

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-01-2017	A	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(106)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	KAREN JULIANA PALLARES PALLARES		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	LUIS AUGUSTO JACOME GOMEZ		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS HABITANTES DE LA VEREDA EL CRISOL SITUADA EN EL MUNICIPIO DE AGUACHICA – CESAR.		
RESUMEN			
(70 PALABRAS APROXIMADAMENTE)			
<p>EL PROYECTO SE DESARROLLÓ EN LA VEREDA “EL CRISOL” DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA - CESAR. EL OBJETIVO FUE REALIZAR LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO DE LOS HABITANTES. INICIALMENTE, FUENTES HÍDRICAS PRESENTES EN LA ZONA FUERON LOCALIZADAS Y, JUNTO CON LA FUENTE ACTUAL DE ABASTECIMIENTO, EVALUADAS EN SUS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, CON EL FIN DE DETERMINAR EL ESTADO Y CALIDAD DE LAS FUENTES EN ESTUDIO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 77	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:1



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL
CONSUMO HUMANO DE LOS HABITANTES DE LA VEREDA EL CRISOL SITUADA EN
EL MUNICIPIO DE AGUACHICA – CESAR.

Autor

Karen Juliana Pallares Pallares

Director

Luis Augusto Jácome Gómez

Ing. Agrónomo Especialista en Microbiología Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL

OCAÑA

FEBRERO DE 2017

Índice

Capítulo 1. Evaluación de alternativas de abastecimiento de agua para el consumo humano de los habitantes de la vereda el crisol situada en el municipio de Aguachica – cesar.	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivos de investigación	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitaciones.....	6
1.5.1 Delimitación Operativa	6
1.5.2 Delimitación Conceptual	7
1.5.3 Delimitación Geográfica	7
1.5.4 Delimitación Temporal.....	7
Capítulo 2. Marco referencial	8
2.1. Marco histórico.....	8
2.2. Marco contextual	10
2.3. Marco conceptual	12
2.4. Marco teórico	26
2.5. Marco legal.....	30
Capítulo 3. Metodología.....	34
3.1. Tipo de investigación	34
3.2. Población y muestra	36
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de información	36
3.3.1. Observación directa:	37
3.3.2. Consultas a los pobladores de la vereda y censo de la población:.....	37
3.3.3. Consulta de fuentes secundarias:.....	37
3.3.4. Trabajo de campo:	38
3.3.4.1 Etapa de georreferenciación:	38
3.3.5. Determinación experimental de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:	41
3.4. Procesamiento y análisis de la información	42
Capítulo 4. Aspectos generales del área de estudio	46

4.1. Localización	46
Capítulo 5. Presentación de resultados	48
5.1. Identificar fuentes hídricas presentes en la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar.....	48
5.2. Evaluar la oferta y demanda de los cuerpos hídricos presentes en la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar.....	51
5.3. Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento de agua para la comunidad en estudio.....	55
5.4. Identificar alternativas de abastecimiento de agua adecuadas para el uso y consumo de los habitantes de la vereda “El Crisol”.....	66
Capítulo 6. Conclusiones.....	73
Capítulo 7. Recomendaciones.....	75
Referencias	76
Apéndices	81

Lista de tablas

Tabla 1. Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano.....	13
Tabla 2. Categorías de contaminación para cada uno de los ICO empleados.....	16
Tabla 3. Valores máximos permisibles según la Resolución 2115 de 2007.	21
Tabla 4. Valores máximos permisibles según la Resolución 2115 de 2007.	24
Tabla 5. Valores máximos permisibles de coliformes totales y E. Coli según la Resolución 2115 de 2007.	26
Tabla 6. Significancia de los índices de contaminación ICOs.	44
Tabla 7. Puntaje de riesgo para los parámetros evaluados.	45
Tabla 8. Clasificación del nivel de riesgo en salud según IRCA.	45
Tabla 9. Fuentes hídricas de la vereda “El Crisol” seleccionadas.....	48
Tabla 10. Censo poblacional de la vereda “El Crisol”.....	52
Tabla 11. Nivel de abastecimiento de la vereda “El Crisol”.....	54
Tabla 12. Conductividad, Alcalinidad y Dureza Total de las muestras analizadas.....	55
Tabla 13. Color aparente de las muestras analizadas.	59
Tabla 14. Turbiedad de las muestras analizadas.	59
Tabla 15. Oxígeno disuelto de las muestras analizadas.	60
Tabla 16. pH de las muestras analizadas.....	61
Tabla 17. Cloro residual libre de las muestras analizadas.....	61
Tabla 18. Nitratos y nitritos de las muestras analizadas.....	63
Tabla 19. Coliformes totales y E. coli en las muestras analizadas.	65
Tabla 20. Aerobios mesófilos en las muestras analizadas.....	66
Tabla 21. Índice de contaminación por minerales (ICOMI)	68
Tabla 22. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	69
Tabla 23. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	70
Tabla 24. Índice de Riesgo de Calidad de Agua para consumo humano (IRCA).....	71

Lista de figuras

Figura 1. Puntos de muestreo utilizados para la determinación de la calidad de agua que abastece la vereda “El Crisol”. Fuente: Autor del proyecto.	39
Figura 2. Rótulo utilizado para identificar las muestras tomadas de las diferentes fuentes hídricas utilizadas en la presente investigación. Fuente: Autor del proyecto.	40
Figura 3. Ubicación y delimitación geográfica de la vereda “El Crisol” con la herramienta Google Earth. Fuente: Autor del proyecto.	46
Figura 4. Ubicación de las fuentes de abastecimiento vereda “El Crisol”. Fuente: Autor del proyecto.	49
Figura 5. Resultados análisis fisicoquímicos.	81
Figura 6. Resultados análisis fisicoquímicos.	82
Figura 7. Resultados análisis fisicoquímicos.	83
Figura 8. Resultados análisis fisicoquímicos.	84
Figura 9. Resultados análisis fisicoquímicos.	85
Figura 10. Resultados análisis microbiológicos.	86
Figura 11. Resultados análisis microbiológicos.	87
Figura 12. Resultados análisis microbiológicos.	88
Figura 12. Resultados análisis fisicoquímicos.	89
Figura 12. Resultados análisis microbiológicos.	90
Figura 11. Pileta aérea, almacenamiento de agua vereda “El Crisol”.....	91
Figura 12. Pozo Anillado.	91
Figura 13. Pozo perforado.	91
Figura 14. Jagüey.	91
Figura 16. Análisis microbiológico.	92
Figura 15. Análisis microbiológico.	92
Figura 17. Análisis fisicoquímico UFPSO.	92
Figura 18. Toma de la turbiedad.	92

Introducción

El agua, recurso natural fundamental para la existencia del ser humano, es considerada en Colombia como un derecho fundamental y como un servicio público. No obstante, ciertos lugares del territorio nacional aún no cuentan con un servicio de acueducto adecuado en términos de cantidad y calidad. Esta situación es sobretodo relevante para las zonas rurales, en las que la cobertura de acueducto está muy por debajo de las urbanas. Más aún, en áreas suburbanas localizadas en zonas de clima cálido los problemas de desabastecimiento se acentúan en épocas de escasas precipitaciones, lo cual ha llevado a los habitantes de dichas poblaciones a buscar fuentes alternativas de agua para consumo y/o uso agrícola que incluyen, entre otras, jagüeyes, pozos artesanales y caños. Sin embargo, es común que ningún tratamiento de potabilización sea aplicado a esas fuentes, con lo que se incrementa el riesgo de sufrir enfermedades asociadas con el consumo de agua no potable, que especialmente afectan a la población vulnerable, en especial niños y ancianos.

Aguachica, municipio ubicado en el sur del departamento del Cesar, cuenta con un servicio de acueducto en su parte urbana que no garantiza la prestación continua del servicio. En sus áreas rurales la situación es aún más complicada dado que el servicio de acueducto es nulo, por lo que garantizar el acceso al agua recae en la mayoría de los casos en los mismos habitantes. Gracias a la organización de éstos dicho acceso puede garantizarse, aunque no de manera continua. Adicionalmente, un problema mayor al acceso al servicio tiene que ver con la calidad del recurso hídrico, que en casi todos los casos se ofrece sin ningún tipo de tratamiento de

potabilización. Con el ánimo de contribuir a la búsqueda de soluciones esta situación, la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar es el objeto de estudio del presente trabajo de investigación.

Resumen

El proyecto de investigación descrito en este documento se desarrolló en la vereda “El Crisol” perteneciente al municipio de Aguachica departamento del Cesar. El objetivo principal fue realizar la evaluación de alternativas de abastecimiento de agua para el consumo humano de los habitantes de la vereda. Inicialmente, fuentes hídricas presentes en la zona fueron localizadas y, junto con la fuente actual de abastecimiento, evaluadas en sus parámetros fisicoquímicos (Laboratorio de Agua de la UFPSO) y microbiológicos (Laboratorios de Calidad de Freskaleche S.A.). Esto, con el fin de determinar el estado y calidad de las fuentes hídricas en estudio.

La información base del trabajo investigativo se recolectó por medio de entrevistas a los habitantes, visitas de campo, y toma y análisis de muestras. Información relacionada con el número de habitantes de la vereda y la capacidad de almacenamiento de cada finca perteneciente a ésta, fue utilizada para determinar la demanda media residencial y el nivel de abastecimiento con el que se cuenta actualmente en la zona. Adicionalmente, a partir de los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y microbiológico, se calcularon los Índices de Contaminación (ICOs) y el Índice de Riesgo de Calidad de Agua para consumo humano (IRCA).

La investigación arrojó que la fuente de la cual se abastece la vereda actualmente carece de tratamiento de potabilización y no posibilita el ofrecimiento continuo de servicio de agua para los habitantes de la vereda, con lo cual se evidenció la necesidad de buscar alternativas nuevas de abastecimiento para mejorar la calidad de vida de los pobladores del área. De las fuentes hídricas

adicionales evaluadas, el pozo perforado resultó con potencial de ser una alternativa viable al problema de desabastecimiento de la vereda, siempre y cuando sea sometido a un proceso convencional de potabilización y provea una oferta hídrica adecuada para el nivel de consumo que se presenta en esta área.

Abstract

The research project described in this document was developed in the path "El Crisol" belonging to the municipality of Aguachica department of Cesar. The main objective was to carry out the evaluation of alternatives of water supply for the human consumption of the inhabitants of the sidewalk. Initially, water sources present in the area were located and, together with the current source of supply, evaluated in their physicochemical parameters (Water Laboratory of the UFPSO) and microbiological (Quality Laboratories of Freskaleche S.A.). This, in order to determine the state and quality of the water sources under study. The basic information of the investigative work was collected through interviews with the inhabitants, field visits, and sample collection and analysis.

Information related to the number of inhabitants of the sidewalk and the storage capacity of each farm belonging to it, was used to determine the average residential demand and the level of supply currently available in the area. Additionally, from the results obtained from the physicochemical and microbiological analysis, the Pollution Indices (ICOs) and the Water Quality Risk Index for human consumption (IRCA) were calculated. The investigation showed that the source from which the sidewalk is supplied currently lacks potabilization treatment and does not allow the continuous offer of water service for the inhabitants of the sidewalk, which showed the need to look for new alternatives of supply for Improve the quality of life of the inhabitants of the area. From the additional water sources evaluated, the perforated well proved to be a viable alternative to the problem of shortage of the sidewalk, as long as it is subjected to a

conventional water treatment process and provides a suitable water supply for the level of consumption Presents in this area

Capítulo 1. Evaluación de alternativas de abastecimiento de agua para el consumo humano de los habitantes de la vereda el crisol situada en el municipio de Aguachica – cesar.

1.1 Planteamiento del problema

El problema objeto de investigación es una situación que atenta contra la salud e integridad de los seres humanos. El área de influencia comprende la vereda llamada “El Crisol” del Municipio de Aguachica departamento del Cesar, donde se presenta una situación desfavorable en términos de abastecimiento y calidad de agua para el consumo humano. Lo anterior justifica la necesidad de plantear soluciones factibles, viables y sostenibles para contrarrestar los efectos negativos que se presentan en la actualidad para los pobladores de la vereda.

La vereda “El Crisol” está conformada por aproximadamente 60 habitantes dedicados a la agricultura y ganadería, además de las actividades propias del hogar. Todas estas labores requieren la utilización del recurso hídrico, el cual, idealmente, debería proveerse constantemente y con la calidad adecuada. En la actualidad, los pobladores de la vereda se abastecen del acueducto veredal “Chapetón”, que se surte del líquido extraído del pozo Chapetón ubicado en la vereda del mismo nombre. Dicho pozo, con una profundidad de más de 70 metros, cuenta con un sistema de bombas sumergibles que se encargan de enviar el líquido a un tanque de almacenamiento elevado a 15 metros de altura, que se encuentra a una distancia de 100 metros del pozo, donde no se realiza ningún tratamiento para su posterior distribución a la población de la vereda (Carrascal, 2016).

En términos de distribución, el líquido llega a cada finca por un espacio de dos horas diarias de lunes a sábado, lo que resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de los habitantes. Adicionalmente, la calidad del recurso hídrico que se provee, sumando a las condiciones de almacenamiento del mismo, ha sido causal en muchas ocasiones de enfermedades e infecciones gastrointestinales en los niños, adultos y ancianos que conforman la comunidad.

1.2 Formulación del problema

El problema descrito en el apartado anterior permite reconocer la necesidad de realizar un estudio para dar respuesta al siguiente interrogante:

¿Qué alternativas de solución pueden establecerse para el desabastecimiento de agua para el consumo humano en la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar?

1.3 Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo General

Evaluar alternativas de abastecimiento de agua para el consumo humano de los habitantes de la Vereda “El Crisol” situada en el Municipio de Aguachica – Cesar.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar fuentes hídricas presentes en la Vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar.

- Evaluar la oferta y demanda de los cuerpos hídricos presentes en la Vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar.

- Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento de agua para la comunidad en estudio.

- Identificar alternativas de abastecimiento de agua adecuadas para el uso y consumo de los habitantes de la Vereda “El Crisol”.

1.4 Justificación.

De acuerdo con la Resolución 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas, aproximadamente 884 millones de personas carecían de acceso a agua potable en el mundo en 2010 (ONU, A/RES/64/292, 2010). Situación alarmante dado que el agua, un recurso natural limitado, es un bien público fundamental para la vida y la salud. El derecho humano al agua potable es indispensable para la vida digna y es condición previa para la realización de todos los demás derechos humanos (CESCR, Observación general No. 15, 2002; ONU, A/RES/64/292, 2010). Aún más, según el Comité de Naciones Unidas de Derechos Económicos, Sociales y

Culturales, “el derecho humano al agua es el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico” (CESCR, Observación general No. 15, 2002).

Es decir, el abastecimiento de agua por persona debe ser suficiente y continuo para satisfacer necesidades tales como hidratación, saneamiento personal, preparación de alimentos, limpieza del hogar e higiene personal (para tal fin, la Organización Mundial de la Salud recomienda entre 50 y 100 litros de agua diarios por persona). Además de suficiente y continua, al agua para uso personal y doméstico debe estar libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos que amenacen la salud humana, así como poseer un color, olor y sabor aceptables para los usos requeridos. Otro factor importante es que el servicio de agua debe ser físicamente accesible dentro o en la inmediata cercanía del lugar de residencia, estudio, trabajo o de las instituciones de salud (de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el agua debe encontrarse a menos de 1000 metros del hogar y el tiempo para su recolección no debe superar los 30 minutos). Finalmente, el costo de acceso al servicio de agua debe ser asequible para todos los habitantes (no mayor al 3% de los ingresos del hogar, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2014).

En Colombia, la Corte Constitucional en Sentencia T-740/11 establece que “el agua se erige como una necesidad básica, al ser un elemento indisoluble para la existencia del ser humano. El agua en el ordenamiento jurídico colombiano tiene una doble connotación pues se erige como un derecho fundamental y como un servicio público. En tal sentido, todas las

personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad” (Corte Constitucional de Colombia, Sentencia T-740/11, 2011).

De acuerdo a los conceptos emitidos por la Organización de las Naciones Unidas, su comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales y la Corte Constitucional de Colombia, se hace evidente que la situación presentada por la comunidad perteneciente a la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar, en lo relacionado con el acceso a agua para el consumo humano, viola un derecho público fundamental y pone en peligro sus otros derechos humanos. Cabe mencionar por ejemplo el efecto de esta situación en la salud de las personas y en general los riesgos a la salud pública, ya que el consumo de agua en condiciones inadecuadas de potabilización tiene una incidencia significativa en la transmisión de algunas enfermedades (por ejemplo, diarrea, vómito, enfermedades gastrointestinales, erupciones en la piel, entre otras). Como consecuencia de lo anterior, el derecho al trabajo de los adultos y el derecho a la educación de los niños pueden también verse afectados.

El campo de acción de la Ingeniería Ambiental la convierte en disciplina adecuada para contribuir al planteamiento de soluciones viables a situaciones relacionadas con la sociedad y el medio ambiente. Lo planteado anteriormente, a través del “diseño de medidas técnicas para la prevención y control de contaminación de los recursos de agua, suelo y aire, que sean viables social, técnica, económica y ambientalmente” (Universidad Francisco de Paula Santander , 2015).

El Trabajo de Grado propuesto en el presente documento, que pretende encontrar alternativas de mejoramiento en lo referente al abastecimiento de agua potable para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar, contribuirá a la solución del problema planteado desde el uso de conceptos científicos y tecnológicos. A su vez, contribuirá con la formación del estudiante involucrado en la ejecución del proyecto al permitirle aplicar sus conocimientos de Gestión Ambiental, que se verán reflejados en estrategias y acciones de mejora que puedan ser realizadas en el territorio para garantizar la continuidad, en condiciones de calidad, del recurso hídrico a la comunidad.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa

Este proyecto, dirigido a una población específica objeto de estudio, se desarrolló en campo. El proyecto incluyó técnicas como entrevistas y visitas a los habitantes de la comunidad, la identificación de las fuentes hídricas presentes en la vereda “El Crisol”, la evaluación de oferta y demanda del recurso hídrico, la determinación de los usos dados por la comunidad al agua, el análisis fisicoquímico y microbiológico de las fuentes hídricas (realizadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Laboratorio de Calidad y Laboratorio de Agua de Freskaleche S.A Planta Aguachica), entre otros. La caracterización fisicoquímica y microbiológica se llevó a cabo dentro de la legislación referente al sector agua: Resolución 2115 de 2007 por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, Decreto 1575 de 2007 por el cual se establece el sistema para la protección y control de la

calidad del agua para consumo humano, el Decreto 1594 de 1984 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000.

1.5.2 Delimitación Conceptual

La temática del Proyecto de Grado se enmarcó en los siguientes conceptos: Estudios fisicoquímicos y microbiológicos del agua, Calidad del Agua, Oferta y Demanda, Índice de Calidad de Agua (ICA) Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA), Índices de Contaminación (ICOs), entre otros.

1.5.3 Delimitación Geográfica

El proyecto se llevó a cabo en la Vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica departamento del Cesar. Dicha vereda se encuentra ubicada en el kilómetro 5,8 de la vía principal que conecta a Aguachica con Gamarra.

1.5.4 Delimitación Temporal

Las actividades descritas en el presente documento fueron ejecutadas en el segundo semestre académico del año 2016, en un periodo de cuatro (4) meses a partir de la aprobación de la propuesta.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1. Marco histórico

La calidad de agua es un factor que limita la disponibilidad de este recurso y restringe el rango de posibles usos. Los ríos colombianos reciben y transportan cargas de agua utilizadas en los diferentes procesos socioeconómicos y vertidas mayoritariamente sin tratamiento previo; además, son los receptores de altos volúmenes de sedimentos originados por procesos de erosión, bien sea de origen natural o acción del hombre (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, s.f). En el año 2003, la cobertura de acueducto a nivel nacional registró una mejora sustancial, pasando de 79.7% en 1993 a 86.1%. Aunque esta expansión de la cobertura estuvo concentrada en la zona rural, aún existe una brecha significativa entre la cobertura urbana y la rural (esta brecha se estimó en 46 puntos porcentuales). Aún resta un largo camino por recorrer antes de que todos los habitantes del territorio nacional tengan acceso al agua potable: según datos del DNP, en 708 municipios del país (65% de los municipios), la cobertura no alcanza el 75% de la población (Unicef, s.f). Para el año 2012, cerca del 58,8% de la población consumió agua potable de buena calidad. En la zona urbana el agua presentó un nivel de riesgo bajo de contraer enfermedades, pero en zona rural nivel de riesgo alto. Por lo anterior es necesario fortalecer las acciones para mejorar la calidad del agua suministrada en la zona rural y minimizar así riesgos a la salud pública (Ministerio de Salud y Protección Social , 2014b).

La tasa de morbilidad y mortalidad infantil por enfermedades relacionadas con el consumo de agua de baja calidad, entre las que se encuentran la diarrea y el cólera, aún es alta en el país (la tasa de mortalidad en menores de cinco años en Colombia por enfermedad diarreica aguda es de 5.6/100.000 nacidos vivos. Departamento Nacional de Planeación – CONPES 3343. Marzo de 2005). Las malas aguas generan un impacto negativo en la salud pública que asciende aproximadamente a 1,96 billones de pesos al año (Unicef, s.f), de los cuales el 70% corresponde al impacto de la morbilidad y mortalidad por enfermedades diarreicas y el 30% restante al gasto en prevención. Esta situación es más grave en las zonas rurales y de población dispersa del país. Según cálculos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002), del 56% de la población rural que tiene alguna forma de abastecimiento de agua, solo el 6% cuenta con agua a la que se le da algún tratamiento para desinfectarla. Esto significa que miles de niños y niñas, especialmente en las zonas rurales del país y en los municipios más pobres, aún enfrentan el riesgo de contraer enfermedades como la diarrea y el cólera, que en muchos de los casos puede llegar a ser mortal. Por esto es muy importante que los municipios del país cuenten con un sistema que permita hacerle seguimiento constante a la calidad del agua que distribuyen a sus habitantes (Unicef, s.f).

Según el Reglamento Técnico del sector agua potable y saneamiento básico (RAS, 2000), la entidad prestadora del servicio público de acueducto es la responsable de controlar la calidad de agua en la red de distribución ya sea en puntos previamente escogidos –como hidrantes o pilas diseñadas para recoger muestras– o en acometidas escogidas aleatoriamente. En dichos sitios deben realizarse mínimo los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos establecidos en el artículo 19 del Decreto 475 de 1998, y el número mínimo de muestras será la

que establecen los artículos 20, 21, 22 y 27 de dicho decreto. Además, la vigilancia de que este proceso se cumpla está a cargo de las autoridades de salud de los Departamentos, Distritos o Municipios, tal como está estipulado en el Decreto 475 de 1998 artículo 41.

La Constitución Política de Colombia establece como uno de los fines principales de la actividad del Estado, la solución de las necesidades básicas insatisfechas, entre las que está el acceso al servicio de agua potable, que es fundamental para la vida humana. El abastecimiento adecuado de agua de calidad para el consumo humano es necesario para evitar casos de morbilidad por enfermedades como el cólera y la diarrea (según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, el 80% de las enfermedades se transmiten por medio del agua contaminada). El problema no es sólo la calidad del agua; también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable al día. En promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de líquido al día dependiendo del peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud. Por esto es importante que el servicio de acueducto no sólo tenga una cobertura universal, sino que sea continuo.

2.2.Marco contextual

La vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar, se encuentra ubicada en el sector de la vía que conecta a Aguachica con Gamarra, exactamente en el kilómetro 5,8 con una extensión de 225,20 Ha pertenecientes al área de suelo suburbano de vivienda según el Plan de Ordenamiento Territorial de dicho municipio (Plan de Ordenamiento Territorial Aguachica, 2001 - 2010 pág, 63).

Constituye esta categoría las áreas ubicadas dentro del suelo rural, en las que se mezclan los usos del suelo y las formas de vida en el campo y la ciudad, diferentes a las clasificadas como áreas de expansión urbana. Dicha área está destinada a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas (Plan de Ordenamiento Territorial Aguachica, 2001 - 2010 pág, 63).

En cuanto a estudios o investigaciones que se hayan realizado en el municipio de Aguachica, que abarquen la situación que se presenta en la actualidad en la vereda “El Crisol”, se realizó un estudio geoelectrico por la empresa IngeoExploraciones a cargo del geólogo Carlos M. Wandurraga Barón llamado “Estudio geoelectrico realizado para la junta de acción comunal de la vereda El Crisol, situada en el municipio de Aguachica, departamento del Cesar” en el año 2016, donde se considera la alternativa de explotar el agua subterránea para dotar la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica, donde se contó con la aprobación de la Junta de Acción Comunal de dicha vereda para llevar a cabo el estudio.

El estudio geoelectrico permite la constitución y posición de los sedimentos, rocas y agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad. Consiste en enviar corriente eléctrica a través del subsuelo para luego medir la diferencia de potencial entre puntos variables, observar los cambios drásticos de resistividad y establecer las características litológicas con presencia o ausencia de agua. El objetivo principal de los estudios prospectivos de agua (Estudios Geoelectricos EG), está encaminado en disminuir el riesgo geológico en el hallazgo del agua subterránea en el mayor porcentaje posible. La ejecución del estudio se llevó a cabo mediante la ubicación de tres Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

previstos en los lugares apropiados y considerados de interés y a su vez, donde las condiciones locales y en general de carácter logístico lo permitían.

El estudio arrojó como resultado de la información de resistividad, la posibilidad de presencia de agua subterránea relacionada con las unidades Geoeléctricas en el punto SEV – 3 ubicado en la Finca Las Delicias, vereda “El Crisol” (Wandurraga, 2016).

2.3.Marco conceptual

Agua Potable. De acuerdo a lo definido en el Decreto 475 de 1998, es aquella que reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, y puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

Agua Cruda. Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Análisis Físico-Químico del Agua. Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Calidad del Agua. El término está íntimamente relacionado con el uso del recurso, ya que no todas las fuentes de agua son aptas para consumo humano. La medición de la calidad del agua se lleva a cabo con diferentes procedimientos que deben ser analizados y sistematizados en cada caso (Ada Barrenechea Martel, s.f pág. 4).

Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia (Instituto Nacional de Salud, 2011, p. 09).

En Colombia, el decreto 1594 de 1984 establece una serie de criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano.

Parámetro	Requiere tratamiento convencional (mg/L)	Requiere solo desinfección (mg/L)
Amoniaco	1,0	1,0
Arsénico	0,05	0,05
Bario	1,0	1,0
Cadmio	0,01	0,01
Cianuro	0,2	0,2
Cinc	15,0	15,0
Cloruros	250,0	250,0
Cobre	1,0	1,0
Color	75 unidades platino-cobalto	20 unidades platino-cobalto
Fenoles	0,002	0,002
Cromo hexavalente	0,05	0,05
Difenil policlorados	No detectable	No detectable
Mercurio	0,002	0,002
Nitratos	10,0	10,0
Nitritos	1,0	1,0
pH	5,0-9,0 unidades	6,5-8,5 unidades
Plata	0,05	0,05
Plomo	0,05	0,05
Selenio	0,01	0,01
Sulfatos	400,0	400,0

Tensoactivos	0,5	0,5
Turbiedad	---	10
Coliformes totales NMP/100mL	20000	1000
Coliformes fecales NMP/100mL	2000	---

Fuente: Decreto 1594 de 1984

Compuestos orgánicos. Abundantes moléculas orgánicas como la gasolina, plásticos, plaguicidas entre otros, en varios casos terminan en el agua por periodos de tiempo prolongado y de acuerdo a su composición molecular son de difícil degradación (Barba Ho, 2002, párr. 44).

Demanda Hídrica. La demanda hídrica es la calculada con base en las concesiones de agua que existen a lo largo de cada corriente principal y que tributan a ella. El mayor volumen de agua es utilizado para el consumo humano, seguido del uso agrícola (Corporación Autónoma Regional del Quindío, 2011 pág. 5).

Índice de Calidad de Agua. Se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua. Estas características determinan como y para cual agua puede usarse y las especies y procesos de ecosistemas que pueden soportar (United Nations Environment Programme, s.f).

Según los indicadores del IDEAM el ICA es un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación.

Toma en cuenta una gama de factores ambientales a través de variables simples que permiten el análisis de los principales orígenes de la contaminación: oxígeno disponible, materia orgánica, sólidos, mineralización, acidez, entre otros, y características claves de la columna de agua como la temperatura.

Índice de Escasez. Se establece como la relación entre la Oferta Hídrica Neta Superficial y la Demanda Total de Agua ejercida en el desarrollo de actividades económicas y sociales. La escasez se registra cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes existentes es tan grande que se suscitan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las ecosistémicas, las de los sistemas de producción y las de las demandas potenciales (Corporación Autónoma Regional de Nariño, s.f pág. 107).

Índices de Contaminación (ICO). Los índices de contaminación son complementarios, en sentido ecológico, al ICA y, por tanto, permiten precisar problemas ambientales específicos y con ello profundizar en la identificación de taxones con potencial indicador.

La Tabla 2 indica las diferentes categorías de clasificación de las aguas de acuerdo con los valores que alcanzan cada uno de los índices.

Tabla 2.

Categorías de contaminación para cada uno de los ICO empleados.

Rango ICO	Grado de contaminación	Escala de color
0 – 0.2	Ninguna	
> 0.2 – 0.4	Baja	
> 0.4 – 0.6	Media	
> 0.6 – 0.8	Alta	
> 0.8 – 1	Muy Alta	

Fuente: (Universidad de Pamplona)

De acuerdo a (A. Ramírez, R. Restrepo y G. Viña, s.f) existen otros tipos de índices que ayudan a determinar el grado de contaminación que una fuente hídrica tiene, los cuales permiten calificar las diferentes cualidades de los cuerpos de agua y por tanto permiten tener un panorama mucho más amplio en cuanto a la calidad de una fuente hídrica; entre estos se encuentran:

Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI). Se expresa en variables que reflejan esta condición, entre las cuales se encuentran la conductividad, como reflejo de los sólidos disueltos de tipo iónico; la dureza, por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y la alcalinidad, porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos.

Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO). Se expresa en variables que incluyen nitrógeno, nitritos, nitratos, fósforo, oxígeno, demanda biológica (DBO) y química de oxígeno (DQO) y coliformes totales y fecales.

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS). Se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos.

Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA). El Ministerio Nacional de Salud define el 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. Este indicador es el resultado de asignar el puntaje de riesgo contemplado en el cuadro número 6 de la resolución 2115 de 2007 a las características contempladas allí por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en dicha resolución (Ministerio de Salud y Protección Social , 2014c).

De acuerdo a la resolución 2115 de 2007 cuando se obtiene un IRCA entre el rango de 0 a 5 % el agua distribuida es apta para consumo humano y se califica en nivel sin riesgo; cuando está entre 5,1 y 14% ya no es apta para consumo humano, pero se califica con nivel de riesgo bajo; entre 14,1 y 35% se califica con nivel de riesgo medio y no es apta para consumo humano; cuando está entre 35,1 y 80% es un nivel de riesgo alto y del 80,1 al 100 % es un agua inviable sanitariamente y obviamente no es apta para consumo humano.

Muestreo. Según el (Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio, 2011 pág. 09) es el “proceso de toma de muestras que son analizadas en los laboratorios para obtener la información sobre la calidad del agua del sitio concertado en que fueron tomados”.

Muestra Compuesta de Agua. Es la integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el período de toma de muestras.

Muestra puntual de agua. Es la toma en punto o lugar en un momento determinado.

Oferta Hídrica. Es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar (Corporación Autónoma Regional de Nariño, s.f pág. 107).

Reducción por Calidad. La calidad del agua es factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe en un amplio rango de posibles usos (Corporación Autónoma Regional del Tolima , 2004).

Salud Pública. Según la Organización Mundial de la Salud, la salud pública es una especialidad no clínica de la medicina enfocada en la promoción, prevención e intervención de la salud desde una perspectiva multidisciplinaria y colectiva, ya sea a nivel comunitario, regional, nacional o internacional, es decir, no centrada en el individuo, sino en el colectivo.

Importancia Ambiental de Parámetros Indicadores de Contaminación

Parámetros Físicos

Color. La presencia de sustancias orgánicas, iones metálicos como hierro y magnesio, plancton y hierba, pueden ser resultado de apariencia de color en el agua (Cuadros, 2012).

Se pueden definir dos clases de color:

- *Color Verdadero:* Es el color del agua cuando la turbidez de ésta se ha eliminado.

- *Color Aparente:* Incluye no sólo el color de la solución sino el de la materia suspendida.

Son causantes del color en el agua el contacto con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces en diferente estado de descomposición, y la presencia de ácido húmico y algunos residuos industriales (Salcedo, 2008) .

Olor. El olor, como el gusto, depende del contacto de una sustancia estimulante de naturaleza química. El olor se da a conocer como un factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable para el consumo humano (Guarin, 2010).

Sabor. Se define como sensaciones gustativas de tipo amargo, salado, ácido o dulce, que resulta de la estimulación química de los sensores nerviosos situados en la lengua que se conocen como papilas gustativas. Las muestras del agua dentro de la boca, para análisis sensorial de la lengua siempre producen un sabor a través del gusto, olor o sensación en la boca que puede ser predominante dependiendo de las sustancias químicas que estén presentes (Cuadros, 2012).

Turbiedad. Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema (Roldan, 1992) y es asociada con la presencia de organismos patógenos (Washington State Department of Ecology, 2001). Sirve para determinar el grado de tratamiento requerido por un agua natural, al igual que permite establecer su filtrabilidad, así como la efectividad de procesos de coagulación, sedimentación y filtración (Romero, 1996).

Sólidos. Son un parámetro útil para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento y son importantes para determinar la “fuerza” de las aguas residuales. En plantas de lodos activados se usan para controlar el proceso y factores del diseño de unidades de tratamiento biológico secundario; también son útiles para el diseño de tanques de sedimentación. (Romero, 1996). Son desagradables a la vista (poco estéticos), proveen superficies de adsorción para agentes químicos y biológicos, pueden degradarse (lo que causaría productos secundarios perjudiciales) y aquellos elementos biológicamente activos pueden ser agentes tóxicos o causantes de enfermedades (Campos, 2003).

La Tabla 3 muestra los valores máximos permisibles de los anteriores parámetros físicos, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 3.

Valores máximos permisibles según la Resolución 2115 de 2007.

Características físicas	Expresadas como	Valor máx. aceptable
Color aparente	Unidades platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

Parámetros Químicos

PH. El intervalo de concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecho y crítico, la mayoría de animales acuáticos prefieren un rango de 6.5 - 8.0, fuera de este rango se reduce la diversidad por estrés fisiológico, así como la reproducción. El valor del pH también debe ser tenido en cuenta en el suministro de aguas con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión o de incrustación (Bolaños et al., 2001).

Oxígeno disuelto. Constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración determina las especies, de acuerdo a su tolerancia y rango de adaptación, estableciendo la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas (Ramírez y Viña, 1998). La baja concentración de oxígeno disuelto en el agua es, generalmente, una indicación de alta contaminación, ya que sirve para denotar la presencia de

organismos que “respiran” y se multiplican a una tasa superior a la difusión del oxígeno desde la atmósfera al agua (Faña, 2000).

Alcalinidad. Proporciona la acción buffer o amortiguadora de cambios de pH al agua, de tal forma que conocer la alcalinidad de un cuerpo de agua es fundamental para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida y duradera (Roldan, 1992). La alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento y control de la corrosión (Romero, J. A. 1996).

Dureza. Las aguas con bajas durezas se denominan “blandas” y biológicamente son poco productivas, por lo contrario las aguas con durezas elevadas “duras” son más productivas. La productividad está generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldan, 1992). Para consumo humano se considera que las aguas blandas o duras son igualmente satisfactorias. El valor de la dureza determina la conveniencia del agua para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento, ya que requieren demasiado jabón para producir espuma, además depositan lodo e incrustaciones sobre las superficies con las que este en contacto (Bolaños, 2000; Ministerio de Medio Ambiente et al., 2001).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento. Su determinación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes

domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. El aumento de la DQO contribuye a la disminución de la capacidad de depuración de las fuentes hídricas, disminución del oxígeno disuelto, salinización de los suelos, y pérdida de la biodiversidad acuática y calidad del uso (Beltrán y Trujillo, 1999).

Fósforo y Fosfatos. El fósforo en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxígeno para su oxidación aerobia, además de los procesos de eutrofización y consecuentemente crecimiento de fitoplancton. El fósforo en forma de ortofosfato es nutriente de organismos fotosintetizadores y, por tanto, es un componente limitante para el desarrollo de las comunidades. Su determinación es necesaria en estudios de polución de ríos, así como en procesos químicos y biológicos de purificación y tratamiento de aguas (Romero, 2001).

Nitrógeno, Nitritos y Nitratos. El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias, reduciendo por ende los niveles de éste. Las diferentes formas del nitrógeno son importantes de determinar para establecer el tiempo transcurrido desde la polución de un cuerpo de agua. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir a los organismos. Las descargas de aguas residuales ricas en nitrógeno pueden causar problemas de eutrofización y de nitrificación, con la consecuente concentración de nitratos y riesgo de metahemoglobinemia para usuarios de la fuente receptora (Romero, 2001).

Los nitritos raras veces aparecen en concentraciones mayores de 1mg/L y en aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0.1mg/L. Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato. El nitrato es producido por la oxidación de los nitritos, debido a la acción de las nitro bacterias (Romero, Lección 19. Análisis químico, s.f., párr. 8).

De acuerdo a la Resolución 2115 de 2007, los valores máximos permisibles de estos parámetros químicos son los que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Valores máximos permisibles según la Resolución 2115 de 2007.

Características químicas	Expresado como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos totales	THMs	0,2
Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos	HAP	0,01
Carbón orgánico total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂	0,1
Nitratos	NO ₃	10
Fluoruros	F ⁻	1,0
Calcio	Ca	60
Alcalinidad total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2

Dureza total	CaCO ₃	300
Hierro total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

Parámetros Microbiológicos

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos). La carga para la salud pública es función de la gravedad de la enfermedad o enfermedades relacionadas con los agentes patógenos, de su infectividad y de la población expuesta. Un fallo general del sistema de protección de la seguridad del abastecimiento de agua puede ocasionar una contaminación a gran escala del agua y, potencialmente, epidemias detectables. Otras averías y la contaminación leve, posiblemente en ocasiones repetidas, pueden ocasionar brotes esporádicos significativos de enfermedades, pero no es probable que las autoridades de vigilancia de la salud pública los asocien con la fuente de abastecimiento de agua de consumo. La evaluación y cuantificación de los riesgos puede ayudar a comprenderlos y gestionarlos, sobre todo los relacionados con casos de enfermedad esporádicos.

Coliformes Totales y Fecales. El análisis bacteriológico es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. La determinación de la presencia del grupo coliformes constituye en un indicio de polución, así como la eficiencia de la purificación y potabilidad del agua (Ministerio de Salud, 1998; Romero, 2001).

Los valores máximos permisibles de coliformes totales y E. Coli según la Resolución 2115 de 2007, y técnicas utilizadas para la determinación de éstos, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Valores máximos permisibles de coliformes totales y E. Coli según la Resolución 2115 de 2007.

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100cm ³	0 UFC/100cm ³
Enzima sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismos en 100cm ³	0 microorganismos en 100cm ³
Presencia-ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

2.4.Marco teórico

El agua es esencial para el mantenimiento de todos los procesos biológicos, la calidad de vida de una sociedad y el sostenimiento de las actividades económicas. La calidad del agua está definida por su composición química y por sus características físicas, adquiridas a través de procesos naturales y antropogénicos que limitan o perjudican su uso. Éste es evaluado al comparar los valores que asumen los parámetros indicadores con estándares y criterios

establecidos. La variación espacio temporal de la calidad se modifica por el influjo de múltiples actividades socioeconómicas y naturales, y la intensidad de esta variación es determinada por las características propias de estas dinámicas (Corporación Autónoma Regional del Tolima , 2004).

Dos son los principales desafíos en materia de agua que afectan la sostenibilidad de los asentamientos urbanos: la falta de acceso a agua saludable y a saneamiento y el aumento de desastres relacionados con el agua como inundaciones y sequías. Estos problemas conllevan enormes consecuencias para la salud y el bienestar humano, la seguridad, el medio ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo. La falta de servicios adecuados de suministro de agua y saneamiento conduce a enfermedades como la diarrea o brotes de malaria y de cólera. Aunque la cobertura de suministro de agua y saneamiento ha aumentado entre 1990 y 2008, el crecimiento de la población urbana mundial pone en peligro estos resultados. Smiths et al., (2012) en su estudio afirman que las coberturas rurales de acueducto en Colombia están muy por debajo de las urbanas, pues según el Censo del DANE del año 2010, las coberturas rurales en el año 2005 eran de 57 %, mientras que las urbanas eran del 94 %.

Los que más sufren los desafíos que representa el agua son las poblaciones pobres de las ciudades que, con frecuencia, viven en zonas suburbanas o en asentamientos irregulares en rápido proceso de expansión y donde no están cubiertas las necesidades más básicas para la vida como un agua potable saludable, un saneamiento adecuado, el acceso a servicios de salud, una vivienda duradera y segura (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2014).

La escasez de agua se define según la ONU como el punto en el que, el impacto agregado de todos los usuarios, bajo determinado orden institucional, afecta al suministro o a la calidad del agua, de forma que la demanda de todos los sectores, incluido el medioambiental, no puede ser completamente satisfecha. La escasez de agua es pues un concepto relativo y puede darse bajo cualquier nivel de oferta o demanda de recursos hídricos. La escasez puede ser una construcción social (producto de la opulencia, las expectativas y unas costumbres arraigadas) o consecuencia de la variación en los patrones de la oferta, derivados, por ejemplo, del cambio climático.

En Colombia, más del 80 % de las cabeceras municipales se abastecen con cuerpos de agua que no tienen la cantidad suficiente para asegurar la disponibilidad. Además, los puntos de desarrollo industrial, agropecuario, hidroenergético, se han dado en regiones donde la oferta hídrica es menos adecuada, lo cual genera presiones sobre el recurso hídrico sobre todo en períodos con condiciones climáticas extremas. Esta serie de vulnerabilidades frente a la disponibilidad de agua para el desarrollo de las actividades se contrasta con la evidente negligencia y abandono con que se manipulan los ríos, quebradas, humedales y demás fuentes hídricas, los cuales son despreciados y subestimados a cambio de contar con el suministro de agua potable a través de los sistemas de acueducto (Zamudio Rodríguez, 2012).

De otra parte, el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Colombia, reporta que el 21,5% del territorio nacional corresponde a zonas secas (estas zonas presentan precipitaciones anuales por debajo de los 1500 mm y en épocas de sequía son altamente afectadas), ubicadas en las regiones naturales de Orinoquía, Caribe y Andina, de las

cuales 78,9% presenta algún nivel de desertificación derivado principalmente de procesos de erosión y salinización (Contraloría General de la República , s.f pág. 38).

“El índice de escasez constituye la principal herramienta para evaluar si el recurso hídrico de un país, área hidrográfica, región, municipio o cabecera es suficiente o deficitario y aún más importante además, es agregar el ingrediente de calidad de agua al concepto de disponibilidad” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004 pág. 02).

Se sabe que la demanda de agua implica deterioro y alteración de los ecosistemas si éste no se realiza bajo un enfoque de manejo integral del recurso y principios de sostenibilidad. En Colombia, el deterioro de la calidad y la alteración de la distribución espacial y temporal del agua no es homogénea; “el 24% del área total del territorio nacional, correspondiente a la cuenca Magdalena – Cauca, aporta el 10.6% de la oferta hídrica del país, soporta el 70% de la población, condiciones que han contribuido a la desregularización del régimen hídrico y al deterioro de la calidad en su conjunto”.

La oferta del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable, está condicionada a la cantidad (medido en términos de caudal) y a la calidad de la fuente (asociada a la presencia de materiales contaminantes) (Contraloría General de la República , s.f pág. 38, pág. 178).

La demanda de agua crece exponencialmente. Sin embargo, la oferta y calidad cada vez es menor, razón por la cual urge la implementación de acciones que permitan mantener un

suministro permanente de agua de buena calidad para toda la población y para preservar las funciones de los ecosistemas.

En este sentido, la calidad es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que definen el agua en su estado natural. Para establecer los parámetros que permiten clasificar el agua según su calidad es necesario definir el uso predominante que se le dará a ella (Contraloría General de la República , s.f pág. 38, pág. 178).

“Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso sea necesario”. Por ello, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial conjuntamente con el Ministerio de Protección Social emitieron el Decreto 1575 de 2007 y las resoluciones reglamentarias para establecer los parámetros que debe cumplir el agua que sea destinada a consumo humano, derogando lo establecido en el decreto 475 de 1998.

2.5.Marco legal

Según la constitución política de Colombia de 1991, en el art. 79, “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. El deber del Estado es proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

En la *Ley 09 de 1979* se dictan las medidas sanitarias que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias relacionadas con la salud humana; de igual manera se realiza el control de los usos del agua y los sistemas de potabilización de esta (Diario Oficial , 1979).

A través de la *Ley 142 de 1994* se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico, también la prestación continua e interrumpida del servicio, sin excepción alguna, salvo cuando existan causas de fuerza mayor (Congreso de Colombia , 1994).

Según el *Decreto 475 de 1998*, se expiden las normas técnicas de calidad de agua potable. Entre estas normas se encuentran las organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad de agua potable que deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua (Diario Oficial , 1998).

Por otra parte, el *Decreto 1575 de 2007* establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos que debe cumplir el agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social , 2007).

Así mismo, la *Resolución 2115 de 2007* señala las características, los instrumentos básicos y las frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano (Ministerio de la protección social, ministerio ambiente, vivienda y desarrollo territorial , 2007).

Sentencia T-740/11. DERECHO FUNDAMENTAL AL AGUA. Concepto y fundamento.

El agua se considera como un derecho fundamental y, se define, de acuerdo con lo establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, como “el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico”. El agua se erige como una necesidad básica, al ser un elemento indisoluble para la existencia del ser humano. El agua en el ordenamiento jurídico colombiano tiene una doble connotación pues se erige como un derecho fundamental y como un servicio público. En tal sentido, todas las personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad.

Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título B “sistemas de acueducto”. El cual tiene como propósito fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, y mantenimientos de los sistemas de acueducto que se desarrollen en la república de Colombia con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad, y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título C “sistemas de potabilización”. Este título está dirigido al desarrollo de estudios y diseños de todos los componentes de un sistema de potabilización de agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento que se desarrolle en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad, y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

Capítulo 3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación realizado en el presente proyecto fue de tipo descriptivo, es decir, se enfocó en relatar de modo sistemático las características de la población, situación y área de interés (Sampieri, 2000). El objetivo principal fue caracterizar la situación o problema presente en el área de estudio a través de registro, análisis e interpretación de los datos recopilados, con lo cual se buscó especificar propiedades, características y rasgos importantes del fenómeno analizado (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

Específicamente, en el presente proyecto se obtuvo información relacionada con las fuentes hídricas presentes en la Vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar, incluyendo la fuente de abastecimiento utilizada actualmente. La oferta y demanda de los cuerpos hídricos presentes fue evaluada y se realizó así mismo su caracterización fisicoquímica y microbiológica. Es decir, el trabajo investigativo tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo (Mendoza, 2014), al analizar un grupo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que pudieron ser interpretados a partir de valores numéricos y desde los cuales fue posible un análisis conducente al establecimiento de conclusiones pertinentes. En concreto, alternativas de abastecimiento de agua adecuadas para el uso y consumo de los habitantes de la vereda “El Crisol” fueron establecidas.

La recolección de la información de la investigación se llevó a cabo en cuatro (4) fases:

Fase I. Para el desarrollo de esta etapa, en la cual se pretendía recolectar información primaria, se utilizó la técnica de entrevista y consultas a los pobladores y fuentes como la Junta de Acción Comunal de la vereda. El objeto fue conocer detalles que coadyuvaran a la identificación de las fuentes hídricas presentes en la zona, con el fin de establecer los cuerpos hídricos a los cuales se les realizaría análisis de sus características fisicoquímicas y microbiológicas a fin de evaluar su estado actual.

Fase II. Posterior a la identificación y geolocalización de las fuentes hídricas presentes en la Vereda “El Crisol”, se realizó la toma de las muestras de agua para su análisis fisicoquímico y microbiológico. Los análisis se efectuaron en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y en los Laboratorios de Microbiología y de Agua de Freskaleche S.A Planta Aguachica.

Fase III. Esta fase abarcó los cálculos de la evaluación de la oferta y demanda de los cuerpos hídricos identificados para encaminarse a la determinación de posibles alternativas de abastecimiento de agua en la vereda. También se realizaron los cálculos de los índices de Calidad del Agua (ICA), índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano (IRABAm), el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), de acuerdo a lo expuesto en la Resolución 2115 del 2007.

Fase IV. Esta última etapa consistió en la evaluación de las alternativas de abastecimiento de agua para la población de la vereda a partir de la identificación de los cuerpos hídricos presentes en ésta, la interpretación y comparación de los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos teniendo en cuenta la normatividad legal (Resolución 2115 de 2007 y Decreto 1594 de 1984), así como también la calidad de la fuente hídrica de la cual se abastecen en la actualidad.

3.2.Población y muestra

Población: El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la población perteneciente a la vereda “El Crisol”, conformada por 60 habitantes, y ubicada en la vía principal Aguachica – Gamarra, departamento del Cesar.

Muestra: La muestra estuvo constituida por 60 habitantes de la vereda “El Crisol”, distribuidos en 6 viviendas (fincas). Es decir, la muestra fue equivalente al 100 % de la población, dado que su tamaño permitió hacer un análisis de su totalidad.

3.3.Técnicas e instrumentos de recolección de información

En la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de información:

3.3.1. Observación directa:

Empleada como técnica de recolección de información primaria. En este aspecto, se observaron y registraron en la bitácora las características y estado de la fuente de abastecimiento actual (visualización de la zona, tanque de almacenamiento, sistemas de bombas sumergibles, etc.), así como los diferentes usos dados al agua en la vereda “El Crisol”.

3.3.2. Consultas a los pobladores de la vereda y censo de la población:

Usadas para conocer la problemática de la comunidad en lo referente al acceso al agua potable y la distribución poblacional en el área elegida para la investigación. Así mismo, permitieron obtener información relacionada con fuentes hídricas alternativas gracias al conocimiento de la zona por parte de los habitantes de la vereda. La información recolectada se consignó en la bitácora.

3.3.3. Consulta de fuentes secundarias:

Dentro de los datos secundarios consultados se encuentran fuentes bibliográficas, tesis, estudios realizados y artículos especializados relacionados con la temática del presente proyecto, que permitieron enriquecer la investigación.

3.3.4. Trabajo de campo:

El trabajo de campo se dividió en dos etapas que consistieron en la georreferenciación y la toma de muestras para su posterior análisis de cada una de las fuentes hídricas que se seleccionaron en la vereda “El Crisol”.

3.3.4.1 Etapa de georreferenciación: Esta etapa abarcó la toma de coordenadas para la ubicación geográfica de cada una de las fuentes hídricas seleccionadas en la vereda “El Crisol”, con la ayuda de recorridos por la zona y acompañamiento de los habitantes de ésta para lograr establecer los puntos de muestreo. En esta etapa se hizo uso de un GPS para la determinación de las coordenadas.

3.3.4.2. Etapa de muestreo: *Para la determinación de la calidad del agua que abastece la vereda, se tomaron tres puntos de muestreo, tal como se esquematiza en la Figura 1. El primer punto se tomó en el pozo veredal “El Chapetón” con el fin de analizar la calidad de la fuente hídrica; los otros puntos de muestreo fueron el tanque elevado de almacenamiento de agua que se encuentra a 100 metros del pozo y fincas pertenecientes a la vereda “El Crisol”, éstas con el fin de analizar la calidad del agua de consumo humano de dicha población.*

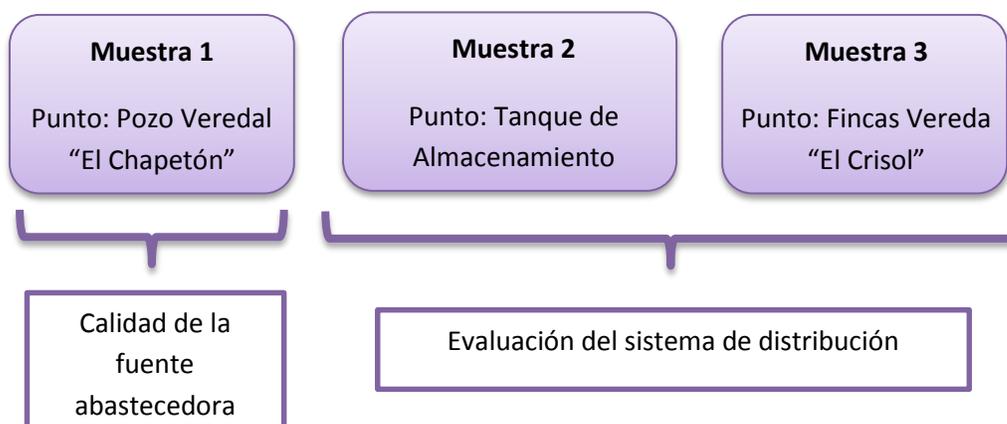


Figura 1. Puntos de muestreo utilizados para la determinación de la calidad de agua que abastece la vereda "El Crisol". *Fuente:* Autor del proyecto.

Además de la fuente actual de abastecimiento, se muestrearon cuatro fuentes hídricas adicionales que se encontraron en la vereda (jagüey, pozo perforado, caño "Pital" y pozo anillado), con el objetivo de recolectar datos que permitieran realizar la evaluación de alternativas de abastecimiento de agua para la población. *En todos los casos, la técnica que se llevó a cabo al momento de realizar el muestreo fue manual, con muestras de tipo puntual. La calidad del agua que abastece la vereda fue determinada a partir de una muestra de tipo compuesto, es decir, el agua obtenida en los diferentes puntos de muestreo fue combinada previo a la realización de los análisis. Por el contrario, las muestras de las fuentes hídricas adicionales fueron de tipo simple.*

Para la identificación de las muestras, se usó un rotulo que proporcionaba la información necesaria acerca de la muestra de agua que se quería analizar. La figura 2 muestra la etiqueta que se empleó.

ROTULO PARA MUESTRA DE AGUA

Punto de muestreo:

Municipio:

Fecha:

Hora:

Tipo de muestra:

Agua: P__ C__ R__

Tipo de Análisis:

Responsable:

Firma:

Figura 2. Rótulo utilizado para identificar las muestras tomadas de las diferentes fuentes hídricas utilizadas en la presente investigación. *Fuente:* Autor del proyecto.

El proceso de la toma de muestras se realizó basado en las técnicas de muestreo establecidas en la Norma Técnica ISO – 5667-1, ISO – 5667-2, ISO 5667-3, buscando adecuada conservación y manejo de éstas. Fue indispensable el uso de recipientes estériles, guantes de nitrilo, recipientes de plástico, rótulos y cava para transporte de las muestras.

Los recipientes que se emplearon para los análisis microbiológicos, fueron esterilizados por la empresa que realizó dicho análisis, es decir, el Laboratorio de Calidad de Freskaleche S.A. Planta Aguachica. La capacidad de los recipientes para la toma de muestras para análisis fisicoquímico fue de 2 litros, con el fin de garantizar la recolección de suficiente cantidad de agua para el estudio de los parámetros requeridos.

La toma de muestras se realizó el día anterior a los análisis en el laboratorio, siendo las fechas establecidas para llevar a cabo los muestreos el 3 y 24 de Noviembre del 2016 en horas de la tarde. Para garantizar la preservación de las muestras, éstas se mantuvieron refrigeradas en una cava con gel refrigerante para su posterior entrega al laboratorio.

3.3.5. Determinación experimental de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:

El estudio de los parámetros fisicoquímicos se efectuó en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, mientras que los análisis microbiológicos se ejecutaron en el Laboratorio de Microbiología de Freskaleche S.A Planta Aguachica.

Los parámetros analizados en los laboratorios fueron: alcalinidad, dureza, demanda química de oxígeno (DQO), nitratos, nitritos, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, color, oxígeno disuelto, solidos suspendidos, solidos totales, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), turbiedad, cloro residual, coliformes totales, *E. coli* y aerobios mesófilos, de acuerdo a los procedimientos establecidos en los Standard Methods for Examination of Water and Wastewater..

Los resultados de los análisis de las muestras en el laboratorio fueron comparados con la Resolución 2115/2007 para los valores máximos permisibles, con el Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título C y con el Decreto 1594/1984 en cuanto a los valores permitidos para aguas sin ningún tipo de tratamiento.

Para el cálculo de la demanda y oferta, se tuvo en cuenta la muestra del proyecto de investigación.

La determinación de los Índices de Calidad del Agua (ICA) se realizó mediante el cálculo de los siguientes índices: índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) e índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).

3.4. Procesamiento y análisis de la información

La interpretación, análisis y evaluación de la información recolectada se basó en los siguientes índices de la calidad de los cuerpos hídricos (Fundación Agua y Paz, 2013) (Universidad de Pamplona):

✓ *Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)*. El índice de contaminación por mineralización integra la conductividad, dureza y alcalinidad.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I \text{ conductividad} + I \text{ dureza} + I \text{ alcalinidad})$$

Dónde:

- Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, tienen un índice de conductividad = 1
- Durezas mayores a 110 mg/L, tienen un índice = 1
- Durezas menores a 30 mg/L, tienen un índice = 0
- Alcalinidades mayores a 250 mg/L, un índice de 1
- Alcalinidades menores a 50 mg/L, tienen un índice de 0

✓ *Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)*. Conformado por Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Coliformes Totales y Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%).

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{coliformes} + I_{oxígeno \%})$$

Dónde:

- DBO > 30 (mg/L) = 1
- DBO < 2 (mg/L) = 0
- Coliformes totales > 20.000 (NMP/100ml) = 1
- Coliformes totales < 500 (NMP/100ml) = 0
- Oxígenos mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0

✓ *Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)*. Trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se mantienen en suspensión en una solución.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,0003 \text{ sólidos suspendidos (mg/L)}$$

Dónde:

- Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L tienen un ICOSUS = 1.
- Sólidos suspendidos menor a 10 mg/L tiene un ICOSUS = 0.

De acuerdo a los resultados de los índices anteriores se determinó el grado de contaminación y se comparó con los siguientes rangos:

Tabla 6.

Significancia de los índices de contaminación ICOs.

Rango ICO	Grado de contaminación	Escala de color
0 – 0.2	Ninguna	
> 0.2 – 0.4	Baja	
> 0.4 – 0.6	Media	
> 0.6 – 0.8	Alta	
> 0.8 – 1	Muy Alta	

Fuente: (Universidad de Pamplona)

Para evaluar la calidad del agua que consumen en la actualidad los habitantes de la vereda, así como para evaluar fuentes de alternativas de abastecimiento, se realizó el cálculo del Índice de Riesgo de la calidad del Agua (IRCA) para consumo humano. Para la asignación de los puntajes de riesgo (Tabla 2), cada parámetro fue comparado con los niveles máximos aceptables encontrados en la Resolución 2115 del 2007. Posteriormente se calculó el IRCA, aplicando la siguiente fórmula.

✓ IRCA por muestra:

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

Tabla 7.

Puntaje de riesgo para los parámetros evaluados.

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad	1
Dureza Total	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Coliformes Totales	15
E. Coli	25

Fuente: Autor del proyecto

Los resultados obtenidos en el cálculo del IRCA se compararon con los siguientes niveles de riesgo.

Tabla 8

. Clasificación del nivel de riesgo en salud según IRCA.

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

Fuente: (Ministerio de salud y proyección social, 2014a)

Capítulo 4. Aspectos generales del área de estudio

4.1. Localización.

La vereda “El Crisol” se encuentra ubicada aproximadamente en el kilómetro seis de la vía que conduce de Aguachica a Gamarra en el departamento del Cesar. Dicha vereda pertenece al área de suelo suburbano de vivienda según el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Aguachica, puesto que estas áreas están ubicadas dentro del suelo rural y son las que combinan los usos de las tierras y las formas de vida en el campo y el municipio (Plan de Ordenamiento Territorial Aguachica, 2001 - 2010 pág, 63).

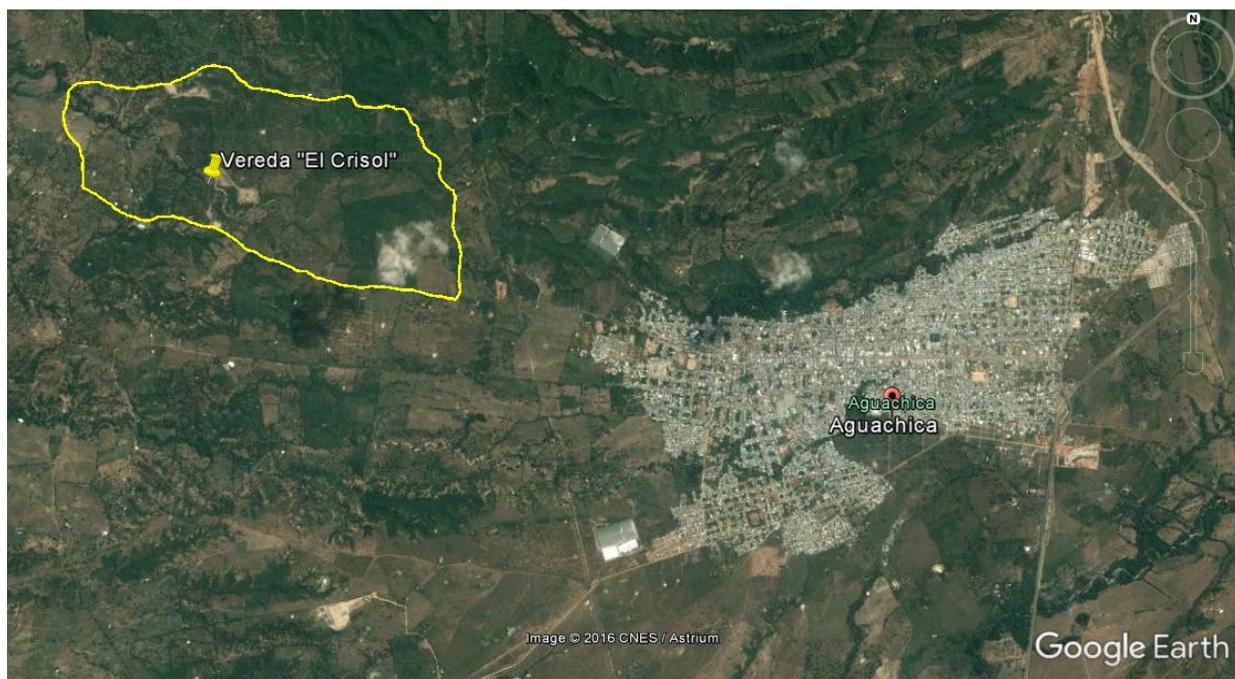


Figura 3. Ubicación y delimitación geográfica de la vereda “El Crisol” con la herramienta Google Earth.
Fuente: Autor del proyecto.

La vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar, está reconocida en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, con límites específicos establecidos así: Al Norte con la vereda “El Corral”, al Sur con las veredas “Las Marías” y “La Clavellinas”, al Oriente con la vereda “El Corral” y al Occidente con la zona rural del municipio de Gamarra.

Está conformada por nueve fincas, donde sus pobladores se dedican a las actividades de agricultura y ganadería. La vereda cuenta con una escuela donde los niños se forman académicamente recibiendo educación básica. Cuentan también con una Junta de Acción Comunal, conformada por propietarios de los predios y sus administradores, quienes se encargan de presentar proyectos de desarrollo en beneficio de la comunidad y sus necesidades.

Capítulo 5. Presentación de resultados

5.1. Identificar fuentes hídricas presentes en la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar.

Se pudo establecer que en la vereda “El Crisol” se encuentran presentes fuentes hídricas como jagüeyes, pozos perforados por los propietarios de las fincas para dar solución a la escasez del líquido con la que han vivido por varios años, el caño “Pital”, el pozo “ El Chapetón”, entre otras. La identificación de las diferentes fuentes hídricas presentes en la zona fue posible gracias al conocimiento de los habitantes de la zona y los propietarios de las fincas que componen la vereda. De las fuentes identificadas, cinco fueron seleccionadas para ser evaluadas en la siguiente fase de la investigación, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Fuentes hídricas de la vereda “El Crisol” seleccionadas.

Fuente Hídrica	Nombre	Latitud	Longitud
1	Fuente actual de abastecimiento	8°19'40.32" N	73°40'45.60" O
2	Jagüey	8°19'24.47" N	73°40'28.34" O
3	Pozo perforado	8°19'24.43" N	73°40'19.68" O
4	Caño “Pital”	8°19'26.25" N	73°40'02.41" O
5	Pozo anillado	8°19'21.21" N	73°40'25.23" O

Fuente: Autor del Proyecto.

La fuente de la cual se abastecen en la actualidad los habitantes de la vereda fue una de las fuentes hídricas escogidas. Las cuatro fuentes restantes fueron localizadas en el área recomendada por la empresa IngeoExploraciones como adecuada para realizar la perforación de un pozo profundo exploratorio para la comunidad de la vereda “El Crisol”, es decir, el punto

SEV – 3 ubicado en la Finca Las Delicias (Wandurraga, 2016). Un jagüey, un pozo anillado, un pozo perforado y un punto del caño “Pital” fueron las fuentes hídricas seleccionadas en dicha área.

En la Figura 4 se muestra la ubicación de cada una de las fuentes hídricas escogidas y estudiadas en el proyecto.

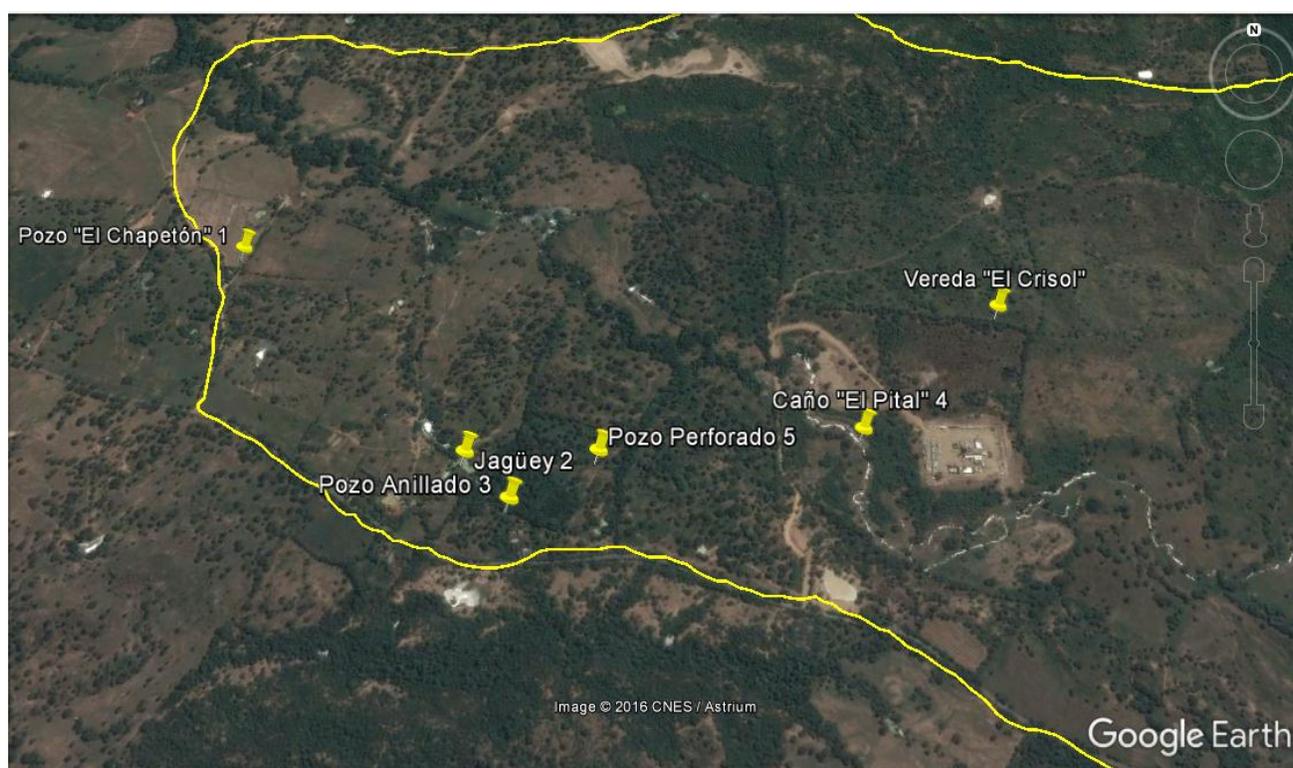


Figura 4. Ubicación de las fuentes de abastecimiento vereda “El Crisol”.

Fuente: Autor del proyecto.

La escogencia de estas fuentes tuvo como objeto el análisis de agua con diferentes características, a saber:

Agua en movimiento. El caño “Pital”, que nace en la parte nororiental del municipio y recorre Aguachica de oriente a occidente hasta desembocar en las corrientes del río Magdalena en el municipio de Gamarra, es una corriente que abastece en su trayecto a pequeños nacimientos de agua y a una pequeña población de los barrios marginales y el área rural de Aguachica (Corporación Autónoma Regional del Cesar, Universidad Nacional de Colombia, 2007). Esta fuente fue seleccionada porque atraviesa la mayoría de las fincas que componen la vereda “El Crisol” y es utilizada en ciertas ocasiones para actividades agrícolas tales como riego e hidratación de animales.

Depósito superficial (jagüey). En zonas con sequías estacionales prolongadas, tal como ocurre en Aguachica, es común la práctica de crear pozos o zanjas para retener el agua que se precipita (lluvia) y utilizarla como abrevaderos para los animales. Dada la importancia y recurrencia de este tipo de fuentes hídricas en la vereda “El Crisol”, un jagüey fue seleccionado como caso de estudio.

Depósitos subterráneos (pozos). En casos en los que se dificulta la presencia de agua superficial, los pozos o perforaciones constituyen un método altamente eficaz para obtener agua dulce. Por esta razón, dos pozos con diferencias en su profundidad fueron seleccionados en la presente investigación para ser analizados:

- *Pozo anillado de 18 metros.* Excavado manualmente, con ayuda de pico y pala, y delimitado con anillos de hormigón. Este tipo de pozos normalmente tienen entre 10 y 20 metros de profundidad.

- *Pozo perforado de 70 metros.* Realizado con ayuda de máquinas, usualmente un tubo perforado con extremo puntiagudo y de diámetro pequeño. Este tipo de pozos permiten extraer agua situada a profundidades entre 15 y 100 metros de profundidad (WikiWater , s.f).

5.2. Evaluar la oferta y demanda de los cuerpos hídricos presentes en la vereda “El Crisol” del municipio de Aguachica – Cesar.

Debido a que las fuentes hídricas evaluadas en el presente proyecto presentan características muy diferentes (agua superficial, agua subterránea, agua en movimiento), no fue posible aplicar un método común de medición de caudal para todas ellas. Por ejemplo, la medición del caudal de las aguas subterráneas requería de la utilización de una bomba cuyos parámetros de operación hubiesen afectado el valor del caudal determinado; en otras palabras, el caudal determinado no hubiese sido natural. Mientras que la fuente hídrica 2 (Caño “El Pital”) sólo hubiese requerido para determinación de su caudal natural el método de velocidad/área. Adicionalmente, por razones netamente relacionadas con impedimentos metodológicos, no pudo medirse el caudal en las fuentes 1, 3, y 5 (falta de llaves toma-muestras, falta de bombas sumergibles o de succión, etc.). Dadas estas circunstancias, se decidió no realizar la determinación del caudal de las fuentes hídricas analizadas en esta investigación lo cual, a su vez, no permitió el cálculo de la oferta hídrica de éstas. No obstante, el cálculo de la demanda de agua

de la población de la vereda “El Crisol” se presenta en esta sección dado que constituye información valiosa a la hora de caracterizar las necesidades de la comunidad para, a futuro, ofrecer soluciones viables a su problema de abastecimiento de agua potable.

Para el cálculo de la demanda media residencial (Qmd) se tomó en cuenta el número total de pobladores de la vereda y las recomendaciones del RAS 2000 (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000) en lo referente a la demanda bruta de acuerdo a la complejidad del sistema.

Para determinar el nivel de complejidad del sistema, se tuvo en cuenta lo anunciado en el numeral 3.2 del RAS 2000 y el censo total de los habitantes de “El Crisol”, que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Censo poblacional de la vereda “El Crisol”.

Nombre de la Finca	Propietario	N° Hab.	Almacenamiento de agua (L)
La Esperanza	Yolanda Molina Moreno	8	2.000
El Porvenir	Jesús Armando Palacio	5	3.000
Las Delicias	Flia. Pallares	6	3.000
El Socorro	Flia. Figueroa Carrascal	8	2.000
El Encanto	William Baca	7	5.000
Villa Corina	Nelly Pérez	7	3.000
El Crisol	Rodolfo Molina	4	200
Las Clavellinas	Emilso Pabón Castro	10	2.000
La “Y”	Gustavo Navarro	5	100
TOTAL		60	20.300 Litros

Fuente: Autor del proyecto.

De acuerdo a la Tabla 10 y comparando los datos con las sugerencias del RAS 2000, el nivel de complejidad del sistema corresponde a nivel Bajo y para este caso la dotación neta mínima residencial tiene un valor de 100 L/Hab*Día. Sin embargo, el RAS 2000 permite correcciones en la dotación neta residencial por efectos del clima, donde se puede incrementar los valores de ésta. Teniendo en cuenta que el clima de la zona donde se encuentra ubicada la vereda “El Crisol” es cálido, con una temperatura promedio mayor a 28°C, la corrección de la dotación neta mínima sería del 15%.

Según el RAS 2000, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada, la demanda media residencial puede calcularse de la siguiente manera:

$$Qmd = \frac{Ps * dbruta}{86.400}$$

Dónde:

Qmd = Demanda media residencial en litros/segundos (L/s)

Ps = Población servida (habitantes)

$dbruta$ = Dotación bruta en litros por habitante por día (L – H – D)

Entonces la demanda media residencial en este caso es:

$$Qmd = \frac{60 \text{ hab} * 115 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}}{86.400 \frac{\text{seg}}{\text{día}}}$$

$$Qmd = 0.0799 \text{ L/s}$$

Es decir que en la vereda “El Crisol” sería necesaria la entrega diaria de 6900 litros de agua, a fin de garantizar la demanda media residencial del recurso hídrico a los pobladores de esta área rural.

Finalmente, teniendo en cuenta el número de habitantes y la capacidad de almacenamiento de cada propiedad, pudo establecerse el nivel de abastecimiento de cada una de ellas, partiendo del valor de dotación bruta. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11.

Nivel de abastecimiento de la vereda “El Crisol”.

Nombre de la Finca	Nº Hab.	Almacenamiento de agua (Litros)	Tiempo de vaciado (Días)
La Esperanza	8	2.000	2,174
El Porvenir	5	3.000	5,217
Las Delicias	6	3.000	4,348
El Socorro	8	2.000	2,174
El Encanto	7	5.000	6,211
Villa Corina	7	3.000	3,727
El Crisol	4	200	0,435
Las Clavellinas	10	2.000	1,739
La “Y”	5	100	0,174
TOTAL	60	20.300 Litros	

Fuente: Autor del proyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos puede concluirse que, en términos de abastecimiento, el concepto de equidad no se cumple en la vereda “El Crisol” en lo referente al acceso a agua potable. Comparando la capacidad de almacenamiento que tienen unas fincas con otras y los días en los que el agua almacenada se agota, las fincas “El Porvenir”, “Las Delicias” y “El Encanto” tienen ventajas respecto al resto de fincas dado que pueden garantizar la dotación neta mínima residencial a todos sus habitantes por un número mayor de días. Por el contrario, en las fincas “El

Crisol” y “La Y” el agua almacenada se agotaría en menos de un día si todos sus habitantes tuviesen asegurado el acceso a la dotación neta mínima residencial.

5.3. Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento de agua para la comunidad en estudio.

Tal como está consignado en la sección 3.3.5, los parámetros fisicoquímicos evaluados en la presente investigación fueron: conductividad, alcalinidad, dureza, demanda química de oxígeno (DQO), nitratos, nitritos, potencial de hidrogeno (pH), color, oxígeno disuelto, solidos suspendidos, solidos totales, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), turbiedad y cloro residual. En el caso de los parámetros microbiológicos, fueron determinados coliformes totales, *E. coli* y aerobios mesófilos. En la presente sección se presentan los resultados y el análisis de los resultados obtenidos.

Conductividad, Alcalinidad y Dureza Total.

Tabla 12.

Conductividad, Alcalinidad y Dureza Total de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Valor máx. aceptable	Alcalinidad mg/L CaCO_3	Valor máx. aceptable	Dureza mg/L CaCO_3	Valor máx. aceptable
1	267		175		70	
2	234	Res.	75	Res.	70	Res.
3	285	2115/2007	135	2115/2007	58	2115/2007
4	452	1000 $\mu\text{S/cm}$	130	200 mg/L	87	300 mg/L
5	105		155		260	

Fuente: Autor del proyecto

Tal como se observa en la Tabla 12, los resultados de los análisis de conductividad demostraron que tanto la fuente que abastece actualmente la vereda “El Crisol” como las cuatro fuentes hídricas adicionales seleccionadas durante la investigación se encuentran por debajo del valor máximo permitido según la Resolución 2115 de 2007 (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductividad de una solución acuosa es una medida de su capacidad para conducir la corriente eléctrica a 25°C; este parámetro está asociado al contenido de sales disueltas en el agua (IICA, s.f pág. 79). Adicionalmente, en muchos casos la conductividad está directamente vinculada a la cantidad de sólidos totales disueltos. Es decir, los resultados de conductividad parecen indicar que el caño “Pital” (fuente hídrica 4) posee una cantidad mayor de iones y/o sólidos disueltos que todas las otras fuentes evaluadas, mientras que el pozo anillado (fuente hídrica 5) exhibe el menor valor de este parámetro. La fuente actual de abastecimiento (fuente hídrica 1) presenta un valor de conductividad similar al jagüey (fuente hídrica 2) y al pozo perforado (fuente hídrica 3). No obstante las diferencias, con base en este único parámetro todas las fuentes evaluadas podrían ser eventualmente utilizadas para consumo humano sin ningún tratamiento previo, dado que presentan un contenido de sales disueltas (contenido iónico) y/o sólidos totales disueltos adecuado según la normativa vigente.

En el caso del parámetro alcalinidad, se puede observar en la Tabla 12 que (de manera similar a lo observado para la conductividad) los valores determinados se encuentran dentro de los valores permitidos por la Resolución 2115 de 2007 ($< 200 \text{ mg}/\text{L}$). La fuente hídrica 2 (jagüey) presentó el valor de alcalinidad más bajo, mientras que las fuentes 1, 3, 4 y 5 presentaron valores más significativos. La alcalinidad se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Dado que en aguas superficiales este parámetro es primariamente una función del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, su valor se

toma como un indicador de dichas especies iónicas. Sin embargo, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a los valores de alcalinidad (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2005). Además de ser el principal sistema amortiguador del agua dulce, la alcalinidad también desempeña un rol fundamental en la productividad de cuerpos de agua naturales, dado que sirve como una fuente de reserva para la fotosíntesis. De hecho, históricamente este parámetro ha sido utilizado como un indicador de productividad, donde niveles altos de alcalinidad reflejarían una productividad alta y viceversa (Recinto Universitario de Mayagüez, s.f). Con base en los valores obtenidos, podría concluirse que las fuentes hídricas 2, 3 y 4 poseen alcalinidad media, mientras que las fuentes 1 y 5 tienen una alcalinidad alta, lo cual las hace las más productivas (Kevern N. R., Elliot R. F., Flaherty M. J., Jennings H. E. y Zafft D. J., s.f pág. 120).

Finalmente, al analizar los valores de dureza obtenidos (Tabla 12), una vez más todas las fuentes hídricas cumplen con el rango de valores permitidos según la legislación vigente (Resolución 2115 de 2007: 300mg/L); no obstante, el pozo anillado (fuente hídrica 5) posee un valor cercano al valor máximo aceptable. La dureza, uno de los parámetros significativos de la calidad del agua, es causada por iones metálicos divalentes que pueden reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2007). Con base en la concentración de carbonatos presentes, puede concluirse que las fuentes hídricas 1, 2 y 3 son aguas suaves, mientras que la fuente 4 está clasificada como agua media y la 5 se encuentra en el rango de aguas duras. A pesar de estas diferencias, las aguas duras son tan satisfactorias para el

consumo humano como las aguas blandas desde el punto de vista sanitario (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2007).

Color Aparente.

De acuerdo a los valores observados en la Tabla 13, la fuente hídrica 1 (agua con la que se abastece actualmente la vereda) es la única que se encuentra por debajo del valor máximo permisible según la Resolución 2115 de 2007, esto sin haber pasado por ningún tipo de tratamiento. Mientras que las aguas pertenecientes a las fuentes hídricas 3 y 5 se encuentran dentro del rango de valores permitidos según el Decreto 1594 de 1984 que rige para Aguas Crudas. De acuerdo con el artículo 39 de este Decreto (color: 20 UPtCo), la fuente hídrica 3 (pozo perforado) requeriría para su potabilización, en términos de este parámetro únicamente, un proceso de desinfección. En el caso de la fuente hídrica 5 (pozo anillado), siguiendo lo recomendado en el artículo 38 del mismo Decreto (color: 75 UPtCo), sería necesario solamente un tratamiento convencional para garantizar la potabilización del agua, teniendo en cuenta esta característica únicamente. En ambos casos, luego del proceso adecuado, el recurso podría ser destinado para consumo humano y doméstico. Finalmente, para las fuentes hídricas 2 y 4, un tratamiento de potabilización de mayor complejidad sería necesario dado que sus valores de color aparente son excesivamente elevados.

Tabla 13.

Color aparente de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Resultado UPtCo	Valor máximo aceptable
1	0,0	Res. 2115/2007 15 UPtCo
2	401	
3	16	
4	> 200	
5	70	

Fuente: Autor del proyecto*Turbiedad.***Tabla 14.**

Turbiedad de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Resultados NTU	Valor máximo aceptable
1	1,00	Res. 2115/2007 2 NTU
2	7,66	
3	1,00	
4	>999	
5	2,70	

Fuente: Autor del proyecto

Puede observarse en la Tabla 14 que las fuentes 1 y 3, aun siendo aguas crudas, cumplen con lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007 en lo referente al valor máximo aceptable de turbiedad. Por el contrario, las fuentes hídricas 2, 4 y 5 poseen valores de turbiedad que sobrepasan el valor más alto permitido. De estas tres fuentes, el jagüey (fuente 2) y el pozo anillado (fuente 5) conservan valores de esta característica física admisibles para la destinación

del recurso para consumo humano y doméstico según el Decreto 1594 de 1984, requiriendo únicamente un proceso de desinfección para garantizar su potabilización. En el caso de la fuente hídrica 4 (caño “El Pital”), su elevado valor de turbiedad permite concluir que un tratamiento de potabilización de mayor complejidad sería necesario para hacerla apta para consumo humano.

Oxígeno Disuelto.

En la Tabla 15, que presenta los resultados de oxígeno disuelto, los cuerpos de agua 2, 3 y 4 sobrepasan el rango de valores aceptables según el Decreto 1594 de 1984 que rige para Aguas Crudas, que tiene como valor máximo permisible 5,0 mg/L, mientras que la fuente 1 cumple con dicho valor para oxígeno disuelto. La fuente hídrica 5 según el Reglamento Técnico del sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, da cumplimiento con el valor máximo aceptado para considerarse un agua aceptable según este parámetro, donde un adecuado nivel de oxígeno disuelto es necesario para una buena calidad de agua.

Tabla 15.

Oxígeno disuelto de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Resultado mg/L	Valor máximo aceptable
1	4,3	
2	5,1	Dec. 1594/1984
3	7,3	5,0 mg/L
4	6,3	RAS 2000 Titulo C
5	4,0	4,0 mg/L

Fuente: Autor del proyecto

Potencial de Hidrógeno - pH.

El pH indica la acidez o alcalinidad en una solución, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno. Según puede observarse en la Tabla 16, las cinco fuentes hídricas analizadas se encuentran en un rango de pH entre 6.7 y 7.8, es decir, valores neutros a ligeramente básicos. Todos los valores de pH medidos cumplen con los valores permisibles tanto del Decreto 1594 de 1984 para Aguas Crudas como de la Resolución 2115 de 2007 que señala los sistemas de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Tabla 16.

pH de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Resultados pH	Rango de valores permitidos
1	7,4	Dec. 1594/1984 4,5 – 9,0 Res. 2115/2007 6,5 – 9,0
2	7,2	
3	7,8	
4	7,3	
5	6,7	

Fuente: Autor del proyecto

Cloro Residual Libre.

Tabla 17.

Cloro residual libre de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Resultados mg/L	Valor máximo aceptable
1	0,1	Res. 2115/2007 0,3 – 2,0 mg/L
2	0,0	
3	0,0	
5	0,0	

Fuente: Autor del proyecto

En la Tabla 17 se observa que, tal como se esperaba, ninguna de las fuentes hídricas consideradas cumple con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 en cuanto al valor de cantidad de cloro en el agua. La explicación más plausible para los resultados obtenidos es que estas fuentes no han pasado por ninguna clase de tratamiento de potabilización, lo que podría conllevar a la presencia y actividad de microorganismos.

Nitratos y Nitritos.

El nitrato y el nitrito son compuestos de nitrógeno que se encuentran en el agua de forma natural. Se forman cuando los microorganismos del entorno descomponen materiales orgánicos, como plantas, estiércol de animales y aguas residuales. En el agua, es más habitual encontrar nitratos que nitritos. Los nitratos aparecen en las fuentes hídricas a causa de fugas o filtraciones procedentes de granjas, zonas de césped y jardines, que llegan al agua subterránea. Los nitratos y nitritos también pueden aparecer en el agua a causa de la cercanía de vertederos municipales, centros de cría de animales mal gestionados o sistemas sépticos defectuosos. Si posee un pozo privado, la aparición de nitratos en el agua puede ocurrir más fácilmente si el pozo está mal construido o ubicado (Nitrato y nitrito en el agua potable, s.f).

El contenido de nitratos y nitritos de las fuentes hídricas evaluadas se encuentra en la Tabla 18.

Tabla 18.

Nitratos y nitritos de las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Nitratos mg/L	Valor máximo aceptable	Nitritos mg/L	Valor máximo aceptable
1	1,32	Res. 2115/2007 10 mg/L	0,0	Res. 2115/2007 0,1 mg/L
2	11		0,0	
3	3,1		3,3	
4	66		14	
5	41		6,6	

Fuente: Autor del proyecto

La fuente hídrica 1, con la que en la actualidad se abastece la vereda, cumple con el valor permisible según la Resolución 2115 de 2007 para nitratos y nitritos. En la fuente 2 no se encontró presencia de nitritos pero el resultado de nitratos sobrepasa en un punto el valor permisible según la Resolución, mientras que en la fuente 3 el nivel de nitratos es inferior al valor máximo aceptable y los nitritos sobrepasan el valor aceptable según la Resolución 2115 de 2007. En general, la concentración de nitritos en el agua superficial es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadamente altas debido a la contaminación industrial y de aguas residuales domésticas por causa de contaminación de carácter fecal reciente. Por último, las fuentes 4 y 5 presentaron una elevada cantidad tanto de nitratos como de nitritos.

Coliformes totales y E. coli.

En la Tabla 19 pueden observarse los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos coliformes totales y *E. coli* para las fuentes hídricas 1, 2, 3 y 5. La fuente hídrica 2 supera los valores permisibles en cuanto a coliformes totales y *E. coli* según la normatividad vigente, lo que indica que existe un elevado grado de contaminación microbiológica. Esto podría deberse al hecho que este jagüey se encuentra ubicado en terrenos donde pastorea el ganado, lo cual podría constituir un foco de contaminación. Los valores de estos parámetros parecen indicar que, de acuerdo a su calidad microbiológica, el agua en la fuente hídrica 2 no es recomendada para consumo humano y se aleja de las posibilidades de convertirse en una fuente hídrica para abastecer la vereda “El Crisol”. En cuanto a las fuentes restantes, no se encontró presencia de *E. coli* en las fuentes 1, 3 y 5, pero en las fuentes 3 y 5 si se evidenció presencia de Coliformes Totales. La fuente actual de abastecimiento (fuente hídrica 1) es la que presenta la mejor calidad desde el punto de vista de estos dos parámetros microbiológicos, lo cual resulta positivo para la salud de las personas consumiéndola actualmente.

Por otra parte, teniendo en cuenta el Decreto 1594 de 1984 referente a Agua Cruda, si la destinación del recurso es para consumo humano y doméstico, los valores permisibles de Coliformes Totales y *E. coli* son 200 microorganismos/ml y 20 microorganismos/ml respectivamente. En este caso, la sugerencia para su potabilización es la realización de un tratamiento convencional. Si la destinación del recurso es para usos agrícolas, el valor máximo permisible para Coliformes Totales es de 50 microorganismos/ml y para Coliformes Fecales no deberá exceder 10 microorganismos/ml. Es decir que las fuentes 3 y 5 podrían ser utilizadas para labores de agricultura sin ningún tratamiento, mientras que un tratamiento convencional de potabilización haría posible su uso para consumo humano y doméstico.

Tabla 19.Coliformes totales y *E. coli* en las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Coliformes Totales UFC/ml	Valor máximo aceptable	E.Coli. UFC/ml	Valor máximo aceptable
1	0		0	
2	5000	Res. 2115/2007	1	Res. 2115/2007
3	18	0 UFC/100ml	0	0 UFC/100ml
5	20		0	

Fuente: Autor del proyecto

A pesar que a la fuente hídrica 4 (caño “El Pital”) no le fueron determinados estos parámetros microbiológicos, es conocido que ésta presenta un alarmante número de coliformes totales, lo cual la hace no apta para ser utilizada para consumo humano, uso agrícola o uso recreativo, dado que constituye un grave riesgo para la salud humana y animal. La calidad del agua de esta fuente hídrica se encuentra deteriorada debido a varios factores, entre los que pueden enumerarse los vertimientos de aguas residuales, la presencia de lavaderos comunales y la disposición inadecuada de residuos sólidos, entre otros. Esto restringe los usos potenciales a los que puede ser destinada esta corriente de agua (Corporación Autónoma Regional del Cesar, Universidad Nacional de Colombia, 2007).

Aerobios Mesófilos.

En la tabla 20 de resultados de aerobios mesófilos puede notarse que todas las fuentes hídricas sobrepasan el valor máximo permitido expuesto en la Resolución 2115 de 2007. Esto

indica contaminación en el agua, lo que quiere decir que así no se haya encontrado presencia de *E. coli* sí se encuentra otro tipo de contaminación microbiana, puesto que las bacterias mesófilas aerobias reflejan la exposición de la muestra a la contaminación en general, la existencia de condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos y la presencia de materia orgánica (Técnicas para la enumeración de microorganismos: análisis microbiológico del agua y de otras diversas muestras. , s.f).

Tabla 20.

Aerobios mesófilos en las muestras analizadas.

Fuente Hídrica	Resultado UFC/ml	Valor máximo aceptable
1	48000	Res. 2115/2007 100 UFC/100ml
2	95000	
3	375	
5	998	

Fuente: Autor del proyecto

5.4. Identificar alternativas de abastecimiento de agua adecuadas para el uso y consumo de los habitantes de la vereda “El Crisol”.

En las siguientes tablas se presentan los cálculos de los índices de contaminación (ICOs) y el índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano (IRCA).

Índices de contaminación.

El índice de contaminación por minerales (ICOMI) integra los siguientes parámetros: conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por recoger los cationes de calcio y magnesio y la alcalinidad por relacionarse con los aniones de carbonatos y bicarbonatos (Diana P. Torres S., 2008). Teniendo en cuenta que este es un índice que relaciona tres parámetros fundamentales como lo son la conductividad, la dureza y la alcalinidad al obtener un valor de índice bajo (cerca de cero) se podría pensar en el mismo sentido en valores reducidos para los parámetros analizando de esta manera un bajo contenido de sales de magnesio y calcio que son responsables de un incremento de la dureza en un determinado cuerpo de agua. También es importante anotar que para que el fenómeno de mineralización en aguas está ampliamente ligado a la capacidad del cuerpo de agua que se estudia de disolver tanto cationes como aniones y esto se puede ver reflejado en la cantidad de sólidos disueltos que se pueden presentar y que incrementa o disminuye con la variación misma del resultado final del índice de contaminación (Juan S. Cañas Arias , s.f).

En la tabla 21 puede observarse que el ICOMI de las fuentes hídricas 1, 3 y 4 se encuentra en un rango de contaminación medio, mientras que la fuente hídrica 5 presenta un grado de contaminación alta. La fuente hídrica 2, la cual corresponde al agua del jagüey, presenta baja contaminación por minerales.

Tabla 21.

Índice de contaminación por minerales (ICOMI)

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALES (ICOMI)								
Fuente	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	IC	Dureza (mg/l)	ID	Alcalinidad (mg/l)	IA	ICOM I	Contaminación de la Fuente
1	267	0,980	70	0,106	175	0,625	0,570	Media
2	234	0,821	70	0,106	75	0,125	0,350	Baja
3	285	1	58	0,046	135	0,425	0,490	Media
4	452	1	87	0,277	130	0,4	0,559	Media
5	105	0,280	260	1	155	0,525	0,601	Alta

Fuente: Autor del proyecto

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) está conformado por la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y el porcentaje de saturación del oxígeno. Éstos en su conjunto recogen efectos distintos de contaminación orgánica, sin estar los unos correlacionados con los otros (Diana P. Torres S., 2008). En el resultado obtenido para el ICOMO (Tabla 22) se hace evidente una fuerte carga de materia orgánica en la fuente hídrica 2, ya que se presenta para el índice un valor de 0.615 lo que al ser cercano al 1 representa un alto grado de contaminación ya que cuando se incrementan los valores de coliformes totales que se empleó para determinar el índice de contaminación se observa un valor radicalmente alto de 5.000 UFC/100ml cuando el máximo permitido es de 0 UFC/100ml lo cual podría representar un alto riesgo para la salud de los usuarios o simplemente de las personas que estén en contacto con el agua después de este punto ya que como se sabe el grupo coliforme esta principalmente conformado por bacterias nocivas.

Tabla 22.

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA (ICOMO)								
Fuente	DBO (mg/l)	IDBO	COT (UFC/100ml)	ICOT	OD%	IO%	ICOMO	Contaminación de la Fuente
1	2,7	0,251	0	0	0,0004	0,999	0,416	Media
2	3,9	0,363	5000	0,483	0,0005	0,999	0,615	Alta
3	3,0	0,283	18	0	0,0007	0,999	0,427	Media
4	92							
5	1,9	0	20	0	0,0004	0,999	0,333	Baja

Fuente: Autor del proyecto

Para los cuerpos de agua 1 y 3 donde el rango de contaminación es medio, en la DBO se hace presente una fuerte carga de contaminantes orgánicos que pueden tener como origen desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Todos estos desechos hacen que el porcentaje de oxígeno en el agua descienda dramáticamente generando grandes afectaciones para la vida y el medio (Juan S. Cañas Arias , s.f).

De acuerdo a lo anterior y en los resultados obtenidos del cálculo del ICOMO, se debe prestar especial atención a la cantidad de materia orgánica encontrada en las fuentes hídricas, puesto que hubo presencia de coliformes en tres cuerpos de agua y esto podría generar enfermedades a la comunidad.

Tabla 23.

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ICOSUS)			
Fuente	SS (mg/l)	ICOSUS	Contaminación de la Fuente
1	30	0,07	Ninguna
2	70	0,19	Ninguna
3	120	0,34	Baja
4	90	0,25	Baja
5	190	0,55	Media

Fuente: Autor del proyecto

En este índice (ICOSUS) se trabaja únicamente con un parámetro que es como su nombre lo indica la cantidad de sólidos suspendidos, estos pueden ser de origen industrial o doméstico (Boulton A.J. y Lake P. S., 1990). En la tabla 23, podemos observar que las fuentes 1 y 2 no presentan ninguna contaminación por sólidos suspendidos, mientras que los cuerpos hídricos 3 y 4 tienen un grado de contaminación baja y la fuente 5 presenta un grado de contaminación media.

Índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano.

La tabla 24 nos muestra que la fuente hídrica 1, con la que la vereda se abastece actualmente, según los cálculos del IRCA no representa ninguna clase de riesgo para la comunidad. Las muestras 2, 4 y 5 según el Decreto 2115 de 2007 se encuentran en un rango de riesgo alto, lo que representa un grado de contaminación considerable para la población, mientras que el cuerpo hídrico 3 según el mismo Decreto se encuentra en un rango de contaminación medio. Teniendo en cuenta éste y los resultados anteriores, la fuente hídrica 3 (pozo perforado) podría considerarse como fuente alternativa de abastecimiento para el uso y consumo de los

habitantes de la vereda “El Crisol”, siempre y cuando sea sometida a tratamientos de potabilización adecuados.

Tabla 24.

Índice de Riesgo de Calidad de Agua para consumo humano (IRCA)

ÍNDICE DE RIESGO DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO							
Fuente Hídrica							
P. de Riesgo	Valor máximo permisible	Parámetro	1	2	3	4	5
6	15 UPC	Color Aparente	0,0	401	16	>200	70
15	2 NTU	Turbiedad	1,00	7,66	1,00	>999	2,70
1,5	6,5 – 9,0	pH	7,4	7,2	7,8	7,3	6,7
15	0,3 - 2,0 mg/L	Cloro residual	0,11	0	0	0	0
1	200 mg/L CaCO ₃	Alcalinidad	175	75	135	130	155
1	300 mg/L CaCO ₃	Dureza Total	70	70	58	87	260
1	10 mg/L	Nitratos	1,32	11	3,1	66	41
3	0,1 mg/L	Nitritos	0,0	0,0	3,3	14	6,6
15	0 UFC/100 ml	Coliformes Totales	0	5000	18		20
25	0 UFC/100 ml	E. Coli	0	1	0		0
Σ 83,5	Puntaje de Riesgo Características NO aceptadas			62	24	65	40
IRCA				74,2%	28,7%	77,8%	47,9%
NIVEL DE RIESGO				Alto	Medio	Alto	Alto

Fuente: Autor del proyecto

Dado su nivel de riesgo, un tratamiento de potabilización convencional podría ser utilizado para la fuente hídrica 3. Al ser la esta fuente hídrica un cuerpo de agua subterránea (pozo perforado), el suelo por donde pasa el agua posiblemente se encuentra en un acuífero, donde actúa como un filtro natural que remueve la mayor parte de los sedimentos suspendidos acarreados por la lluvia. Por lo tanto, un método de filtración no sería necesario.

Como paso para controlar la presencia de los metales pesados que tiene el agua, se podría utilizar un tratamiento de aireación con el cual se lograría agitar dichos metales y decantarlos, mientras que para la presencia de microorganismos patógenos en el agua -que la mayoría de las veces generan problemas en la salud de la población beneficiada por el recurso-, se haría necesaria la desinfección como paso final del tratamiento convencional. Para tal fin, se podría utilizar un sistema de bomba dosificadora de cloro por inyección directamente en la tubería de impulsión, ya que esta mata o inactiva los organismos que causan enfermedades, controlando de esta forma los organismos indicadores de contaminación por materia orgánica como lo son las bacterias, los coliformes totales y los fecales.

El cloro gas a presión normal es muy efectivo para remover casi todos los patógenos microbianos y apropiado para desinfección en plantas de tratamiento, tanto como para la desinfección secundaria, en la red de distribución. El cloro gas se distribuye en forma de líquido a presión en tanques y es inyectado en el agua a través de un orificio de Venturi, para que el cloro pase rápidamente al agua y se mezcle. Se requiere un tiempo de contacto entre el cloro y el agua para asegurar la desinfección y controlar al mismo tiempo el pH del agua (Maria T. Leal A., s.f. Pág. 63, 66.).

Capítulo 6. Conclusiones

La vereda “El Crisol” cuenta con una fuente hídrica que la abastece en la actualidad la cual, a pesar de no recibir ninguna clase de tratamiento, no presenta ninguna clase de índice de riesgo en términos de calidad del agua para consumo humano al ser evaluada desde los parámetros color aparente, turbiedad, pH, cloro residual, alcalinidad, dureza total, nitratos, nitritos, coliformes totales y *E. coli*. No obstante, en épocas de verano dicha fuente no logra abastecer diariamente a los habitantes de la vereda, por lo que se hace necesario brindar otro tipo de alternativas de abastecimiento del recurso hídrico. Ante la necesidad y en busca de soluciones, los pobladores de la vereda y propietarios de las fincas que la conforman han construido pozos artesanales y jagüeyes, además de hacer uso del caño “El Pital” que atraviesa dicha vereda para abastecerse. Por esta razón, la presente investigación se enfocó en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de fuentes hídricas representativas de la zona, así como de la evaluación de su índice de riesgo, buscando ofrecer soluciones adecuadas al problema de desabastecimiento. Adicionalmente, la demanda del recurso hídrico fue calculada, teniendo en cuenta el número de pobladores de la vereda y la dotación neta mínima residencial.

En términos de demanda hídrica, pudo establecerse que en la vereda “El Crisol” es necesaria la entrega de 6900 litros de agua al día, a fin de garantizar la demanda media residencial del recurso hídrico a los pobladores de esta área rural. Así mismo, con base en la información obtenida acerca de la capacidad de almacenamiento de agua de cada una de las fincas que componen la vereda, pudo concluirse que no hay equidad en la vereda “El Crisol” en lo referente al acceso a agua potable, dado que hay diferencias significativas en los días de

abastecimiento. Entonces, es claro que en la vereda se hace necesarias alternativas de abastecimiento que garanticen la calidad del recurso, la disponibilidad y la asequibilidad a éste.

Desde el punto de vista de calidad física y microbiológica y la subsecuente determinación de los índices de riesgo, el proyecto arrojó que una de las fuentes hídricas estudiadas tiene un índice de riesgo medio, por lo que constituiría una fuente alternativa de abastecimiento adecuada para los habitantes de la vereda, siempre y cuando sea sometida a un tratamiento convencional de potabilización. Específicamente para este pozo perforado, un tratamiento de aireación seguido de una desinfección con cloro podría ser suficiente para garantizar su calidad para consumo humano.

Capítulo 7. Recomendaciones

Se recomienda diseñar un sistema de tratamiento convencional para la fuente de abastecimiento actual, que permita garantizar un estado óptimo de agua para el consumo de sus beneficiarios. En adición, es recomendable conocer la oferta hídrica tanto de esta fuente como de la fuente hídrica 3 (pozo perforado), a fin de establecer si con estas dos es posible suplir la demanda de agua potable de los habitantes de la vereda “El Crisol”. Para esta determinación, deben adecuarse los elementos necesarios, tales como llaves toma-muestras, bombas sumergibles o de succión, etc. Por supuesto, la fuente hídrica 3 sólo podrá constituir una alternativa viable de agua para consumo humano luego de ser sometida a un tratamiento convencional de potabilización.

Dado que los resultados de la presente investigación también demostraron las ventajas de un depósito de agua subterránea respecto a otros tipos de fuentes hídricas, se recomienda, en concordancia con lo concluido por el estudio realizado a cargo de la empresa IngeoExplo que a futuro el problema de desabastecimiento de la vereda “El Crisol” se aborde desde la exploración de aguas subterráneas.

Mediante la Junta de Acción Comunal de la vereda “El Crisol” se gestione la inversión de recursos para proyectos de desarrollo comunal con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la vereda.

Referencias

- A. Ramírez, R. Restrepo y G. Viña. (s.f). *Cuatro Índices de Contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009
- Ada Barrenechea Martel. (s.f pág. 4). *Capítulo 1: Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/tomoI/uno.pdf>
- Boulton A.J. y Lake P. S. (1990). *The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. I Multivariate analyses of physicochemical feature*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2016, de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>
- Carrascal, J. A. (08 de Agosto de 2016). Dialogo con el presidente de la Junta de Acción Comunal vereda "El Crisol". (K. J. Pallares, Entrevistador)
- Congreso de Colombia . (11 de Julio de 1994). *Ley 142 de 1994* . Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/ley-142-de-1994.pdf>
- Contraloría General de la República . (s.f pág. 38). *La calidad del agua para consumo humano en Colombia* . Recuperado el 16 de Septiembre de 2016, de Estado de los recursos naturales y del ambiente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/AVA_II-SEM-2014/Unidad_1/s.f._Estado_de_los_recursos_naturales_y_del_ambiente.pdf
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (s.f pág. 107). *Ordenamiento del recurso hídrico quebrada Miraflores*. Recuperado el 05 de Diciembre de 2016, de <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Cesar, Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Estudio de la Caracterización Biológica y Ecológica Integral, Fase I: Diagnóstico, Evaluación y Planificación del Proceso de Recuperación, Protección y Conservación del Bosque Natural del Aguil y Fase II: Formulación del Área Protectora, Aguachica - Cesa*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2016, de <https://www.corpocesar.gov.co/files/Informe%20Final-Final%20del%20Aguil%202.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Quindío. (Diciembre de 2011 pág. 5). *Oferta, demanda hídrica e índice de escasez de las unidades de manejo de cuenca del departamento del Quindío*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de

<https://www.crq.gov.co/Documentos/POLITICAS%20AMBIENTALES/Balanceshidricos2011.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Tolima . (2004). *Metodología del cálculo del índice de escasez*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2016, de https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/nuevas_resoluciones/Rs_0865_Metodolog%C3%ADa_anexo%20.pdf

Cuadros, M. O. (2012). *Caracterización fisicoquímica y parámetros de calidad del agua de la planta de tratamientos de agua potable de Barrancabermeja*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6919/2/145296.pdf>

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. (07 de Febrero de 2014). *ONU - DAES*. Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

Diana P. Torres S. (15 de Septiembre de 2008). *Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2016, de Ingeniería Ambiental, Universidad Libre: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista7/articulos/Diagnostico-de-la-calidad-del-agua-de-la-microcuenca-Sancotea.pdf>

Diario Oficial . (24 de Enero de 1979). *Ley 9 de 1979*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2016, de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0009_1979.html

Diario Oficial . (16 de Marzo de 1998). *Decreto 475 de 1998*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

Fundación Agua y Paz. (Noviembre de 2013). *Calidad del agua de los rios de Santiago de Cali en su cuenca urbana ICA - IDEAM*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:XUquVPT8l9EJ:www.cali.gov.co/descargar.php%3FidFile%3D7728+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>

Guarin, M. A. (2010). *Estandarización del proceso de potabilización en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de San Vicente de Chucuri* . Recuperado el 02 de Octubre de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6620/2/133821.pdf>

IICA. (s.f pág. 79). *Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales* . Recuperado el 10 de Diciembre de 2016, de <http://repiica.iica.int/docs/B0287e/B0287e.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (04 de Octubre de 2007). *Dureza Total en el agua con EDTA por volumetría*. Recuperado el 03 de Diciembre de

2016, de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (s.f). *Estudio Nacional del Agua*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de http://www.engr.colostate.edu/~neilg/ce_old/projects/Colombia/Colombia/cd1_files/spanish/12%20ena%20IDEAM%20study.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (01 de Abril de 2005). *Determinación de alcalinidad por potenciometría*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa.pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>

Instituto Nacional de Salud. (sf de sf de 2011, p. 09). *Instituto Nacional de Salud*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua: http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf?Mobile=1&Source=%2Fsivicap%2F_layouts%2Fmobile%2Fview.aspx%3FList%3Ddc462e4b-5de8-4a2f-be3a-08ad1c837db7%26View%3D0ac5f5c5-4988-442d-bc0e-2c07af4f66a5%26CurrentPage

Juan S. Cañas Arias . (s.f). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOs) en cuerpos de agua*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>

Kevern N. R., Elliot R. F., Flaherty M. J., Jennings H. E. y Zafft D. J. (s.f pág. 120). *A limnological survey of Paradise Lake, Emmett and Cheboygan counties*. . Recuperado el 06 de Diciembre de 2016, de Department of Fisheries and Wildlife. Michigan State University .

Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. (2011 pág. 09). *Artículo 27 del Decreto 1575 de 2007*. Recuperado el 21 de Octubre de 2016, de http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf?Mobile=1&Source=%2Fsivicap%2F_layouts%2Fmobile%2Fview.aspx%3FList%3Ddc462e4b-5de8-4a2f-be3a-08ad1c837db7%26View%3D0ac5f5c5-4988-442d-bc0e-2c07af4f66a5%26CurrentPage

Mendoza, J. A. (2014). *Tipos y enfoques de investigación*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2016, de <http://es.slideshare.net/JosMendoza1/tipos-de-investigacion-39300879>

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (22 de Julio de 2004 pág. 02). *Resolución 865 de 2004*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de Metodología de cálculo de índice de escasez:
http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865_20040722.htm
- Ministerio de la Protección Social . (09 de Mayo de 2007). *Decreto 1575 de 2007* . Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/documents/decreto%201575%20de%202007,mps-mavdt.pdf>
- Ministerio de la protección social, ministerio ambiente, vivienda y desarrollo territorial . (22 de Junio de 2007). *Resolución 2115 de 2007*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social . (20n de Marzo de 2014b). *Colombia trabaja para mejorar el acceso a agua potable y saneamiento básico en zonas rurales* . Recuperado el 29 de Agosto de 2016, de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-trabaja-para-mejorar-acceso-a-agua-potable-y-saneamiento-b%C3%A1sico-en-zonas-rurales.aspx>
- Ministerio de salud y proyección social. (Octubre de 2014a). *Informe Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano año 2012 con base en el IRCA*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2016, de Subdirección de salud ambiental:
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/informe-nacional-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-ano-2012-con-base-en-el-irca-reducido.pdf>
- Nitrato y nitrito en el agua potable*. (s.f). Recuperado el 27 de Diciembre de 2016, de http://www.state.nj.us/health/eoh/hhazweb/nitrate_sp.pdf
- Plan de Ordenamiento Territorial Aguachica. (2001 - 2010 pág, 63). *El Plan Básico de Ordenamiento Territorial*. Recuperado el 02 de Octubre de 2016, de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento_resumen_aguachica_\(86_pag_278_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento_resumen_aguachica_(86_pag_278_kb).pdf)
- RAS. (s.f de Noviembre de 2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2016, de http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf
- Recinto Universitario de Mayagüez . (s.f). *Parámetros fisicoquímicos: Alcalinidad* . Recuperado el 05 de Diciembre de 2016, de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>

- Salcedo, C. F. (2008). *Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable* . Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/298/2/628.162R696.pdf>
- Sampieri, R. (2000). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill, p.15.
- Técnicas para la enumeración de microorganismos: análisis microbiológico del agua y de otras diversas muestras.* . (s.f). Recuperado el 18 de Diciembre de 2016, de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/P7_EnumeracionMicroorganismos_19616.pdf
- Unicef. (s.f). *Capítulo 1: El estado del agua, el alcantarillado y los residuos sólidos en los municipios*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2016, de Título III: El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo: <http://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>
- United Nations Environment Programme. (s.f de s.f de s.f). *United Nations Environment Programme*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de <http://www.unep.org/gemswater/Evaluacionesdeaguadulce/%C3%8DndiceIndicadoresdeCalidaddeAgua/tabid/104405/Default.aspx>
- Universidad de Pamplona. (s.f.). *Índices de Calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Capítulo III*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016, de Universidad de Pamplona: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- Universidad Francisco de Paula Santander . (21 de Septiembre de 2015). *Programa Ingeniería Ambiental* . Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de http://www.ufps.edu.co/ufpsnuevo/modulos/contenido/view_content.php?item=66
- Wandurraga, C. M. (s.f de Junio de 2016). *Estudio Geoeléctrico realizado para la Junta de Acción Comunal de la vereda El Crisol, situada en el municipio de Aguachica, departamento del Cesar*. Bucaramanga.
- WikiWater . (s.f). *Los diversos tipos de pozos y perforaciones*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2016, de <http://www.wikiwater.fr/e28-los-diversos-tipos-de-pozos-y.html>
- Zamudio Rodríguez, C. (28 de Noviembre de 2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.redalyc.org/pdf/1694/169424893007.pdf>

Apéndices

Figura 5. Resultados análisis fisicoquímicos.

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Cruda.

TIPO DE MUESTRA: Compuesta.

LUGAR DE MUESTREO: Vereda "El Crisol" PUNTO: punto 1

TOMADA POR: Karen Pallares **HORA:** 16:00 Hrs

FECHA TOMA DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 04 de noviembre de 2016 **HORA:** 08:30 Hrs

ANALISIS SOLICITADOS: Alcalinidad, dureza, DQO, nitratos nitritos, pH, conductividad, color, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, DBO₅.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 1
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	175
DUREZA	mg/L CaCO ₃	70
DQO	mg/L	14
NITRATOS	mg/L	1,32
NITRITOS	mg/L	0,0
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	7,4
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	267
COLOR APARENTE	UPtCo	0,0
OXIGENO DISUELTO	mg/L	4,3
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	30
SOLIDOS DISUELTOS	mg/L	140
DBO ₅	mg/L	2,7

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Fuente: Laboratorio de Aguas UFPSO

Figura 6. Resultados análisis fisicoquímicos.**LABORATORIO DE AGUAS****RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS****MATRIZ DE LA MUESTRA:** Agua Cruda.**TIPO DE MUESTRA:** Simple.**LUGAR DE MUESTREO:** Finca "Las Delicias" **PUNTO:** punto 2**TOMADA POR:** Karen Pallares **HORA:** 17:30 Hrs**FECHA TOMA DE MUESTRA:** 03 de noviembre de 2016.**FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS:** 04 de noviembre de 2016 **HORA:** 08:30 Hrs**ANALISIS SOLICITADOS:** Alcalinidad, dureza, DQO, nitratos nitritos, pH, conductividad, color, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, DBO₅.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 1
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	75
DUREZA	mg/L CaCO ₃	70
DQO	mg/L	180
NITRATOS	mg/L	11
NITRITOS	mg/L	0,0
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	7,2
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	234
COLOR APARENTE	UPtCo	401
OXIGENO DISUELTO	mg/L	5,1
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	70
SOLIDOS DISUELTOS	mg/L	190
DBO ₅	mg/L	3,9



MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Fuente: Laboratorio de Aguas UFPSO

Figura 7. Resultados análisis fisicoquímicos.

LABORATORIO DE AGUAS		
RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS		
MATRIZ DE LA MUESTRA: Cruda.		
TIPO DE MUESTRA: Puntual.		
LUGAR DE MUESTREO: Pozo Perforado PUNTO: 3		
TOMADA POR: Karen Pallares HORA: 16:20 Hrs		
FECHA TOMA DE MUESTRA: 24 de noviembre 2016.		
FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 25 de noviembre del 2016 HORA: 08:00 Hrs		
ANALISIS SOLICITADOS: Conductividad, alcalinidad, turbiedad, dureza, color, DBO ₅ , DQO, OD, pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, nitritos.		

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	285
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	135
DUREZA	mg/L CaCO ₃	58
COLOR	UPC	16
DBO ₅	mg/L	3,0
DQO	mg/L	18
OXIGENO DISUELTO	mg/L	7,3
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,8
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	120
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	340
NITRATOS	mg/L	3,1
NITRITOS	mg/L	3,3



MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Fuente: Laboratorio de Aguas UFPSO

Figura 8. Resultados análisis fisicoquímicos.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Residual.

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTREO: Caño PTAR PUNTO: 4

TOMADA POR: Karen Pallares **HORA:** 15:45 Hrs

FECHA TOMA DE MUESTRA: 24 de noviembre 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 25 de noviembre del 2016 **HORA:** 08:00 Hrs

ANALISIS SOLICITADOS: Conductividad, alcalinidad, turbiedad, dureza, color, DBO₅, DQO, OD, pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, nitritos.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	452
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	130
DUREZA	mg/L CaCO ₃	87
COLOR	UPC	>200
DBO ₅	mg/L	92
DQO	mg/L	129
OXIGENO DISUELTO	mg/L	6,3
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	7,3
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	90
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	310
NITRATOS	mg/L	66
NITRITOS	mg/L	14

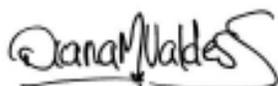
MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Fuente: Laboratorio de Aguas UFPSO

Figura 9. Resultados análisis fisicoquímicos.

LABORATORIO DE AGUAS		
RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS		
MATRIZ DE LA MUESTRA: Cruda.		
TIPO DE MUESTRA: Puntual.		
LUGAR DE MUESTREO: Pozo anillado Finca PUNTO: 5		
TOMADA POR: Karen Pallares HORA: 17:00 Hrs		
FECHA TOMA DE MUESTRA: 24 de noviembre 2016.		
FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 25 de noviembre del 2016 HORA: 08:00 Hrs		
ANALISIS SOLICITADOS: Conductividad, alcalinidad, turbiedad, dureza, color, DBO ₅ , DQO, OD, pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, nitritos.		

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	105
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	155
DUREZA	mg/L CaCO ₃	260
COLOR	UPC	70
DBO ₅	mg/L	1,9
DQO	mg/L	125
OXIGENO DISUELTO	mg/L	4,0
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH	6,7
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	190
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	1000
NITRATOS	mg/L	41
NITRITOS	mg/L	6,6



MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.

Fuente: Laboratorio de Aguas UFPSO

Figura 10. Resultados análisis microbiológicos.

**LABORATORIO DE CALIDAD
(LAB. MICROBIOLOGIA Y AGUA POTABLE)**

Resultados análisis microbiológicos y fisicoquímicos

Muestra: Agua Cruda

Tipo de muestra: Compuesta

Lugar de muestreo: Vereda "El Cirsol"

Responsable: Karen J. Pallares P.

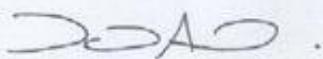
Fecha de muestreo: 03/Nov/2016

Fecha de análisis: 05/Nov/2016

Hora de muestreo: 04:00 p.m.

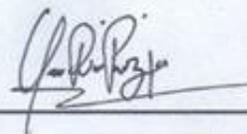
Parámetros a analizar: Coliformes Totales, Escherichia Coli, Aerobios Mesófilos, Turbiedad, Cloro Residual.

Parámetro	Valor
Coliformes Totales	0 UFC/ml
E. Coli	0 UFC/ml
Aerobios Mesófilos	48000 UFC/ml
Turbiedad	1,00 NTU
Cloro Residual	0,1 mg/L



Rubén Joao Vargas Torres

Supervisor de producción



Gerlys Ramirez Pérez

Analista de calidad
laboratorio de microbiología.

Figura 16. Pozo Anillado.



Figura 15. Pileta aérea, almacenamiento de agua vereda “El Crisol”.

Fuente: Autor del proyecto

Fuente: Autor del proyecto

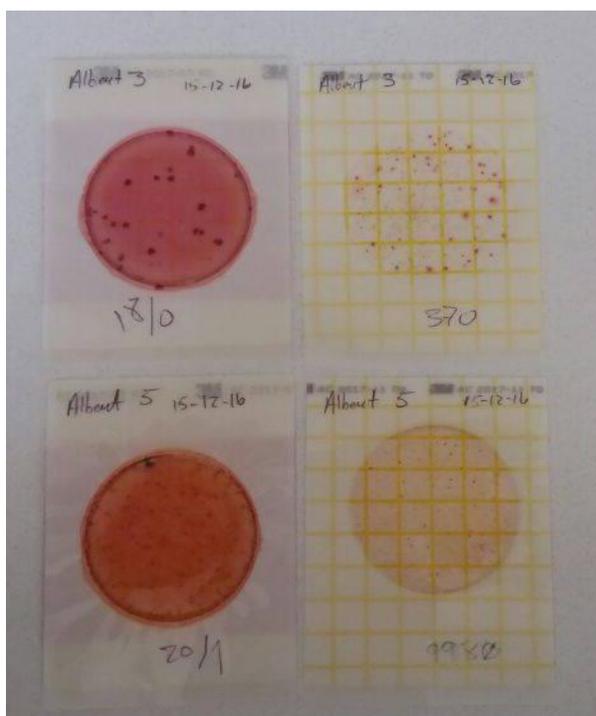
F **Figura 18. Jagüey.**



Fuente: Autores del proyecto

Fuente: Autores del proyecto

Figura 20. Análisis microbiológico.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 19. Análisis microbiológico.



Figura 21. Análisis fisicoquímico UFPSO.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 22. Toma de la turbiedad.



Fuente: Autores del proyecto



Fuente: Autores del proyecto