo de color. Se realizó medición espectrofotométrica verificando que la celda de vidrio de 1 cm estuviera perfectamente limpia, se agregó la muestra preparada a la celda y luego se leyó, se registró el valor obtenido en el formato del laboratorio.

- Sulfatos SM 4500 SO₄²⁻ E

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-28, siguiendo:

Las aguas de minas y los efluentes industriales contienen grandes cantidades de sulfatos provenientes de la oxidación de la pirita y del uso del ácido sulfúrico.

Equipos, Materiales y Reactivos

- Agitador magnético de velocidad de agitación constante. La velocidad debe mantenerse constante para cada grupo de muestras.

- Cronómetro.

- Balanza

- Erlenmeyer de 200ml

- Una pipeta graduada.

- Una probeta de 100 mL.

- Celda de cuarzo de 5 cm de paso

de luz

- Buffer A

- Cloruro de Bario

Procedimiento

Se tomó 100 mL de alícuota de las muestras, los cuales se encontraban a temperatura ambiente, se adicionó a cada muestra 20 mL de solución buffer A con pipeta volumétrica. Agitando la solución preparada en el ítem anterior, se permitió que se homogeneizara la solución. Se adicionó 0.3 g de cristales de BaCl₂*2H₂O y se cronometró inmediatamente por 60 segundos a velocidad constante. Se retiró el vaso que contiene la muestra del agitador magnético y se dejó en reposo durante 5 minutos. Se leyeron las concentraciones de las muestras en una celda de 5 cm de paso de luz. Se registraron los datos de concentración en el formato del laboratorio

- Cloruros SM 4500 Cl⁻ B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-22, siguiendo:

El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 mg/L de NaCl.

Equipos y Materiales

- Un titrete
- Pipeta de 1 ml.
- 2 Erlenmeyer de 200ml
- Nitrato de plata
- Cromato de potasio

Procedimiento

En un erlenmeyer de 200 ml se adiciono 100 mL agua desionizada y 1 mL de solución indicadora de cromato de potasio. Se tituló con la solución patrón de nitrato de plata hasta el vire de amarillo a naranja rojizo, manteniendo un criterio constante en el punto final, se registró el volumen gastado, como volumen gastado en la titulación del blanco en la bitácora de laboratorio para el registro de las determinaciones de Cloruros.

En un erlenmeyer de 200 mL se transfirió 100 mL de muestra, y se continuo como se describió anteriormente. Se registró el volumen gastado en la titulación de la muestra en la bitácora de laboratorio para el registro de las determinaciones de Cloruros.

- Dureza total SM 2340 C

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-25, siguiendo:

La dureza en el agua puede estar en el rango de cero a cientos miligramos por litro, dependiendo de la fuente y tratamiento del agua.

Interpretación de la Dureza

Equipos, Materiales y Reactivos

- Titulador Automático Titrette
- Erlenmeyer de 250 mL
- Pipeta de 1 mL
- Mascara con filtros para vapores ácidos y vapores de amoniaco
- Buffer de amoniaco
- Negro de eriocromo

- EDTA

Procedimiento

Se midió una alícuota de 100ml de muestra, se adicionó un mililitro de buffer de amoníaco, se adicionó 3 gotas de negro de eriocromo el cual lleva a un viraje de color azul, luego se tituló con EDTA. Se registro el volumen de EDTA gastado durante la titulación en el formato del laboratorio para el registro de las determinaciones de dureza.

- Alcalinidad total SM 2320 B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-32, siguiendo:

La alcalinidad está definida como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables.

Equipos, materiales y reactivos:

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| - Bureta automática digital Titrette. | - Indicador mixto |
| - Erlenmeyer de 250 mL | - Ácido sulfúrico |

Procedimiento:

Se tomó 250 ml de la muestra, se realizó una adición de 10 gotas de indicador mixto y se tituló con ácido sulfúrico hasta el vire del indicador mixto (de azul a rosa). Se registró el volumen gastado de ácido sulfúrico estándar en la bitácora de laboratorio para el registro de las determinaciones de alcalinidad.

- Conductividad SM 2510 B

Instructivo con código interno de laboratorio IN15-AN-61, siguiendo:

La conductividad eléctrica del agua es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica.

Materiales y Reactivos:

- Conductímetro
- Muestra de agua

- Beaker de 100ml

Procedimiento

Se presionó On/Off en el conductímetro, se verificó el equipo con el estándar de conductividad y se registró. Se presionó la tecla <M> hasta que en la indicación del estado actual apareciera 0,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, luego se transfirió un volumen de muestra de aproximadamente 100 mL en un beaker de polietileno limpio y seco. Se enjuago el electrodo completamente con agua desionizada. Sumergiendo el electrodo en la muestra asegurando la sumersión completa de la parte sensible del electrodo en la muestra. Posterior a esto, se presionó AR y luego RUN/ENTER. Se establecido el equilibrio entre el electrodo y la muestra agitándola para garantizar la homogeneización, luego se registró los valores del conductímetro en la hoja de trabajo correspondiente para el registro de análisis

Tabla suplementaria 1

ACUEDUCTOS	PARAMETROS										
	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH	Cloro (mg/L)	Hierro (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Conductividad (us/cm)
San Miguel	0,97	9,6	7,307	1,9	<0,05	<0,01	6	<1,0	15,5	11,5	37,8
San Gerardo	0,72	7,9	*6,18	0,51	<0,05	<0,01	8,15	<1,0	6,6	8,4	16
Romeral - La Miel	*3,83	*22,6	6,83	*0	*0,32	<0,01	4,9	<1,0	4,9	5,9	21,7
Veramiel	1,83	*21,5	7,31	1,37	0,45	<0,01	11,95	1,5	20,9	21,3	69
El Capiro	0,14	9,4	6,8	0,57	0,06	<0,01	7,45	<1,0	20,2	19,1	42,9
San Nicolas Etapa 1	1	9,74	6,94	0,3	0,14	<0,01	3,05	<1,0	12,7	9,1	18,6
San Nicolas Etapa 2	0,88	10,8	7,14	0,8	0,1	<0,01	6,9	<1,0	14,9	9,5	28,5
San Nicolas Etapa 3	1,57	11,1	6,84	0,3	<0,05	<0,01	7,35	<1,0	13	6,7	25,3
La Loma	1,92	7,9	6,72	*0	0,08	<0,01	6,6	<1,0	10,7	8,9	25
San Rafael - El Salto	1,39	8,8	7,02	*0	0,05	<0,01	7,85	<1,0	29,7	13,7	19,2

Tabla suplementaria 2

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Fluoruros	1
COT	3
Total	100

Tabla suplementaria 3

Acueducto	Turbiedad	Color	pH	Coliformes Totales	Escherichia coli	Hierro	Nitritos	Cloruros	Sulfatos	Dureza	Alcalinidad	Conductividad
ACUEDUCTO PIEDRAS EL SALVIO	1,71	13,8	7,35	1580	<1	<0,05	<0,01	19,29	<1,0	24,1	20,3	110,5
PERFUMERIA	4,7	20,4	6,81	1956	98	0,26	<0,01	9,3	<1,0	28,5	27,2	53,2
SAN JOSE - LA PALMA	7,37	17,4	6,61	7270	410	0,11	<0,01	3,85	<1,0	9,5	9,9	23
SAN JOSE - CESTILLAL	1,97	12,7	6,78	2010	<1	0,19	<0,01	3,35	<1,0	6,2	9,6	20,6
ALTA VISTA - EL MORAL	0,93	12,4	6,754	1725	216	0,27	<0,01	3,85	<1,0	15	6	14,5
AGUAS DEL ALTO	0,95	4,4	6,91	2014	41	0,3	<0,01	11,05	<1,0	10,1	5,9	12,8
HIGUERON	2,7	10,4	6,5	15531	2014	<0,05	0,05	16,44	1,17	29,4	23,9	102,6
COLMENAS	8,08	19,8	6,6	980	100	2,67	<0,01	4,79	1,51	9	7,9	21,4
YOLOMBO	10,3	8,1	7,17	6440	630	0,14	<0,01	4,15	<1,0	26,7	23,3	70
PIEDRAS	1,4	3,7	7,29	750	<1,0	<0,05	<0,01	6,75	<1,0	29,4	28,7	75,2
ALTA VISTA	17,1	9,8	6,867	4880	<1,0	1,75	<0,01	2,65	2,4	13,2	14,1	37,6

Tabla suplementaria 4

ACUEDUCTO	CONCESION OTORGADA (m ³ /d)	USUARIOS	CONSUMO POR USUARIO (4 personas) (m ³ /mes)	PERDIDAS (m ³ /mes)	\$ EN PERDIDA	PAGO POR USUARIO	\$/m ³	CARGO FIJO	\$ RECOLECTADO EN CADA ACUEDUCTO
SAN GERARDO	855,36	22	30,0	195,36	\$ 256.945,68	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 1.058.112,00
VERAMIEL	4639,68	117	30,0	1129,68	\$ 1.436.991,84	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 5.627.232,00
EL CAPIRO	1220,57	53	30,0	-369,43	-\$ 456.380,55	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 2.549.088,00
SAN MIGUEL	5287,68	80	30,0	2887,68	\$ 3.657.345,84	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 3.847.680,00
SAN NICOLAS	6788,45	327	30,0	-3021,55	-\$ 3.806.014,18	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 15.727.392,00
ROMERAL - LA MIEL	-	160	30,0	-	-	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 7.695.360,00
LA LOMA	-	80	30,0	-	-	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 3.847.680,00
SALTO	1744,42	36	30,0	664,42	\$ 849.363,41	\$ 48.096,00	\$ 1.263,00	\$ 10.206,00	\$ 1.731.456,00