



**DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL
CORREGIMIENTO DE VILLA ROSA – MUNICIPIO DE REPELÓN, ATLÁNTICO.**

**DANIELA HERNÁNDEZ SAIN
XIOMARA QUINTERO GÁMEZ**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

Director

RUBEN DARÍO CANTERO RODELO

Co Directora

ANA CAROLINA TORREGROZA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

BARRANQUILLA – ATLÁNTICO

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 2017

DEDICATORIA

*A Dios por acompañarme en mi camino,
A mi madre por ser mi luz, mi guía, mi apoyo, por su amor
incondicional, por su lucha y por ser el pilar de mi vida.*

A mi padre y hermanos por su cariño y amor.

A mi familia, por haber impulsado mis sueños.

A mis amigos por sus buenos deseos y apoyo.

Xiomara Quintero G.

*A Dios por llenarme de voluntad, entereza, confianza
y hacer de cada día una oportunidad para superarme,*

A mis padres por darme el valor de seguir adelante,

Confiar en mí y brindarme su apoyo incondicional.

*A mi hermana, sobrino, abuelos y tíos que siempre estuvieron
a mi lado impulsándome a continuar en este proceso.*

A Toby por su fiel compañía.

*A mis amigos, por apoyarme a emprender mi sueño
y compartir buenos momentos.*

Daniela Hernández Saín.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecemos primordialmente a Dios por permitirnos terminar con éxito esta etapa de nuestras vidas, al ingeniero Rubén Cantero, por permitir realizar el presente trabajo de grado bajo su dirección. Por su compromiso, apoyo, confianza, guía, comprensión y aporte incondicional para el desarrollo de este proyecto de grado.

A todos y a cada uno de los profesores que hacen parte del programa de Ingeniería Ambiental, los cuales fueron fundamentales en nuestra formación académica, brindándonos la oportunidad de obtener amplios conocimientos en todas las áreas que comprenden esta ingeniería. Al personal del Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales CITA y a estudiantes de la Universidad de la Costa por su colaboración y apoyo.

Finalmente, al ingeniero Jorge Cárdenas, y a los habitantes del corregimiento de Villa Rosa por la excelente atención y colaboración prestada durante los muestreos realizados.

Tabla de Contenido

Resumen.....	6
1. Introducción.....	8
2. Planteamiento del Problema	10
3. Objetivos.....	13
3.1. Objetivo general.....	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. Marco Referencial.....	14
4.1. Aguas subterráneas	14
4.2. Agua Potable.....	14
4.2.1. Calidad del Agua.....	16
4.2.1.1. Parámetros analizados para determinar la calidad del agua.....	16
4.2.1.1.1. Cloro Residual.....	17
4.2.1.1.2. pH.....	17
4.2.1.1.3. Turbiedad	17
4.2.1.1.4. Parámetros Organolépticos	18
4.2.1.1.5. Parámetros microbiológicos.....	18
4.2.2. Implicancias de salud por agentes patógenos en el agua	18
4.2.3. Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCA)	20

4.3.	Estado del Arte	21
4.4.	Marco Legal.....	25
5.	Diseño metodológico	27
5.1.	Área de estudio	27
5.2.	Fase de Campo.....	28
5.3.	Muestras de agua	30
5.4.	Etapa experimental	31
5.4.1.	Análisis microbiológico	32
5.5.	Análisis de los datos obtenidos.....	32
5.5.1.	Tratamiento de datos.	32
5.5.2.	Aplicación del IRCA (Índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano).....	33
5.6.	Posibles Factores que pueden afectar la calidad de aguas subterráneas para consumo humano.....	35
5.6.1.	Compuestos no deseados	36
5.6.2.	Bacterias indicadoras de contaminación fecal	38
5.7.	Medidas correctivas a aplicarse según los posibles factores identificados en el estudio a realizar.....	39
6.	Resultados y análisis.....	40
6.1.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes al primer muestreo...	40

6.2. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes al segundo muestreo.....	47
6.3. Encuesta a consumidores	80
6.4. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano de las muestras analizadas.....	89
6.5. Principales factores que pueden afectar la calidad del agua de consumo en el corregimiento de Villa Rosa	92
6.6. Medidas correctivas	93
7. Conclusión.....	102
8. Recomendaciones	104
Anexos	105
Anexo 1. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	105
Anexo 2. Resultados obtenidos de parámetros Fisicoquímicos en Muestreo Inicial.....	111
Anexo 3. Formato de muestreo.....	116
Anexo 4. Formato de encuesta.....	117
Referencias.....	122

Lista de Tablas

Tabla 1 Descripción de equipos utilizados	31
Tabla 2 Códigos de metodología del standard Methods	31
Tabla 3 Puntaje de Riesgo. Resolución 2115/07.....	34
Tabla 4 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra.	35
Tabla 5 Propuestas para el tratamiento de agua de consumo según factores influentes.....	39
Tabla 6 Resultados obtenidos del muestreo realizado. Parámetros microbiológicos: coliformes totales (UFC/100cm ³) y Escherichia coli.....	78
Tabla 7 Resultados de parámetros analizados correspondientes al primer muestreo (muestras 1 - 14).	105
Tabla 8 Resultados de parámetros analizados correspondientes al primer muestreo (muestras 5- 28).	106
Tabla 9 Resultados de parámetros analizados correspondientes al primer muestreo (muestras 29 - 34).....	107
Tabla 10 Resultados de parámetros analizados correspondientes al segundo muestreo (pH, Conductividad, Temperatura, sólidos totales disueltos y salinidad).....	108
Tabla 11 Resultados de parámetros analizados correspondientes al segundo muestreo (Turbiedad, Color, Alcalinidad, Cloruros y Dureza total).	109
Tabla 12 Resultados de parámetros analizados correspondientes al segundo muestreo (Cloro residual, fosfatos, Magnesio, Sulfatos, Nitratos y Nitritos).	110

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Localización geográfica del área de estudio sin escala.	28
Ilustración 2. Localización de los puntos del Muestreo Inicial.	29
Ilustración 3. Localización de los puntos del segundo Muestreo.	30
Ilustración 4. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.	41
Ilustración 5. Resultados obtenidos de alcalinidad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.	43
Ilustración 6. Resultados obtenidos de cloro residual con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.	44
Ilustración 7. Resultados obtenidos de coliformes totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.	46
Ilustración 8. Resultados obtenidos de coliformes fecales con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.	47
Ilustración 9. Resultados obtenidos de pH con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	49
Ilustración 10. Resultados obtenidos de pH con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	50
Ilustración 11. Resultados obtenidos de conductividad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	51
Ilustración 12. Resultados obtenidos de conductividad con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	52

Ilustración 13. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	53
Ilustración 14. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.....	54
Ilustración 15. Resultados obtenidos de alcalinidad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	56
Ilustración 16. Resultados obtenidos de alcalinidad con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.....	57
Ilustración 17. Resultados obtenidos de la dureza total con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado	58
Ilustración 18. Resultados obtenidos de la dureza total con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.....	59
Ilustración 19. Resultados obtenidos de cloro residual con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	60
Ilustración 20. Resultados obtenidos de cloro residual con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.....	61
Ilustración 21. Resultados obtenidos de fosfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	63
Ilustración 22. Resultados obtenidos de fosfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.....	64
Ilustración 23. Resultados obtenidos de magnesio con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	66

Ilustración 24. Resultados obtenidos de sulfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	68
Ilustración 25. Resultados obtenidos de sulfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	68
Ilustración 26. Resultados obtenidos de nitritos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	70
Ilustración 27. Resultados obtenidos de nitritos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	70
Ilustración 28. Resultados obtenidos de nitratos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	72
Ilustración 29. Resultados obtenidos de nitratos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	72
Ilustración 30. Resultados obtenidos de cloruros con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	74
Ilustración 31. Resultados obtenidos de cloruros con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	74
Ilustración 32. Resultados obtenidos de coliformes totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	76
Ilustración 33. Resultados obtenidos de coliformes totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	76
Ilustración 34. Resultados obtenidos de Escherichia coli con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	79

Ilustración 35. Resultados obtenidos de Escherichia Coli totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	79
Ilustración 36. Nivel de riesgo (IRCA) con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.	90
Ilustración 37. Nivel de riesgo (IRCA) con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.	90
Ilustración 38. Resultados obtenidos de pH en Muestreo Inicial.	111
Ilustración 39. Resultados obtenidos de conductividad en Muestreo Inicial.	112
Ilustración 40. Resultados obtenidos de temperatura en Muestreo Inicial.	113
Ilustración 41. Resultados obtenidos de sólidos disueltos totales en Muestreo Inicial.	114
Ilustración 42. Resultados obtenidos de la dureza total en Muestreo Inicial.	115
Ilustración 43. Punto de Captación y cloración del agua para consumo, Villa Rosa - Repelón.	119
Ilustración 44. Equipos para Dosificación de Cloro gaseoso.	119
Ilustración 45. Equipos para Dosificación de Cloro gaseoso.	119
Ilustración 46. Equipos para Dosificación de Cloro gaseoso.	119
Ilustración 47. Resultados microbiológicos obtenidos en el segundo muestreo.	120
Ilustración 48. Resultados microbiológicos obtenidos en el segundo muestreo.	120
Ilustración 49. Resultados microbiológicos obtenidos en el segundo muestreo.	121

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Resultados obtenidos para turbiedad (muestreo inicial).....	41
Gráfica 2. Resultados de la alcalinidad para el primer muestreo.....	42
Gráfica 3. Representación de los datos obtenidos para Cloro residual (muestreo inicial).	44
Gráfica 4. Resultados obtenidos de pH.....	48
Gráfica 5. Resultados obtenidos de la conductividad.....	51
Gráfica 6. Resultados obtenidos de la turbiedad.....	53
Gráfica 7. Resultados obtenidos para color.	55
Gráfica 8. Resultados obtenidos para alcalinidad.....	56
Gráfica 9. Resultados obtenidos de la dureza total.....	58
Gráfica 10. Resultados obtenidos de cloro residual libre.	60
Gráfica 11. Resultados obtenidos para fosfatos.....	62
Gráfica 12. Resultados obtenidos para magnesio.....	65
Gráfica 13. Resultados obtenidos para sulfatos.....	67
Gráfica 14. Resultados obtenidos para nitritos.....	69
Gráfica 15. Resultados obtenidos para nitratos.	71
Gráfica 16. Representación de los resultados obtenidos para cloruros.....	73
Gráfica 17. Muestra utilizada para encuesta de percepción.....	80
Gráfica 18. ¿El agua que consume presenta algún olor?	81
Gráfica 19. ¿El agua que consume tiene sabor?	83
Gráfica 20. Si la pregunta anterior es afirmativa, diga ¿Cuál?	83
Gráfica 21. ¿Antes del consumo de agua aplica algún tipo de tratamiento?	84
Gráfica 22. Si la respuesta es afirmativa, diga ¿cuál?	84

Gráfica 23. ¿Considera que ha sufrido alguna sintomatología por consumo de agua?	85
Gráfica 24. ¿De dónde obtiene la mayor parte del agua que consume?	86
Gráfica 25. ¿Cómo califica la calidad de agua que se brinda actualmente al corregimiento de Villa Rosa?	86
Gráfica 26. ¿Tiene usted conocimiento sobre cuál o cuáles son las enfermedades más comunes en la población?	87
Gráfica 27. ¿Cuál?	88
Gráfica 28 Puntaje de riesgo obtenido por las muestras analizadas del segundo muestreo.	89

Resumen

El corregimiento de Villa Rosa municipio de Repelón, fue el área de estudio escogida para la realización del presente trabajo de investigación. La finalidad del mismo consiste en establecer el índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano (IRCA) y el estado del servicio y acueducto. La investigación inició con un primer muestreo que permitiese identificar el estado en el que se encontraba el agua que utilizaba el corregimiento para consumo y determinar si el mismo resultaría beneficioso para la comunidad. Con las muestras recolectadas se realizó una caracterización físico - química y microbiológica (pH, conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, salinidad turbiedad, alcalinidad, dureza, cloro residual, coliformes totales y coliformes fecales) de 33 puntos escogidos de manera aleatoria, tratando de cubrir toda el área de estudio. Cabe resaltar, que dicho muestreo se realizó con la colaboración de un grupo de estudiantes de ingeniería ambiental de la Universidad de la Costa. El muestreo anteriormente descrito fue desarrollado en el período 2016 – 1.

Una vez obtenido los hallazgos del primer muestreo, se organizó un segundo muestreo determinando los puntos de mayor relevancia. Dentro de los que destacaron el punto de captación y cloración, colegios, tanque de almacenamientos y los puntos representativos para cada sector. Una vez obtenidos los resultados se realizó la comparación entre los mismos del primer y segundo muestreo, confirmando el diagnóstico inicial.

Calculado el índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano se procedió a elaborar mapas que representaran el índice de riesgo de los parámetros

relevantes. El segundo muestreo se realizó en el período 2016 – 2. Una vez evaluado los resultados, se plantearon las recomendaciones y acciones de mejora con el fin de brindar posibles soluciones para contrarrestar las falencias que presentaron en la relación a la calidad de agua del corregimiento.

El estudio reveló evidencia de la existencia de contaminación en el agua desde el punto de captación. Por lo que los datos obtenidos sirven de referencia en investigaciones futuras.

1. Introducción

El agua ha estado siempre presente en todas las actividades del hombre, siendo parte fundamental en el desarrollo y el recorrido hacia la civilización, volviéndose indispensable para su supervivencia; lo cual ha llevado a desarrollar distintas formas de aprovechamiento (Defensoría del Pueblo, 2005).

La descripción y evaluación de la calidad de las aguas es una materia compleja, no exenta de controversias en cuanto a la capacidad de las diferentes metodologías para informar sobre el carácter cualitativo del recurso hídrico. El problema reside fundamentalmente en la definición que se adopte del concepto calidad del agua, para el que existen distintas interpretaciones.

Así, se puede entender la calidad, desde un punto de vista funcional, como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella. O desde un punto de vista ambiental, como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumplan unos determinados objetivos de calidad (calidad ecológica) o como el conjunto de características físicas (Ministerio de medio ambiente, 1998).

Actualmente, aún existen poblaciones que presentan algunas dificultades para acceder al recurso, acompañado de la mala calidad del mismo, lo cual conlleva a una afectación directa a la salud de sus consumidores (Defensoría del Pueblo, 2005).

Por lo anterior, es primordial llevar a cabo acciones encaminadas a la búsqueda de alternativas para el mejoramiento en la calidad del agua en todas las poblaciones. Es por

esto, que el presente proyecto de investigación llamado “Diagnóstico de calidad del agua para consumo humano en el corregimiento de Villa Rosa – Repelón, Atlántico”, es un estudio que pretende conocer el estado actual del agua de dicho corregimiento; y de esta forma plantear alternativas de solución a las posibles falencias que se presenten en cuanto a la prestación del servicio de agua potable, que afecten directamente a la comunidad en cuestión.

2. Planteamiento del Problema

La probabilidad de contraer enfermedades al consumir agua se mide a través del índice de riesgo para el consumo de agua potable (IRCA). Esta medición señala que la categoría de “inviabile sanitariamente” es la que representa mayor amenaza, seguida por alto, medio, bajo y sin riesgo.

Un estudio realizado en el 2011 por la defensoría del pueblo, demostró que en Colombia aún quedaban retos para lograr que los colombianos beban agua de buena calidad. En 322 municipios existía riesgo alto de contraer enfermedades. En 2010, la cifra era de 283. Además, aunque 282 municipios no corrían riesgo en 2010, para 2011, 32 bajaron su calidad, dejando con agua potable a solo 250 de 1.070 municipios de los 1.122 del país.

En total, 521 municipios recibieron agua sin ningún tratamiento en 2011, lo que se convirtió en un cuestionamiento más a los resultados de los planes departamentales de aguas, que se quedaron cortos en sus propósitos de saneamiento básico, como lo reconoció el Ministerio de Vivienda.

Según el Instituto Nacional de Salud, entre 2007 y 2011, el 58% del agua distribuida en el país no representó un riesgo para la salud. Sin embargo aclara que el 30% registró el riesgo más alto. Por tanto, corrían el riesgo de contraer enfermedades, tales como hepatitis A, cólera, fiebre tifoidea y paratifoidea, y en gran medida enfermedades diarreicas agudas. Todas consideradas de salud pública (Londoño, 2012).

Dando un enfoque a dicha problemática en la escala local, se puede observar que actualmente en el departamento del atlántico aún persisten corregimientos y/o municipios que presentan problemáticas ya sea con el abastecimiento de agua, tratamientos ineficientes y manejos inadecuados del recurso, lo que refleja un evidente atraso en el desarrollo en materia de acueductos rurales.

El corregimiento de Villa Rosa, municipio de Repelón - Atlántico no ha sido ajeno a esta problemática. Para el año 2016 el acueducto del corregimiento contaba como punto de abastecimiento un pozo subterráneo y presentaba como único proceso de tratamiento la desinfección por cloración. El estado de la red de distribución no permite que el servicio sea continuo, por lo que debe ser conectado por sectores cada día por medio, siendo las instituciones educativas las únicas en contar con servicio ininterrumpido; La situación anteriormente mencionada obliga a los usuarios a almacenar agua en sus viviendas bajo condiciones regulares. La población no cuenta con servicio de alcantarillado, en su lugar la comunidad utiliza pozas sépticas para disponer sus aguas residuales doméstica. Para finalizar, no existe un catastro de redes por lo que no se garantiza un mantenimiento y control eficiente sobre el mismo.

Todos estos factores en mención influyen de manera significativa en la calidad del recurso que será finalmente destinado para consumo humano, poniendo en riesgo a los consumidores y afectando su calidad de vida.

Una vez analizadas las situaciones anteriores, como futuras ingenieras ambientales empeñadas en aplicar los conocimientos adquiridos brindando soluciones sociales y ambientales, iniciamos una búsqueda enfocada en encontrar un objetivo. ¿Qué acciones

deben ponerse en práctica para asegurar que el agua que llegue a las viviendas del corregimiento de Villa Rosa – Repelón, Atlántico no represente riesgo para la salud de sus consumidores?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de consumo humano en el corregimiento de Villa Rosa - Repelón, Atlántico.

3.2. Objetivos específicos

- Analizar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en diferentes puntos de la red de suministro de agua potable del corregimiento de Villa Rosa.
- Identificar los principales factores que afectan la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en la zona.
- Proponer medidas correctivas para el sistema de abastecimiento del corregimiento y pautas para la gestión sustentable del recurso a escala local.

4. Marco Referencial

4.1. Aguas subterráneas

El agua subterránea es el agua que se filtra a través de las grietas y/o poros de las rocas y sedimentos que se encuentran debajo de la superficie de la tierra que se van acumulando en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo (Veléz Otalváro, Ortiz Pimienta, & Vargas Quintero, 2011) Por su ubicación en el subsuelo, están protegidas de forma natural por las capas de rocas, grava y arena que funcionan como filtros naturales que atrapan contaminantes (Ledezma & Martinez, 2010). Es decir, que poseen un mayor grado de protección a la contaminación directa que las aguas superficiales; sin embargo, cuando se produce su contaminación, debido a minerales encontrados de forma natural en el suelo y por otras sustancias producidas por las actividades humanas; este proceso, tiene un efecto que resulta difícilmente reversible (G. & V., 2006).

El agua subterránea es un recurso vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y más que todo en el rural, y juega un papel fundamental pero casi siempre poco apreciado en el bienestar humano y de los ecosistemas. A escala mundial, los recursos hídricos subterráneos que pueden ser utilizables están experimentando una creciente amenaza de contaminación, por lo que esto repercute directamente en el uso posterior que se le da al agua, principalmente para consumo humano (Foster, et. al, 2007).

4.2. Agua Potable

El agua es un recurso esencial para la vida; por lo cual todas las personas deben tener un suministro adecuado acorde a sus necesidades, teniendo en cuenta que la calidad de ésta

sea óptima (OMS, 2006).

La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Se debe realizar el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible (OMS, 2006).

Existen diversos factores que influyen en la calidad del agua que consume una población. Entre éstos se encuentran: la presencia o ausencia de fuentes de abastecimiento naturales de agua; la infraestructura de redes de almacenamiento y distribución de agua; los aspectos culturales y socioeconómicos que condicionan la aceptación o rechazo a ciertas formas de abastecimiento y potabilización de agua y, por último, factores políticos que afectan la normatividad relativa a la inversión en el desarrollo y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua potable (Pérez, Morales, & Sánchez, 2000).

Sin embargo, es fundamental contar con un agua de buena calidad para su uso y/o consumo humano y de esta manera prevenir posibles afectaciones principalmente a la salud de la población, por lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas y bacteriológicas de acuerdo con leyes y normas establecidas (Secretaría de Salud Mexicana, 2000).

Con el fin de asegurar que se brinda un agua de buena calidad hacia la población, existen diferentes métodos de análisis y evaluación para conocer si los procesos de tratamiento y potabilización aplicados al agua son adecuados (Secretaría de Salud Mexicana, 2000).

4.2.1. Calidad del Agua

La calidad de diferentes tipos de agua se puede valorar a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal.

Los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas; mientras que los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco, Pérez, Gonzáles, Rodríguez, & Alfayate, 2005).

La ventaja de los métodos físico-químicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en el agua; además, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso (N. E. SAMBONI, 2007).

4.2.1.1. Parámetros analizados para determinar la calidad del agua

Existen diferentes métodos de análisis para determinar el nivel de contaminación del agua. Estos análisis se pueden realizar a nivel profesional e institucional, así como a nivel comunitario o casero. Dentro de los análisis de parámetros más comunes encontramos:

4.2.1.1.1. Cloro Residual

La desinfección de los abastecimientos de agua potable constituye una barrera importante contra las enfermedades de transmisión hídrica. Aunque se puede utilizar diversos desinfectantes, el cloro es más empleado en las comunidades rurales.

El monitoreo para determinar el cloro libre residual debe realizarse inmediatamente después de tomada la muestra. Se recomienda hacer el análisis cada 15 días, en tubos o plumas ubicados en la salida del tanque de almacenamiento y en las viviendas ubicadas de primeras, en el centro y en el último lugar de la red de distribución (Ledezma & Martinez, 2010).

4.2.1.1.2. pH

Es primordial medir el pH o nivel de acidez del agua, al mismo tiempo que el cloro residual ya que la eficacia de la desinfección del cloro depende en alto grado del pH. Cuando el pH pasa de 8.0, la desinfección es menos eficaz. Para medir el pH se pueden realizar pruebas sencillas in situ. También se puede utilizar el comparador de colores, según instrucciones del fabricante (Ledezma & Martinez, 2010).

4.2.1.1.3. Turbiedad

Es importante porque influye en la aceptación del agua por parte de la población, así como en la selección y eficiencia de la desinfección con cloro. La turbiedad protege a los microorganismos, además de que puede estimular el desarrollo de bacterias (Ledezma & Martinez, 2010).

4.2.1.1.4. Parámetros Organolépticos

Son las características del agua que se pueden detectar mediante los sentidos; el color, el sabor y el olor. Un cambio en ellas puede provocar el rechazo. La medición de estos parámetros es sencilla y su vigilancia cualitativa es poca costosa (Ledezma & Martinez, 2010).

4.2.1.1.5. Parámetros microbiológicos

Los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos, de animales al hombre, entre otras rutas (Pulido, Navia, & Sandra Mónica Estupiñán Torres, 2005).

4.2.2. Implicancias de salud por agentes patógenos en el agua

Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen una problemática mundial que demanda un urgente y estricto control mediante la implementación de medidas de protección ambiental a fin de evitar el incremento de la prevalencia de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua. En la bibliografía especializada se han reportado numerosos casos de enfermedades relacionadas con la calidad del agua que se presentaron en diversos países del mundo como consecuencia del cambio en el tratamiento de

acondicionamiento del agua o por la pérdida de la integridad de la red de distribución de agua (OMS, 1995).

Entre los principales casos de transmisión de enfermedades relacionadas con la calidad del agua de consumo humano se encuentra el que se presentó en abril de 1993, en la ciudad de Milwaukee, Wisconsin EE. UU., donde un brote de *Cryptosporidium* transmitido por el agua afectó aproximadamente a 403.000 personas, manifestándose con diarreas, náuseas y calambres estomacales. De igual manera, entre el 15 de diciembre de 1989 al 20 de enero de 1990, la comunidad agrícola de Cabaol en Missouri se vio afectada por el *E.coli* hemorrágico del serotipo 0157:H7 ocasionando cuatro casos fatales, 32 hospitalizaciones y 243 casos de diarreas (Geldreich, et. al, 1992). En este último caso, una de las hipótesis que presentaba más refería que contaminación del agua se debió a los reemplazos de medidores y a las roturas de la red de distribución que se produjeron poco antes de que se manifestaran los primeros casos de la enfermedad.

Otros brotes notificados fueron el de *Salmonella* transmitida a través del agua subterránea no tratadas o por aguas superficiales crudas y aguas desinfectadas deficientemente tratadas. El brote de *Salmonella* *tiphymurium* en Gideon, Missouri fue excepcional en el sentido de que las aguas subterráneas no tratadas eran satisfactorias, pero que durante su almacenamiento fue contaminado por las heces de las palomas que vivían en su interior. Este brote afectó a más de 600 personas de los cuales 15 fueron hospitalizados y se confirmaron cinco muertes (OPS , 1996).

Otro de los casos fue la propagación del cólera en América Latina en 1991, que fue atribuido a la falta de adecuados servicios de abastecimiento de agua y saneamiento, así como a la falta de medidas de control ambiental.

Por lo tanto, la meta de las normas de calidad del agua de consumo humano es la eliminación o reducción de los constituyentes del agua que afectan de una manera u otra el bienestar de la comunidad. En resumen, estas normas están destinadas a asegurar que los consumidores sean abastecidos con agua libre y exenta de todo peligro, daño o riesgo a la salud (Vargas, Rojas, & Joselis).

4.2.3. Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCA)

Independientemente del tipo de variables usadas en el monitoreo de una fuente, siempre se genera un gran número de datos, que requieren de un tratamiento e interpretación. Se deben interpretar los resultados de un monitoreo de tal forma que permitan resolver los diferentes aspectos que afectan la calidad del agua (N. E. SAMBONI, 2007).

Existen diferentes herramientas de valoración e interpretación de los resultados de un monitoreo, que involucran más de una variable y el uso correcto de estos permite utilizarlos para la evaluación de la calidad de agua para consumo.

Dentro de estas herramientas, se encuentra el Índice de Riesgo de la calidad de agua para consumo humano (IRCA), que es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano (Ministerio De Salud y Protección Social-Subdirección de Salud Ambiental, 2014).

Dicho indicador, es el resultado de asignar el puntaje de Riesgo contemplado en la Resolución No. 2115 de 2007 a las características que no cumplan los valores aceptables en esta. De acuerdo con los resultados obtenidos, existen diferentes niveles de riesgo.

Cuando el puntaje resultante está entre 0 y 5% el agua distribuida es apta para consumo humano y se califica en el nivel *Sin Riesgo*; cuando el IRCA está entre 5.1 y 14% ya no es apta para consumo humano, pero califica con nivel de *riesgo Bajo*; entre 14.1 y 35% califica con nivel de *riesgo Medio* y no es apta para consumo humano; cuando el IRCA clasifica entre 35.1 y 80% el nivel de riesgo es *Alto* y entre 80.1 y 100% el agua distribuida es *Inviabile Sanitariamente* (Ministerio De Salud y Protección Social-Subdirección de Salud Ambiental, 2014).

Cuando el IRCA indica que el agua no es apta para consumo, la Resolución No. 2115/2007 establece y recomienda implementar acciones para su mejora (Ministerio De Salud y Protección Social-Subdirección de Salud Ambiental, 2014).

4.3. Estado del Arte

Los trabajos realizados con respecto a la evaluación de la calidad del agua han empleado diversas técnicas que buscan analizar de manera completa y eficiente la evaluación a través de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para las evaluaciones de calidad de agua, diferentes organizaciones han estado involucradas en el control del recurso hídrico mediante el uso histórico y de manera regular de índices fisicoquímicos (N. E. SAMBONI, 2007).

A pesar de que existen diversos métodos para evaluar la calidad del agua, en distintas partes del mundo es difícil acceder al agua potable. Estudios realizados, en algunos países de América Latina, reportan que el 68% de las personas refieren que los ríos son su fuente primaria para el abastecimiento del agua en sus hogares y que el 60% de la población la consume sin tratarla (Karen, Kara, Alan, & Joseph, 2012).

Entre las poblaciones afectadas por el acceso al agua potable, las comunidades rurales presentan mayor probabilidad de padecer enfermedades entéricas, debido a que no tienen en muchas ocasiones acceso a fuentes de agua potable, poca infraestructura de saneamiento por limitación en recursos financieros, desnutrición, factores ambientales, poca percepción y comprensión de las prácticas de higiene, entre otros (Amaya & Estrada, 2013).

En 2010, un estudio realizado reportó que 884 millones de personas en el mundo carecen de acceso a abastecimiento de agua, por lo que obtienen de lagos, ríos, pozos, manantiales no protegidos y altamente contaminados el agua para su consumo. La mayoría de estas personas residen en zonas rurales; las poblaciones cuentan con cantidad suficiente del recurso hídrico, pero con condiciones de calidad deficientes (Rosa & Clasen, 2010). Una alternativa planteada en el estudio fue tratar el agua en la vivienda. Estos tratamientos reducen el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y de la posterior contaminación durante la recolección, el transporte y el uso de esta (Rosa & Clasen, 2010).

La evidencia mostró que el tratamiento del agua en el hogar es eficaz en la mejora de la calidad microbiológica del agua potable y en la prevención de enfermedades entéricas. Sin embargo, este tratamiento no favorece el acceso al suministro (Rosa & Clasen, 2010).

En Kenia, se realizó un estudio que evidenció el grado de contaminación en las principales fuentes de abastecimiento. Para soportar este estudio, se encuestaron a 192 personas de la comunidad y, además, se tomaron muestras de la fuente de suministro, que son pozos para aprovisionamiento de agua, principalmente para uso doméstico. Con respecto al análisis de las muestras, se obtuvo que el 100% de estas dieron positivas para coliformes totales; posiblemente porque la comunidad utiliza letrinas, que están ubicadas muy cerca de las fuentes, lo cual los habitantes no tenían la percepción de que la cercanía de los pozos a las letrinas fuera una posible fuente de contaminación. Esto evidencia, que las políticas públicas deberían incluir un cambio conductual en las prácticas de higiene de las personas y un tratamiento del agua en el hogar (Wambui Kimani-Murage & Ngindu, 2007).

Un estudio en Yaundé, capital de Camerún, consistía en la recopilación de datos mediante observación, una encuesta elaborada y la evaluación de la calidad microbiológica del agua potable para determinar hasta qué punto está agua era segura para el consumo (Nguendo Yongsí, 2010). El 80,2% de la población no tiene acceso al agua potable, es por esto, que la población recurre a aguas subterráneas como principal abastecimiento, seguido de pozos y manantiales que en su mayoría están contaminados con agentes patógenos (Nguendo Yongsí, 2010).

La calidad de esta agua se ve afectada por las prácticas de transporte pues usan tuberías que rara vez se limpian, recipientes sin tapas para transportar el agua contaminándola con el aire libre. Sin embargo, en las viviendas se toman medidas para el almacenamiento del agua, lo que disminuye la proliferación de patógenos.

El estudio sugiere prestar atención a los métodos de tratamiento del agua mediante la sensibilización hogares sobre los comportamientos saludables en términos de la recolección y las condiciones de almacenamiento del agua, así como incluir pruebas microbiológicas de la calidad del agua (Nguendo Yongsi, 2010).

En el 2012 se realizó un estudio con el objetivo de estudiar la calidad microbiológica del agua de las tierras agrícolas para la producción ganadera en la provincia de Valdivia, Chile y su impacto potencial en la salud humana (Amaya & Estrada, 2013). Se recolectaron muestras de 5 puntos de muestreo para su análisis microbiológico, análisis fisicoquímico, determinación del fósforo total y del nitrato. Estas fuentes de agua no tenían ningún tratamiento.

Los resultados arrojaron una contaminación que sobrepasa la norma chilena sobre la calidad del agua para el consumo humano, tanto la concentración de coliformes totales, E. Coli y Nitratos superaron los límites permisibles (Amaya & Estrada, 2013). Por lo tanto, se demostró que el agua de Valdivia no es apta para el consumo y que se necesita una regulación del impacto ambiental y principalmente de las actividades agrícolas. El agua debe ser monitoreada constantemente para determinar si cumple con los parámetros mínimos de calidad (Amaya & Estrada, 2013).

En Colombia, de acuerdo con los resultados del Informe Nacional de calidad de agua en 2013, se analizaron 49. 836 muestras de agua para consumo humano en todo el territorio Nacional y se analizaron mediante la aplicación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014). Se obtuvo que aproximadamente el 41,2% de la población del país, consumían agua

sin ningún tipo de riesgo, mientras que el 1,4% de la población, consumían agua con un índice de riesgo superior, lo cual indica que no es apta para consumo humano (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014).

Según este estudio, es notable, que la calidad de agua no es óptima en las poblaciones rurales y que solamente en los grandes y medianos centros urbanos el agua para consumo humano logra altos estándares de calidad (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014).

4.4. Marco Legal

La investigación está fundamentada en bases legales contenidas en las normas legislativas colombianas entre las cuales se destacan:

- Constitución política de Colombia de 1991. Capítulo 3, artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
- Decreto 1575 de mayo 09 de 2007, expedido por el Ministerio de la Protección Social (MPS), y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.
- Resolución 2115 de junio 22 de 2007 expedida por el MPS y el MAVDT, “Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del

sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. Según lo ordenado en el Decreto 1575 de 2007.

- Resolución 0811 de marzo 5 de 2008 expedida por el MPS y el MAVDT, “Por medio del cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la Autoridad Sanitaria y las Personas Prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución”. Según lo ordenado en el Decreto 1575 de 2007.
- Resolución 4716 de noviembre 18 de 2010 expedida por el MPS y el MAVDT, “Por medio de la cual se reglamenta el párrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007”, mediante el cual se establecen las condiciones para elaborar los Mapas de Riesgo de la calidad del agua para consumo humano.

5. Diseño metodológico

5.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el corregimiento de Villa Rosa, Repelón-Atlántico. El territorio está conformado por la depresión del Guájaro y la Serranía del Caballo, se encuentra ubicado al Sur Occidente del Departamento del Atlántico, Hacia la zona media de la región Caribe, al norte de Colombia. Forma parte de los ocho (8) corregimientos de Repelón Atlántico. Según los datos suministrado por el DANE en el censo realizado en el 2005, tenía una población aproximada de 2655 habitantes (Plan de Desarrollo Municipal, Gobierno municipal de Repelón., 2012).

Con respecto al servicio de agua potable, el recurso proviene de un pozo subterráneo. Dicho servicio es prestado por la empresa comunitaria de Villa Rosa y es ofrecido por sectores, puesto que la capacidad de la bomba utilizada para la captación no es óptima para que todo el corregimiento tenga agua simultáneamente, por lo tanto, las viviendas deben tener sistemas de almacenamiento para aproximadamente dos días, que es el tiempo que tardan para colocar nuevamente el servicio.

Actualmente, el agua es considerada aceptable ya que se le está aplicando cloro gaseoso como desinfectante. Sin embargo, se buscan mejorar a través de controles de calidad (Plan de Desarrollo Territorial, Municipio de Repelón., 2016)

Ilustración 1. Localización geográfica del área de estudio sin escala.



Fuente: Adaptado de análisis fisicoquímico del agua extraído del corregimiento de Villa Rosa (Atlántico). (R, Camacho, Et al.2016) - Google Maps 2017©.

5.2. Fase de Campo

Fueron realizadas dos salidas de campo hacia el corregimiento de Villa Rosa. Se llevó a cabo el primer muestreo con la finalidad de conocer el estado del servicio de agua para consumo humano en el área de estudio. Con respecto a la segunda salida, el muestreo estuvo enfocado a realizar el diagnóstico final del servicio de agua a partir del análisis de los datos recolectados. A su vez, se acompañó el muestreo con una encuesta aplicada a los consumidores en cada uno de los puntos donde se tomaron las muestras, la cual estuvo asociada con la percepción del servicio y el agua suministrada por el mismo. Para el muestreo inicial, los puntos fueron escogidos aleatoriamente. Por otra parte, para el segundo muestro, los puntos se definieron a partir de la resolución 0811 de 2011 por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las

personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.

Con base al protocolo de recolección de muestras 1060B del Standard Methods (APHA, 1992) se realizó el muestreo en campo. El cual, se acompañó del monitoreo de algunos parámetros *in situ* tales como el pH, que se midió a través del equipo ECOSENSE pH100A; la temperatura (°C), la salinidad (ppt) y conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) se determinaron a través del conductímetro EC 300 ECOSENSE y finalmente el cloro residual (mg/l) a partir del kit de Cloro HI3831F.

Ilustración 2. Localización de los puntos del Muestreo Inicial.



Fuente: Tomado de Google Earth Pro 2016©

Ilustración 3. Localización de los puntos del segundo Muestreo.



Fuente: Tomado de Google Earth Pro 2016©

5.3. Muestras de agua

En los puntos establecidos, las muestras fueron tomadas con una (1) botella plástica con capacidad de 1 litro, para el análisis de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio como turbiedad, alcalinidad, dureza total, color, fosfatos, magnesio, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos. Para los análisis microbiológicos, se tomó otra muestra en una botella Schott con tiosulfato de sodio al 10% previamente esterilizada, Las muestras fueron refrigeradas y llevadas hasta el laboratorio CITA de la Universidad de la Costa (CUC). El primer muestreo se realizó en el primer semestre del año 2016, en el cual se recolectaron treinta y tres (33) muestras de agua, mientras que para la segunda toma de muestras

realizada en el periodo 2016-2, se tomaron catorce (14) muestras junto a su respectiva replica para un total de veintiocho (28).

5.4. Etapa experimental

Los parámetros fueron analizados en el laboratorio ambiental de la universidad de la costa, CUC. Basados en la metodología descrita en el standard Methods for examination of water and wastewater, veintiunaava edición (APHA-AWWA-WEF, 2005) (ver tabla 1 y 2).

Tabla 1 Descripción de equipos utilizados

Equipo	Marca	Parámetro	Rango de detección mg/l
Fotómetro	YSI	Fosfatos	0- 4.0
		Magnesio	0-100
		Sulfatos	0-200
		Nitratos	0-20 (N)
		Nitritos	0-0.5
Aquatester	orbeco-hellige	Color	5-100
Turbidímetro	hach 2100Q	Turbiedad	0-1000

Fuente: propia

Tabla 2 Códigos de metodología del standard Methods

Parámetro	Método	Código
Alcalinidad total	Titulación	2320B
cloruros		4500 Cl ⁻ B
Dureza total		2340C

Fuente: propia

5.4.1. Análisis microbiológico

La legislación colombiana en la resolución 2115/07, recomienda la metodología de filtración por membrana para la determinación de coliformes totales y fecales en agua potable (RESOLUCION 2115, 2007).

La técnica de filtración por membrana utiliza un mecanismo a través del cual se atrapan en la superficie de una membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro (0.45 μm); lo anterior, debido a una bomba eléctrica que ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los microorganismos de tamaño menor que el específico del poro pasan la membrana o quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego esta es llevada a un medio enriquecido, selectivo o diferencial, quien a través de intercambio metabólico y una incubación, evidencian el crecimiento de microorganismos y unidades formadoras de colonia (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

5.5. Análisis de los datos obtenidos.

5.5.1. Tratamiento de datos.

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados y el índice de riesgo fueron recolectados y con los mismos se elaboró una base de datos obtenida en MICROSOFT OFFICE EXCEL 2013.

Por otra parte, KoboCollect fue la herramienta que facilitó la recolección de datos en celulares a través de unos formularios creados desde el software. Una vez recolectada la

información a través de los dispositivos móviles, los datos fueron almacenados en el servidor de kobotoolbox, y se exportaron en formato Excel, para su posterior análisis.

5.5.2. Aplicación del IRCA (Índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano)

El Decreto 1575 de 2007, en el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. En el Artículo Define el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Para la presente investigación, se realizó un IRCA parcial por muestra. Puesto que solo, se analizaron catorce (14) parámetros, de los veintidós (22) presentes en la norma, esto debido a la falta de insumos y equipos en las instalaciones del laboratorio (CITA). A partir de esto, se asignó una clasificación de acuerdo a cada característica física, química y microbiológica analizada que NO cumplieron con los valores aceptables establecidos. La sumatoria de puntaje no se realiza sobre 100, En este caso se realizará sobre 77,5 lo que corresponde a la sumatoria de los valores no aceptados de los parámetros analizados. (Ver Cuadro No. 6 de dicha resolución).

Tabla 3 Puntaje de Riesgo. Resolución 2115/07

Característica	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	1
Aluminio	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Para la realización del IRCA por muestra, se utilizó la fórmula establecida por la resolución 2115 de 2007.

IRCA por muestra:

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

Con los resultados obtenidos de IRCA por muestra, se asignó del nivel de riesgo, con base en el cuadro No. 7 encontrado en la resolución anteriormente mencionada (Ver tabla 4).

Tabla 4 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE
35.1 - 80	ALTO
14.1 – 35	MEDIO
5.1 - 14	BAJO
0 - 5	SIN RIESGO

Fuente: Resolución 2115 del 2007.

5.6. Posibles Factores que pueden afectar la calidad de aguas subterráneas para consumo humano.

Existen variados modos de contaminación por los que diferentes sustancias llegan a los acuíferos contaminando las aguas subterráneas, dentro de los que se destacan: la infiltración de sustancias depositadas en superficie, filtración desde un río influente, derrames accidentales de depósitos superficiales o enterrados desde la superficie, a través de captaciones abandonadas o mal construidas; etc.

Dentro de las actividades que resultan potencialmente contaminantes se pueden englobar en los siguientes grupos: residuos sólidos urbanos, los líquidos procedentes de los propios residuos o el agua de lluvia infiltrada a través de ellos, alcanzan la superficie freática y arrastra todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos; las aguas residuales de los núcleos urbanos o municipales se vierten en cauces superficiales o en fosas sépticas. Aportan diversas sustancias contaminantes: detergentes, nitratos, bacterias y virus, materia orgánica disuelta; actividades agrícolas, las cuales resultan difíciles de controlar al tratarse de contaminación difusa sobre grandes extensiones. Los fertilizantes aportan al agua compuestos de N, P y K. en algunos casos se ha calculado que hasta el 50% de los nitratos

usados como fertilizantes llegan a acuíferos por infiltración.; en la ganadería los residuos de los animales proceden compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros y en algunos casos metales pesados (Sánchez San Román).

La composición química del agua subterránea es una medida de su conveniencia como fuente de abastecimiento para consumo humano y animal, para irrigación, para la industria y otros propósitos. También influye en la salud y el funcionamiento de ecosistemas, por lo que es importante para detectar variaciones y dar las alertas tempranas de cambios en su calidad, tanto en sistemas naturales como en los resultantes de contaminación (Calidad del Agua Subterránea, 2004).

5.6.1. Compuestos no deseados

Nitratos: la presencia de NO_3^- en aguas procede de la disolución de rocas y minerales (muy frecuentes), de la descomposición de materias vegetales y animales, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras de labor donde se utilizan abonos que los contienen profusamente como componentes en sus formulaciones.

En general, las aguas naturales de superficie no suelen contener más de unos 10mg/L e incluso con frecuencia no pasan de 1mg/l de la sustancia. Sin embargo, desde hace unos 20 años se ha comprobado un gran incremento del contenido en NO_3^- en muchas aguas, sobre todo subterráneas, relacionado con el uso de fertilizantes nitrogenados. Estos aumentos han hecho que muchos pozos y acuíferos subterráneos se hayan de abandonar en su empleo para consumo humano ante sus altos niveles de NO ($>50\text{mg/l}$) y su evidente riesgo para la salud (Galvín, 2003).

Nitritos: especie poco estable químicamente, su presencia en agua suele indicar una contaminación de carácter fecal reciente. En aguas subterráneas sometidas a ambiente reductor y/o pobres en oxígeno, pueden contener también NO_2^- . Por otro lado, desde el punto de vista fisiológico, es importante citar que los NO_2^- al igual que los NO_3^- pueden ser tóxicos debido a su poder de transformar la hemoglobina de la sangre en metahemoglobina incapaz de fijar el oxígeno y realizar correctamente la respiración celular. Además, reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder cancerígeno (Galvín, 2003).

Materias en suspensión: Las materias en suspensión, tales como arcillas, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos se presentan como partículas de dimensiones variables de 10nm hasta diámetros del orden de 0.1mm y se pueden asociar a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas (provenientes de la descomposición de restos vegetales), y partículas filamentosas (por ejemplo, restos de amiantos). Las primeras provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la mayor fracción de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas naturales.

Cloro residual: la cloración del agua para suministro sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades. Una segunda ventaja, especialmente en el agua para consumo humano reside en la mejora general de su calidad, como consecuencia de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuro y algunas sustancias orgánicas.

La cloración puede producir efectos adversos. Se puede intensificar el sabor y olor característicos de los fenoles y otros compuestos orgánicos. Pueden formarse derivados organoclorados, potencialmente cancerígenos, como el cloroformo (Reglamentación Técnico-Sanitarias para Aguas Potables, s.f.).

5.6.2. Bacterias indicadoras de contaminación fecal

Con relación a la calidad microbiológica, las guías de la OMS recomiendan actualmente que el abastecimiento debe ser considerado como no satisfactorio si se detectan bacterias indicadoras de coliformes fecales (CF) en cualquier muestra de 100 ml (W.J.Lewis, 1988). Las cuales han sido comprobadas como el organismo indicador más adecuado de contaminación fecal (GELDREICH, 1968).

Ya que el agua contaminada posa una gran amenaza para la salud humana, los administradores del agua y las agencias reguladoras han diseñado pruebas para informar al público si fuentes de aguas son seguras. Comúnmente se utiliza *E. coli* para indicar que la contaminación fecal se encuentra presente en el agua. A pesar de que no se quiere encontrar *E. coli* en el agua, estas bacterias pueden ser fácilmente probados y cuantificados por métodos simples. La detección de estas bacterias en el agua significa que contaminación fecal ha ocurrido y sugiere que los patógenos entéricos, pueden estar presentes. Esto también significa que los humanos y los animales no deben entrar en contacto con el agua contaminada hasta que la presencia de *E. coli* ya no sea detectada, y el agua se considere segura (CHANNAH ROCK, 2014).

5.7. Medidas correctivas a aplicarse según los posibles factores identificados en el estudio a realizar

Tabla 5 *Propuestas para el tratamiento de agua de consumo según factores influyentes.*

Factores	Propuestas
Cloruros	Por ser muy soluble, es muy difícil de eliminar, en este caso aplican los procesos de membrana (ultrafiltración y osmosis inversa), el intercambio iónico y la destilación
Nitratos y Nitritos	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.
Turbiedad	Por lo regular, la turbiedad en aguas subterráneas es muy baja. Sin embargo, para remover la turbiedad se emplear la coagulación-floculación, seguida de sedimentación y en filtración.
Cloro residual	Cloración
Contaminación microbiología	Cloro, compuestos de cloro, coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.
Dureza	Al proceso de eliminar la dureza se le denomina “ablandamiento” y se realiza por diferentes métodos. El más usado es la precipitación del Mg y del Ca con cal y carbonato de sodio. Por medio del intercambio iónico se logra un ablandamiento total y con calentamiento se elimina la dureza temporal, pero estos dos métodos se realizan casi solo a nivel doméstico. (NANCY, 2007)

Fuente: propia

Con base al artículo 15 de la resolución 2115 de 2007, Se deberá notificar los resultados obtenidos a la persona prestadora de servicio, al COVE, alcalde, gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría general o a la procuraduría general. Dependiendo el nivel de riesgo obtenido del agua suministrada para el consumo humano y se establecerán las acciones que deberá realizar la autoridad competente con respecto a dicha clasificación.

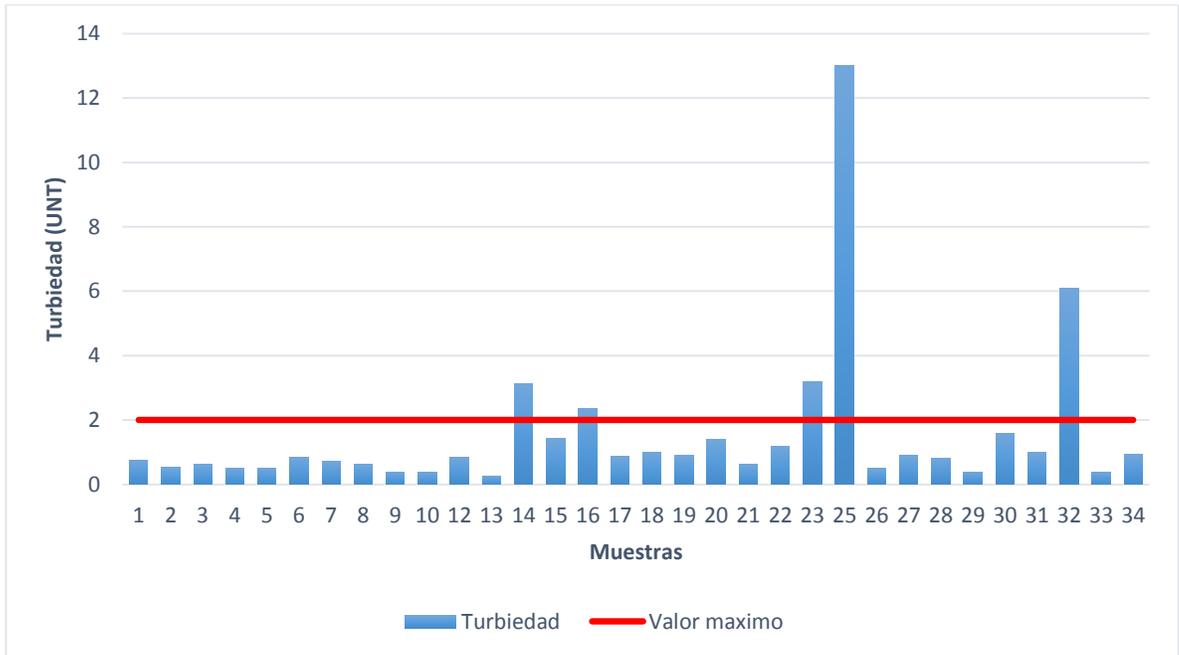
6. Resultados y análisis

6.1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes al primer muestreo

Para el caso del muestreo inicial se evaluaron doce (12) parámetros (pH, conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, salinidad, turbiedad, color, alcalinidad, dureza, cloro residual, coliformes totales y coliformes fecales). Solo serán discutidos los parámetros que representan mayor relevancia para la investigación. Los parámetros restantes que no serán mencionados cumplieron con los valores máximos permisibles por la resolución 2115 de 2007. Ver los parámetros restantes en anexos (tabla 8, 9 y 10).

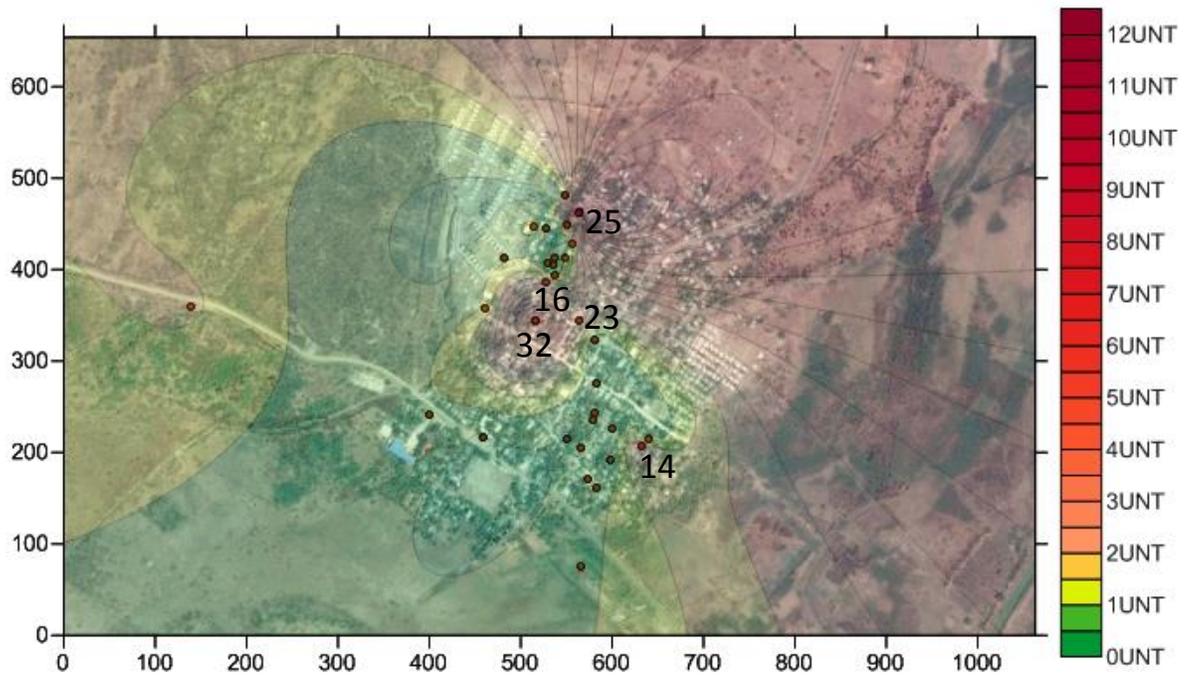
- **Turbiedad:** de las 33 muestras analizadas únicamente 5 de ellas (15, 16, 17, 23, correspondientes a viviendas y la muestra No. 32 perteneciente al tanque elevado) arrojaron valores superiores al permisible. El valor máximo aceptable para dicho parámetro corresponde a 2 UNT (Unidades Nefelométricas de turbiedad), según la normativa colombiana. El resultado de turbiedad registrado para la muestra número 25 es considerado atípico, ya que se aparta por mucho de los otros resultados.

Gráfica 1. Resultados obtenidos para turbiedad (muestreo inicial)



Fuente: propia

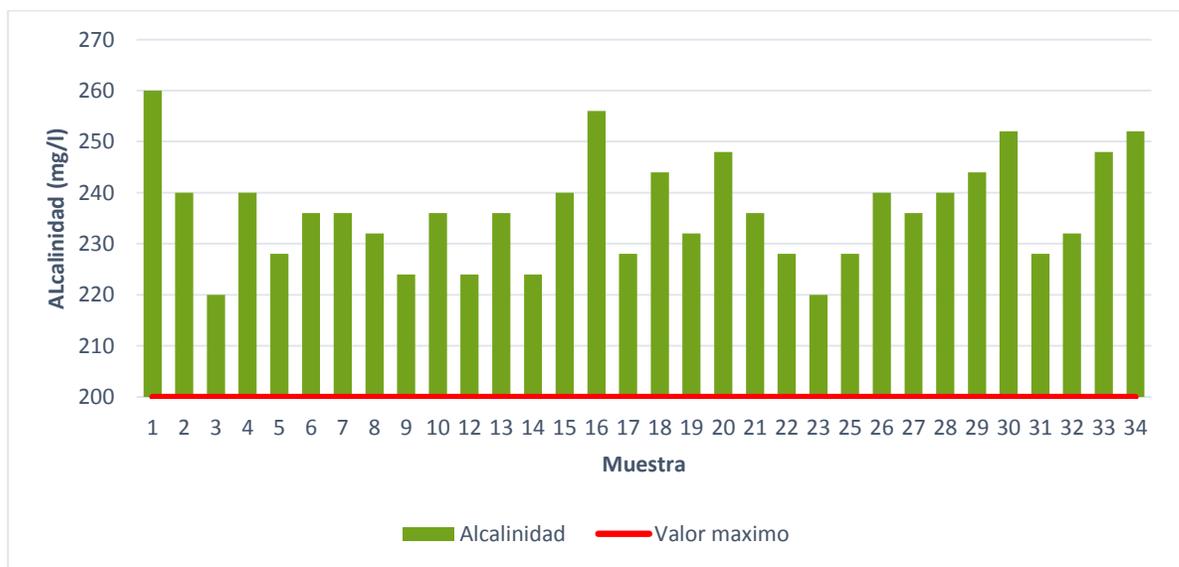
Ilustración 4. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.



Fuente: propia, Elaborado en Golden Surfer.

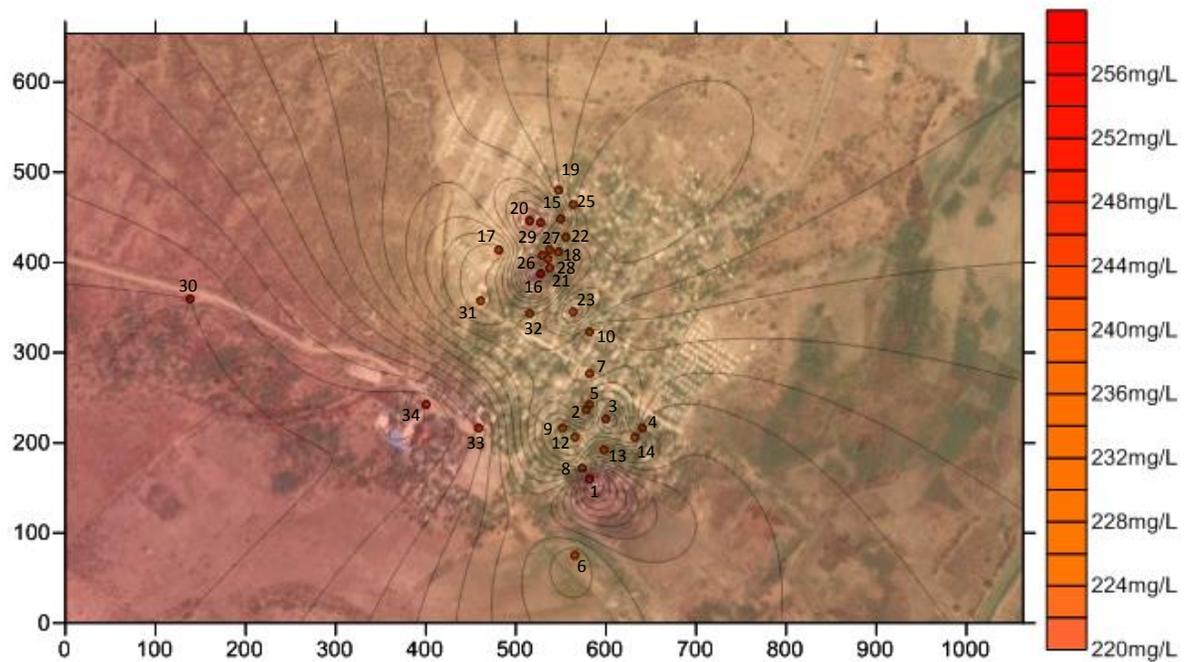
- **Alcalinidad:** Todas las muestras analizadas estuvieron muy por encima del valor máximo permisible por la normativa colombiana (200mg/L) (Ver grafica 2). La alcalinidad es impartida por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos contenidos en las aguas naturales o tratadas. Sin embargo, cabe resaltar que el resultado del mismo no tiene un significado sanitario. Pero es un importante parámetro operativo para las Plantas Potabilizadoras en los procesos de alcalinización, coagulación y neutralización. (INFORME DE AVANCE PROYECTOS SANITARIOS DE POTABILIZACIÓN, 2010).

Gráfica 2. Resultados de la alcalinidad para el primer muestreo.



Fuente: propia

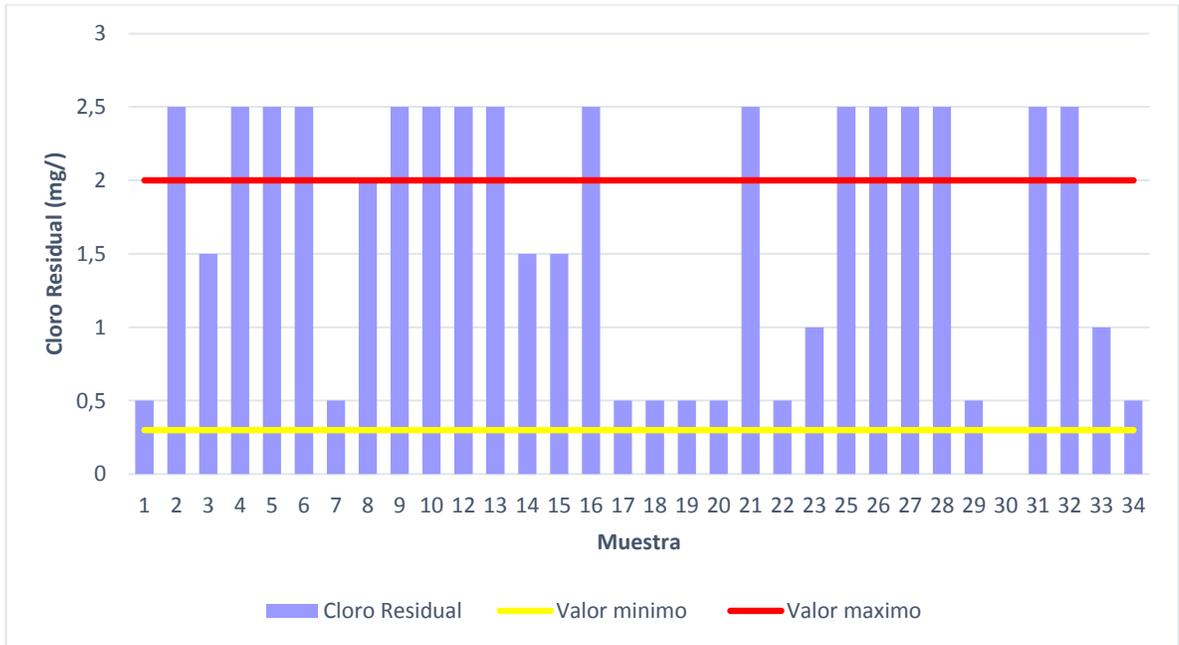
Ilustración 5. Resultados obtenidos de alcalinidad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.



Fuente: propia, Elaborado en Golden Surfer.

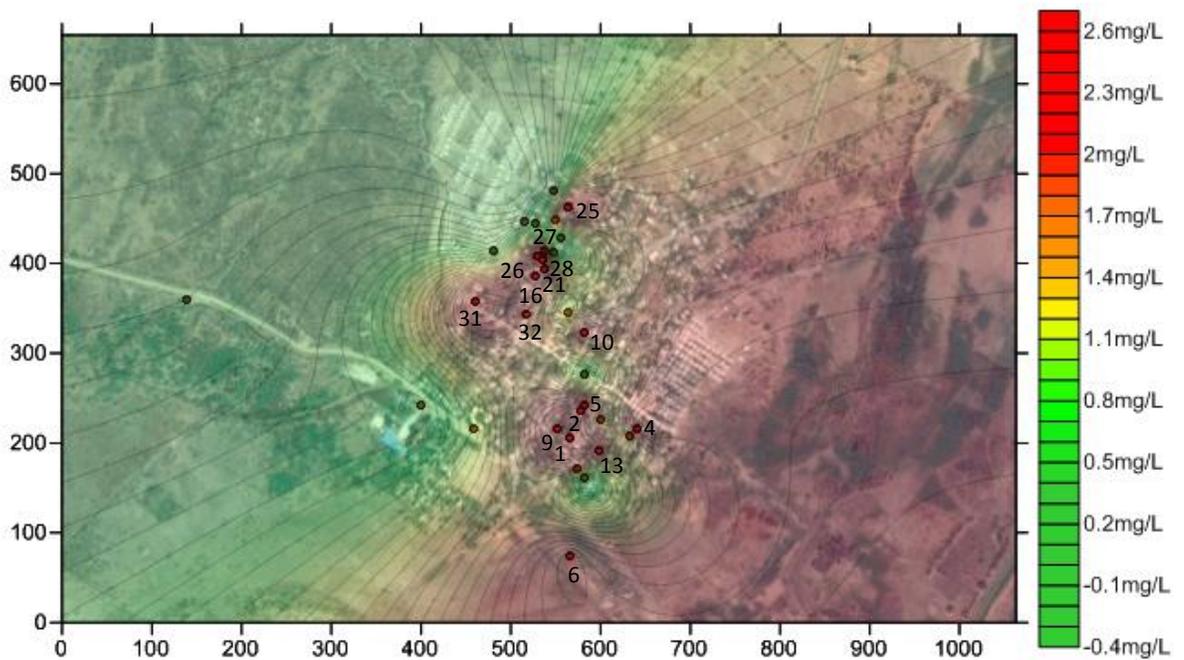
- **Cloro residual:** La resolución 2115 señala que, en cualquier punto de la red de distribución de agua para consumo humano, el valor aceptable de cloro residual libre deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. A partir del análisis se obtuvo que únicamente 16 de las muestras presentan un valor aceptable, Cabe resaltar que la muestra número 30 no arrojó cloro residual puesto que dicha muestra corresponde al punto de captación (ver grafica 3).

Gráfica 3. Representación de los datos obtenidos para Cloro residual (muestreo inicial).



Fuente: propia

Ilustración 6. Resultados obtenidos de cloro residual con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.

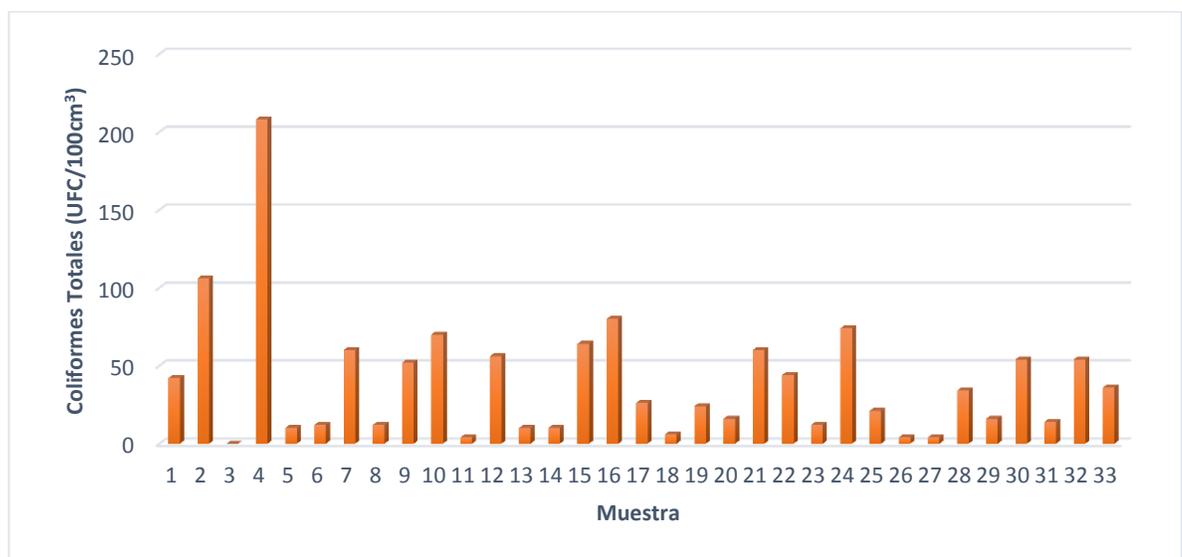


Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

- **Coliformes totales y Coliformes fecales:** de las muestras analizadas, únicamente 5 de ellas no arrojaron coliformes fecales, las restantes resultaron positivas para coliformes totales y fecales, incluyendo el punto de captación (Ver anexos tabla 7,8 y 9).

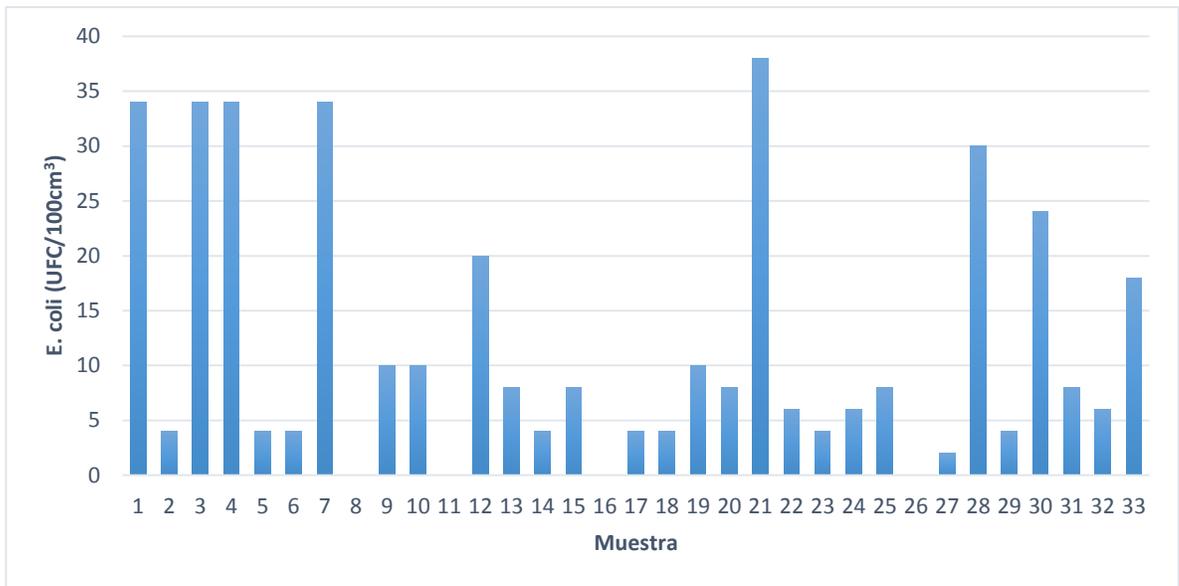
La experiencia ha demostrado que la densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación, y por tanto de la calidad sanitaria del agua de consumo, debido a su fácil detección y que se pueden enumerar en el agua. La presencia de *Escherichia Coli* en muestras de agua potable, indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas, en la integridad del sistema de distribución, y por tanto evidencia de contaminación de diferentes orígenes: suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo (Sanabria, 2008).

Gráfica 4. Resultados obtenidos de parámetros microbiológicos en muestreo inicial: Coliformes Totales (UFC/100cm³).



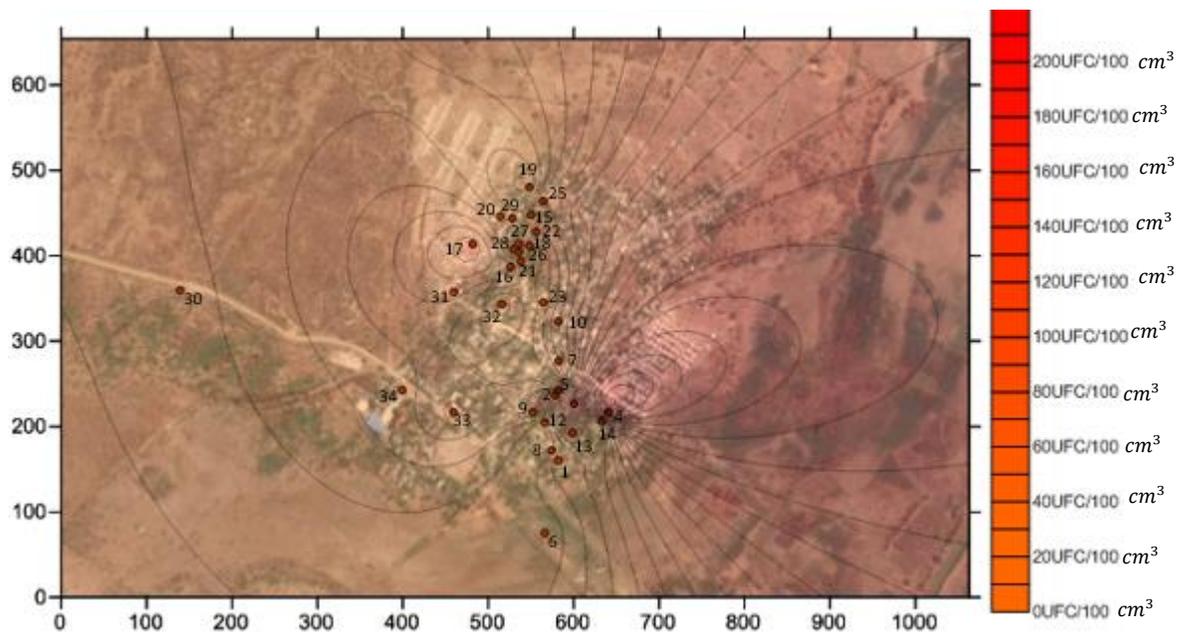
Fuente: Propia

Gráfica 5. Resultados de parámetros microbiológicos en muestreo inicial: *Escherichia Coli* (UFC/100cm³).



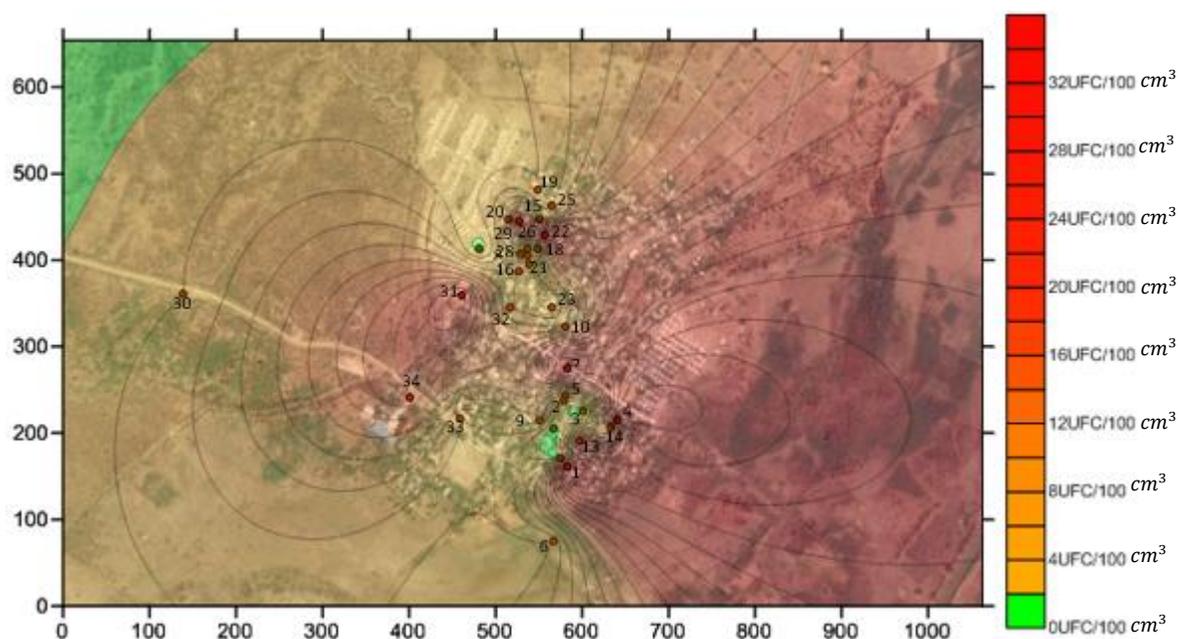
Fuente: Propia

Ilustración 7. Resultados obtenidos de coliformes totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 8. Resultados obtenidos de coliformes fecales con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del Muestreo Inicial.



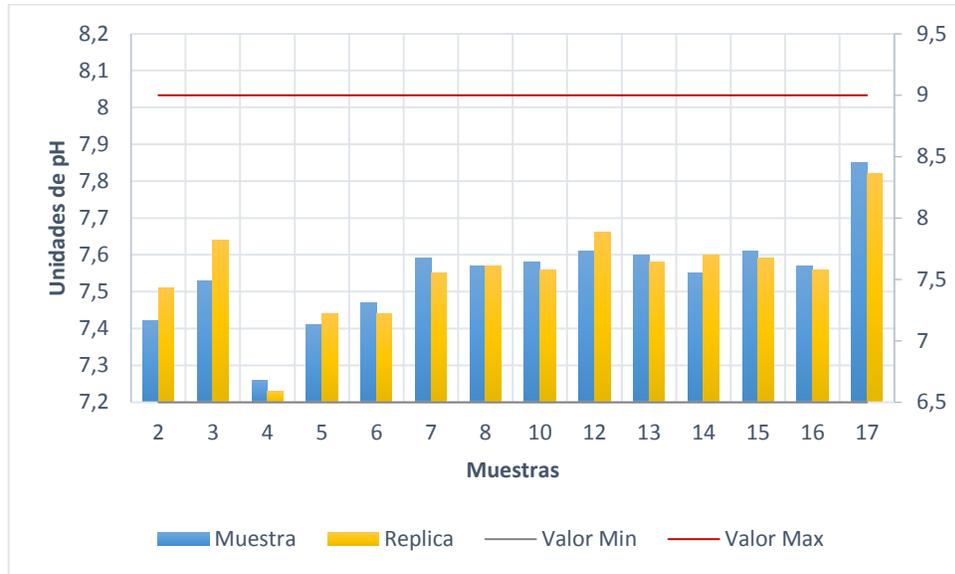
Fuente: Elaborado en Golden Surfer.

6.2. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes al segundo muestreo.

Para la investigación fueron tomadas catorce (14) muestras, las cuales fueron seleccionadas a partir de las recomendaciones establecidas en la resolución 0811 de 2011 donde se establecen lineamientos para definir el área de influencia y los puntos para recolectar muestras en los puntos de la red de distribución. Dentro de los que destacaron el inicio de la red de distribución, los extremos más alejados de la red de distribución (en cada barrio), tanques de almacenamiento y otros de interés general tales como colegios. Cada uno de ellos con su respectiva replica. Lo que arroja un total de veintiocho (28) muestras, cada una de ellas analizadas y registradas. Los resultados fueron los siguientes:

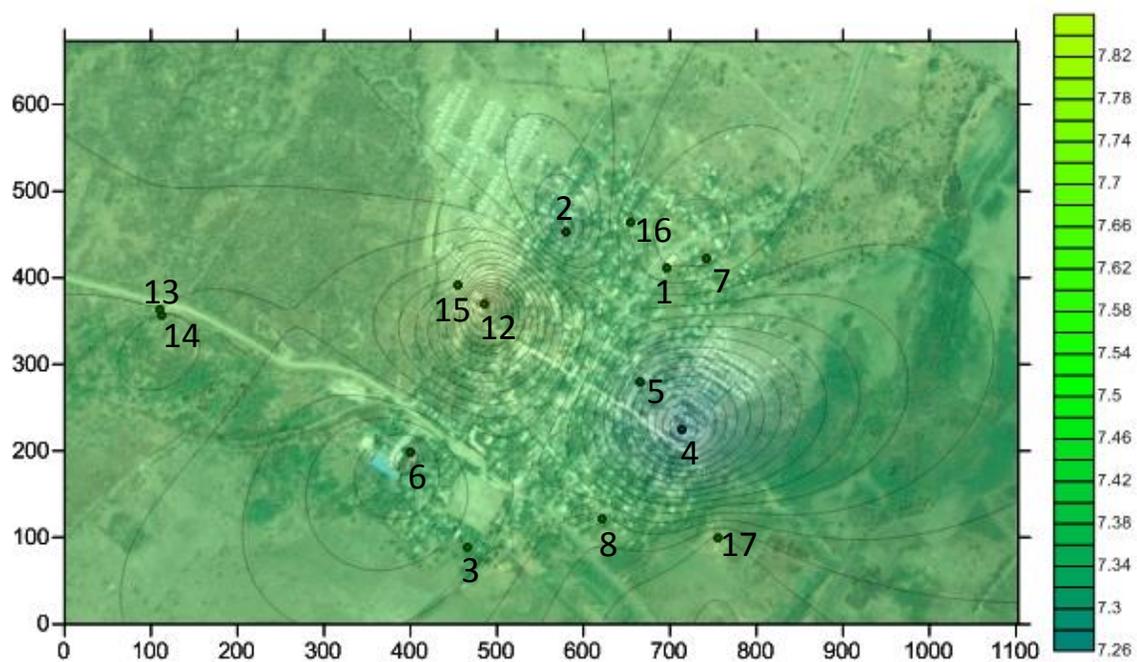
- **pH:** las veintiocho (28) muestras analizadas, cumplieron con los valores de referencias establecidos por la resolución 2115 de 2007. La cual establece que el potencial de hidrogeno para agua de consumo humano, debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

Gráfica 4. Resultados obtenidos de pH.



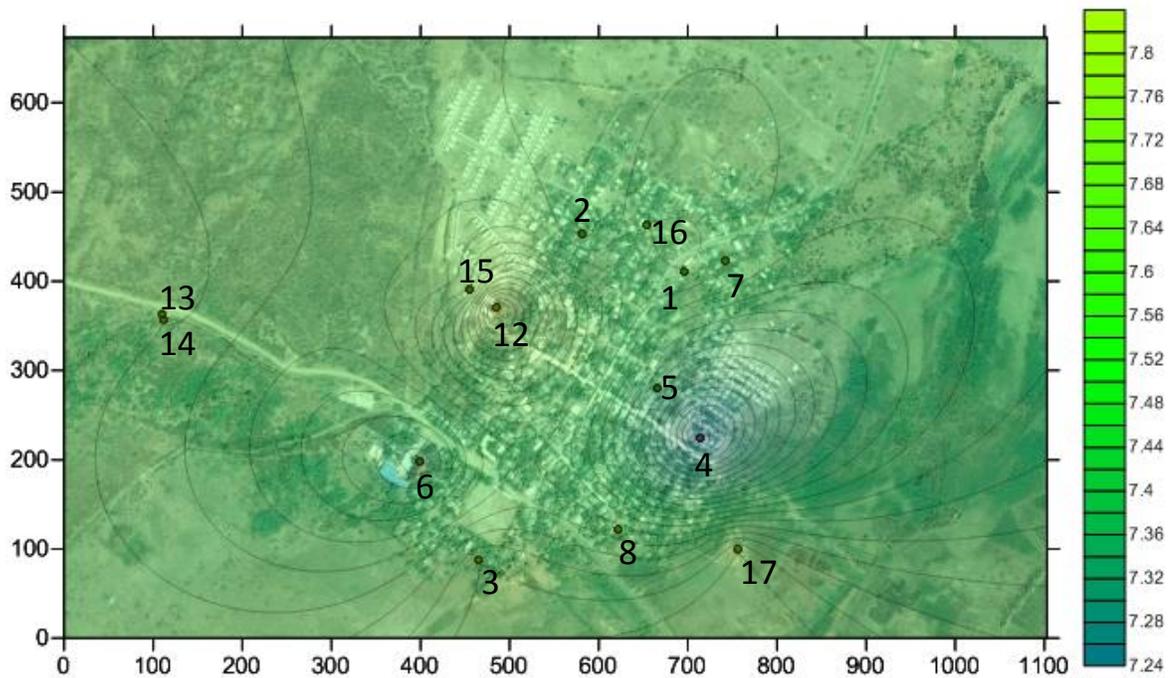
Fuente: propia

Ilustración 9. Resultados obtenidos de pH con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 10. Resultados obtenidos de pH con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

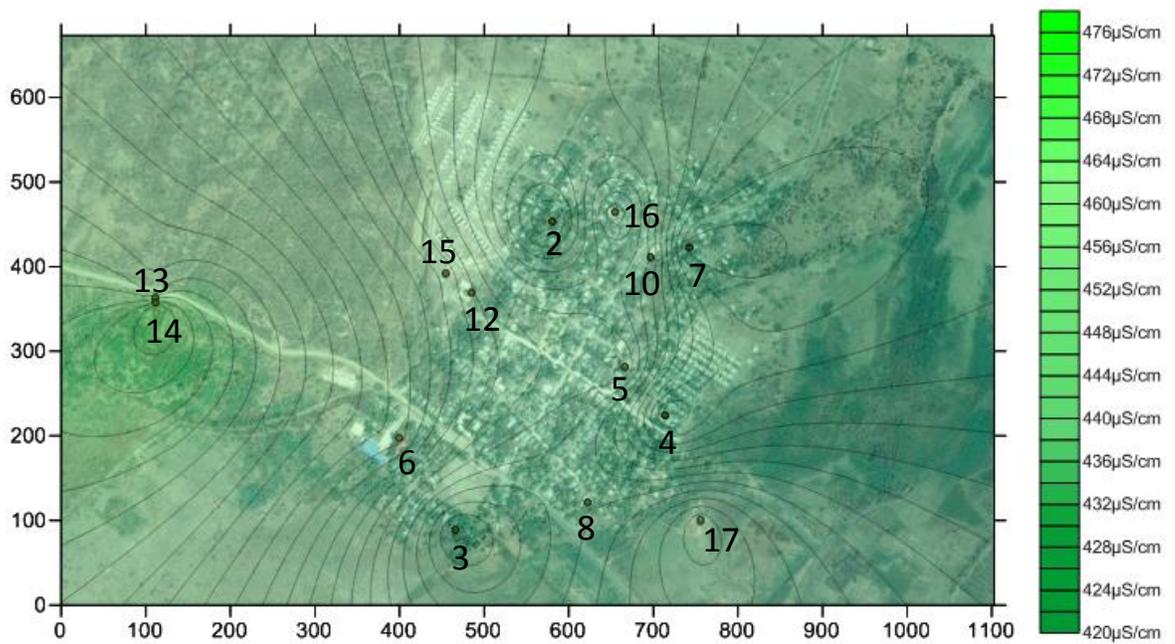
- **Conductividad:** Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 micro-Siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y para el caso de las muestras analizadas, todas cumplen con el valor establecido. Obteniendo una conductividad promedio de 442.72 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según la bibliografía los valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Molano & Garcia , 2015) (ver Gráfica 5).

Gráfica 5. Resultados obtenidos de la conductividad.



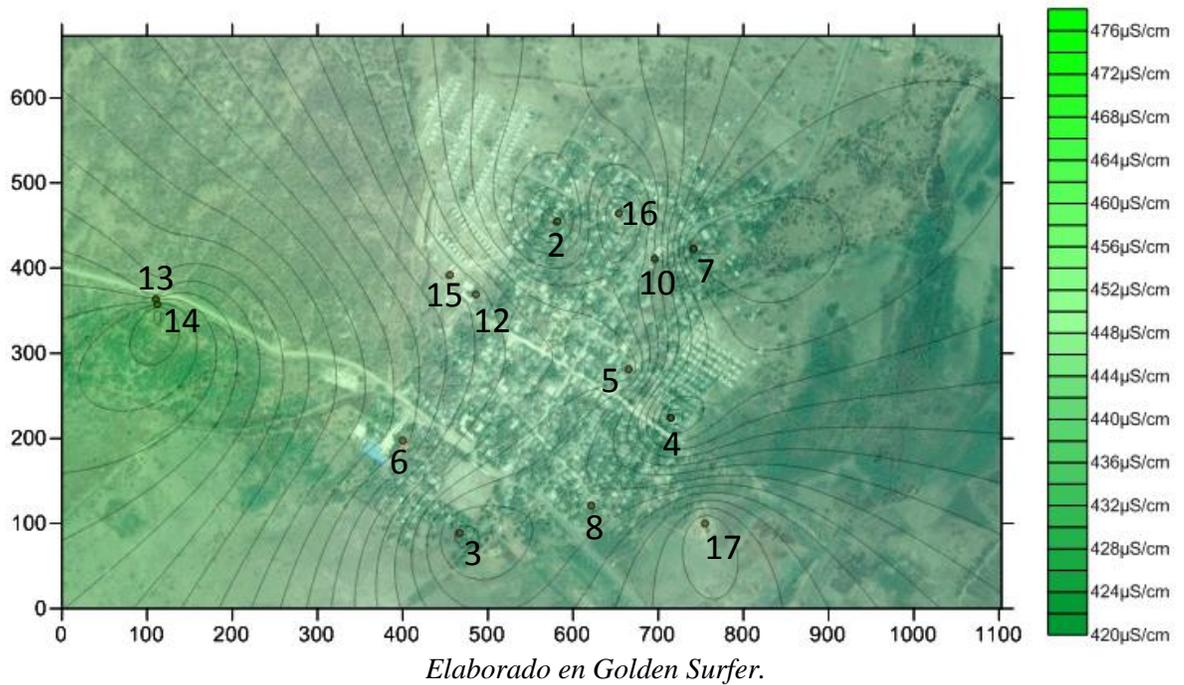
Fuente: propia

Ilustración 11. Resultados obtenidos de conductividad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



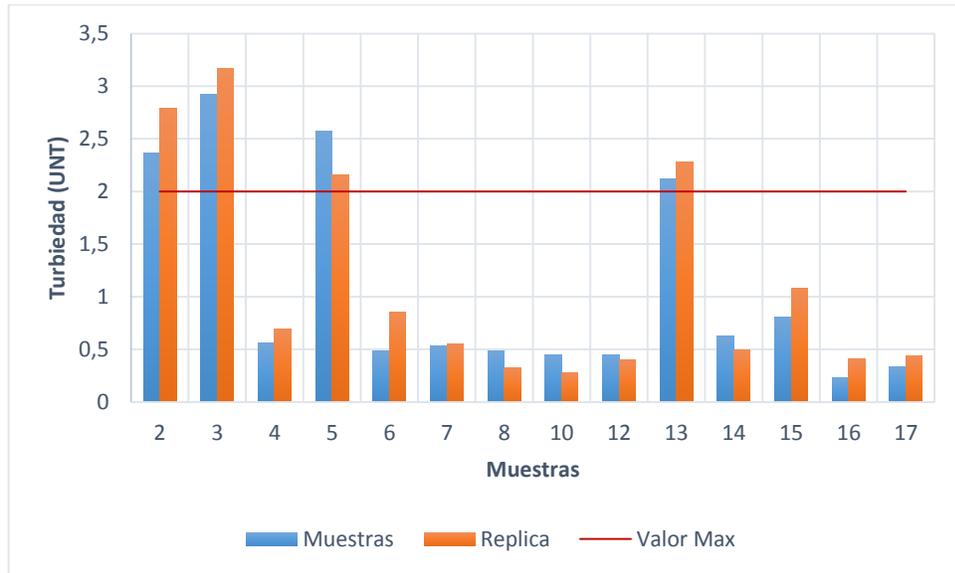
Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 12. Resultados obtenidos de conductividad con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



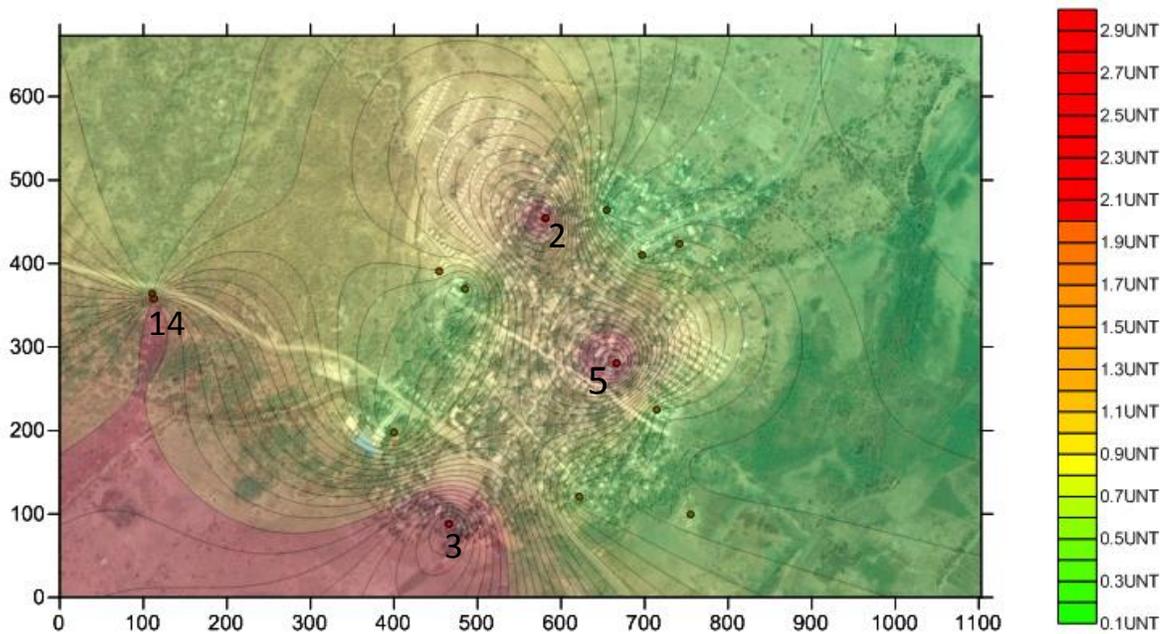
- **Turbiedad:** el valor máximo aceptable para dicho parámetro corresponde a 2 UNT (Unidades Nefelométricas de turbiedad), según la normativa colombiana. En este caso, 8 de las 28 muestras analizadas (2, 3, 5, 13 y respectivas réplicas) sobrepasaron el límite permisible (ver Gráfica 6).

Gráfica 6. Resultados obtenidos de la turbiedad.



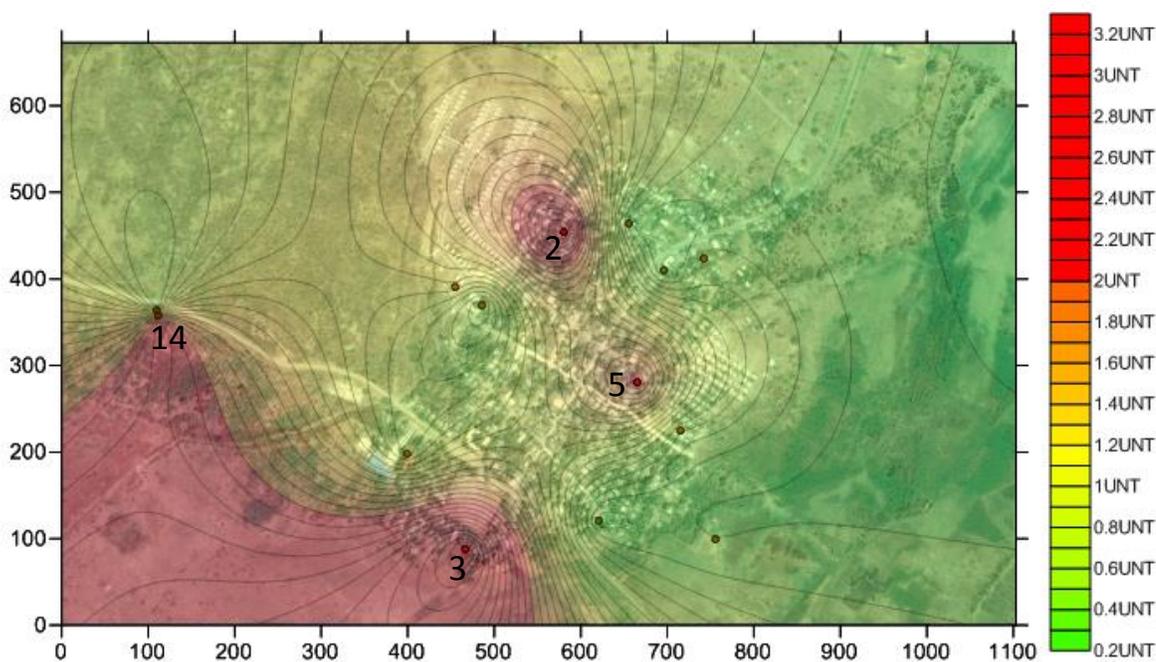
Fuente: propia

Ilustración 13. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 14. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

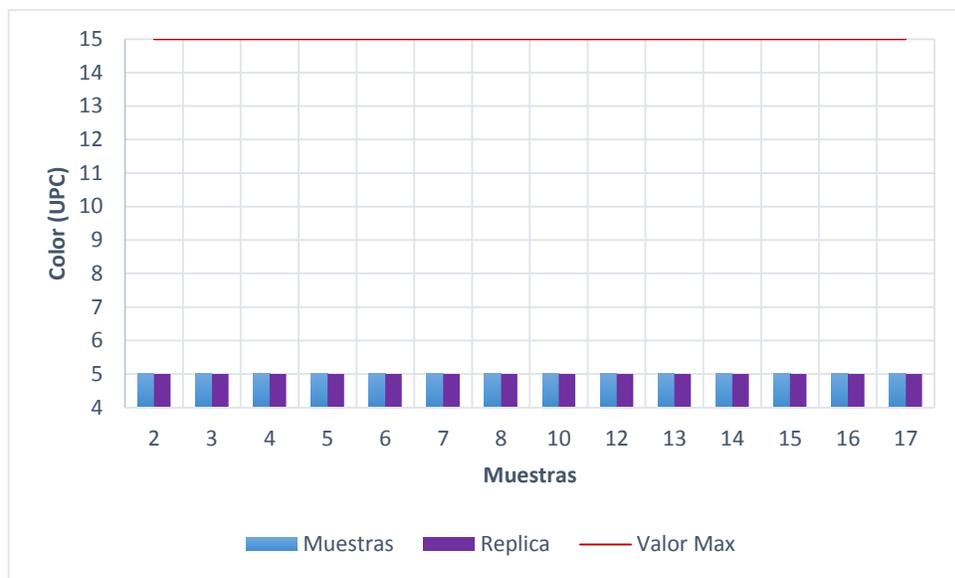
La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), establece en sus estándares internos que las aguas de consumo humano deben tener preferentemente 1 UNT y en ningún caso más de 5 UNT. De igual manera, las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan como valor guía 5 UNT (Barrenchea Martel, 2004).

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo por parte de los

consumidores (Barrencea Martel, 2004). Sin embargo, dicho parámetro no genera implicaciones o gran impacto para los consumidores en los puntos analizados.

- **Color:** para dicho parámetro, cada una de las muestras analizadas cumplieron con el valor máximo permisible (15 UPC). Arrojando todas como resultado 5 UPC (ver Gráfica 7)

Gráfica 7. Resultados obtenidos para color.



Fuente: propia

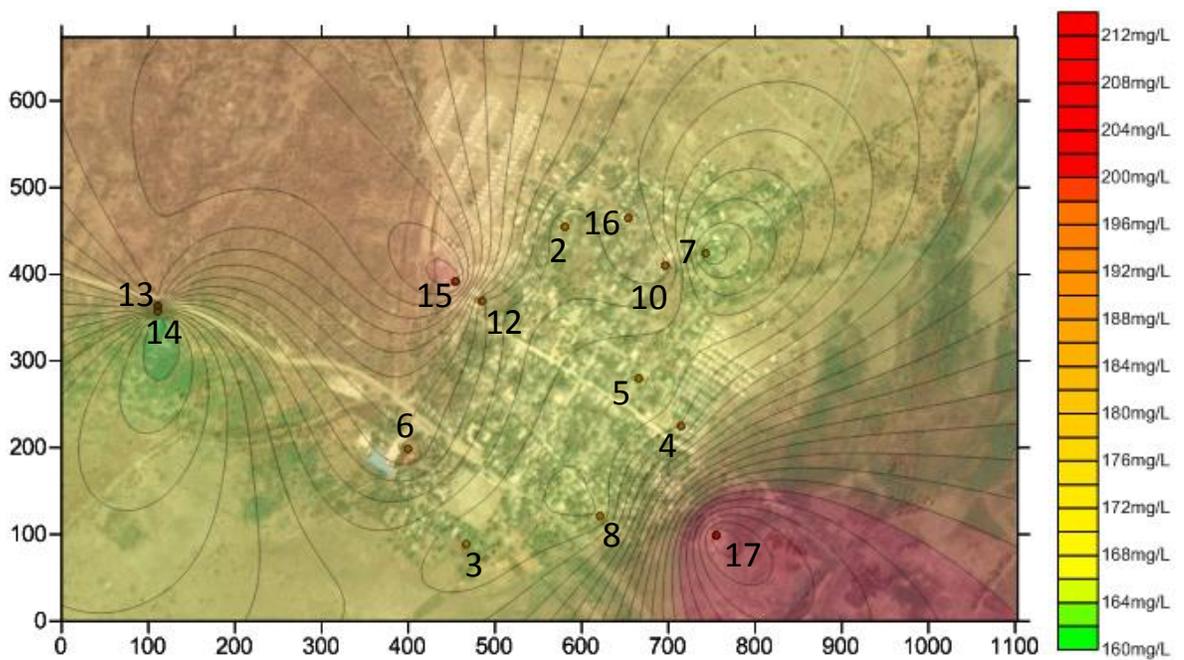
-**Alcalinidad:** podría afirmarse que, en su mayoría, los resultados obtenidos cumplen con los valores de referencia. Sin embargo, se presentó un resultado por encima del valor permisible. El cual podría considerarse un dato atípico puesto que es considerablemente diferente tanto de su réplica como de las otras muestras (ver Gráfica 8).

Gráfica 8. Resultados obtenidos para alcalinidad.



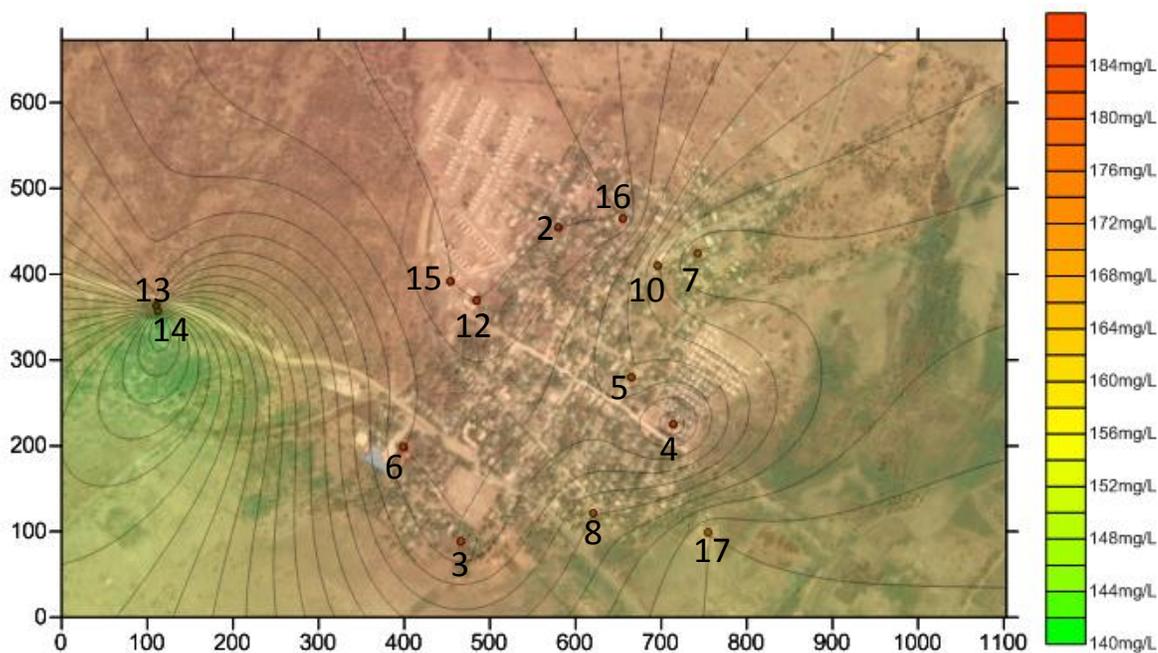
Fuente: propia

Ilustración 15. Resultados obtenidos de alcalinidad con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 16. Resultados obtenidos de alcalinidad con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.

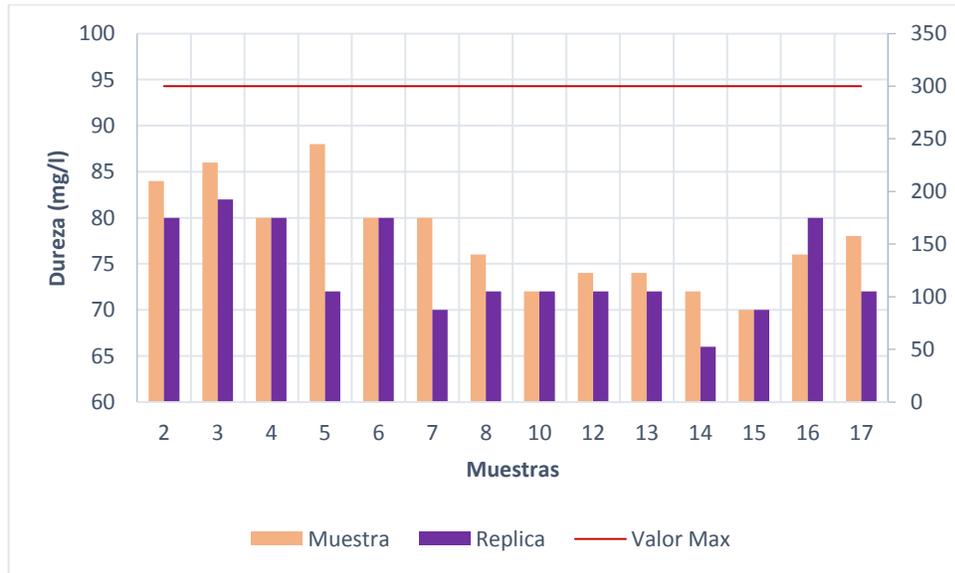


Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

La EPA no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, ya que esta se liga a factores como el pH y la dureza, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua (Barrenchea Martel, 2004).

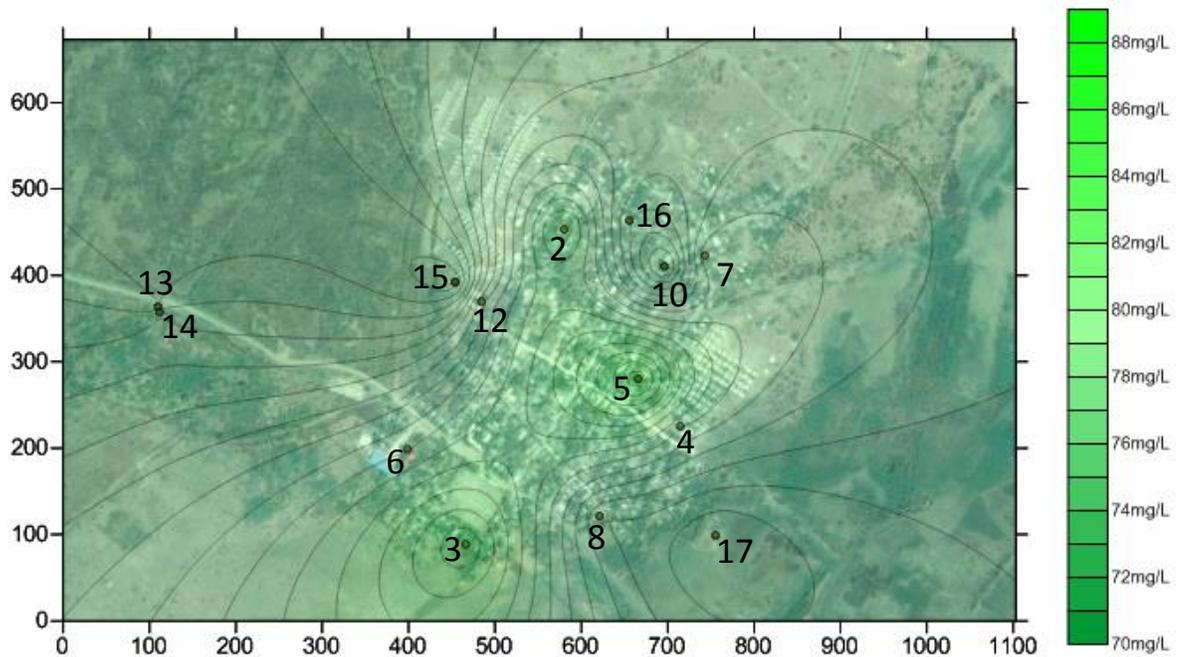
- **Dureza Total:** todas las muestras evaluadas se encuentran por debajo del límite máximo permisible. El cual la normativa colombiana lo establece en 300mg/l CaCO_3 (ver Gráfica 9).

Gráfica 9. Resultados obtenidos de la dureza total.



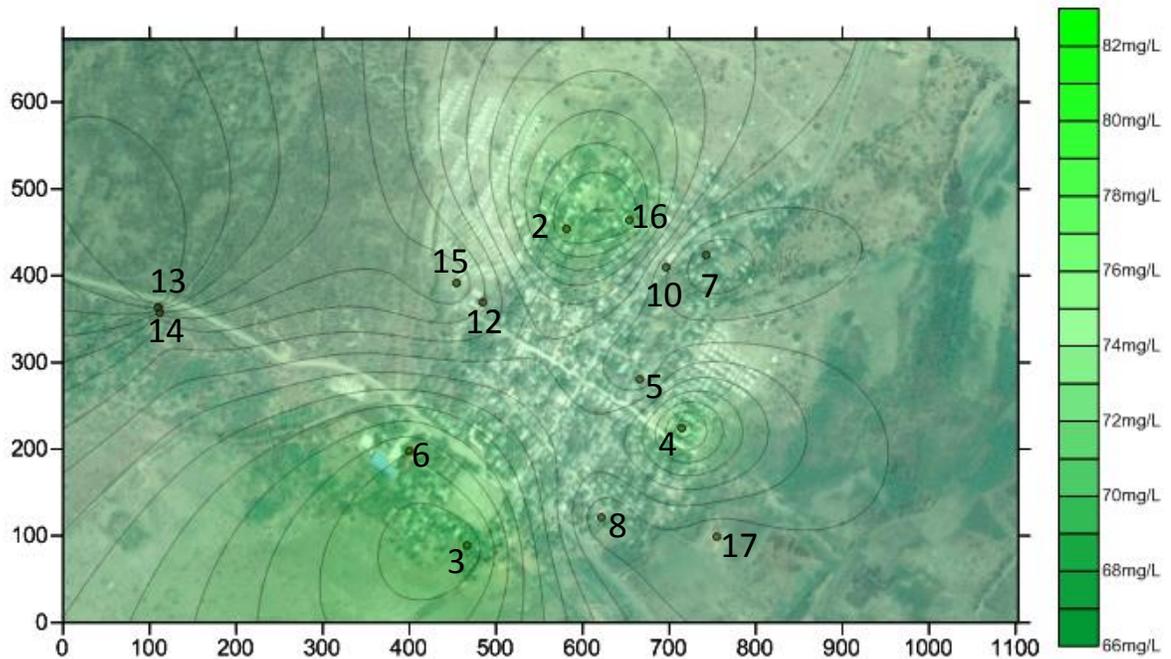
Fuente: propia

Ilustración 17. Resultados obtenidos de la dureza total con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

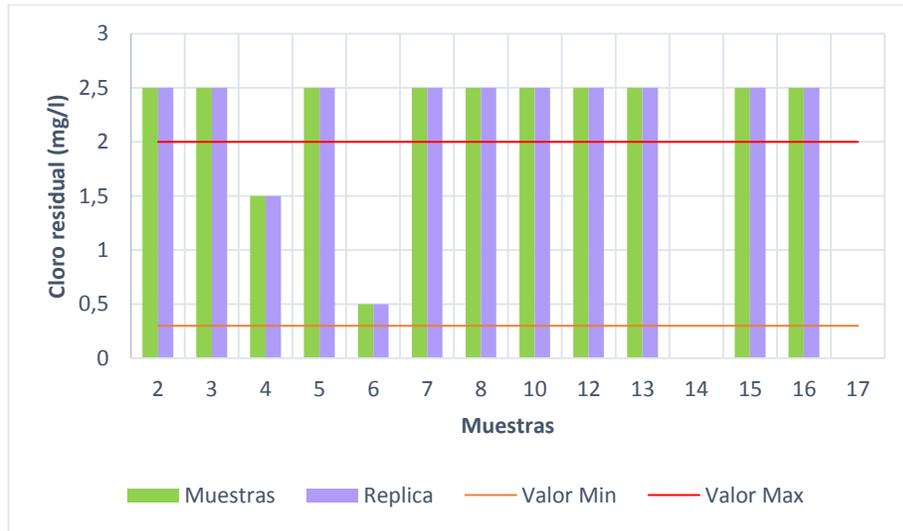
Ilustración 18. Resultados obtenidos de la dureza total con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

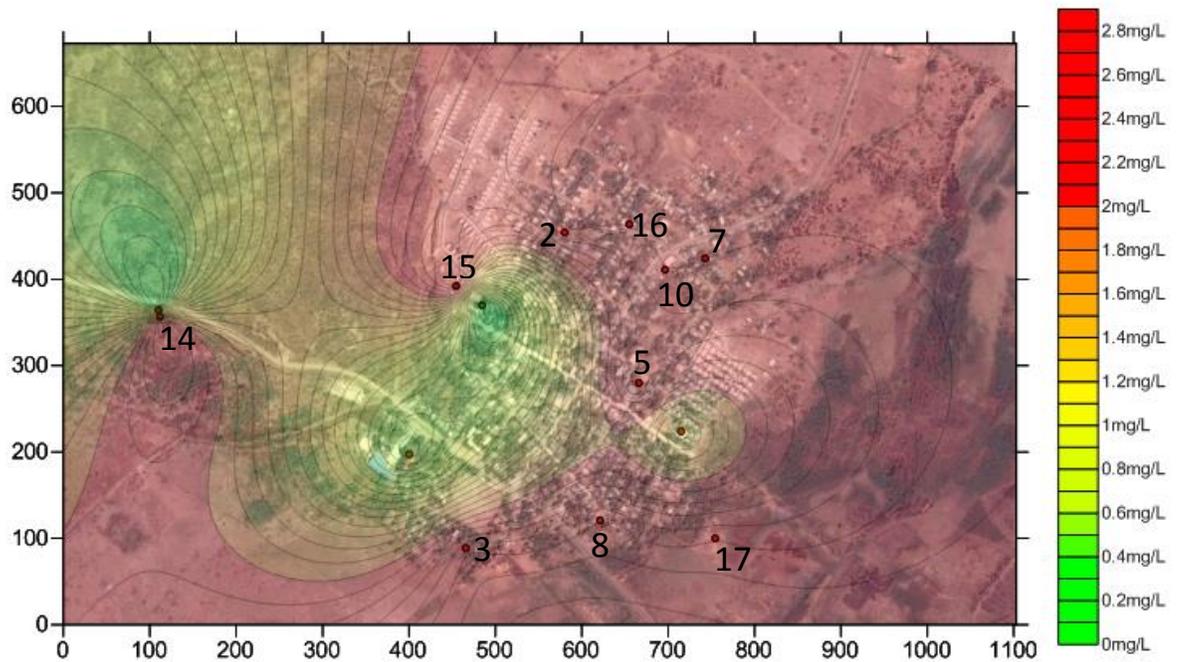
- **Cloro residual:** La resolución 2115 señala que, en cualquier punto de la red de distribución de agua para consumo humano, el valor aceptable de cloro residual libre deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. A partir del análisis se obtuvo que únicamente 2 de las muestras presentan un valor aceptable para el presente parámetro, lo que representaría el cumplimiento solo por parte del 26% de las muestras tomadas y analizadas.

Gráfica 10. Resultados obtenidos de cloro residual libre.



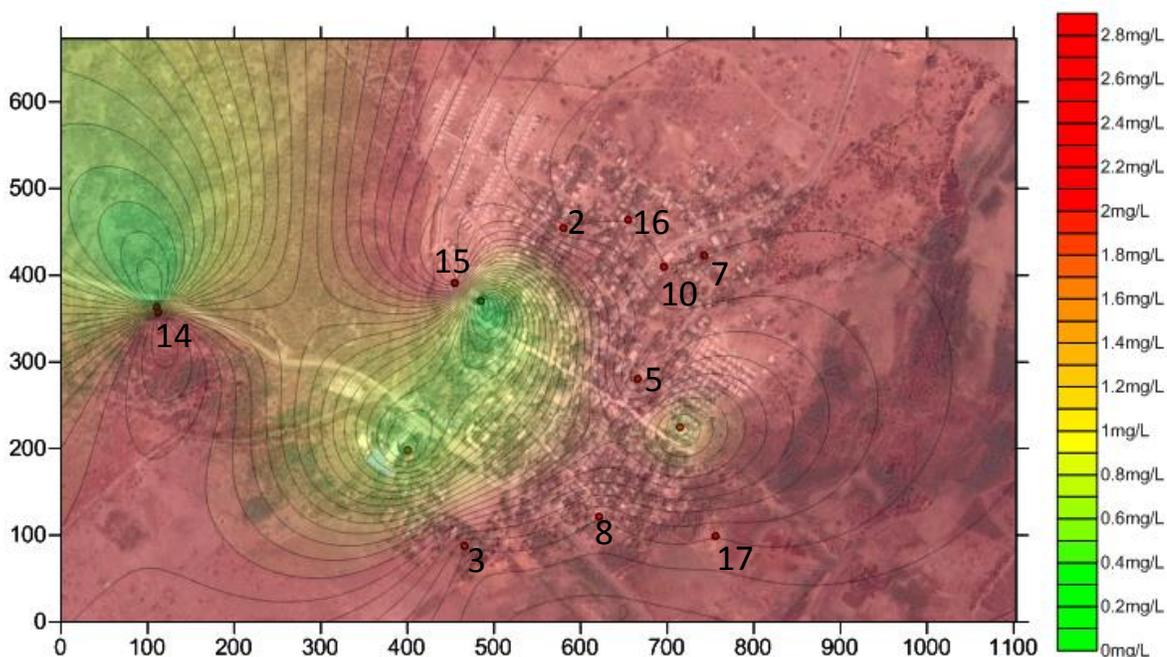
Fuente: propia

Ilustración 19. Resultados obtenidos de cloro residual con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 20. Resultados obtenidos de cloro residual con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

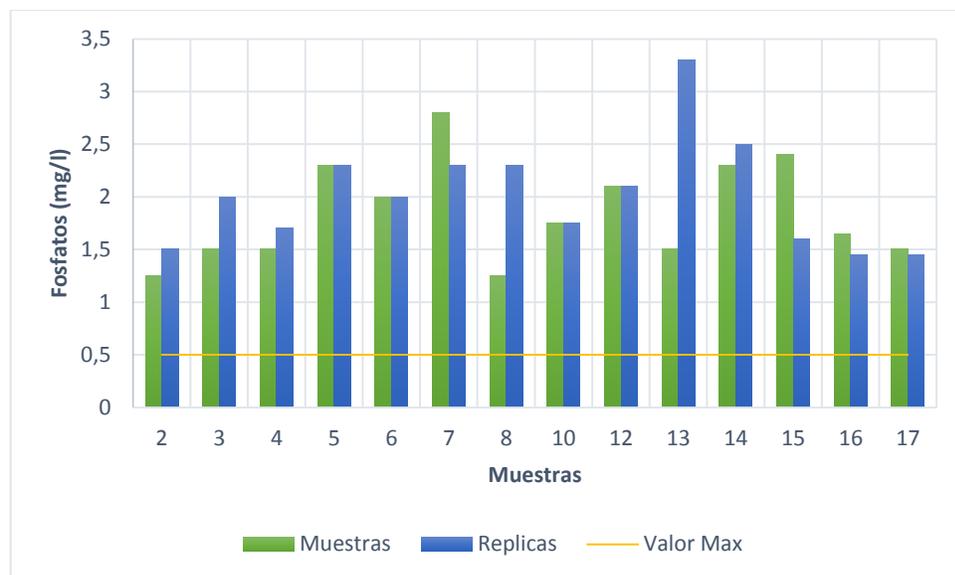
El resultado obtenido es uno de los más relevantes para la presente investigación, por la importancia que radica en que el cloro residual se encuentre en niveles seguros para el consumo humano. Si dicho parámetro se encuentra en exceso, el cloro podría resultar tóxico para el consumo. Además, por ser una sustancia altamente activa, un exceso de cloro puede reaccionar con distintos compuestos orgánicos, por lo que aumenta el riesgo de que se produzcan trihalometanos, que son compuestos carcinógenos para el ser humano.

Los trihalometanos se encuentran en el agua potable como un resultado de la interacción del cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua. Estos estarán presentes mientras el agua contenga cloro o hipoclorito, además de los precursores

orgánicos. Razón que fundamenta la necesidad de mantener la cantidad de cloro residual dentro de los límites permisibles (Ocasio & López, s.f.).

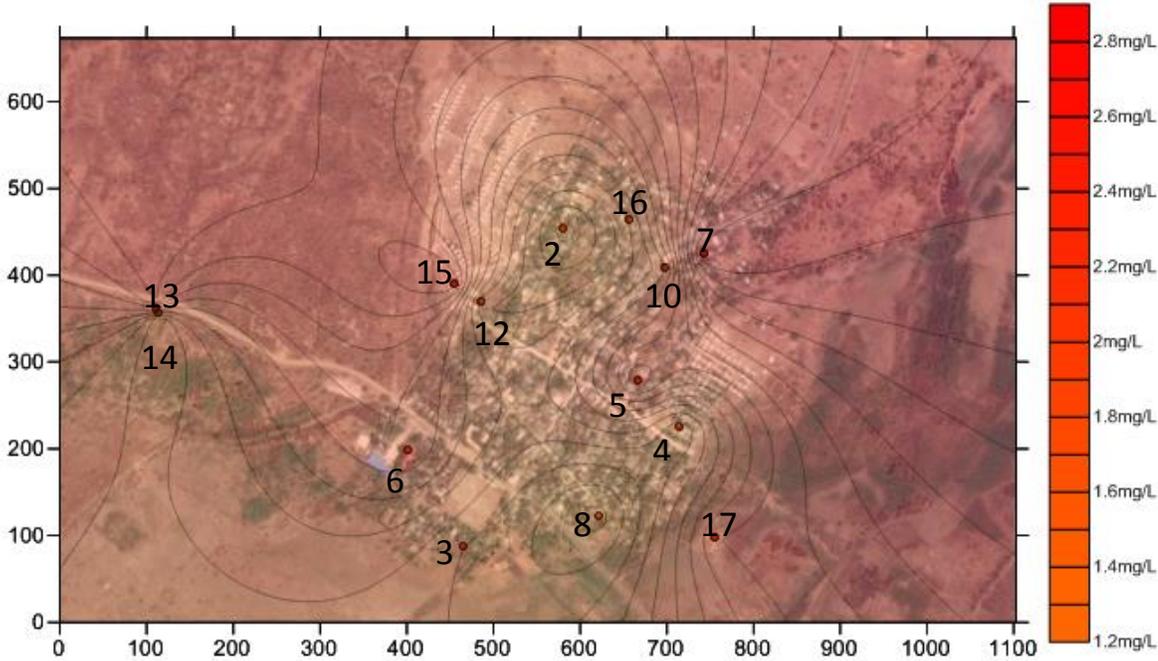
- **Fosfatos:** La resolución 2115 establece que el valor máximo aceptable para agua de consumo humano es de 0,5mg/l PO_4^{3-} . A partir del análisis se obtuvo que ninguna de las muestras cumple con la concentración máxima aceptada, arrojando un promedio de 1.93mg/l de PO_4^{3-} , lo cual señala un exceso de fosfatos en el agua utilizada para consumo. A su vez, otro punto relevante para la investigación (ver gráfica 11).

Gráfica 11. Resultados obtenidos para fosfatos.



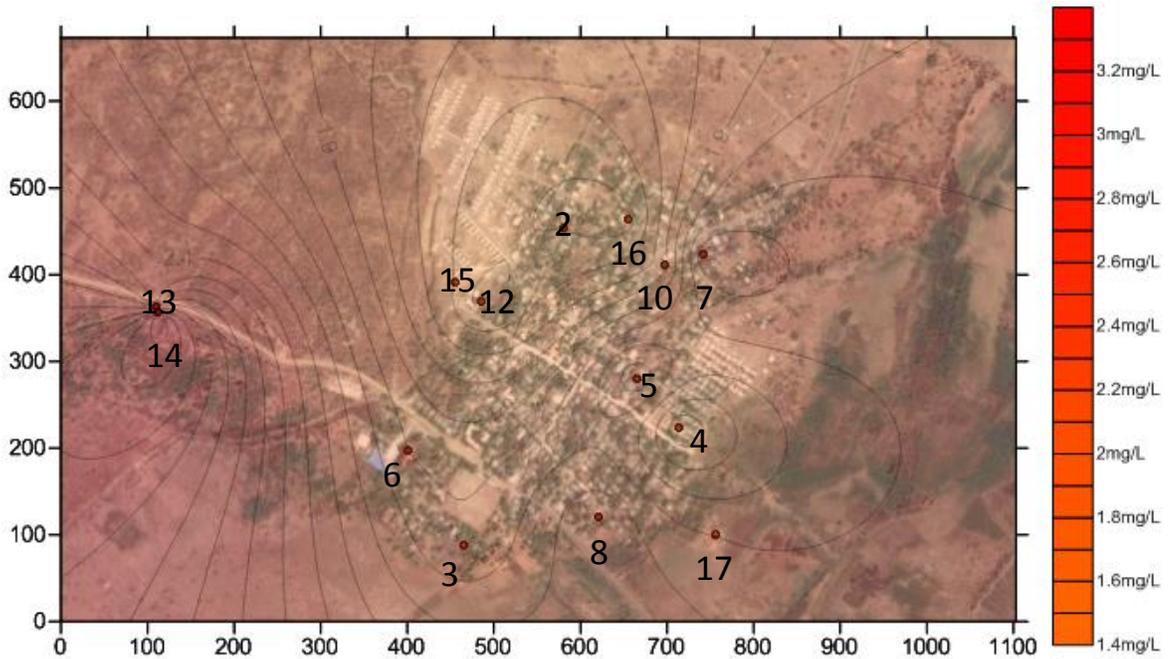
Fuente: propia

Ilustración 21. Resultados obtenidos de fosfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 22. Resultados obtenidos de fosfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

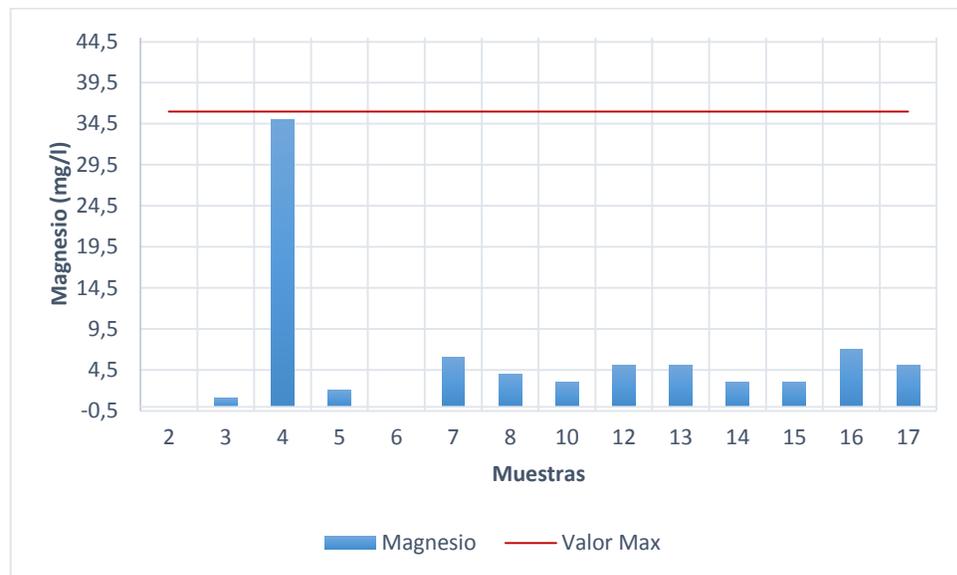
Los fosfatos, pueden aparecer en el agua a partir de distintas fuentes. Estos nutrientes pueden llegar al agua de forma puntual, como sería el caso del vertido de aguas residuales que contengan detergentes o productos de limpieza, excretas humanas y de animales, o bien en grandes extensiones de terreno, por ejemplo, la escorrentía agrícola de aguas ricas en fertilizantes (BARBOZA et al, 2011).

El aporte excesivo de nutrientes a las aguas ocasiona, unos efectos sobre la misma que a su vez pueden provocar, de forma indirecta, una serie de problemas en el hombre. Así, los efectos sobre el agua pueden ser: Una disminución importante del oxígeno disuelto, Aumento de la turbidez, Alteración de las características organolépticas del agua, tales como olor, color, sabor (BARBOZA et al, 2011).

En los efectos a la salud de las personas, los fosfatos al igual que otros iones como los sulfatos y el magnesio, pueden actuar como laxantes cuando se ingieren en cantidades elevadas que superan la capacidad del intestino para absorberlos (DIRECCIÓ GENERAL SALUT PÚBLICA I PARTICIPACIÓ, s.f.).

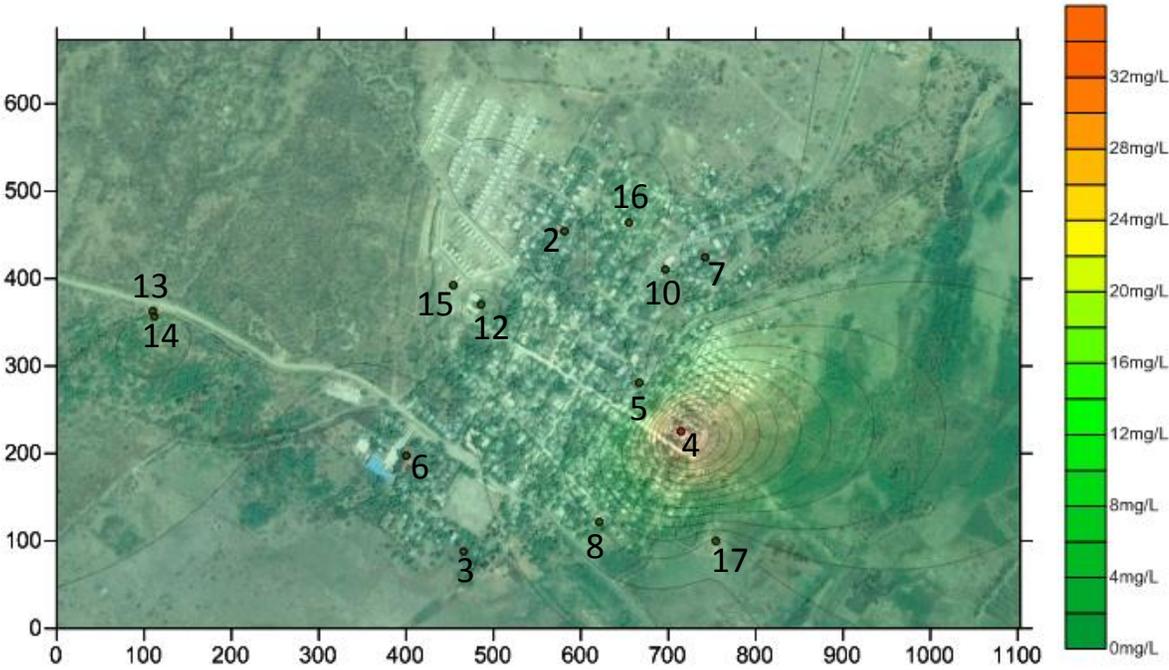
- **Magnesio:** Para el caso del presente parámetro, solo fue posible el análisis de las muestras sin sus respectivas replicas debido a la disponibilidad de reactivo para la totalidad de las mismas. Sin embargo, con las muestras analizadas, se establece que cumplen con el valor máximo aceptable por la resolución 2115, 36mg/l Mg (ver gráfica 12).

Gráfica 12. Resultados obtenidos para magnesio.



Fuente: propia

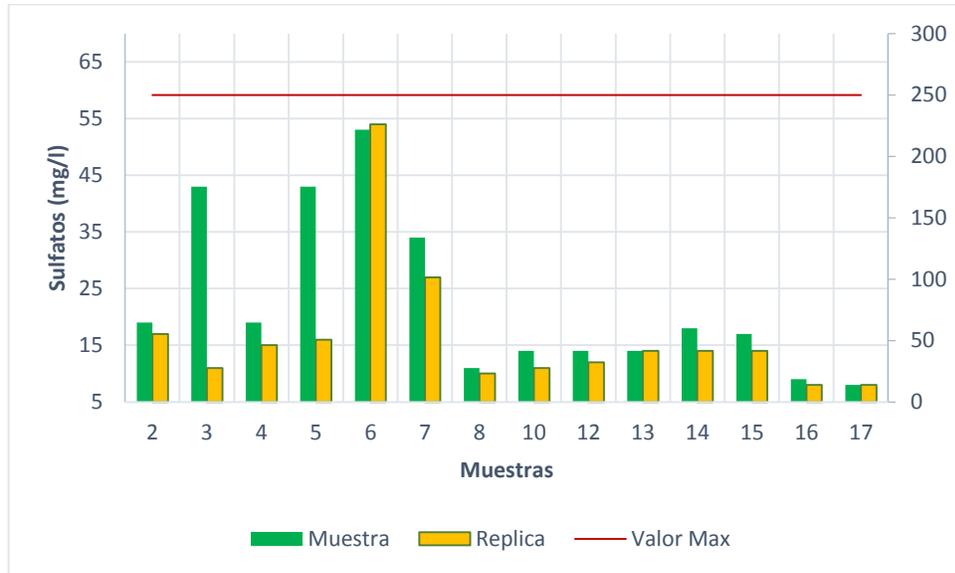
Ilustración 23. Resultados obtenidos de magnesio con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

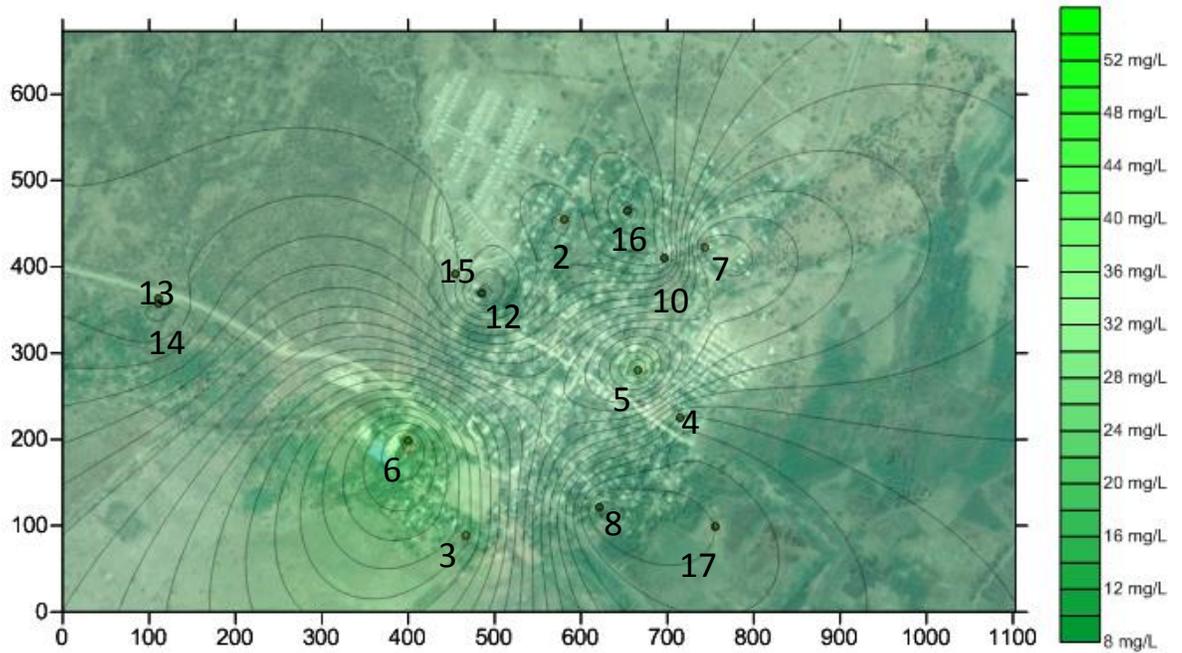
- **Sulfatos:** las muestras en su totalidad arrojaron resultados aceptables en cuanto al valor máximo permitido por la resolución 2115 de 2007, 250mg/l SO_4^{2-} .

Gráfica 13. Resultados obtenidos para sulfatos.



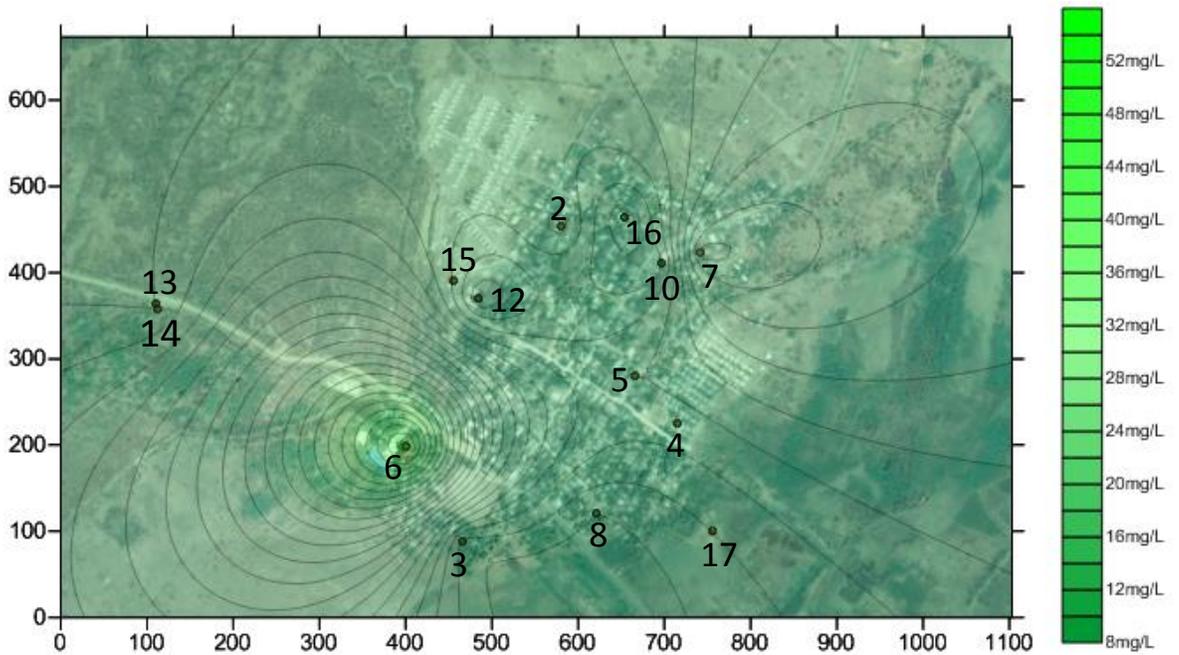
Fuente: propia

Ilustración 24. Resultados obtenidos de sulfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

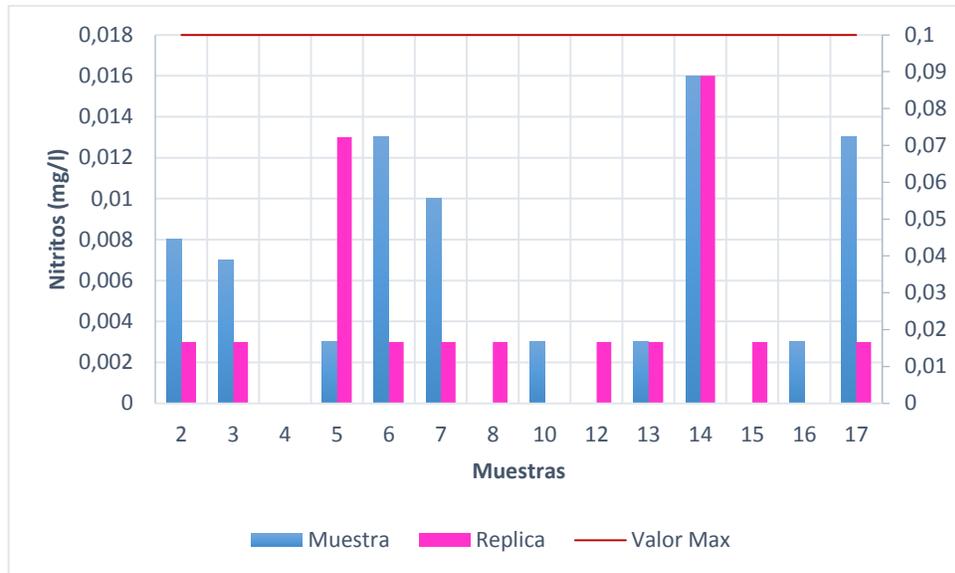
Ilustración 25. Resultados obtenidos de sulfatos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en

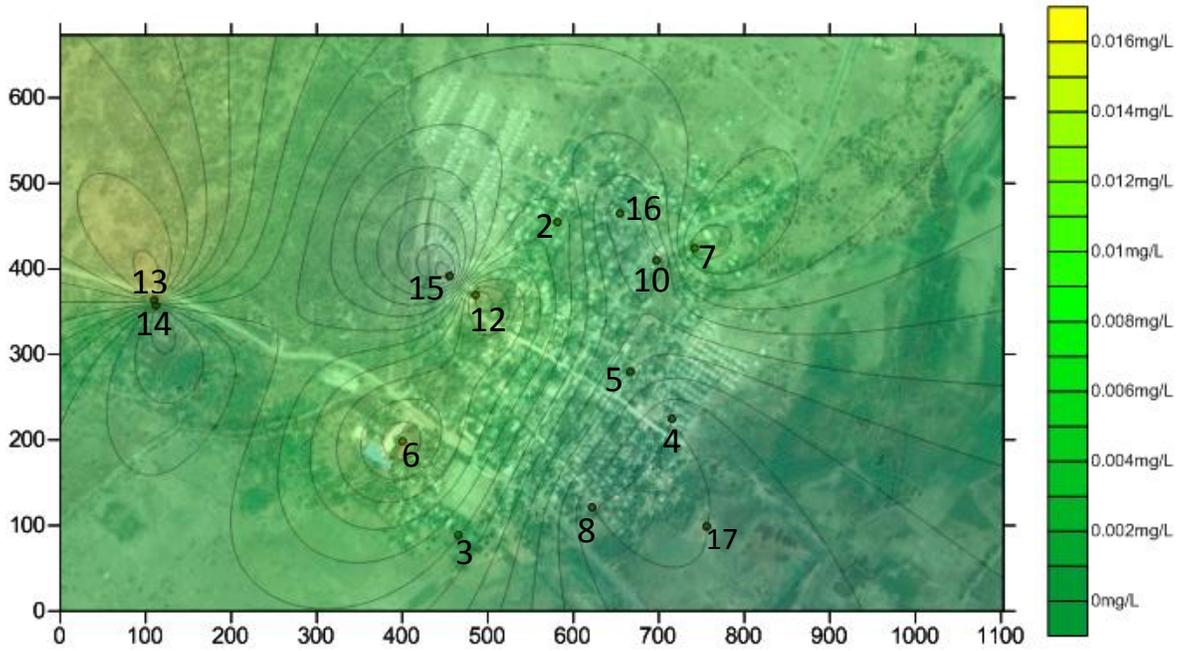
- **Nitritos:** todas las muestras se encuentran por debajo del límite permisible por la resolución 2115 de 2007, el cual corresponde a $0,1\text{mg/l NO}_4^-$ (ver gráfica 14).

Gráfica 14. Resultados obtenidos para nitritos.



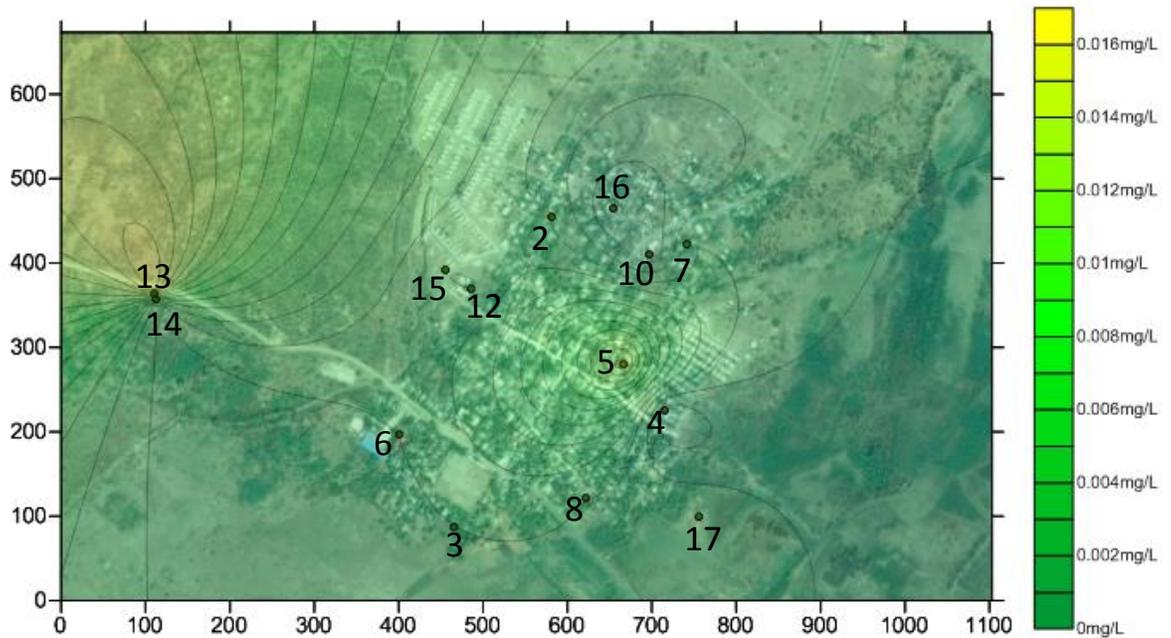
Fuente: propia

Ilustración 26. Resultados obtenidos de nitritos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

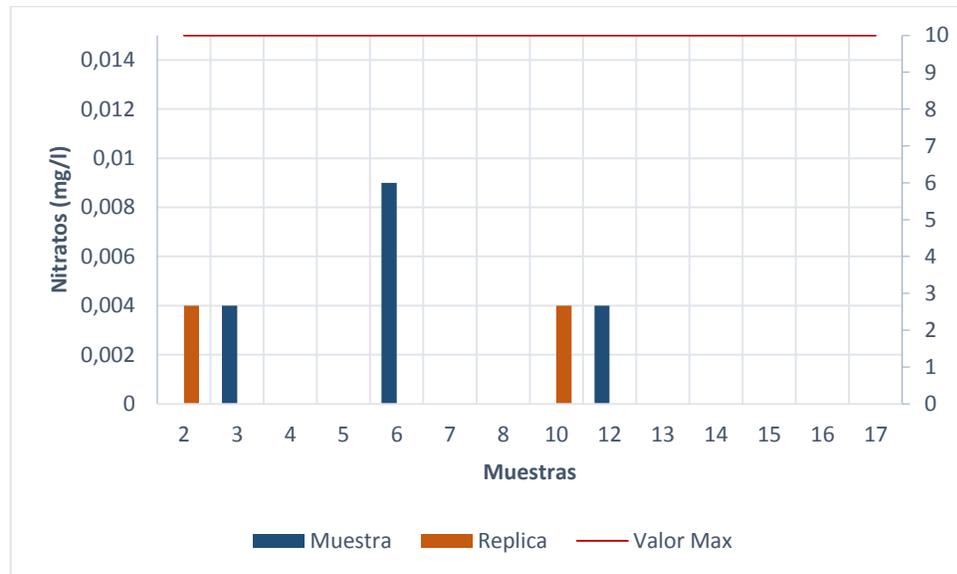
Ilustración 27. Resultados obtenidos de nitritos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

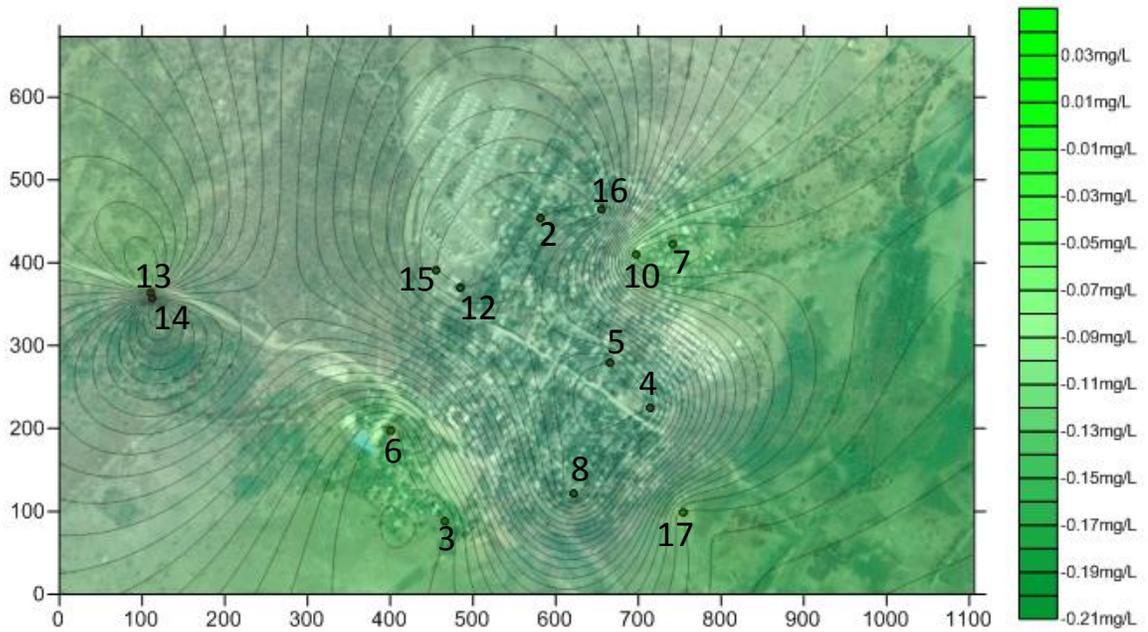
- **Nitratos:** de las veintiocho (28) muestras analizadas, únicamente cinco (5) de ellas arrojaron valores de concentración de nitratos, sin embargo, todas se encuentra por debajo del valor máximo aceptable (10 mg/L) (ver gráfica 15).

Gráfica 15. Resultados obtenidos para nitratos.



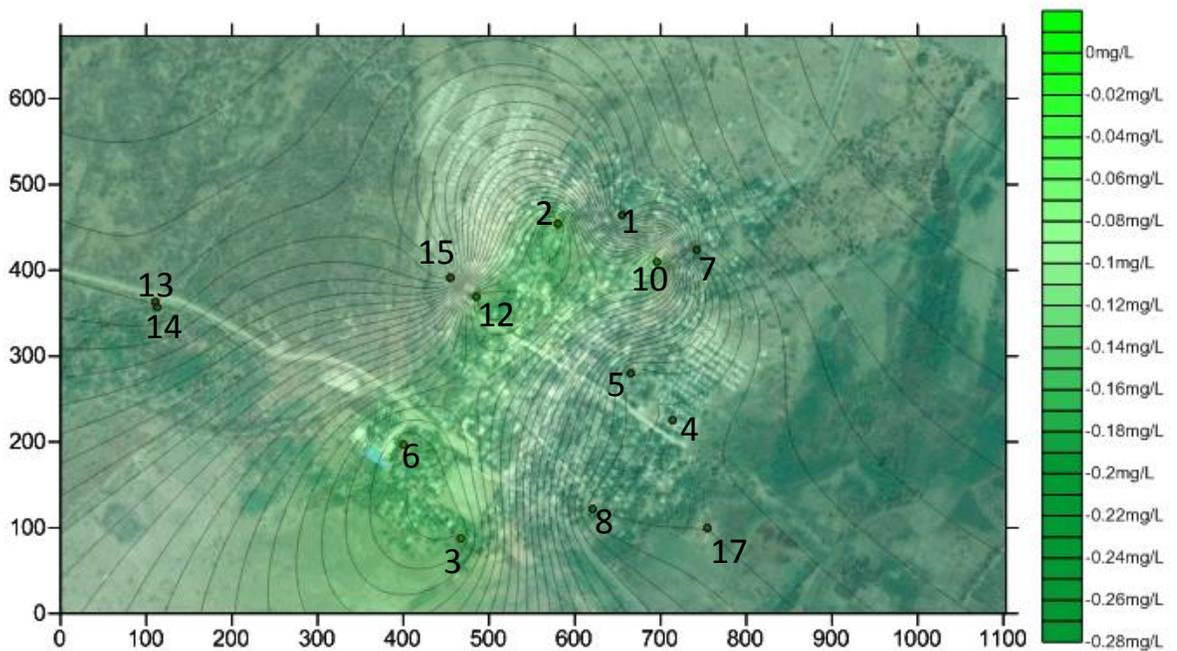
Fuente: propia

Ilustración 28. Resultados obtenidos de nitratos con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



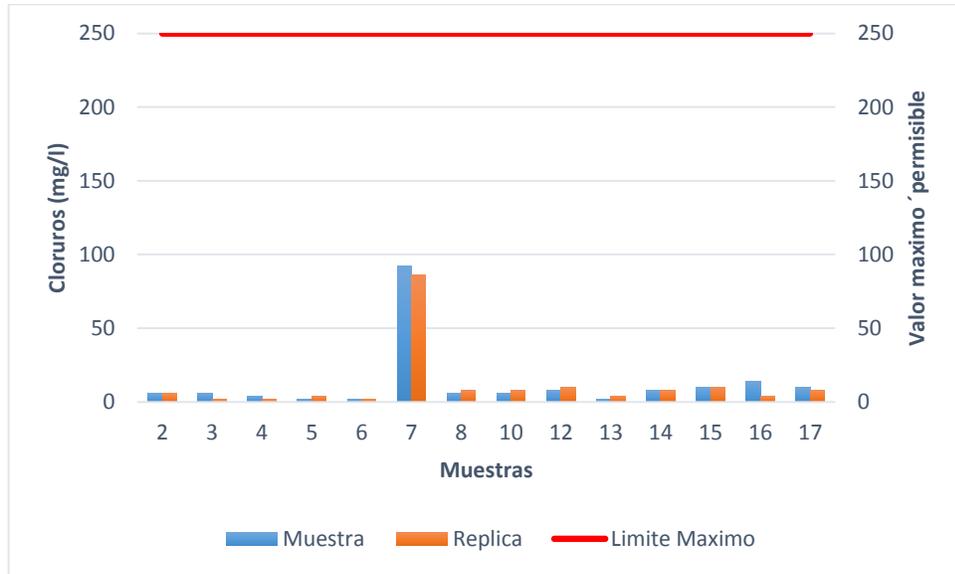
Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 29. Resultados obtenidos de nitratos con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



- **Cloruros:** todas las muestras analizadas cumplieron con el límite propuesto por la resolución 2115 de 2007, arrojando valores que se encuentran por debajo de dicho límite (Ver gráfica 16)

Gráfica 16. Representación de los resultados obtenidos para cloruros.



Fuente: propia

Ilustración 30. Resultados obtenidos de cloruros con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.

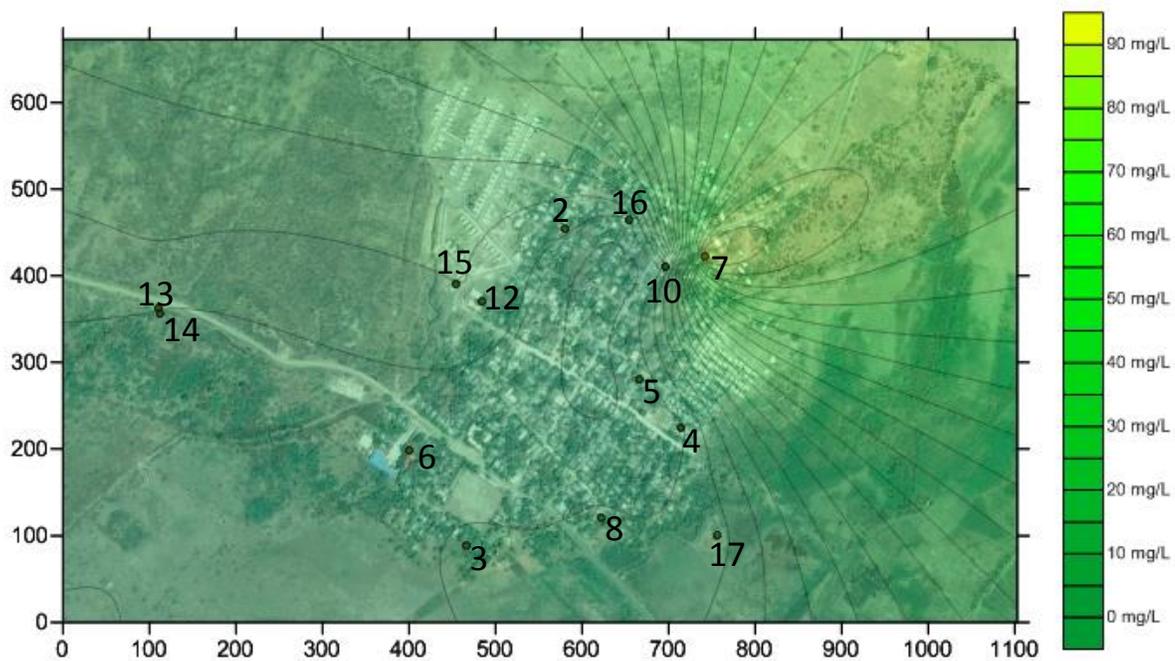
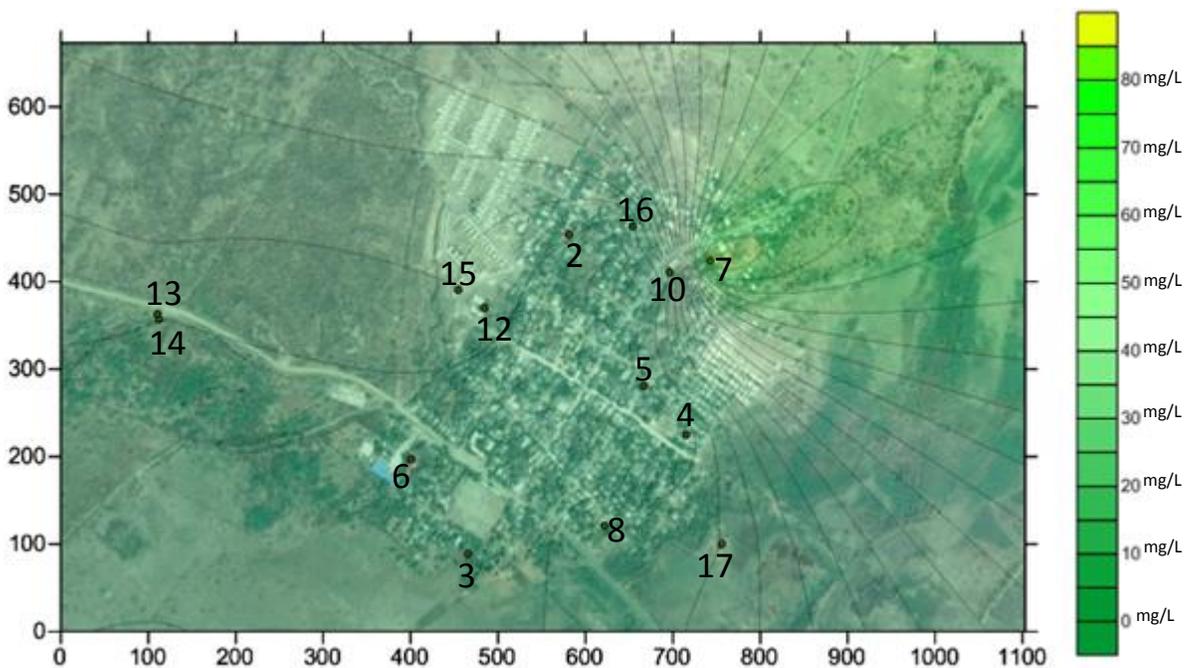


Ilustración 31. Resultados obtenidos de cloruros con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua.

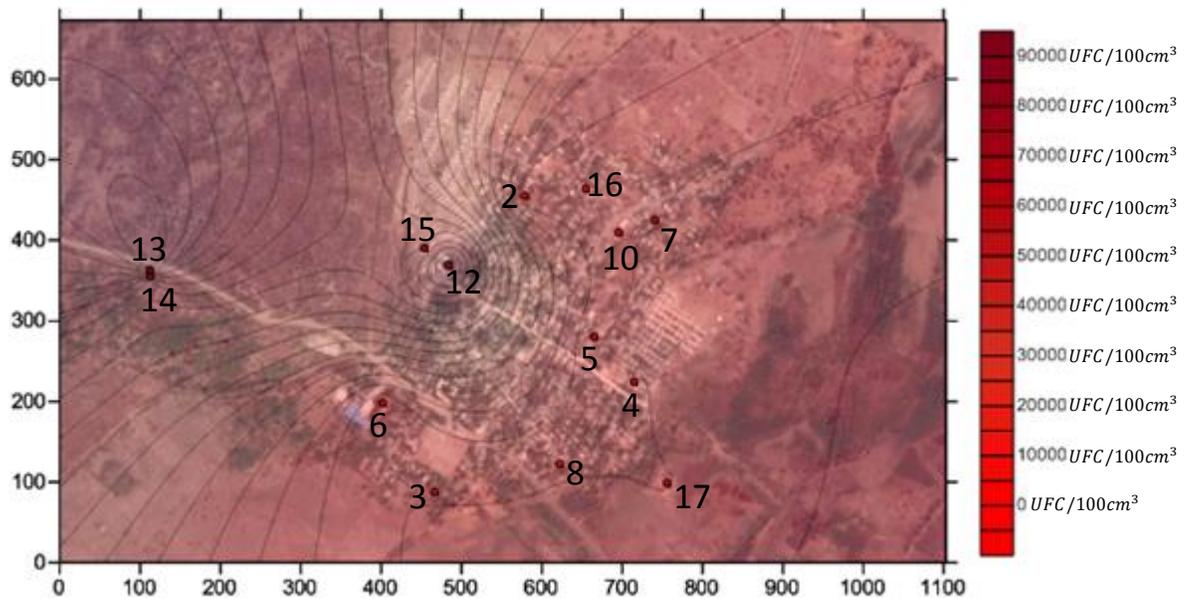
Los límites fijados en el agua por las normas de calidad se sustentan más en el gusto que le imparten al agua que en motivos de salubridad. Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se estableció un límite de 250 mg/L en aguas de consumo, concentración que puede ser razonablemente excedida según las condiciones locales y la costumbre de los consumidores. La OMS considera que, por encima de esta concentración, los cloruros pueden influir en la corrosividad del agua (Barrenchea Martel, 2004).

- **Coliformes Totales:** la totalidad de las muestras analizadas, arrojaron resultado positivo (+) para coliformes totales, presentando densidades altas (Ver tabla 7). Situación que resulta relevante para la investigación, puesto que la normatividad Colombia establece que ninguna muestra de agua potable debe contener coliformes totales (0 UFC/100 cm³).

En el corregimiento de Villa Rosa se aplica la desinfección con cloro gaseoso. Los resultados obtenidos respecto al cloro residual libre sobrepasan los niveles permisibles, sin embargo, no parece existir relación coherente entre dichos resultados y los presentes microbiológicos, lo que representa una calidad deficiente en la calidad del agua.

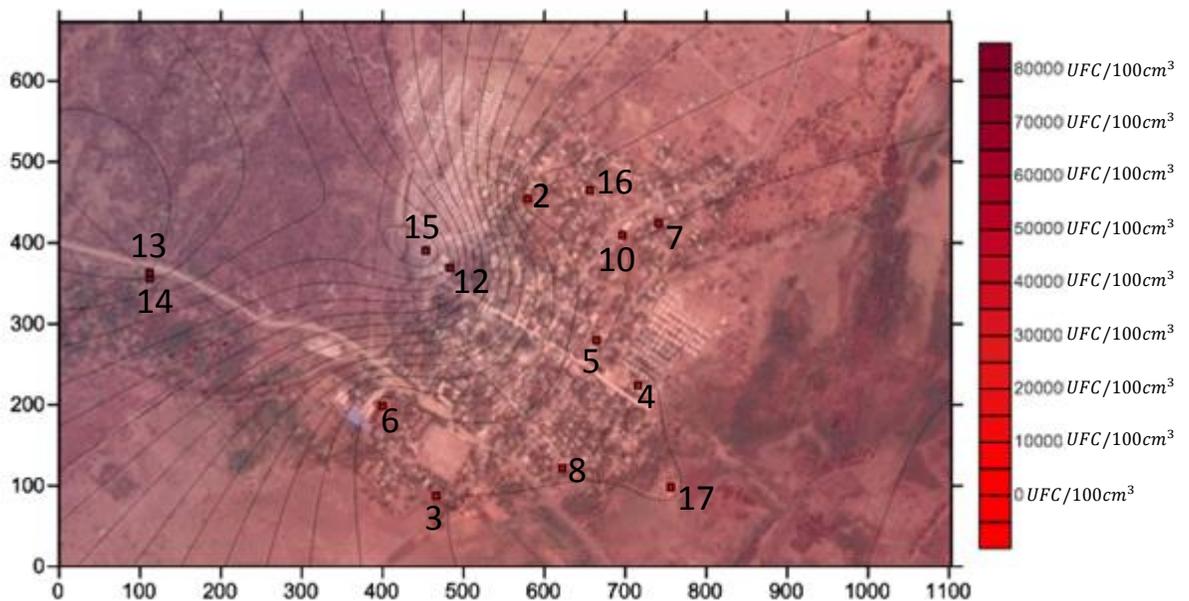
Aunque la mayoría de las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales no son peligrosas, su presencia en agua es preocupante, por cuanto no es el hábitat natural (APHA, 1992).

Ilustración 32. Resultados obtenidos de coliformes totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 33. Resultados obtenidos de coliformes totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

- **Escherichia Coli (E. Coli):** durante el análisis, la mayoría de las muestras analizadas arrojaron resultado positivo (+), a excepción de dos (2) muestras (Ver tabla 7).

La resolución 2115 de 2007 en su artículo 11°, parágrafo 2. Señala que Ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E. Coli en 100 cm³ de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

El resultado obtenido, demuestra que el agua que consumen los habitantes del corregimiento de Villa Rosa no es apta para el consumo humano y no cumplen con los requerimientos microbiológicos establecidos en la Norma. Indicando que probablemente en las fuentes de suministro de agua se da contaminación por bacterias del grupo coliforme fecal y específicamente de Escherichia coli. Que es indicador preciso de contaminación con heces fecales humanas. Convirtiéndose en uno de los principales vehículos de transmisión, que afecta a los grupos más desprotegidos de la población entre ellos, a los ancianos y niños. Desde el punto de vista salud, la contaminación más importante es la microbiológica y las fuentes de esa contaminación son las que deben vigilarse con mayor atención (GALLARDO CARPIO, 2009).

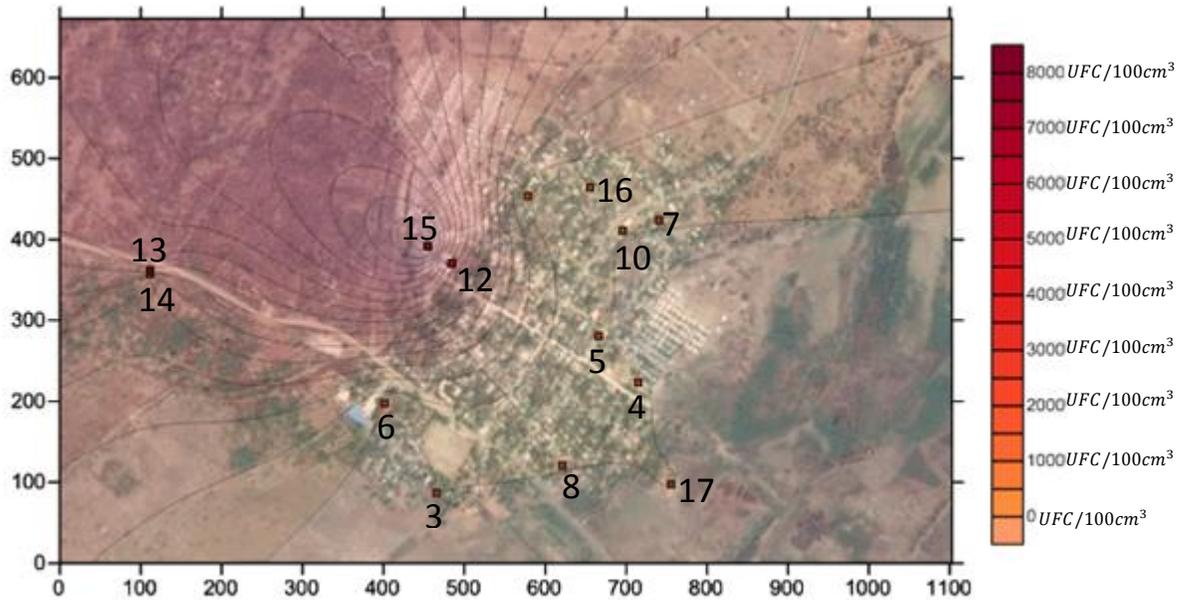
El E. coli produce enfermedad diarreica aguda, infecciones urinarias, gastroenteritis, infecciones en la piel, infecciones de las vías biliares, peritonitis, neumonía, meningitis neonatal, abscesos hepáticos, bacteriemia, colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico (SUH) (Estupiñan, Avila, Celeita, & Escobar, 2010).

Tabla 6 Resultados obtenidos del muestreo realizado. Parámetros microbiológicos: coliformes totales (UFC/100cm³) y *Escherichia coli*.

Código de muestra	Muestra	Coliformes Totales UFC/100cm ³	<i>Escherichia coli</i>
2	1	705	0
	2	644	0
3	1	440	8
	2	260	4
4	1	640	25
	2	750	12
5	1	395	30
	2	295	10
6	1	330	10
	2	290	5
7	1	340	35
	2	260	20
8	1	662	16
	2	380	12
10	1	440	10
	2	362	4
12	1	260	12
	2	400	18
13	1	54000	2000
	2	67000	2000
14	1	90000	4000
	2	76000	2000
15	1	54000	8000
	2	70000	6000
16	1	2000	300
	2	4000	1000
17	1	81000	4000
	2	60000	2000

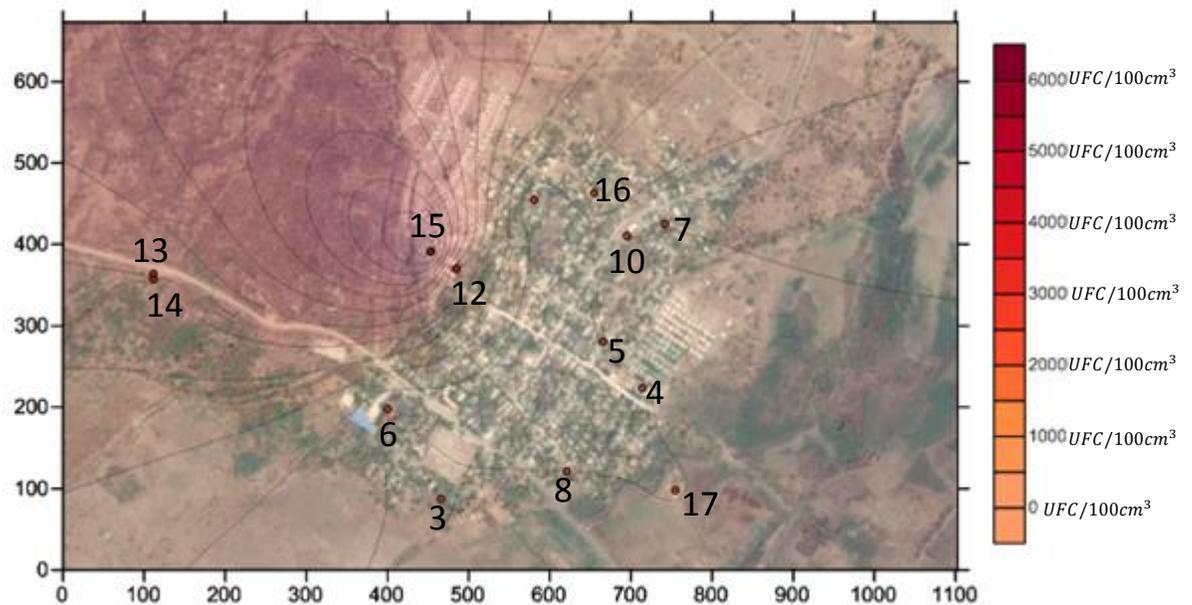
Fuente: propia

Ilustración 34. Resultados obtenidos de Escherichia coli con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Ilustración 35. Resultados obtenidos de Escherichia Coli totales con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.

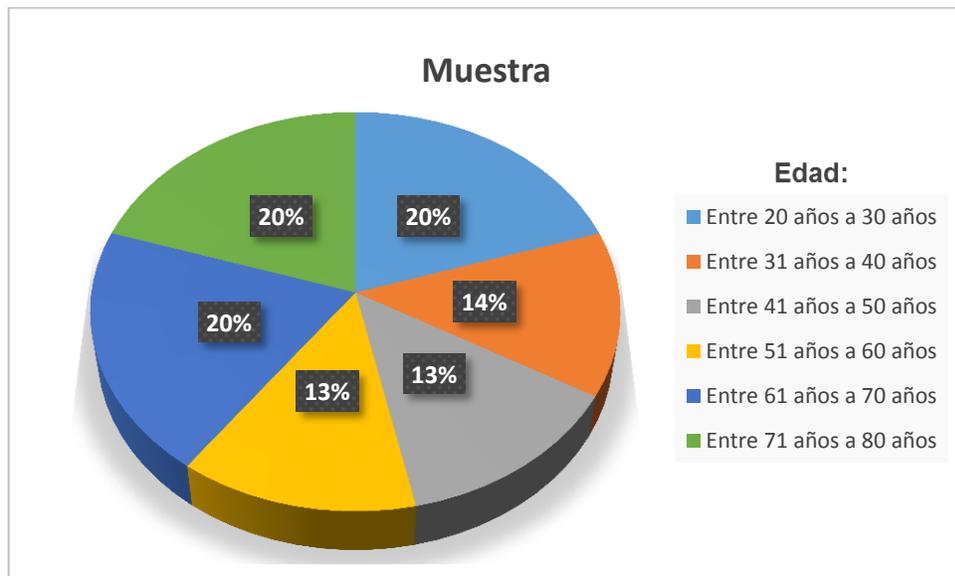


Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

6.3. Encuesta a consumidores

La realización de la encuesta presentada a continuación tuvo como objetivo único conocer la percepción de los usuarios del agua para consumo en el corregimiento de Villa Rosa (Ver anexos, Pagina 111). Es importante mencionar que no se estableció una muestra matemática para la realización de la misma, las quince (15) personas encuestadas responden como propietarios y/o habitantes en las viviendas donde se realizó la toma de muestra de manera simultánea a la encuesta para el posterior análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas des las mismas.

Gráfica 17. Muestra utilizada para encuesta de percepción.



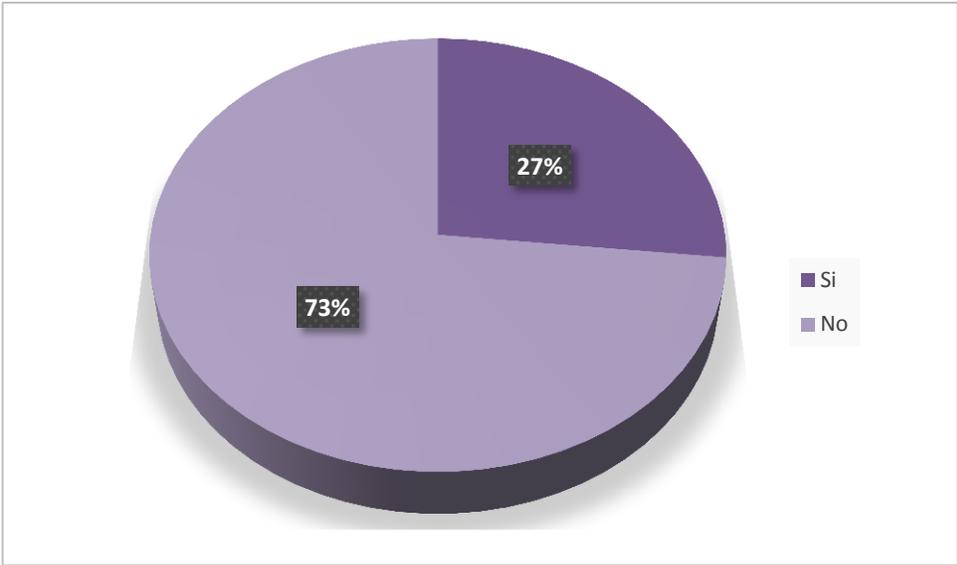
Fuente: propia

Dentro de la muestra estudiada, el porcentaje de personas que se encuentran en un rango de 20 a 30 años, 61 a 70 años de edad y entre los 71 a 80 años de edad, es de un 20% cada uno.

Un 14% pertenece a las personas que se encuentran entre los 31 a 40 años. Las personas que se encuentran entre los 41 hasta los 50 años y las que se encuentran entre los 51 a 60 años, representan un 13% cada uno de la muestra encuestada.

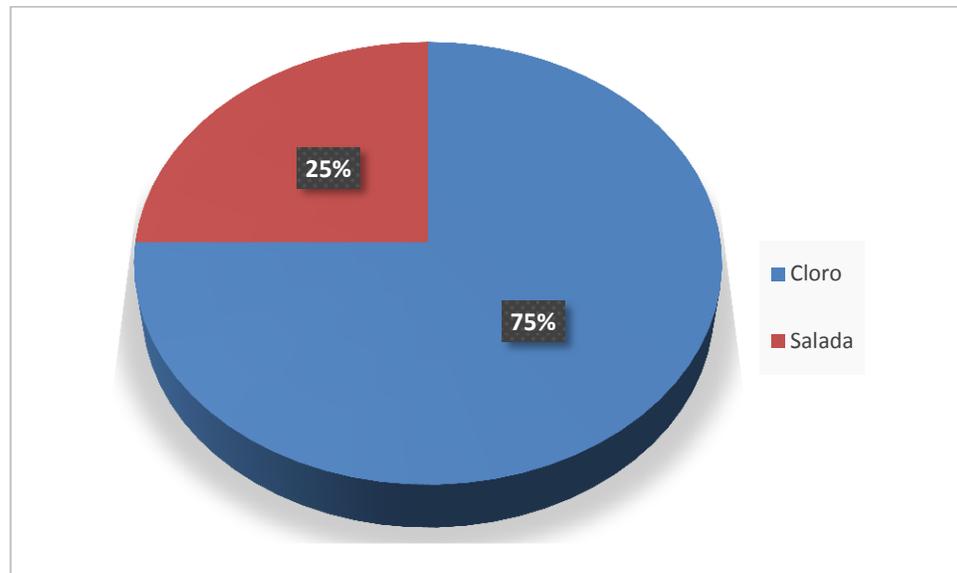
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las preguntas realizadas.

Gráfica 18. ¿El agua que consume presenta algún olor?



Fuente: propia

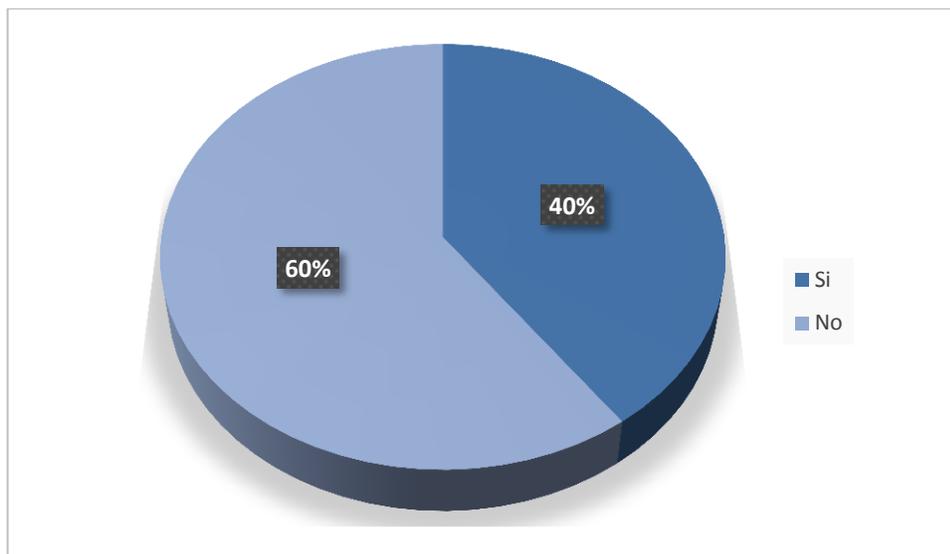
Gráfica 19. ¿Cuál?



Fuente: propia

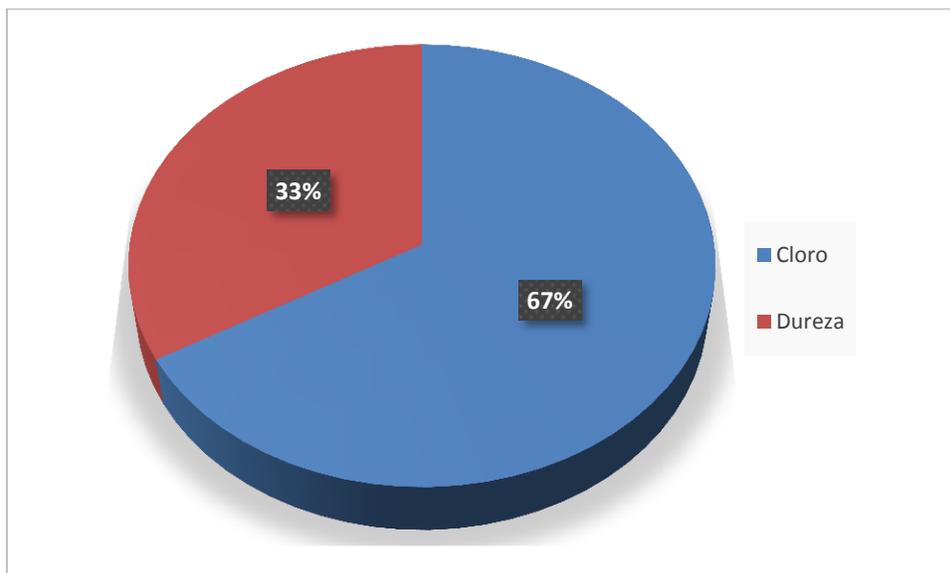
Según la percepción de los consumidores del recurso, el 73% de las personas encuestadas manifiestan no sentir olor alguno en el agua que consumo. Mientras que el 27% afirma lo contrario.

Gráfica 19. ¿El agua que consume tiene sabor?



Fuente: propia

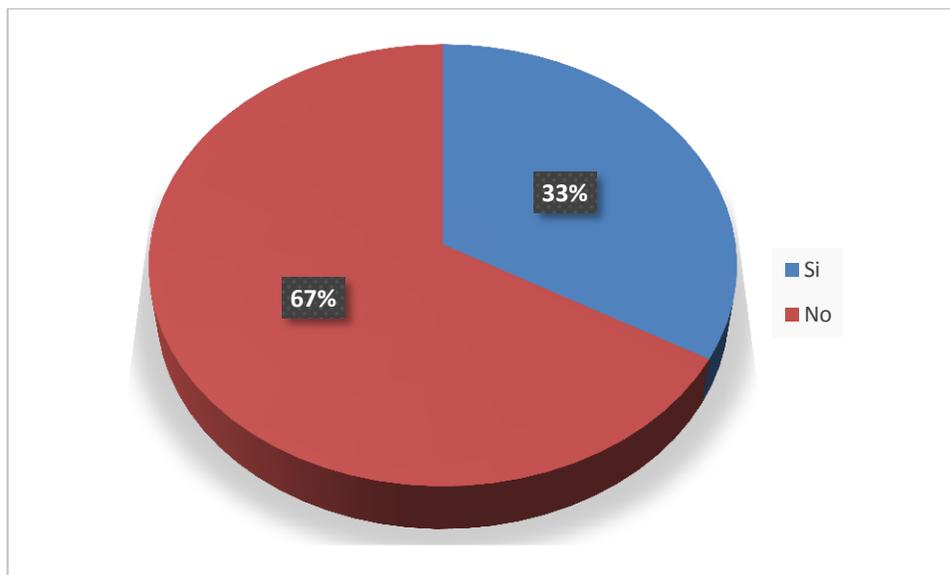
Gráfica 20. Si la pregunta anterior es afirmativa, diga ¿Cuál?



Fuente: propia

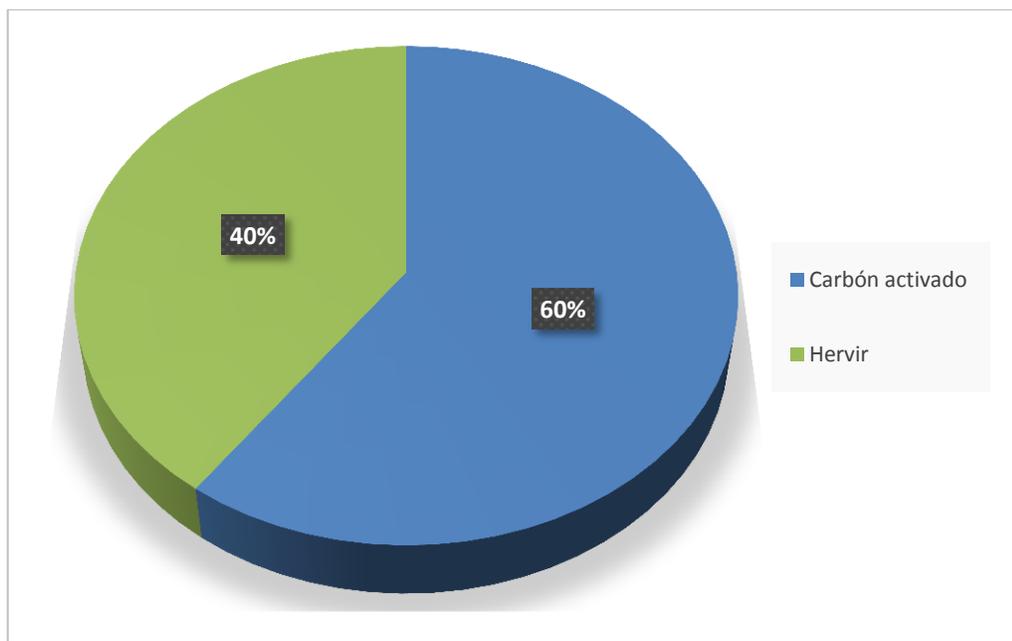
El 40% de las personas encuestadas afirmaron que el agua presenta sabor. Dentro de este porcentaje, el 67% coincidió en decir que el agua tiene un sabor a cloro, mientras que el 33% afirmó que el agua presenta otro un sabor.

Gráfica 21. ¿Antes del consumo de agua aplica algún tipo de tratamiento?



Fuente: propia

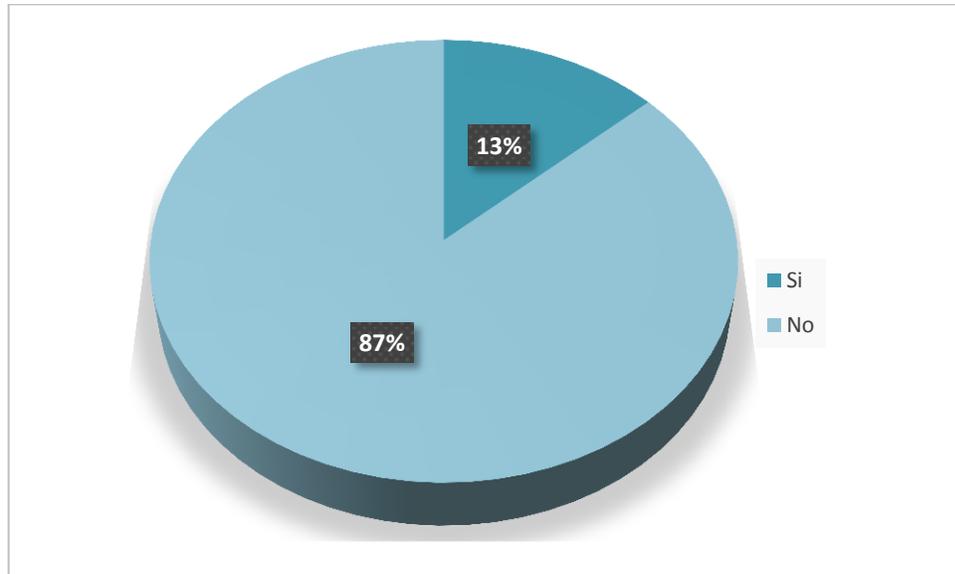
Gráfica 22. Si la respuesta es afirmativa, diga ¿cuál?



Fuente: propia

El 67% de las personas encuestadas no aplica ningún tratamiento al agua antes de consumirla. Por otra parte, el 60% aplica como tratamiento carbón activado y el 40% restante hierva el agua antes de consumirla.

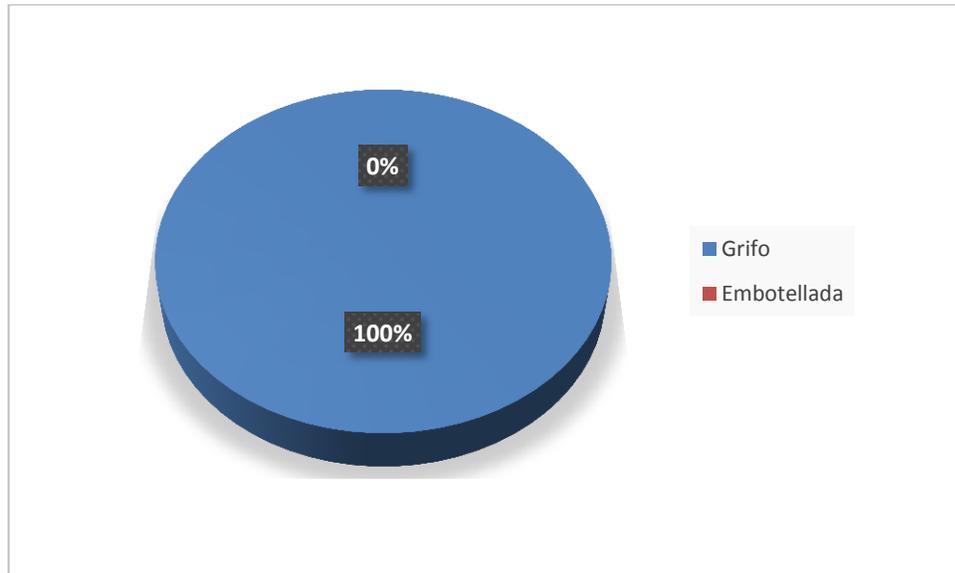
Gráfica 23. *¿Considera que ha sufrido alguna sintomatología por consumo de agua?*



Fuente: propia

El 87% que corresponde a 13 personas encuestadas, considera que no ha sufrido ninguna molestia por el consumo de agua, mientras que 2 personas, que corresponden al 13% afirmó que ha presentado problemas relacionados al consumo de agua. En la mayoría de los casos, estos problemas hacen referencia a sintomatologías como lo son diarreas.

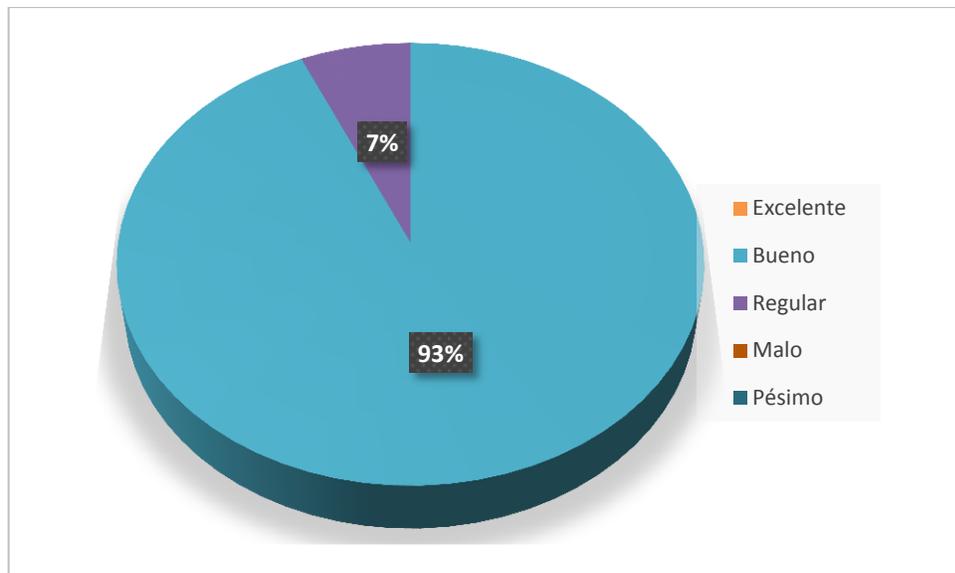
Gráfica 24. ¿De dónde obtiene la mayor parte del agua que consume?



Fuente: propia

Todas las personas encuestadas coinciden que en su totalidad obtienen el agua que consumen del grifo, servicio brindado por el acueducto del corregimiento.

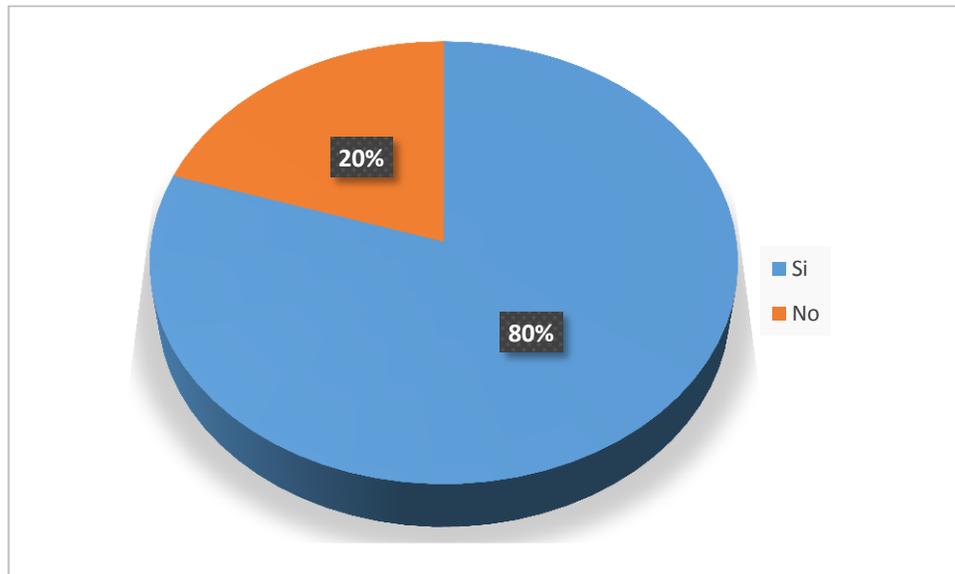
Gráfica 25. ¿Cómo califica la calidad de agua que se brinda actualmente al corregimiento de Villa Rosa?



Fuente: propia

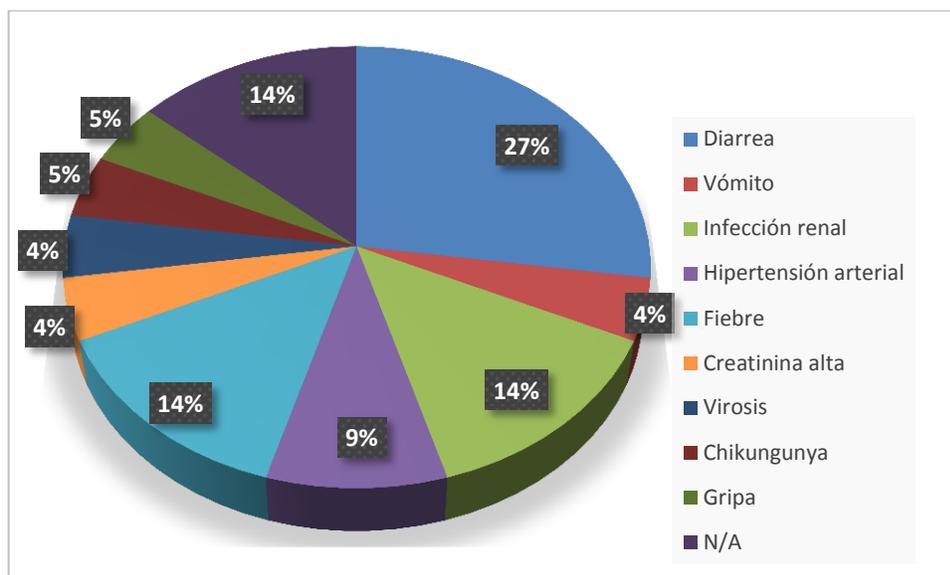
El 93% que corresponde a 14 personas encuestadas, considera que la calidad del agua es óptima en Villa Rosa, mientras que 1 persona, correspondiente al 7%, afirmó que la calidad del servicio de agua brindando es regular; ninguna de las otras opciones fue escogida por los habitantes.

Gráfica 26. *¿Tiene usted conocimiento sobre cuál o cuáles son las enfermedades más comunes en la población?*



Fuente: propia

Gráfica 27. ¿Cuál?



Fuente: propia

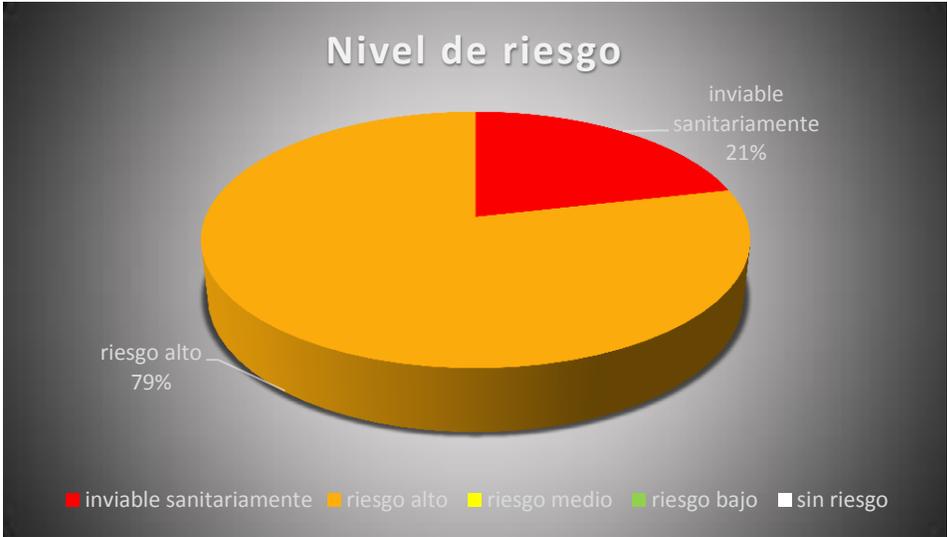
El 80% de las personas encuestadas aseguran tener conocimiento de las enfermedades que con más frecuencia se presentan en la población, siendo la diarrea la opción mencionada de forma reiterada con un 27%. Dentro de las otras opciones mencionadas, encontramos infección renal y fiebre, con un 14% respectivamente. En este orden de incidencia, también es importante mencionar otra de las opciones escogidas, como la hipertensión arterial, la cual tiene un 9%. Las demás opciones cuentan con un 4% y 5% de escogencia por parte de los habitantes.

De manera general y a partir de la información brindada por la población encuestada se puede concluir que casi la totalidad de la misma se encuentra satisfecha con el servicio prestado por parte del acueducto a pesar de encontrar consumidores que expresan molestias por el olor o sabor a cloro que presenta el agua del corregimiento o que al mismo tiempo

haya quienes consideran que síntomas como diarrea o vomito son causadas por el agua que consumen.

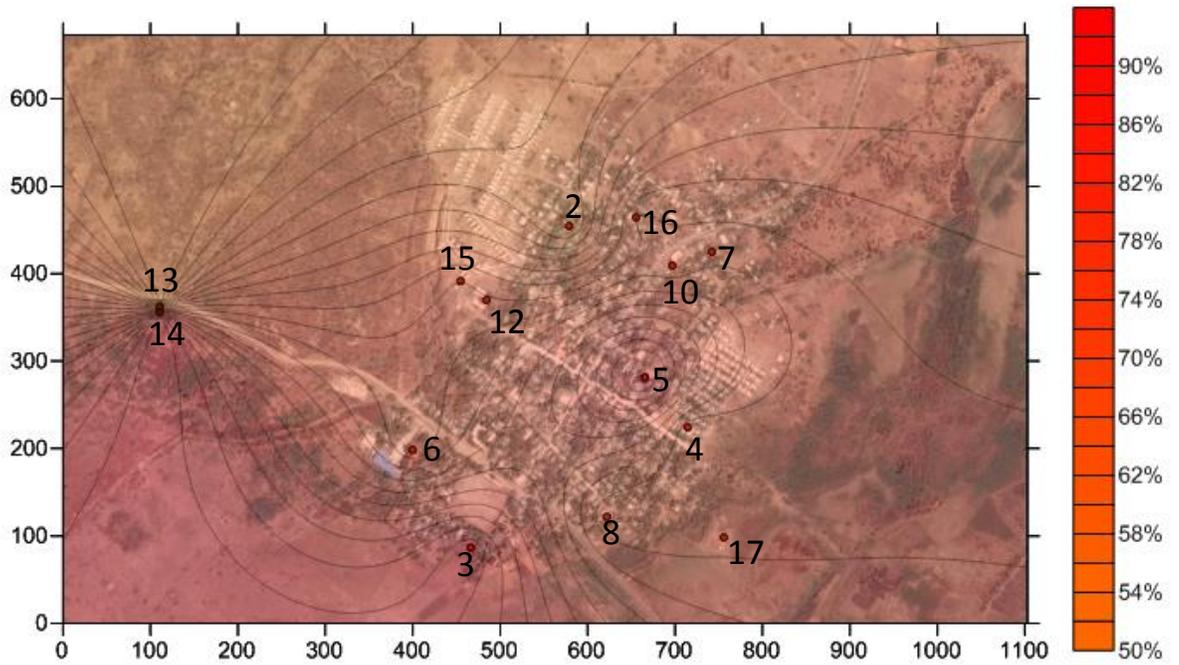
6.4. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano de las muestras analizadas

Gráfica 28 Puntaje de riesgo obtenido por las muestras analizadas del segundo muestreo.



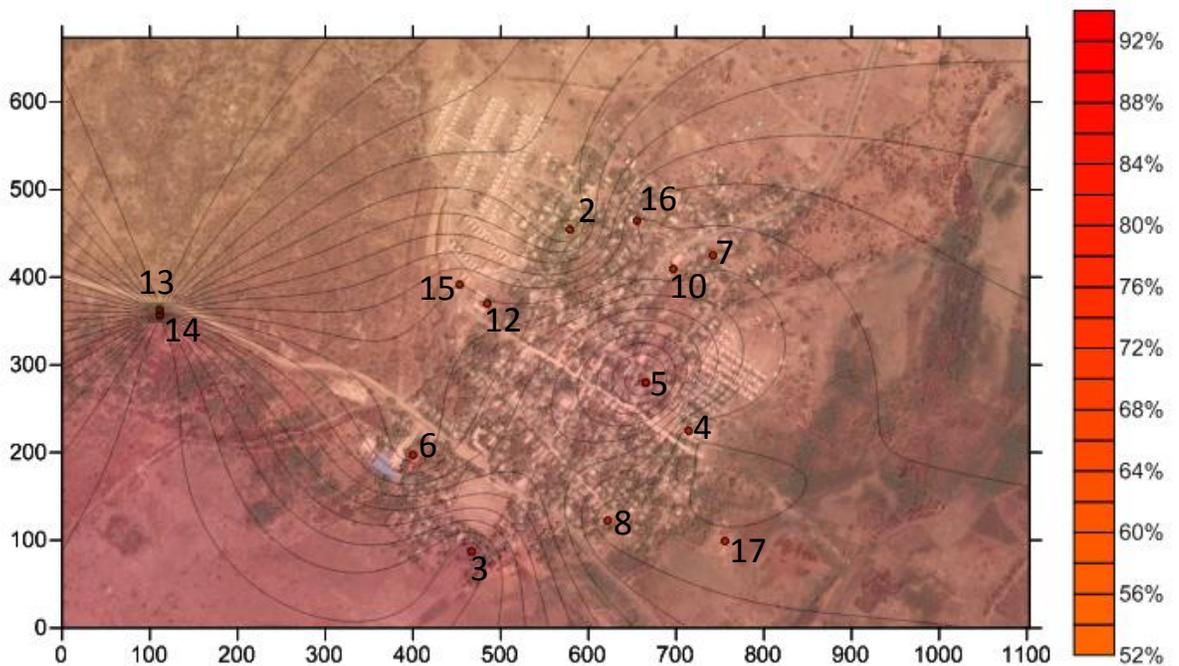
Fuente: propia

Ilustración 36. Nivel de riesgo (IRCA) con respecto a la ubicación en el área de estudio de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer 11.

Ilustración 37. Nivel de riesgo (IRCA) con respecto a la ubicación en el área de estudio de las réplicas de los puntos del segundo muestreo realizado.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer

De las 28 muestras analizadas se establece que, 22 de ellas se encuentran en la clasificación de riesgo alto, ya que los valores determinados de IRCA por muestra se arrojaron en un rango de 35,1- 80 (%). Por otro lado, las 6 muestras restantes obtuvieron su clasificación de riesgo invariable sanitariamente. Dichas muestras obtuvieron en común el incumplimiento de 5 parámetros, (turbiedad, cloro residual, fosfatos, coliformes totales y *Escherichia Coli*), lo que representa un resultado de 91,6% en índice de riesgo.

La resolución 2115 de 2007 en su artículo 15°, señala que, para los niveles de riesgo alto e invariablemente sanitario, el agua no es apta para consumo humano. Por lo cual se debe informar e iniciar una gestión directa de acuerdo con la competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional, Con el fin de emprender acciones para su mejora.

Para el presente caso de estudio, los parámetros microbiológicos resultaron de mayor relevancia e influencia en el nivel de riesgo por representar los mayores puntajes de evaluación debido a su índice de contaminación y representar un factor de riesgo para la salud al favorecer la transmisión de enfermedades infecciosas, especialmente las de ciclo oral-fecal; Eda y hepatitis A. (Briñez, Guarrizo, & Arias, 2012)

Como se mencionó anteriormente, otro parámetro de relevancia es el cloro residual. El cual, refleja deficiencia en las prácticas de desinfección o en el estado del sistema de distribución.

6.5. Principales factores que pueden afectar la calidad del agua de consumo en el corregimiento de Villa Rosa

Con base al reconocimiento realizado en campo, se establecieron diferentes factores que, apoyados en los resultados obtenidos, pueden tener una incidencia sobre la afectación del recurso para consumo.

- ◆ El servicio presentado en el corregimiento no es continuo. los habitantes tienen la conexión del servicio día por medio, debido a la poca capacidad del tanque de almacenamiento y a los diferentes tipos de tuberías utilizadas en la zona por lo que se debe sectorizar el corregimiento al momento de distribuir el recurso. La única excepción son los colegios, los cuales cuentan con servicio continuo. Dicha situación ocasiona que los habitantes fabriquen piletas o albercas para almacenar y recolectar el agua, las cuales en su mayoría son ubicadas en los patios de las viviendas donde se encuentran a su vez animales tales como cerdos, gallinas, perros, entre otros. hecho que agrava la situación señalada anteriormente por la incidencia que pueden tener los desechos de estos animales sobre la calidad del recurso y salud.

- ◆ La limpieza y desinfección del pozo es realizada cada ocho (8) meses con compresores químicos. Cuando la normativa establece que se debe realizar cada seis (6) meses.

- ◆ Prácticas sanitarias inadecuadas de manejo del recurso a nivel domiciliario por parte de los usuarios.

- ◆ Dentro de la infraestructura, no se cuenta con cámara de contacto, lo cual podría incidir en la relación incoherente entre el cloro residual y los parámetros microbiológicos. Ya que siendo elevados los resultados de cloro residual obtenidos en cada muestra y replica, sigue existiendo la presencia de coliformes y *E.coli*.

- ◆ El corregimiento no cuenta con alcantarillado. Sustituyendo este, los habitantes utilizan pozas sépticas, Situación que podría estar incidiendo en la contaminación indicada por los resultados de las muestras para *E.coli*. Esta teoría al mismo tiempo está apoyada por los valores obtenidos para fosfatos, como bien es conocido, una de las fuentes más significativa de fosfatos es originada por detergentes presentes en aguas residuales domésticas.

6.6. Medidas correctivas

- ◆ En el corregimiento de Villa Rosa como método de desinfección se realiza la cloración por inyección, siendo este el más utilizado debido a las ventajas que presentan tales como: la alta precisión que ofrecen en la dosificación, no es influenciado por los cambios de temperatura y finalmente es un equipo duradero y de costo inferior a los de alimentación o aplicación directa. Pero, es importante señalar que el corregimiento no cuenta con un reservorio de almacenamiento para una mezcla del agua con el desinfectante, el tiempo de contacto entre el cloro y el agua podría ser tan pequeño que la demanda de cloro no esté siendo atendida, obteniendo consigo un tratamiento ineficiente.

Al añadir cloro, éste purifica el agua destruyendo la estructura celular de los organismos, lo cual los elimina. Sin embargo, el cloro necesita cierto tiempo para cumplir con totalidad dicha función. En agua a una temperatura mayor de 18°C, el cloro debe estar en contacto con el agua, al menos, durante 30 minutos. Por esta razón, es normal que se le añada cloro al agua apenas se introduce en el tanque de almacenamiento o en una tubería larga de distribución, para darle tiempo a que el producto químico reaccione con el agua antes de llegar al consumidor (Organización Mundial de la Salud, 2009).

Para lograr un tratamiento eficaz, el tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua debe ser adecuado, y para ello el sistema de tratamiento tendrá capacidad suficiente para permitirlo. El volumen de los depósitos depende del caudal de agua y del tiempo de contacto requerido por el desinfectante, su relación viene dada por la siguiente ecuación: (Junta de Castilla y León, 2009).

$$V = Q * T$$

Dónde:

Q: caudal del agua (l/min).

T: tiempo mínimo de contacto del desinfectante (min)

V: volumen necesario del depósito (l)

Si se desea entonces un depósito para el contacto adecuado del agua con el desinfectante, teniendo cuenta el caudal manejado de 13 L/s el mismo deberá contar con un volumen de:

$$V = 13 \text{ l/s} * 30 \text{ min}$$

$$V = 13 \text{ l/s} * 1800 \text{ seg}$$

$$V = 23.400 \text{ l}$$

El tiempo de contacto se calcula teniendo en cuenta la concentración y el tiempo de contacto mínimo del desinfectante:

$$TC = C * T$$

Dónde:

C: concentración del agente desinfectante (mg/l)

T: tiempo mínimo de contacto del desinfectante (min)

TC: tiempo de contacto necesario para la desinfección (mg min/l)

En el sistema de Villa Rosa, el caudal que se mantiene es de 13 L/s con una dosificación de cloro de 1,5 mg/l, tomando un tiempo mínimo de contacto de 30 min, entonces el tiempo de contacto necesario para la desinfección sería:

$$TC = 1.5 \text{ mg/l} * 30 \text{ min}$$

$$TC = 45 \text{ mg min/l}$$

Se entiende entonces que para obtener una desinfección más efectiva se debería aplicar un tiempo de contacto de 45 min

◆ **Desinfección de pozos:** La desinfección es una actividad de considerada de carácter obligatorio a todos los pozos de abastecimiento pública con el fin de eliminar la presencia de bacterias coliformes, especialmente las fecales,

que afectan la salud humana. La desinfección se debe hacer como fase final al construir un pozo nuevo y en cada mantenimiento que sea programado a los pozos que estén en operación y en lo posible, cada que se extrae la bomba para su reparación.

Las bacterias coliformes pueden llegar al pozo de distintas maneras:

- Si durante la perforación del pozo se utiliza agua de mala calidad para preparar el lodo y el contacto de los materiales y herramientas de perforación con el suelo y demás agentes que lo contaminan.
- En la instalación y desinstalación de la bomba.
- En las operaciones de mantenimiento, al introducir herramientas dentro del pozo que generalmente están contaminadas.
- Por infiltración de aguas residuales domésticas y municipales en el suelo como letrinas, tanques sépticos, campos de infiltración o lagunas de tratamiento de aguas residuales, etc.

¿Cómo hacer la desinfección?

La desinfección se debe realizar utilizando una solución de cloro como agente desinfectante puesto que es el más fácil de manejar y efectivo para esterilizar un pozo, una bomba, un tanque o una tubería.

¿Cómo se preparar la solución de cloro?

La solución se prepara disolviendo en agua Hipoclorito de Calcio o el Hipoclorito de Sodio.

El Hipoclorito de Calcio, es el más utilizado por su fácil y seguro manejo, es un material granular blanco que contiene alrededor de 70% de cloro disponible, por peso. Su concentración se da en miligramos de cloro por litro de agua (mg/l) o partes por millón (ppm), 1 mg/l = 1ppm.

Por ejemplo, una solución de 15mg/l equivale a una porción de 15miligramos de cloro en un litro de agua. El hipoclorito de calcio es muy estable, bien empacado y a la temperatura adecuada puede durar hasta 12 meses después de fabricado.

El Hipoclorito de Sodio solo se encuentra en solución por qué su composición química es muy inestable, todas las soluciones blanqueadoras para lavar lo contienen y en la práctica es poco utilizado, lo mismo que el cloro gaseoso. Para la desinfección de pozos y bombas se puede emplear hipoclorito de sodio en concentraciones del 5% al 10%.

Forma de aplicación:

- Se debe mezclar agua con el hipoclorito hasta que quede disuelto
- Se aplica a través de tubería plástica de PVC de una pulgada de diámetro en frente de cada filtro y a lo largo de toda la profundidad del pozo.
- La solución de cloro debe tener alrededor de 100mg/l de cloro disponible, para garantizar su efectividad.

- Luego de ser aplicado, se debe agitar vigorosamente dentro del pozo con un pistón o con aire con un compresor.
- El tiempo de contacto en el pozo debe ser entre 6 a 8 horas.
- Luego se debe bombear el pozo durante un tiempo mínimo de 2 horas o el que se necesite hasta que el agua salga sin residuos, ni olor a cloro.
- Se deben tomar muestras de agua para análisis bacteriológico, antes y después de la desinfección, para verificar su efectividad.
- Todos los elementos que componen la bomba, la tubería de conducción, accesorios y tanque de almacenamiento también deben ser desinfectados en forma simultánea con el pozo.

En cuanto a las dosis, se recomienda de acuerdo a la longitud y el diámetro de los filtros, es decir, a su volumen de almacenamiento. En promedio, de acuerdo a la profundidad del pozo, las dosis siguientes resultan bastante aceptables: (SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE-SENA, 1997).

Profundidad del Pozo (m)	Dosis en Kg de hipoclorito de Calcio
100	10
200	15
400	15

En Villa Rosa la profundidad de su pozo es de 129m, para este caso entonces la dosis de hipoclorito de calcio a utilizar para la desinfección sería de 10kg.

- ◆ Lo más eficaz para luchar contra la contaminación a causa de los fosfatos, es disminuir la cantidad de los mismos en los vertidos. Es decir, usando detergentes con baja proporción de fosfatos, empleando menor cantidad de detergentes, no abonando en exceso los campos, usando los desechos agrícolas y ganaderos como fertilizantes, en vez de verterlos, y Usar los fertilizantes más eficientemente. (Echarri, 2007)

- ◆ Instalar tanques de agua elevados por domicilio con la finalidad de que a nivel domiciliario, haya también un contacto óptimo del agua con el cloro aplicado para la desinfección y además de eso, aislar el agua de cualquier posible fuente de contaminación.

- ◆ Realizar evaluaciones y seguimientos con mayor periodicidad haciendo énfasis en aquellos que mostraron resultados desfavorables y muestren deterioro en su tendencia.

- ◆ Elaborar catastro de redes para ejercer controles sobre las redes de distribución de agua para consumo.

- ◆ Generar conciencia entre los habitantes del corregimiento para que adquieran buenas prácticas de higiene respecto al uso, manipulación y almacenamiento del recurso hídrico.

- ◆ Cuando no hay seguridad de la calidad del agua que está llegando o de las condiciones del acueducto, las familias pueden desinfectar el agua en la casa. Esto, con el fin de remover contaminantes biológicos. Uno de los métodos más utilizados es hervir el agua. Al hervir el agua por lo menos 10 minutos, los microbios y bacterias se mueren. Después de hervir el agua debe guardarla en un recipiente limpio y con tapa y consumirlo cuando sea necesario, teniendo en cuenta la higiene del recipiente a usar (Witt & Reiff, 1993).

- ◆ Mejorar las condiciones sanitarias de cada vivienda, en el caso de aquellas en las que exista crianza de animales (burros, gallinas, cerdos, perros, etc.). Los animales deben ser ubicados en corrales, fuera de la vivienda y por especie a una distancia no menor a 30 metros del pozo (APRISABAC, 1997).

- ◆ El agua de desperdicio de cocina, lavado de ropa, otros, no se deben eliminar en el patio de la casa, porque se vuelve un lugar húmedo y los charcos de agua atraen insectos, causan malos olores, dan mal aspecto además es un foco de contaminación donde existen microbios (APRISABAC, 1997)

- ◆ Los habitantes y usuarios deben tratar de modificar sus costumbres, usando adecuadamente las letrinas sanitarias. Al mismo tiempo, deben mejorar sus prácticas de higiene personal para la prevención de enfermedades. Por ejemplo: El lavado de manos con agua y jabón antes y después de ir al baño o cambiar pañales,

después de jugar con mascotas y antes de cocinar e ingerir los alimentos (Vilches, 2016).

- ◆ El acueducto comunitario cuenta solo con una persona capacitada para la operación de la misma. Se recomienda ampliar el número de empleados, pero los mismos deben estar previamente capacitados.

- ◆ La resolución 0811 del 2008 establece que deben existir entre 5 y 6 puntos para la recolección de muestras. En este caso, los pocos puntos diseñados para tal fin, se encontraban en estado de avería. Se recomienda entonces, tomar las medidas correctivas en cada punto.

7. Conclusión

En síntesis, con el hallazgo de coliformes totales y fecales a pesar de los altos niveles de cloro residual en el agua utilizada para uso y consumo humano en el corregimiento de Villa Rosa, propicia la necesidad de más estudios locales en los que se evalúe la posible correlación entre la contaminación del agua y el estado del sistema de distribución del agua para consumo.

Los resultados de este trabajo sugieren la necesidad de tratamientos y/o medidas eficientes con los que se logren obtener la desinfección total del agua y disminuir el índice de riesgo que representa para sus consumidores. Asimismo, se recomienda implementar sistemas de monitoreo regulares que detecten rupturas en los sistemas de distribución del recurso para evitar su contaminación y enfermedades relacionadas.

A partir de una breve encuesta realizada basada en la calidad del recurso y el servicio del acueducto, fue posible conocer la percepción del consumidor en cada uno de los puntos donde se tomó la muestra. Los usuarios encuestados expresaron disgusto por el olor y sabor a cloro en el agua. Sin embargo, estos señalan sentirse satisfechos con el servicio y al mismo tiempo la continuidad del servicio tampoco representa una problemática para ellos.

El presente trabajo proporciona las bases para que se realice de manera periódica la evaluación de calidad de agua del presente lugar de estudio, resaltando que el último muestreo realizado arrojó un IRCA parcial de riesgo alto en un 79% e inviable sanitariamente en un 21% restante.

En conclusión, los parámetros que rebasaron los límites permitidos por la normativa colombiana fueron: cloro residual libre, fosfatos, coliformes fecales y coliformes totales. De los cuales los coliformes representan las mayores alertas sobre el grave estado que presenta el recurso.

Se busca llegar también a las entidades gubernamentales locales y al estado en general ratificando a partir de los resultados obtenidos que sus esfuerzos deben dirigirse con mayor atención hacia el sector rural y dar prioridad a la creación y/o mejoramiento de empresas o ya sean organizaciones comunales, que garanticen la prestación eficiente de estos servicios públicos, de conformidad con las características que se requieren para estas áreas del país, con esquemas y sistemas de tecnologías alternativos para la potabilización del agua y de esta manera contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del corregimiento de Villa Rosa, Repelón.

8. Recomendaciones

Se pretende que los resultados de esta tesis sean divulgados entre los habitantes de Villa Rosa y gobernantes de Repelón con el objetivo de emprender acciones inmediatas de mejora. Al mismo tiempo, se espera que los datos sean adquiridos y utilizados como punto de partida para futuras investigaciones.

A partir de la experiencia adquirida durante el trabajo en campo y de investigación se ofrecen las siguientes recomendaciones para las partes interesadas:

1. Realizar monitoreos constantes en el punto de captación, al mismo tiempo llevar registro de los parámetros analizados para evidenciar el comportamiento de los mismos con respecto al tiempo.
2. Determinar la dosificación ideal de cloro que debe ser utilizada para la desinfección del agua del corregimiento.
3. Ampliar el número de parámetros analizados.
4. Establecer la muestra estadística para la aplicación de una nueva encuesta que permita conocer la percepción de todos los habitantes del corregimiento en cuanto al servicio y calidad del acueducto.

Anexos

Anexo 1. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Tabla 7 Resultados de parámetros analizados correspondientes al primer muestreo (muestras 1 - 14).

Código de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14
coordenadas	10°24'31.16" N 75°07'45.93" O	10°24'35.62"N75°7'46.16"O	10°24'35.0172" N 75°7'44.868" w	10°24'34.4"N 75°7'42.43"W	10°24'36"N 75°7'46" O	10°24'26.0"N 75°7'46.9" O	10°24'37.85"N 75°7'45.92"O	10°24'31.747"N 75°7'46.43"O	10°24'34.4" N 75°07'47.81" W	10°24'33" SO 75°7'46" O	10°24'33.7788"N 75°7'46.8912"W	10°24'33" N 75°7'45" W	10°24'33.894"N 75°7'42.906"W
Parámetros													
pH	7.59	7.67	7.53	7.54	7.49	7.59	7.64	7.61	7.7	7.67	7.63	7.6	7.54
conductividad	462.4	462.6	462.3	463.2	436.1	457.3	461.4	466.6	465.1	458.6	222.7	462.8	485.3
temperatura °C	32.1	32.3	32.1	32.3	30.7	32.1	32.6	33	32.4	32	32.3	32.3	33.3
Sólidos disueltos totales	0.265	0.2633	0.2639	0.264	0.2568	0.2617	0.2636	0.2622	0.2649	0.2633	0.1276	0.264	0.2728
Salinidad	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
Turbiedad NTU	0.76	0.53	0.63	0.52	0.52	0.86	0.72	0.63	0.4	0.38	0.85	0.27	3.14
Alcalinidad mg/l	260	240	220	240	228	236	236	232	224	236	224	236	224
Dureza total mg/l	94	92	104	102	100	88	98	82	88	96	100	84	96
Cloro Residual	< 0.5	2.5	1.5	2.5	2.5	2.5	0.5	2	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5
Coliformes Totales UFC/100cm ³	42	106	184	208	10	12	60	12	52	70	4	56	10
Coliformes Fecales UFC/100cm ³	34	4	NO	34	4	4	34	NO	10	10	NO	20	8

Fuente: Propia

Tabla 8 Resultados de parámetros analizados correspondientes al primer muestreo (muestras 5- 28).

Código de muestra	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
coordenadas	10°24' 48.1"N 75°7'4 7.82" O	10°24' 44.46" N 75°7'4 9.3"O	10°24'4 6"N 75°7'52 "O	10°24'4 6"N 75°07'4 8"O	10°24'5 0"N 75°7'48 "O	10°24'4 8"N 75°7'50 "O	10°24'44 .9"N 75°7'48. 6"W	10°24' 46.93"N 75°7'47. 50"O	10°24'42 "N 75°7'47" O		10°24'49 "N 75°7'47" O	10°24'45 .7"N 75°7'49. 1"W	10°24'46 .04"N 75°7'48. 63"W	10°24'4 5.53"N 75°7'48. 7"W
Parámetros	Resultados													
pH	7.66	7.65	7.97	7.62	8.11	7.77	7.65	7.61	7.68	8.09	7.77	7.59	7.85	7.58
Conductividad	488.8	474.2	476.9	463.3	491.2	497.9	473.6	475.4	482.1	488.3	484.9	430	481.3	464.7
temperatura °C	34.8	32.9	34	33.2	34.7	33.8	33.7	33.8	34.5	34.7	34.4	29.1	34.2	32.4
Sólidos disueltos totales	0.2663	0.2678	0.265	0.261	0.2691	0.2661	0.2645	0.2649	0.2659	0.2671	0.2669	0.2602	0.2652	0.2649
Salinidad	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Turbiedad NTU	1.43	2.35	0.87	0.99	0.92	1.4	0.62	1.19	3.18	0.35	13	0.51	0.9	0.83
Alcalinidad mg/l	240	256	228	244	232	248	236	228	220	236	228	240	236	240
Dureza total mg/l	88	82	90	82	90	102	96	92	86	84	96	84	88	90
Cloro Residual	1.5	2.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2.5	0.5	1	<0.5	>2.5	2.5	2.5	2.5
Coliformes Totales UFC/100cm³	10	64	80	26	6	24	16	60	44	12	74	21	4	4
Coliformes Fecales UFC/100cm³	4	8	NO	4	4	10	8	38	6	4	6	8	NO	2

Fuente: propia

Tabla 9 Resultados de parámetros analizados correspondientes al primer muestreo (muestras 29 - 34)

Código de muestra	29	30	31	32	33	34
coordenadas	10°24'47.86"N 75°07'49.20"O	10°24'42.9"N 75°8'12.5"W	10°24'42.82"N 75°7'53.23"O	10°24'41.95"N 75°07'49.93"W	10°24'34.46"N 75°07'53.41"W	10°24'35.92"N 75°07'56.89"W
	Hogar comunitario de bienestar familiar	Punto de Captación	Colegio institución educativa técnica agropecuaria de Villa Rosa	Tanque elevado	I.E. Técnica Agropecuaria de Villa Rosa	I.E.T.A Villa Rosa
Parámetros	Resultados					
pH	8.22	7.76	7.56	7.76	7.23	7.45
conductividad	484.3	454.6	468	406	490	484.1
temperatura °C	33.4	32.1	33.1	33.1	33.4	34.3
Sólidos disueltos totales	0.2694	0.2609	0.263	0.2639	0.2734	0.2677
Salinidad	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Turbiedad NTU	0.4	1.58	0.99	6.1	0.39	0.94
Alcalinidad mg/l	244	252	228	232	248	252
Dureza total mg/l	84	82	86	82	80	84
Cloro Residual	0.5	No hay cloración	2.5	2.5	1	0.5
Coliformes Totales UFC/100cm³	34	16	54	14	54	36
Coliformes Fecales UFC/100cm³	30	4	24	8	6	18

Fuente: propia

Tabla 10 Resultados de parámetros analizados correspondientes al segundo muestreo (pH, Conductividad, Temperatura, sólidos totales disueltos y salinidad).

Coordenada	Sector	Código de muestra	Muestra	pH	Conductividad	Temperatura °C	TDS g/L	Salinidad ppt
10.4131900 -15.1299160	Sector Triple	2	1	7.42	426.3	28.3	0.2659	0.2
			2	7.51	429.6	28.4	0.2672	0.2
10.4089800 -75.032500	Sector Polideportivo	3	1	7.53	429	28.5	0.2658	0.2
			2	7.64	435	28.6	0.2684	0.2
10.4099150 -75.1279610	Sector casitas	4	1	7.26	420.8	28.1	0.2653	0.2
			2	7.23	421.9	28.1	0.2672	0.2
10.4107110 -75.1286730	Sector Centro	5	1	7.41	442.6	29.4	0.2685	0.2
			2	7.44	444.2	29.4	0.269	0.2
10.4095380 -75.1325280	I.E. Técnica agropecuaria de Villa Rosa	6	1	7.47	452.9	29.7	0.2696	0.2
			2	7.44	453	29.8	0.2696	0.2
10.4127660 -75.1275660	Tres Punta'	7	1	7.59	420.5	27.7	0.2658	0.2
			2	7.55	421.5	27.6	0.2654	0.2
10.4084350 -75.1293180	Barrio Nuevo	8	1	7.57	437.6	29.1	0.2679	0.2
			2	7.57	438.5	29.2	0.2683	0.2
10.4125630 -75.1282310	Sector Centro	10	1	7.58	436.1	29.1	0.2674	0.2
			2	7.56	436.5	29.1	0.2667	0.2
10.4081060 -75.1273642	Tanque Elevado	12	1	7.61	447.8	30	0.2683	0.2
			2	7.66	450.4	31	0.2693	0.2
10.4118030 -75.1367080	Pozo con cloración	13	1	7.6	475.1	30.8	0.277	0.2
			2	7.58	475.2	31.2	0.2758	0.2
10.4118030 -75.1367080	Pozo sin Cloración	14	1	7.55	462.9	31.1	0.2692	0.2
			2	7.6	462.8	31.3	0.2688	0.2
10.412288 -75.1317380	Urbanización Villa Rosa	15	1	7.61	447.4	29.7	0.2706	0.2
			2	7.59	447.3	29.7	0.2707	0.2
10.413331 -75.1288360	La Sonrisa	16	1	7.57	444.4	29.4	0.27	0.2
			2	7.56	445.5	29.5	0.2698	0.2
10.4119810 -15.1312980	Instituto Técnico Agropecuario de Villa Rosa	17	1	7.85	444.3	28.8	0.2703	0.2
			2	7.82	447.3	29.4	0.2679	0.2

Fuente: propia

Tabla 11 Resultados de parámetros analizados correspondientes al segundo muestreo (Turbiedad, Color, Alcalinidad, Cloruros y Dureza total).

Coordenada	Sector	Código de muestra	Muestra	Turbiedad NTU	Color UPC	Alcalinidad mg/l	Cloruros	Dureza Total mg/l
10.4131900 -15.1299160	Sector Triple	2	1	2.37	5	176	6.00	84
			2	2.79	5	184	6.00	80
10.4089800 -75.032500	Sector Polideportivo	3	1	2.92	5	172	6.00	86
			2	3.17	5	180	2.00	82
10.4099150 -75.1279610	Sector casitas	4	1	0.56	5	176	4.00	80
			2	0.69	5	184	2.00	80
10.4107110 -75.1286730	Sector Centro	5	1	2.57	5	172	2.00	88
			2	2.16	5	176	4.00	72
10.4095380 -75.1325280	I.E. Técnica agropecuaria de Villa Rosa	6	1	0.49	5	184	2.00	80
			2	0.86	5	180	2.00	80
10.4127660 -75.1275660	Tres Punta'	7	1	0.53	5	164	91.97	80
			2	0.55	5	168	85.97	70
10.4084350 -75.1293180	Barrio Nuevo	8	1	0.49	5	172	6.00	76
			2	0.33	5	172	8.00	72
10.4125630 -75.1282310	Sector Centro	10	1	0.45	5	180	6.00	72
			2	0.28	5	172	8.00	72
10.4081060 -75.1273642	Tanque Elevado	12	1	0.45	5	212	8.00	74
			2	0.4	5	164	10.00	72
10.4118030 -75.1367080	Pozo con cloración	13	1	2.12	5	160	2.00	74
			2	2.28	5	140	4.00	72
10.4118030 -75.1367080	Pozo sin Cloración	14	1	0.63	5	192	8.00	72
			2	0.5	5	176	8.00	66
10.412288 -75.1317380	Urbanización Villa Rosa	15	1	0.81	5	200	10.00	70
			2	1.08	5	184	10.00	70
10.413331 -75.1288360	La Sonrisa	16	1	0.23	5	180	4.00	76
			2	0.41	5	184	4.00	80
10.4119810 -15.1312980	Instituto Técnico Agropecuario de Villa Rosa	17	1	0.34	5	180	10.00	78
			2	0.44	5	184	8.00	72

Fuente: propia

Tabla 12 Resultados de parámetros analizados correspondientes al segundo muestreo (Cloro residual, fosfatos, Magnesio, Sulfatos, Nitratos y Nitritos).

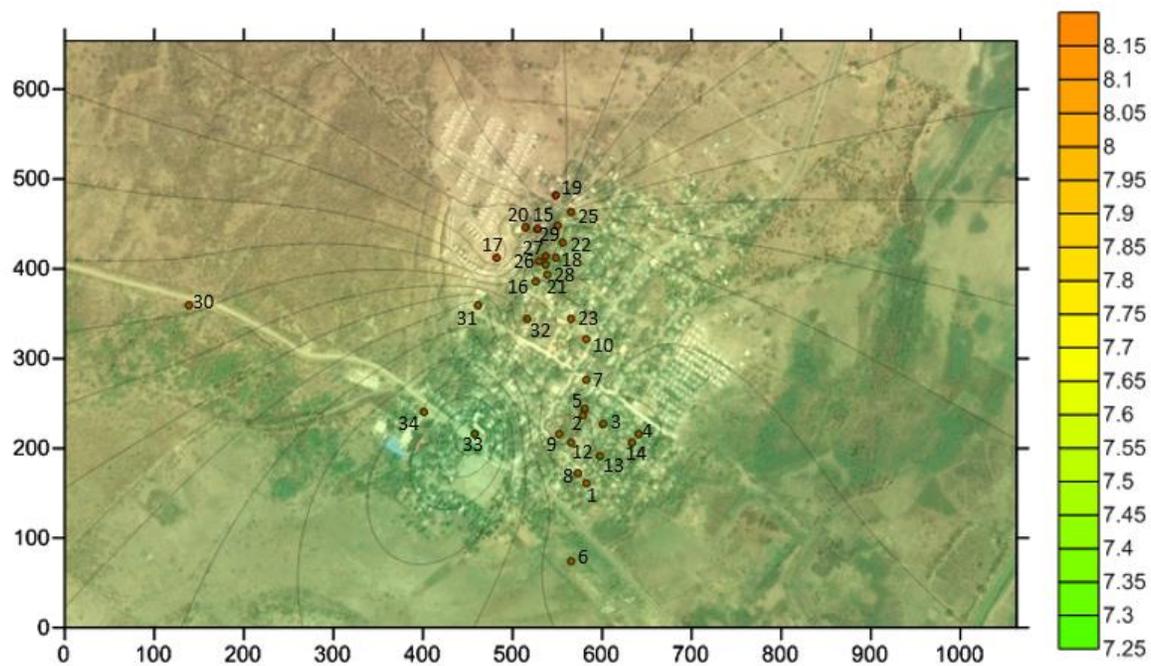
Coordenada	Sector	Código de muestra	Muestra	Cloro residual	Fosfatos	Magnesio	Sulfatos	Nitratos	Nitritos
10.4131900 -15.1299160	Sector Triple	2	1	2.5	1.25	<<	19	<<	0.008
			2	2.5	1.5	0	17	0.004	0.003
10.4089800 -75.032500	Sector Polideportivo	3	1	2.5	1.5	1	43	0.004	0.007
			2	2.5	2		11	0	0.003
10.4099150 -75.1279610	Sector casitas	4	1	1.5	1.5	35	19	<<	0
			2	1.5	1.7		15	<<	0
10.4107110 -75.1286730	Sector Centro	5	1	2.5	2.3	2	43	<<	0.003
			2	2.5	2.3		16	<<	0.013
10.4095380 -75.1325280	I.E. Técnica agropecuaria de Villa Rosa	6	1	0.5	2	0	53	0.009	0.013
			2	0.5	2		54	0	0.003
10.4127660 -75.1275660	Tres Punta'	7	1	2.5	2.8	<<	34	0	0.01
			2	2.5	2.3	6	27	<<	0.003
10.4084350 -75.1293180	Barrio Nuevo	8	1	2.5	1.25	4	11	<<	0
			2	2.5	2.3		10	<<	0.003
10.4125630 -75.1282310	Sector Centro	10	1	2.5	1.75	3	14	0	0.003
			2	2.5	1.75		11	0	0
10.4081060 -75.1273642	Tanque Elevado	12	1	2.5	2.1	5	14	0.004	0
			2	2.5	2.1		12	<<	0.003
10.4118030 -75.1367080	Pozo con cloración	13	1	2.5	1.5	5	14	<<	0.003
			2	2.5	3.3		14	<<	0.003
10.4118030 -75.1367080	Pozo sin Cloración	14	1	0	2.3	3	18	0	0.016
			2	0	2.5		14	<<	0.016
10.412288 -75.1317380	Urbanización Villa Rosa	15	1	2.5	2.4	3	17	<<	0
			2	2.5	1.6		14	<<	0.003
10.413331 -75.1288360	La Sonrisa	16	1	2.5	1.65	7	9	<<	0.003
			2	2.5	1.45		8	<<	0
10.4119810 -15.1312980	Instituto Técnico Agropecuario de Villa Rosa	17	1	0	1.5	5	8	<<	0.013
			2	0	1.45	-	8	0	0.003

Fuente: propia

Anexo 2. Resultados obtenidos de parámetros Fisicoquímicos en Muestreo Inicial

1. pH

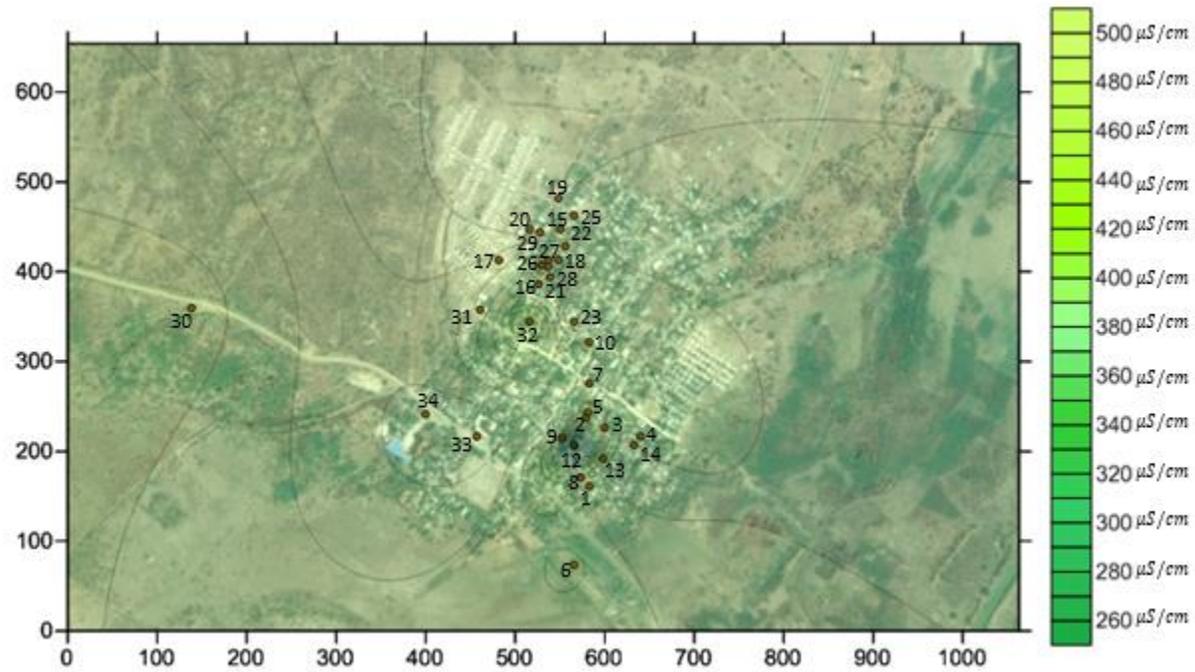
Ilustración 38. Resultados obtenidos de pH en Muestreo Inicial.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

2. Conductividad

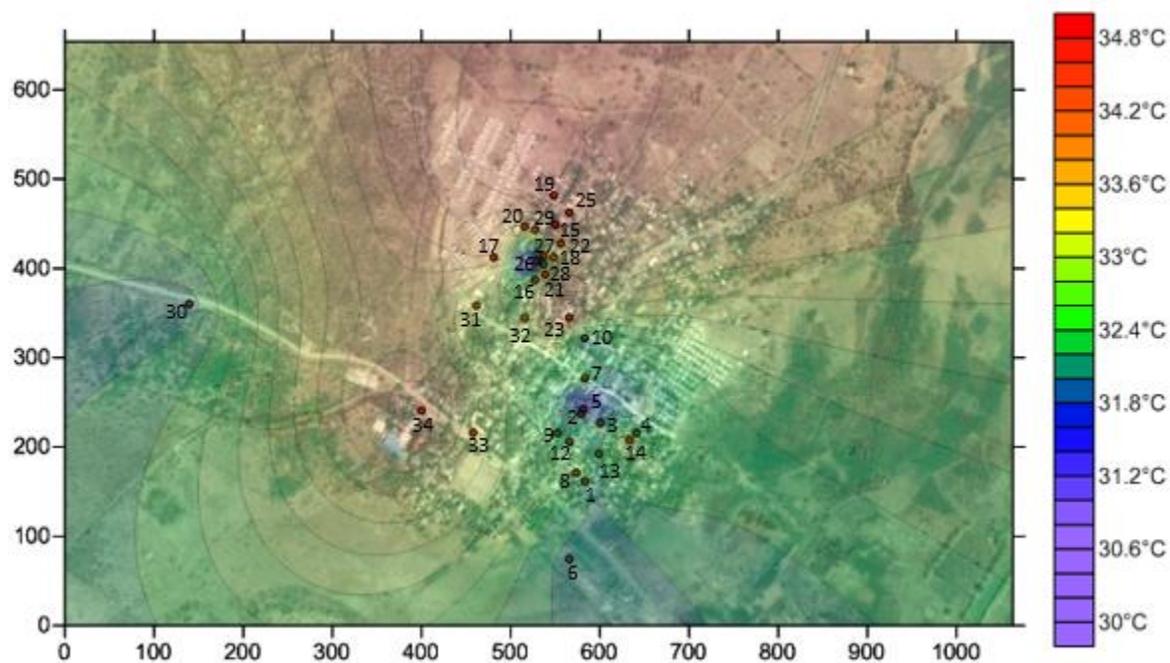
Ilustración 39. Resultados obtenidos de conductividad en Muestreo Inicial.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

3. Temperatura

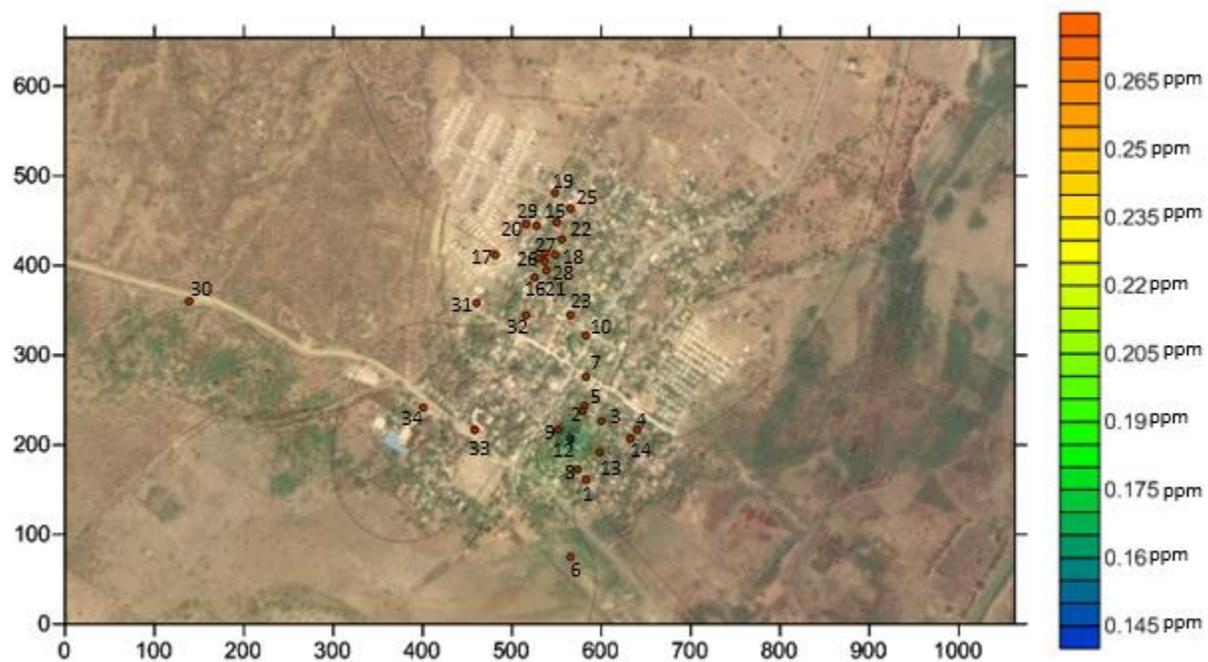
Ilustración 40. Resultados obtenidos de temperatura en Muestreo Inicial



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

4. Sólidos disueltos totales

Ilustración 41. Resultados obtenidos de sólidos disueltos totales en Muestreo Inicial

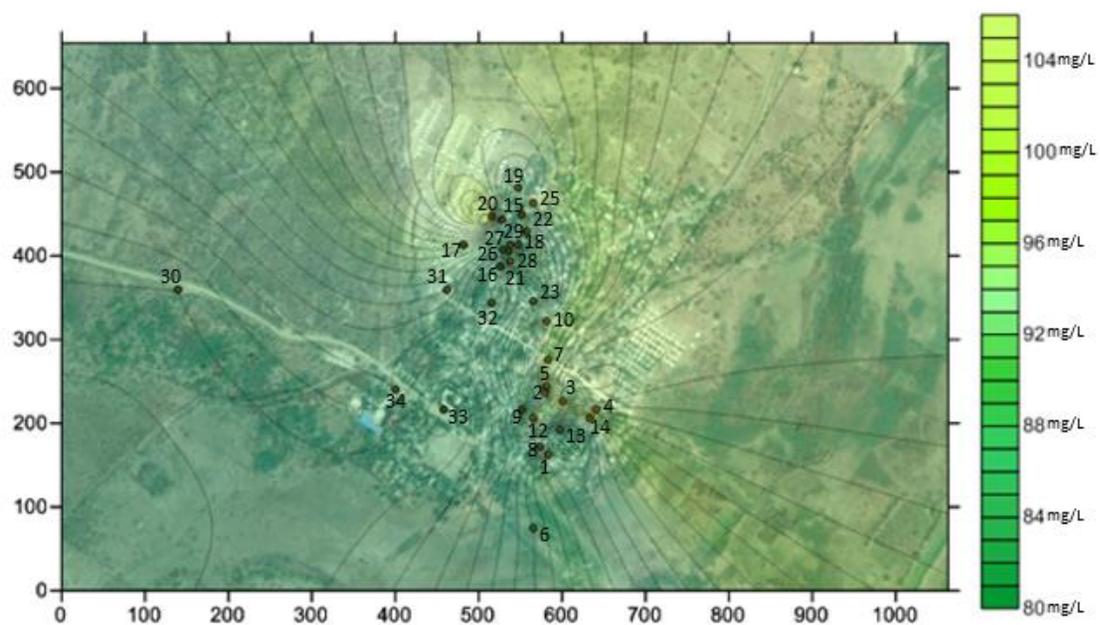


Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

5. **Salinidad:** Todas las muestras analizadas tuvieron un valor de salinidad de 0.2. Este valor se encuentra dentro del rango permisible según la resolución 2115 de 2007.

6. Dureza

Ilustración 42. Resultados obtenidos de la dureza total en Muestreo Inicial.



Fuente: Propia, Elaborado en Golden Surfer.

Anexo 3. Formato de muestreo

Nombre de quien tomo la muestra _____

Código de muestra _____

Coordenadas _____

Dirección o Nomenclatura _____

Nombre del Propietario _____

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	
Conductividad	
Oxígeno Disuelto mg/l	
Temperatura °C	
Sólidos disueltos totales (TDS)	
Salinidad	
Turbiedad NTU	
Color UPC	
Alcalinidad mg/L	
Dureza total mg/L	
Cloro Residual	
Calcio	
Fosfatos	
Manganeso	
Molibdeno	
Magnesio	
Zinc	
Sulfatos	
Hierro total	
Cloruros	
nitratos	
Nitritos	
Aluminio	
fluoruros	
COT	
Coliformes totales	
Escherichia Coli	

Fuente: propia

Anexo 4. Formato de encuesta

Nombre del encuestado: _____

Edad: _____

Código de la encuesta: _____

1. ¿El agua que consume presenta algún olor?

- Sí
- No

¿Cuál?:

2. ¿El agua que consume tiene sabor?

- Sí
- No

¿Cuál?:

3. Antes del consumo de agua. ¿Aplica algún tratamiento?

- Sí
- No

Si la respuesta es afirmativa, diga cuál. (Hervir, químico, filtro, otro).

4. ¿Considera que ha sufrido alguna molestia por consumo de agua?

- Sí
- No

5. ¿De dónde obtiene la mayor parte de agua que consume?

- Grifo
- Embotellada

6. ¿Cómo califica la calidad de agua que se brinda actualmente al corregimiento de Villa Rosa?
- Excelente
 - Bueno
 - Regular
 - Malo
 - Pésimo
7. ¿Tiene conocimiento sobre cual o cuales son las enfermedades más comunes en la población?
- Sí
 - No

¿Cuál?:

Fuente: propia

Anexo 5. Registro Fotográfico

Ilustración 43. Punto de Captación y cloración del agua para consumo, Villa Rosa - Repelón.



Fuente: propia

Ilustración 44. Equipos para Dosificación de Cloro gaseoso.



Fuente: propia

Ilustración 45. Equipos para Dosificación de Cloro gaseoso.



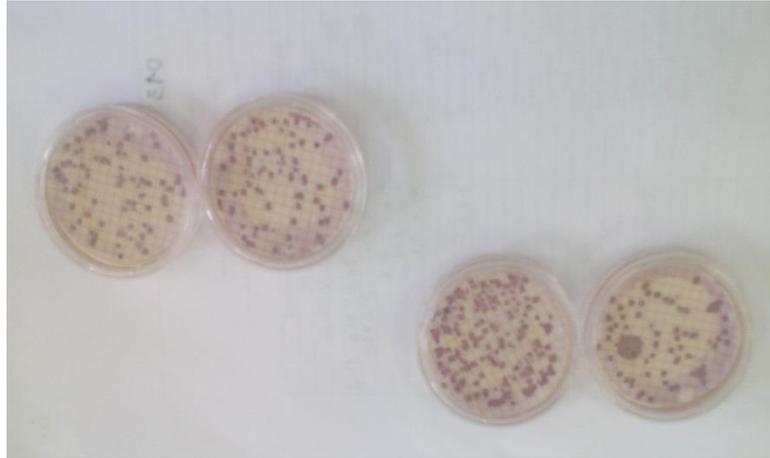
Fuente: propia

Ilustración 46. Equipos para Dosificación de Cloro gaseoso.



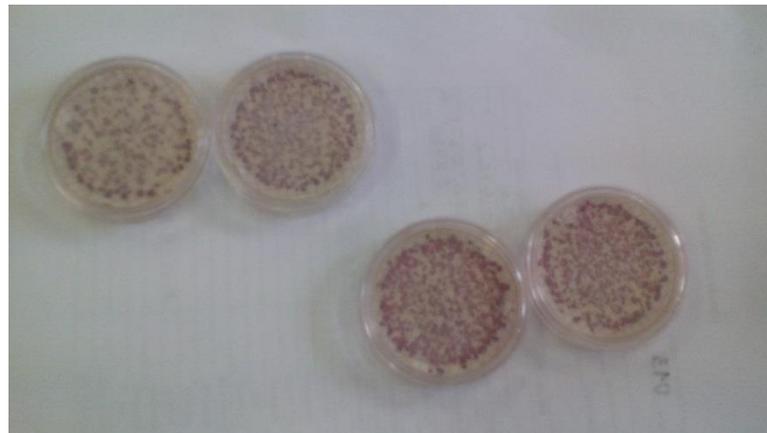
Fuente: propia

Ilustración 47. Resultados microbiológicos obtenidos en el segundo muestreo.



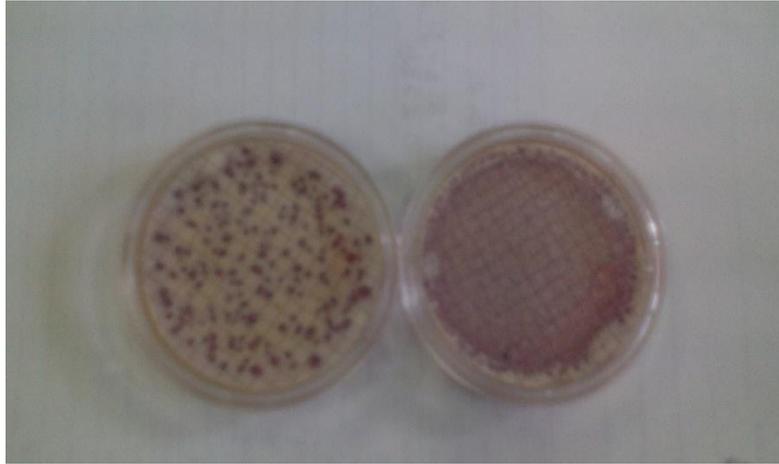
Fuente: propia

Ilustración 48. Resultados microbiológicos obtenidos en el segundo muestreo.



Fuente: propia

Ilustración 49. Resultados microbiológicos obtenidos en el segundo muestreo.



Fuente: propia

Referencias

- Rosa, G., & Clasen, T. (2010). *ASTMH*. Obtenido de The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene: <http://www.ajtmh.org/content/82/2/289.full.pdf+html>
- Amaya, S. D., & Estrada, J. H. (2013). *Biblioteca Digital UNAL*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/37309/1/39082-173895-1-PB.pdf>
- APHA. (1992). *Standard methods for the examination of Water and Wastewater*. American public health association.
- APHA-AWWA-WEF. (2005). *Standard Methods for the examination of water and Wastewater*. American Public Health Association.
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (diecisieteava ed., Vol. XVIII). Madrid, Washington, DC: Joint Editorial Board.
- APRISABAC. (1993 - 1997). *Manual de procedimientos tecnicos en saneamiento*. Cajamarca.
- APRISABAC. (1997). *Manual de procedimientos tecnicos en saneamiento*. Atencion primaria y saneamiento basico .
- BARBOZA et al. (2011). *Contaminación del Agua*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.
- Barrenchea Martel, A. (2004). Aspectos fisicoquimicos de la calidad del agua. Lima.
- Briñez, K., Guarrizo, J., & Arias, S. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento de tolima, colombia. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 175-182.
- (2004). *Calidad del Agua Subterranea*.
- CHANNAH ROCK, B. R. (2014). La Calidad del Agua, E. Coli y su Salud. *THE UNIVERSITY OF ARIZONA*.
- Defensoría del Pueblo. (2005). *INFORME DEFENSORIAL No. 39 - B. DIAGNÓSTICO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO*.
- DIRECCIÓN GENERAL SALUD PÚBLICA I PARTICIPACIÓN. (s.f.). Preguntas y respuestas sobre los sulfatos en el agua de consumo humano. *Salud ambiental*.
- Echarri, L. (2007). *Contaminacion del agua*.
- ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A. (s.f.). *ESTUDIO DE LA CALIDAD DE FUENTES*.
- Estupiñan, S., Avila, S., Celeita, D., & Escobar, E. (2010). Control bacteriológico del agua de la red de distribución "acueducto de las veredas Nápoles, Ponchos y Sebastopol" en San Antonio de tequendama. *NOVA- publicacion cientifica en ciencias Biomédicas*, VIII(14).

- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., Elia, M. D., & Paris, M. (Abril de 2007). *World Bank*. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10BOX0334116B01PUBLIC1.pdf>
- G., O. M., & V., T. B. (4 de Julio de 2006). *Biblioteca digital UNAL*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/14945/1/9340-15910-1-PB.pdf>
- GALLARDO CARPIO, C. (2009). *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA QUE ABASTECE CUATRO COMUNIDADES DEL CANTÓN EL ALMENDRO DEL MUNICIPIO DE JUCUARAN, USULUTAN*. TESIS DE MAESTRIA, UNIVERSIDAD DEL SALVADOR, SAN SALVADOR.
- Galvín, R. M. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, tratamiento y control de calidad de agua*. España.
- Geldreich, E., Fox, K., Goodrich, J., Rice, E., & Clark, R. (1992). *Searching for a water supply connection in the Cabool, Missouri disease outbreak of Escherichia coli O157:H7*. *Water Res.*,
- GELDREICH, L. e. (Noviembre de 1968). The Bacteriological Aspects of Stormwater Pollution. *Journal (Water Pollution Control Federation)* , 40(11), 1861-1872.
- INFORME DE AVANCE PROYECTOS SANITARIOS DE POTABILIZACIÓN*. (2010). Recuperado el 1 de ABRIL de 2017, de <http://www.ucpypfe.gov.ar/BirfPIHNG/IEA-PmpaAnexo3.pdf>
- Junta de Castilla y León. (2009). *Manual de tratamientos del agua de consumo humano*.
- Karen, L., Kara, N., Alan, H., & Joseph, E. (1 de Marzo de 2012). *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* . Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3284371/>
- Ledezma, J. M., & Martinez, A. M. (2010). *Mecanismos de monitoreo de calidad del agua*. Obtenido de http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/29%20mecanismos_monitoreo_calidad_agua.pdf
- Londoño, V. (9 de Octubre de 2012). El país sigue tomando agua de mala calidad . *El Espectador* .
- Ministerio de medio ambiente. (1998). *Libro blanco del agua de España*. Madrid.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2014). *Informe Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano Año 2013 con base en el IRCA*. Bogotá, D.C.
- Ministerio De Salud y Protección Social-Subdirección de Salud Ambiental. (2014). *Informe Nacional de la calidad del agua para consumo humano Año 2014 con base en el IRCA*. Bogotá, D.C.
- Molano , M., & Garcia , M. (2015). *INFORME DE CALIDAD Y NIVELES DE LA RED DE PIEZOMETROS MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI*. Alcaldía de Santiago de Cali., Cali.

- N. E. SAMBONI, Y. C. (Diciembre de 2007). "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- NANCY, V. B. (2007). *ALTERNATIVAS DE POTABILIZACIÓN PARA EL AGUA QUE ABASTECERA A LA AMPLIACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO*. TESIS PREGADO , INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL , MEXICO .
- Nguendo Yongsí, H. B. (Octubre de 2010). *Journal of Health, Population and Nutrition*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2963764/>
- Ocasio, N., & López, M. (s.f.). *El uso del cloro en la Desinfección del Agua*. Universidad de Puerto rico .
- OMS. (1995). *Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones*. (SEGUNDA ed.). Geneva.
- OMS. (2006). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- OPS . (1996). La Calidad del Agua Potable en América Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química.
- Organización Mundial de la Salud. (2009). Medición del cloro residual en el agua. En *Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud* . Ginebra.
- Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química*. España: Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A.
- Pérez, H. J., Morales, M. G., & Sánchez, J. D. (2000). Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. *Salud pública de México* , 1-10.
- Plan de Desarrollo Municipal, Gobierno municipal de Repelón. (2012). *Plan de desarrollo municipio de Repelón 2012-2015*.
- Plan de Desarrollo Territorial, Municipio de Repelón. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial*.
- Pulido, M. d., Navia, S. L., & Sandra Mónica Estupiñán Torres, A. C. (12 de Diciembre de 2005). *NOVA*. Obtenido de Publicaciones UNAD: <http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/47/92>
- (s.f.). *Reglamentación Técnico-Sanitarias para Aguas Potables*.
- RESOLUCION 2115. (2007). En v. y. Ministerio de la protección social ministerio de ambiente.
- Sanabria, L. J. (2008). *Validacion secundaria del metodo de filtracion por membrana para la deteccion de coliformes totales y escherichia coli en muestras de agua para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud publica del huila*. Bogota .
- Sánchez San Román, F. (s.f.). *Contaminacion de las Aguas Subterranas*. Universidad Salamanca , Geología.

- Secretaría de Salud Mexicana. (22 de Noviembre de 2000). *Norma oficial Mexicana Nom-127-SSA-1994, "Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México D.F.
- SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE-SENA. (1997). Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos. (Colombia, Ed.) SENA publicaciones . Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_pozos/pdf/OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20DE%20POZOS%20PROFUNDOS%20PARA%20ACUEDUCTOS.pdf
- Vargas, C., Rojas, R., & Joselis, J. (s.f.). CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO. Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/ref/text/09.pdf>
- Veléz Otalvoro, M. V., Ortiz Pimienta, C., & Vargas Quintero, M. (2011). *Las aguas subterráneas: un enfoque práctico*. Bogotá: Ingeominas .
- Vilches, I. (1 de 29 de 2016). La importancia de lavarse las manos. *El mundo*.
- W.J.Lewis, S. B. (1988). *Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico*.
- Wambui Kimani-Murage, E., & Ngindu, A. M. (Noviembre de 2007). *Springer link*. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/s11524-007-9199-x/fulltext.html?view=classic>
- Witt, V., & Reiff, F. (Mayo de 1993). La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales.