

Determinación de factores de riesgo que inciden en la calidad del agua para consumo humano de la fuente de abastecimiento quebrada Monte dentro y la planta de tratamiento Cariongo del municipio de Pamplona.

Daniela Gelvez Suárez

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Ambiental
Pamplona
2020

Determinación de factores de riesgo que inciden en la calidad del agua para consumo humano de la fuente de abastecimiento quebrada Monte dentro y la planta de tratamiento Cariongo del municipio de Pamplona.

Daniela Gelvez Suárez

1094282103

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Ambiental

DIRECTORES

**María Esther Rivera
PhD en Hidrología**

**Freddy Solano Ortega
Lic. Especialización en Educación y Gestión Ambiental**

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Pamplona

2020

Dedicatoria

Al creador del universo por
darme vida y todo lo que tengo;
a mi madre por su constante
apoyo, dedicación, entrega y
amor a lo largo de mi existir; a
mi hermano por estar junto a mí
y ser mi amigo incondicional.

Agradecimientos

Gracias al universo por permitirme existir en este instante del espacio-tiempo y coincidir con personas y experiencias increíbles.

A mi madre, por todos los sacrificios que ha hecho con gran amor para darme lo mejor. A mi familia que de una u otra forma me ha apoyado en mi carrera.

A Empopamplona, principalmente a la Ingeniera Lizeth López por suministrar los datos de la calidad del agua de la quebrada Monte dentro.

A don Gerardo, el guardabosque de Empopamplona, quien me hizo acompañamiento a reconocer la zona de estudio con gran amabilidad.

A los profesores de la Universidad de Pamplona, que a lo largo de la carrera universitaria me dieron sus enseñanzas de forma eficaz, y me han permitido formarme como profesional; especialmente a María Esther, quien me ha guiado por el camino del conocimiento con gran dedicación, perseverancia y amor por la enseñanza.

Tabla de contenido

	Pág.
Capítulo 1.....	19
Introducción.....	19
1. Planteamiento del problema	21
2. Justificación	23
3. Objetivos.....	24
3.1 Objetivo general.....	24
3.2 Objetivos específicos	24
Capítulo 2.....	25
4. Marco referencial.....	25
4.1 Marco contextual.....	25
4.2 Antecedentes	27
4.3 Marco teórico	33
4.3.1 Clasificación de las aguas en el mundo	34
4.3.2 Calidad del agua	37
4.3.3 Riesgo de la calidad del agua.....	38
4.3.4 Amenaza de la calidad del agua.....	38
4.3.5 Vulnerabilidad de la calidad del agua.....	40

4.3.6 Índices de sequía.....	41
4.4 Marco demográfico.....	42
4.5 Marco legal.....	44
Capítulo 3.....	46
5. Metodología.....	46
5.1 Realización del diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable de Pamplona.	46
5.2 Identificación de las amenazas presentes en la cuenca que afectan la calidad del agua.....	46
5.3 Evaluación de los factores de riesgos naturales y antrópicos que inciden sobre la calidad del agua de la zona de estudio.....	49
5.4 Análisis estadístico los parámetros hidrometeorológicos, físico-químicos y microbiológicos incidentes en la calidad del agua de la zona de estudio.....	51
5.5 Caracterización morfométrica, de cobertura vegetal, geología y pendientes de la zona de estudio.....	51
Capítulo 4.....	52
6. Resultados y análisis.....	52
6.1 Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable de Pamplona.....	52
6.1.1 Aspectos técnicos y operativos del sistema de abastecimiento.....	52
6.1.2 Formulario de inspección sanitaria.....	57
6.2 Identificación de las amenazas presentes en la cuenca que afectan la calidad del agua.....	61
6.3 Evaluación de los factores de riesgos naturales y antrópicos que inciden sobre la calidad del agua de la zona de estudio.....	78

6.4 Análisis estadístico de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de la fuente hídrica y las variables hidrometeorológicas.	81
6.5 Caracterización de la morfometría, cobertura vegetal, pendientes y geología de la zona de estudio.	87
7. Conclusiones.....	94
8. Recomendaciones	96
9. Bibliografía.....	97
Anexos	102

Listas de tablas

Tabla 1. Índice de Martonne	47
Tabla 2. Clasificación del índice estandarizado de la precipitación SPI	48
Tabla 3. Clasificación del riesgo	49
Tabla 4. Evaluación de la amenaza	50
Tabla 5. Cobertura servicio de acueducto	61
Tabla 6. Cobertura sistema alcantarillado	61
Tabla 7. Disposición de aguas residual	62
Tabla 8. Disposición de basura en la quebrad	62
Tabla 9. Disposición de residuos sólidos	63
Tabla 10. Número de hab/vivienda	63
Tabla 11. Uso del suelo	64
Tabla 12. Caracterización de agroquímicos en la vereda Monteadentro y sus efectos sobre el ambiente	65
Tabla 13. Frecuencia de aplicación de sustancias a los cultivos	70
Tabla 14. Disposición de empaques de sustancias aplicadas a cultivos.....	71
Tabla 15. Percepción calidad del agua	72
Tabla 16. Percepción del olor de la quebrada	72
Tabla 17. Percepción del color de la quebrada	73
Tabla 18. Cálculo del riesgo de la quebrada Monteadentro	78
Tabla 19. Sumatoria del puntaje de riesgo de las muestras	79
Tabla 20. Nivel de riesgo	80

Tabla 21. Análisis de componentes principales	81
Tabla 22. Matriz de correlaciones Precipitación vs. Turbiedad	83
Tabla 23. Matriz de correlaciones Precipitación vs. Cloruros	84
Tabla 24 Matriz de correlaciones entre variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrometeorológicas	86
Tabla 25. Características morfométricas de la cuenca Monteadentro	88

Listas de gráficas

Gráfica 1. Población de la vereda Monteadentro	42
Gráfica 2. Cobertura sistema acueducto	61
Gráfica 3. Cobertura sistema alcantarillado	61
Gráfica 4. Disposición de aguas residuales	62
Gráfica 5. Disposición de basura en la quebrada	62
Gráfica 6. Disposición de residuos sólidos	63
Gráfica 7. Número de hab/vivienda	63
Gráfica 8. Uso del suelo	64
Gráfica 9. Fungicidas utilizados en la vereda Monteadentro	68
Gráfica 10 Insecticidas utilizados en la vereda Monteadentro	69
Gráfica 11. Fertilizantes utilizados en la vereda Monteadentro	70
Gráfica 12. Frecuencia de aplicación de sustancias a los cultivos	70
Gráfica 13. Disposición de empaques de sustancias aplicadas a cultivos	71
Gráfica 14. Percepción calidad del agua	72
Gráfica 15. Percepción del olor de la quebrada	72
Gráfica 16. Percepción del color de la quebrada	73
Gráfica 17. Comportamiento temporal de la precipitación estación ISER Pamplona	75
Gráfica 18. índice de Martonne para la zona de estudio	76
Gráfica 19. Índice de escasez estación ISER Pamplona	77
Gráfica 20. Precipitación vs. Turbiedad	83
Gráfica 21. Precipitación vs. Cloruros	84

Gráfica 22. Curva hipsométrica de la cuenca Monteadentro... ..	89
Gráfica 23. Perfil longitudinal de la quebrada Monteadentro.....	90

Lista de fotografías

Fotografía 1. Captación quebrada Monteadentro	52
Fotografía 2. Canal de aducción	53
Fotografía 3. Desarenadores planta Cariongo	53
Fotografía 4. Conducción	54
Fotografía 5. Procesos de purificación del agua	55
Fotografía 6. Entrada al tanque de almacenamiento	56
Fotografía 7. Instalaciones del laboratorio de la planta	57
Fotografía 8. Estado y pertinencia de las instalaciones.....	58
Fotografía 9. Seguridad industrial y salud ocupacional	59
Fotografía 10. Manejo de la información y comunicaciones	59
Fotografía 11. Almacenamiento de tuberías para atender daños	60
Fotografía 12. Afectación en la vereda Monteadentro por creciente súbita	74
Fotografía 13. Vaca en cercanías a la quebraba Monteadentro	85

Listas de mapas

Mapa 1. Ubicación de la zona de estudio	26
Mapa 2. Zonas de amenaza por sismicidad	74
Mapa 3. Cobertura vegetal	91
Mapa 4. Pendientes	92
Mapa 5. Geología	93

Lista de anexos

Anexo A Formulario de inspección sanitaria de los sistemas de suministro de agua para consumo humano.....	101
Anexo B Encuesta de actividades económicas realizadas en la quebrada Monteadentro.....	106
Anexo C. Evaluación de la vulnerabilidad del sistema de suministro de agua potable.....	108

Glosario

Para éste glosario se tuvo en cuenta el Decreto 1575 de 2007, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano y la 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.

Agua cruda: es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización

Agua potable o agua para consumo humano: es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano.

Análisis microbiológico del agua: son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis básicos: es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Escherichia coli.

Análisis físico y químico del agua: son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.

Buenas prácticas sanitarias: son los principios básicos y prácticas operativas generales de higiene para el suministro y distribución del agua para consumo humano, con el objeto de identificar los riesgos que pueda presentar la infraestructura.

Calidad del agua: 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.

Conductividad: el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. COLIFORMES: bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas.

Color aparente: es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras.

Escherichia coli - E-coli: bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la β galactosidasa y β glucuronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano.

Fuente de abastecimiento: depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.

Población servida o atendida: es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua

Potencial de hidrógeno: el valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

Red de distribución o red pública: es el conjunto de tuberías, accesorios, estructura y equipos que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta las acometidas domiciliarias.

Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano: es el conjunto de responsables, instrumentos, procesos, medidas de seguridad, recursos, características y criterios organizados entre sí para garantizar la calidad de agua para consumo humano.

Sustancias potencialmente tóxicas: son aquellas de origen natural o sintético que pueden ocasionar efectos nocivos a organismos con los cuales entran en contacto. Incluye sustancias utilizadas en actividades domésticas, producción de bienes o servicios y plaguicidas, que pueden estar presentes en el agua para consumo humano.

Tratamiento o potabilización: es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.

Valor aceptable: es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud

Resumen

Diferentes factores naturales como antrópicos influyen en la alteración de las características naturales de las fuentes de agua.

Este proyecto tiene como objetivo identificar los factores de riesgo naturales y antrópicos que inciden en la calidad del agua de la quebrada Monte dentro, que pueden generar afectaciones en la salud de la población pamplonesa y en las personas que residen en la vereda Monte dentro.

Para ello, se realizó el diagnóstico del sistema de suministro de agua potable del municipio de Pamplona. Luego, se hizo la valoración de las amenazas a las que está expuesta la cuenca de estudio. Posteriormente, se identificaron los riesgos naturales y antrópicos que afectan la calidad del agua de la fuente hídrica de estudio. Además, se analizaron estadísticamente los parámetros físico-químicos y microbiológicos, proporcionados por Empopamplona S.A E.S.P y variables hidrometeorológicas como evaporación, precipitación y temperatura obtenidas de la plataforma del IDEAM. Por último, se delimitó la cuenca de estudio, para determinar sus características físico-morfométricas, además se realizaron los mapas de cobertura vegetal, geología y pendientes de la zona de estudio, con la utilización del software ArcGIS. Finalmente, se determinó que la actividad antrópica que tiene mayor incidencia en la calidad del agua de la quebrada Monte dentro, es el uso de agroquímicos en los cultivos de la vereda. Por otra parte la ocurrencia de precipitación en la zona, propicia el arrastre de sustancias de distinto origen que también altera la calidad del agua de la fuente hídrica.

Palabras clave: Agroquímicos, calidad de agua, riesgo, precipitación, salud humana

Capítulo 1

Introducción

Actualmente uno de los problemas que más preocupa al mundo es el relacionado con la contaminación y disminución del recurso hídrico. El consumir agua contaminada, produce enfermedades en el ser humano como diarrea, disentería, cólera, paludismo, fiebre tifoidea, entre otras. Por tanto es necesario llevar a cabo un constante monitoreo de las diferentes fuentes hídricas de las que se provee la población; es necesario identificar los factores de riesgo y las características físicas, químicas y microbiológicas de las fuentes abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano que puedan afectar directa o indirectamente la salud de la población.

Una de las cuencas abastecedoras de la planta Cariongo del municipio de Pamplona, es la quebrada Monteadentro, la vereda que lleva el mismo nombre, tiene vocación agrícola y en menor medida ganadera. Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto tiene como objetivo identificar los factores de riesgo naturales y antrópicos que afectan la calidad del agua y por tanto, representan un peligro a la salud humana, esto con el fin de llevar a cabo acciones a través de la autoridad ambiental CORPONOR y la empresa de servicios públicos Empopamplona S.A

E.S.P. para así garantizar el bienestar de la población que se abastece de ésta cuenca.

Este proyecto está estructurado de la siguiente forma: inicialmente se presenta el planteamiento del problema donde se exponen algunos factores y actividades que repercuten directamente en la calidad del agua de los diferentes cuerpos hídricos.

Posteriormente, se formula la justificación, donde se argumenta la importancia de determinar los riesgos a los que están expuestas las fuentes hídricas para garantizar la salud

Y bienestar de la población. Seguidamente, en los objetivos se expone las metas que se quieren obtener con ésta investigación como la realización del diagnóstico de la empresa de acueducto y el análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos junto con las variables hidrometeorológicas. El marco referencial contiene algunas características del municipio de Pamplona y de la cuenca Monteadentro con su respectivo mapa. En la metodología se aprecian los pasos necesarios para determinar los factores de riesgo que inciden en la calidad del agua para consumo humano y por último se presentan los resultados y su respectivo análisis del proyecto.

Este proyecto se lleva a cabo con la colaboración de la empresa de servicios públicos del municipio Empopamplona.

1. Planteamiento del problema

Diferentes factores naturales como antrópicos contribuyen a la disminución de la calidad del agua que abastece a grupos de poblaciones, esto representa un peligro para la salud y bienestar de los habitantes de la zona.

De acuerdo al informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia (2000), el deterioro de la calidad y la alteración de la distribución espacial y temporal del agua en Colombia presentan características diversas, según la intensidad y forma de ocupación espacial.

Por otra parte, CORPONOR (2017) sostiene que el deterioro de la calidad de algunas fuentes hídricas de Norte de Santander corresponde a las intervenciones o captaciones ilegales que inescrupulosos realizan para sustraer el recurso hídrico sin los cuidados exigidos y sin la aplicación de un plan de manejo ambiental, contemplados en el otorgamiento de la licencia ambiental que realiza esta Corporación. Otras problemáticas que presentan las cuencas de éste departamento son: a) Sobreutilización del suelo, b) alteración de taludes y lecho de corrientes hídricas, c) baja planeación para el uso del recurso suelo, d) construcción de vivienda o asentamientos subnormales en zonas de riesgo, e) ineficiente planificación agropecuaria, que genera efectos adversos como el agotamiento de nutrientes del suelo, f) baja aplicación de la normatividad contemplada en el ordenamiento territorial por parte de las autoridades competentes, g) adecuación y compactación de los suelos para vivienda, que generan efectos como la erosión y riesgos por remoción en masa.

Alrededor de la quebrada Monteadentro, se llevan a cabo actividades agrícolas, en las que

los pobladores usan gran variedad de químicos como pesticidas, fertilizantes, herbicidas y fungicidas para obtener un mayor rendimiento de los cultivos, y controlar las plagas, estas sustancias se infiltran en el suelo y por escorrentía llegan al cauce de la fuente hídrica de estudio, alterando su composición natural. De igual manera se realizan actividades pecuarias cuyos desechos son entregados directamente al cauce. Sumado a esto, la falta de conciencia ambiental y la carencia de sentido de pertenencia por parte de algunas personas asentadas en cercanías a la quebrada, contribuyen a que el afluente esté en malas condiciones.

Del mismo modo, factores naturales como lluvias torrenciales remarcadas por el fenómeno de la niña, contribuyen al incremento de la turbiedad y el color del agua, contribuyendo al arrastre de sedimentos y material vegetal; además éste fenómeno ocasiona el aumento del caudal, que a su vez socava el lecho del cuerpo hídrico. Otra consecuencia de éste evento es que favorece los procesos de remoción en masa, afectando la calidad de la fuente hídrica. En contraste, cuando se presenta el fenómeno del Niño, la cuenca sufre desabastecimiento, lo que pone en riesgo la provisión de agua para los ciudadanos, debido a que se deben tomar medidas de racionamiento por la disminución de los caudales de las quebradas que abastecen el sistema de suministro de agua.

Con base en lo anterior, se plantean las siguientes preguntas: ¿Cuáles factores naturales inciden en la calidad del agua?, ¿cuáles son las actividades antrópicas que más afectan la fuente hídrica?, ¿cuáles riesgos sufre la población al abastecerse de ésta cuenca?, ¿qué medidas se pueden tomar para crear conciencia en las personas en cercanías a la quebrada?, ¿cuál es riesgo respecto a la calidad del agua?

2. Justificación

Por la problemática presentada en el apartado 2, es de gran importancia determinar los factores de riesgo que inciden en la calidad del agua para consumo humano de la quebrada Monteadentro, para llevar a cabo medidas que permitan contrarrestar los efectos negativos que puedan causar el abastecimiento de la población de la quebrada Monteadentro.

Así mismo, éste proyecto contribuye en la actualización de información existente de ésta quebrada, para que sea insumos a entidades como la alcaldía municipal, CORPONOR territorial Pamplona y Empopamplona S.A E.S.P, organizaciones de agricultores, entre otros, para que sea una herramienta útil en cuanto a la toma de decisiones y a través de su gestión, planes de desarrollo, se propongan medidas para hacer un mayor control sobre las actividades que generan efectos negativos sobre el cauce, con el fin de contribuir al bienestar de la población que se abastece de éstas cuencas.

Las personas que se benefician con éste proyecto, son los pobladores de la zona de la quebrada Monteadentro. De igual manera, el 65% de la población del municipio de Pamplona quienes se abastecen del servicio de agua potable que suministra la planta Cariongo.

Este proyecto es de gran relevancia para la comunidad académica, debido a que será un antecedente a quienes lleven a cabo investigaciones sobre los riesgos asociados a la calidad de agua de la quebrada Monteadentro.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar los factores de riesgo que inciden en la calidad del agua para consumo humano de la fuente de abastecimiento quebrada Monte dentro y la planta de tratamiento Cariongo del municipio de Pamplona.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable de Pamplona.
- Identificar las amenazas presentes en la cuenca que afectan la calidad del agua.
- Evaluar los factores de riesgos naturales y antrópicos que inciden sobre la calidad del agua de la zona de estudio.
- Analizar estadísticamente los parámetros hidrometeorológicos, físico-químicos y microbiológicos incidentes en la calidad del agua de la zona de estudio.
- Caracterizar la morfometría, cobertura vegetal, pendientes y geología de la zona de estudio.

Capítulo 2

4. Marco referencial

4.1 Marco contextual

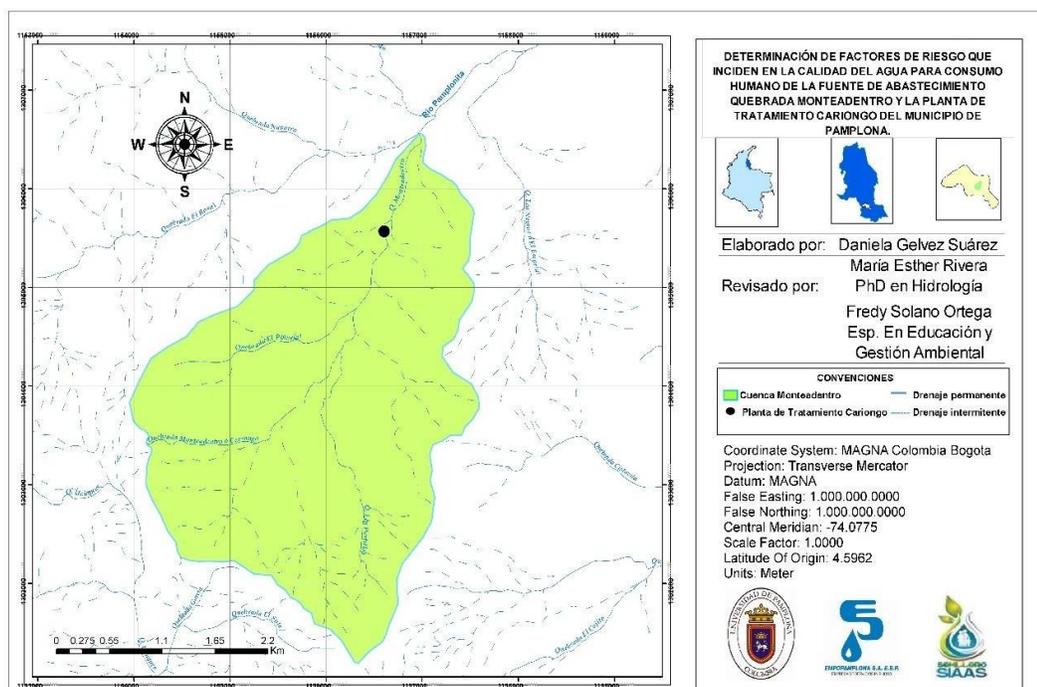
De acuerdo con el PBOT (2015), el municipio de Pamplona de Norte de Santander, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas, longitud 72°39'54"OE, latitud 7°23'34"N y a una altitud de 2.200 m.s.n.m. Por otra parte, la economía del municipio se divide principalmente en: a) Producción agrícola: papa su principal producto, le siguen fresa, ajo, trigo, morón, maíz, fríjol, arveja, zanahoria. b) Explotación pecuaria, bovinos, porcinos, piscicultura y aves de corral.

c) Actividad comercial: producción de alimentos como dulces y colaciones muy conocidas en la región y muy apetecidas en semana santa y épocas de festividades, producción de tejidos, la industria hotelera y turismo.

Las áreas estratégicas que abastecen de recurso hídrico el acueducto municipal del municipio de Pamplona se encuentran ubicadas en las cabeceras de las microcuena Monte dentro, el Rosal y García PBOT (2015).

De acuerdo a Superservicios (2019), el prestador empresa de servicios públicos de Pamplona Empopamplona, es una sociedad anónima del orden municipal, de clase mixta, dotada de autonomía Administrativa y financiera y de patrimonio propio. Inició operaciones para los servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en el municipio de Pamplona el 20 de diciembre de 1963. Ésta planta se abastece de las quebradas Monte dentro y Rosal para brindar el servicio de agua potable al 65% de la población pamplonesa.

Según Hernández (2010), la quebrada Monte dentro nace a 3200 m.s.n.m. en la vereda que lleva el mismo nombre al Sur Oriente de Pamplona, Norte de Santander. Esta microcuenca tiene su origen en la naciente denominada El Chorro de las Pavas. Los afluentes principales son las quebradas Teorama, Cepeda, Cerrajones, Piñuelal y La Corcova. La forma es oval redonda y el relieve de esta microcuenca es quebrado, razón por la que los drenajes son cortos y en su mayoría poco ramificados, la microcuenca de Monte dentro tiene pendientes pronunciadas en sus nacimientos y en la parte baja (ver Mapa 1). El clima de la microcuenca Monte dentro es frío subhúmedo, el relieve secundario contribuye a formar microclimas que dividen la microcuenca en: un 10% como bosque húmedo montano bajo, correspondiente a ecosistemas de páramo y un 90% es bosque seco montano bajo. En el primero las temperaturas oscilan entre 6 y 12°C, mientras que el segundo toma temperaturas entre 12 y 17°C, con variaciones ligeras de 2°C en ambos casos en los meses de junio y enero principalmente.



Mapa 1 Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

4.2 Antecedentes

De acuerdo con Raju y Singh (2017), la “Evaluación de la calidad del agua subterránea y mapeo humano Riesgo para la salud en la llanura aluvial central de Ganga, Norte de la India” dan a conocer a partir de muestreos y la utilización de sistemas de información geográfica que la presencia de sustancias como el carbonato y el silicato, además de la acción de diferentes procesos químicos que se llevan en el agua subterránea contribuyen a la alteración de las propiedades naturales del líquido vital, dando como resultado que el 47.8% del área total de la zona de estudio tiene una calidad de agua casi deficiente para el consumo humano.

En contraste, Arumi, *et al.*, (2006), evaluaron el riesgo asociado a la contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable en zona rural de Chile. Para esto, recopilaron datos de concentración de nitrato de 94 pozos y elaboraron mapas de riesgo para la salud, hallando que el 14% de los pozos estudiados presentaron valores de concentración de nitrato mayores a los permisibles, para agua potable. A partir de lo cual infieren que la contaminación de pozos por nitrato está asociada principalmente a la existencia de factores, como los métodos constructivos o la cercanía de animales, que afectan de manera aislada la calidad del agua.

Por otro lado, Nong, *et al.*, (2020), en el proyecto de evaluación de calidad de agua usando el método del índice de calidad del agua en una cuenca de China, tuvieron en cuenta las variaciones y tendencias espacio-temporales de 16 parámetros de calidad del agua, incluyendo pH, temperatura, oxígeno disuelto, entre otros, que se determinaron de forma mensual en muestras de 27 estaciones de monitoreo de la calidad del recurso hídrico. Se utilizó el índice de calidad del agua (WQI) para evaluar los cambios estacionales y

espaciales en la calidad del agua durante el período de monitoreo. Los resultados demostraron que el estado de la calidad del agua de la cuenca de estudio se ha mantenido constantemente en un nivel "excelente" durante el período de monitoreo, con un valor promedio general de WQI de 90.39 y doce valores promedio estacionales de WQI que varían de 87.67 a 91.82.

Asimismo, Liu, *et al.*, (2019) investigaron la distribución espacial y las fuerzas impulsoras de la calidad del agua mediante análisis de conglomerados, partición de características hidroquímicas y diagramas de Gibbs. Los resultados demostraron que las aguas superficiales de la cuenca del río Hulan en China, tienden a ser medio-débilmente alcalinas con un bajo grado de mineralización e interacción agua-roca. Se descubrió que los cambios en la topografía y el uso de la tierra, la confluencia, la aplicación de pesticidas y fertilizantes, y el desarrollo del turismo son fuerzas impulsoras importantes que afectan la calidad del agua de la cuenca. Finalmente, la simulación demostró que la carga de contaminación de fuentes no puntuales es baja aguas arriba y aumenta aguas abajo.

En cuanto a Shygonskyj y Shygonska (2016), evaluaron la calidad del agua potable en función de los análisis de los índices de calidad del agua de diferentes fuentes en los asentamientos rurales de la región de Zhytomyr, teniendo en cuenta diferentes informes nacionales sobre la situación ambiental, la calidad del agua y el estado actual de suministro de agua en Ucrania. Durante la investigación se utilizaron los métodos de análisis sistémicos y generalización lógica para sistematizar la información obtenida. Se utilizaron análisis cuantitativos y cualitativos para la evaluación de los datos.

Concluyendo que los niveles de contaminación del agua afectan la salud de la población, influyendo en los procesos fisiológicos y bioquímicos y reduciendo la esperanza de vida

de forma significativa.

Para Youn-Joo, *et al.*, (2013) en el Desarrollo e implementación de estándares de calidad de agua superficial para la protección de la salud humana en Corea, seleccionaron productos químicos peligrosos candidatos, realizando una evaluación de riesgos para la salud humana y así determinar productos químicos prioritarios. Posteriormente, se establecieron estándares de calidad del agua basados en análisis técnicos y comparaciones con los estándares de calidad del agua de los países desarrollados y nacionales, y se realizó una revisión experta.

En lo que respecta a Amenu, *et al.*, (2013), en su estudio evaluaron los aspectos de calidad y salud del agua destinada al consumo humano y ganadero en dos distritos rurales del Valle del Rift de Etiopía. El resultado mostró que existe falta de acceso sostenible al agua potable en las comunidades. También se descubrió que la contaminación industrial y el mal manejo de las fuentes de agua por parte de humanos y ganado son una fuente de riesgo potencial para la salud. En general, el 76% de las fuentes de agua evaluadas, no cumplieron con las pautas de la OMS para el agua potable humana, al menos para un parámetro evaluado, independientemente de la temporada. El incumplimiento se atribuyó principalmente a la contaminación por *Escherichia coli* y alta concentración de fluoruro.

Por otra parte, Arias, *et al.*, (2014), en la publicación sobre “Mapa de riesgos para la calidad del agua en sistemas de abastecimiento municipales. Un caso colombiano”, realizaron una descripción, análisis y valoración cualitativa de las amenazas y vulnerabilidades identificadas. Posteriormente, hicieron la evaluación de riesgos en el sistema de abastecimiento municipal. Y por último, se construyó el mapa usando información cartográfica análoga y digital y haciendo el registro cartográfico de los riesgos

según su valoración, encontrando que las condiciones del agua cruda son aptas para el consumo humano.

De igual manera, Taborda y Vanegas (2016) identificaron los factores de peligro y sus fuentes o eventos peligrosos, determinando la prioridad para su control y comparando cada factor de peligro con los riesgos asociados. Se escogieron puntos de muestreo en la fuente de 29 abastecimiento de tal manera que las muestras fueran representativas para luego llevar a cabo la evaluación del IRCA. Lo anterior contribuyó a determinar a través de las medidas de tendencia central media y mediana que la turbiedad, Coliformes y E. Coli incumplen los valores de la norma en los parámetros analizados.

Adicionalmente, Chaparro y Ovalles (2017) en la investigación sobre el análisis del IRCA y su relación con el clima y ubicación geográfica en el Meta en tres fases, la primera exploratoria, de búsqueda de información, en la segunda se usó el coeficiente de correlación lineal de Pearson entre los parámetros del IRCA, aunque éstos no fueron suficientes por tanto, los resultados no son confiables para determinar el riesgo de la calidad del agua. Finalmente se plantearon alternativas orientadas al manejo, control y vigilancia del IRCA obteniendo.

En cuanto a, Rojas y Eslava (2015), quienes realizaron la evaluación de la cantidad y calidad del cauce principal del río Pamplonita en cinco puntos de interés, afectados por la sequía como consecuencia del “fenómeno el niño”, temporada 2014-2015, determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos e índices de contaminación por parámetro in situ (ICOpH) y por parámetro ex situ (ICOSUS), comparando la calidad del río Pamplonita con años anteriores demostrando que ésta cuenca se ha deteriorado en su calidad y cantidad debido a factores meteorológicos, hidrológicos, a las actividades

antrópicas, al crecimiento de la población y a las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industrial.

López y Cufiño (2016), analizaron el índice de riesgo de calidad del agua –IRCA- y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento de Norte de Santander en los años 2012 – 2013, haciendo correlación entre los diferentes parámetros, hallando correlación fuerte para el color aparente, moderado para el cloro residual libre y débil para fosfatos, cloruros y pH. La correlación moderada muestra el efecto negativo de la turbiedad frente al cloro residual libre, el cual revela una mayor demanda de cloro para eliminar a los microorganismos patógenos, y se encontró que sí existe una relación entre estas variables meteorológicas y los parámetros físico-químicos del agua, sin embargo, es necesario determinar el grado de correlación en cada municipio.

Miranda, et al., (2016), realizaron la evaluación de la calidad microbiológica del Río algodonal en el tramo entre el municipio de Abrego y Ocaña, encontrando que los resultados de los análisis físicos y microbiológicos realizados en cinco estaciones de control y aforo a lo largo del cauce principal, usando muestreo simple y puntual, están por debajo de los valores máximos permitidos de la normatividad, lo que significa que el agua no presenta contaminación y/o alteraciones de la calidad microbiológica, es decir, el agua cruda del Río Algodonal es apta para consumo humano previo a un adecuado tratamiento de potabilización.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud (2015), el IRCA consolidado del departamento de Norte de Santander, para el año 2015 fue de 17.1 % en nivel de riesgo medio, el cual presentó un aumento en relación al 2014 con 12.6 % mostrando un deterioro de la calidad del agua. La zona urbana presenta un riesgo bajo de 5.38 % y la zona rural

56.7 % en riesgo alto. Para el período 2007 a 2015, la tendencia mostró un aumento de los IRCA en el año 2012, 2013 y 2015. De igual manera, el análisis de la distribución porcentual de las muestras según el nivel de riesgo en el departamento y por zona, representó para el consolidado 70.4 % en nivel sin riesgo. El nivel de riesgo alto mostró 17.8 % y 5.1 % inviable sanitariamente. En los resultados de la zona urbana aumentó el porcentaje de muestras sin riesgo con 86.7 %; mientras que en el área rural predomina riesgo alto con 63.6 % e inviable sanitariamente con 16.5 %.

Entre los estudios realizados en la vereda Monte dentro se encuentra Atencia (2007), quien diagnosticó los efectos de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas y la disposición inadecuada de residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca Monte dentro desde su nacimiento hasta el sector de la bocatoma del acueducto de Pamplona, buscando de esta forma dar soluciones que contribuyan en el mejoramiento ambiental.

Por otra parte, Hernández (2010), llevó a cabo un estudio de valoración monetaria de los beneficios que puede rendir un uso óptimo del suelo en la microcuenca Monte dentro, con el fin de proporcionar información para la toma de decisiones sobre el gasto público para mejorar las condiciones actuales de oferta de agua en el Municipio.

Bacheloth (2017), modeló el transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de fresa, mediante el software Hydrus 1-D. Para ello, realizó salidas de campo e identificó las etapas del cultivo, pesticidas e insecticidas utilizados en las diferentes etapas de los cultivos.

Torrado (2017) evaluó las enfermedades causadas por microorganismos del suelo del

cultivo de arveja en las condiciones de la vereda Monte dentro en el municipio de Pamplona – Norte de Santander.

Finalmente, Velandia (2018), en Estrategias de planificación integral social y económica para el desarrollo de una UPRA en la vereda Monte dentro, se centra en las dinámicas comerciales que propone el sector rural al crecimiento urbano; como reinterpretación de la arquitectura rural hacia un factor de desarrollo sustentable y sostenible a sus miembros y usuarios.

4.3 Marco teórico

Según el Estudio nacional del agua, ENA (2018), el mundo cuenta con 43.754 Km³ por año, a su vez expresa que Sudamérica tiene el 28% de los recursos hídricos mundiales y Colombia tiene el 5% de éstos. Sin embargo, ésta riqueza del país no se reparte equitativamente en el espacio y en el tiempo.

Históricamente, se han presentado varios eventos de sequía, con diferentes grados en la severidad de la disminución de lluvias, representando un importante riesgo en la disponibilidad de agua sobre grandes porciones del territorio nacional. Para el caso de la sequía de 2016 ha sido la más importante desde comienzo de siglo, afectando prácticamente a todo el territorio colombiano. En éste contexto, Norte de Santander presenta una afectación del 30% en cuanto a susceptibilidad a desabastecimiento de agua (ENA, 2018).

La organización de las Naciones Unidas (2014), sostiene que a nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de

la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas, de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales.

4.3.1 Clasificación de las aguas en el mundo

De acuerdo a Chow (1994), el agua atmosférica comprende los diversos procesos meteorológicos que ocurren continuamente en la atmósfera, los más importantes para la hidrología son los procesos de precipitación y evaporación en los cuales la atmósfera interactúa con el agua superficial. La mayor parte del agua que se precipita sobre la superficie terrestre proviene de la humedad que se evapora en los océanos y que es transportada por la circulación atmosférica a lo largo de grandes distancias.

Según la enciclopedia de las clasificaciones (2017), las aguas se clasifican:

Según sus propiedades para el consumo

a. No potables: Son aquellas Aguas que no son aptas para el consumo humano

b. Potables: Son aquellas aptas para el consumo humano. No son perjudiciales para la salud.

Debe contener disueltos los gases componentes del aire y una pequeña proporción de sales minerales disueltas, entre otros.

Según la cantidad de minerales

a. Agua dura. Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes.

b. Agua blanda. Agua sin dureza significativa.

Según la cantidad de sales disueltas

a. Agua dulce: se caracteriza por contener una proporción de sal muy baja, que es la adecuada para producir agua potable.

b. Agua salobre: la concentración de sal disuelta en este tipo de agua suele ser de entre 1000 a 10.000 mg/l.

c. Agua salada: su proporción de sal es mucho mayor que la anterior. Siempre supera los 10.000mg/l.

Según la procedencia

a. Agua subterránea. Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

b. Agua superficial. Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

Según su temperatura de afloración

a. Aguas frías: temperaturas menores a 20 °C

b. Aguas templadas: temperaturas entre los 20 °C y 30 °C

c. Aguas termales: temperaturas entre los 30 °C y 40 °C

d. Aguas hipertermales: temperaturas mayores a 40 °C

Según la composición química

a. Aguas cloruradas: Proviene de las profundidades de la tierra, sus composiciones son muy variadas. Predomina el anión cloruro y los cationes sobresalientes suelen ser el sodio, el calcio o el magnesio. La mineralización total debe superar un g/L. Las de muy

alta mineralización (más de 50 g/L) suelen ser frías y las de baja mineralización suelen ser termales.

b. Aguas sulfatadas: Predominan los aniones sulfato con diferentes cationes.

La mineralización total debe superar un g/L. Su mineralización y temperatura son variables.

c. Aguas sulfuradas: Contienen más de un mg/L de azufre bivalente, de ordinario bajo las formas de ácido sulfhídrico y ácidos polisulfhídricos. Su olor es característico a huevo podrido.

d. Aguas bicarbonatadas: Predomina el anión bicarbonato y su mineralización global es superior a 1g/L. Suelen ser de baja mineralización y de temperatura de emergencia fría.

e. Aguas carbónicas o gaseosas: Contienen una concentración mayor de 250 mg/L de carbónico libre.

f. Aguas radiactivas: Son las que contienen radón -gas radiactivo de origen natural- en concentraciones superiores a 67.3 Bq/L

g. Aguas oligometálicas o de débil mineralización: Son aquellas que tienen una mineralización total entre 50 y 500 mg/L.

h. Aguas ferruginosas: Contienen hierro bivalente en más de 1 mg/L. Suelen ser, además, bicarbonatadas o sulfatadas. La biodisponibilidad del hierro en estas aguas es muy alta por la presencia, generalmente, de otros oligoelementos

4.3.2 Calidad del agua

De acuerdo al decreto 1575 de 2007, la calidad del agua 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.

Entre los índices que se aplican para determinar la calidad del agua, se encuentran:

- **IRCA.** El decreto 1575 de 2007 define el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano- IRCA como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas

con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

- **ICA.** De acuerdo al 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.

- **pH.** Medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. Es el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. Una escala numérica utilizada para medir la acidez y basicidad de una sustancia. Valor absoluto del logaritmo decimal de la concentración de ion hidrógeno (actividad). Usado como indicador de acidez ($\text{pH} < 7$) o de

alcalinidad ($\text{pH} > 7$).

4.3.3 Riesgo de la calidad del agua

De acuerdo a UNISDR (2004), el riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan se convierten en un riesgo, o sea en la probabilidad de que ocurra un desastre. El riesgo se considera como la coincidencia en tiempo y espacio de la amenaza y la vulnerabilidad, por tanto, es necesario definir la amenaza y la vulnerabilidad para poder determinar el riesgo existente. La función del riesgo (R) se expresa como el producto de la amenaza (A) y la vulnerabilidad (V).

En éste contexto, según la guía de criterios y actividades mínimas de los estudios de Riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de Contingencia de los sistemas de suministro de agua para Consumo humano se asume como amenaza la presencia de sustancias que alteran la calidad del agua para consumo humano, en sus parámetros físicos, químicos o microbiológicos, que pueden afectar la salud humana e inclusive causar desabastecimiento a una comunidad determinada; generados en fenómenos naturales, siconaturales o la actividad humana.

4.3.4 Amenaza de la calidad del agua

De acuerdo a Alcaldía de Bogotá (2011), existen tres tipos de amenaza:

a) Contaminantes generados por fenómenos naturales

Las sustancias originadas directamente de un fenómeno natural o siconatural que alteran específicamente los parámetros físicos y químicos del agua, entre los cuales están: la actividad

volcánica y los fenómenos de remoción de masa en la cuenca.

Las sustancias que afectan los parámetros físicos conllevan al incremento de la turbiedad, y son: Sedimentos originados en los procesos denudativos, donde se pierde suelo asociado a erosión laminar y por cárcavas.

Las sustancias que afectan los parámetros químicos, son: Sedimentos constituidos por limos y arcillas (< 63 mm) que transmite productos químicos absorbidos como fósforo, plaguicidas clorados y la mayor parte de los metales;

b) Contaminantes generados por acciones antrópicas

Se relaciona con el aporte permanente de contaminantes que afectan la calidad del agua en la fuente, por actividades como la agricultura, minería, industria y la prestación del servicio público de alcantarillado, entre otras. Dichos contaminantes se identifican mediante la elaboración del mapa de riesgos de la calidad del agua que trata el artículo 15 del Decreto número 1575 de 2007.

c) Contaminantes originados por la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado

Corresponden a las amenazas por presencia de sustancias que alteran la calidad del agua en las cuencas abastecedoras y que se originan por vertimientos directos de aguas residuales domésticas generadas por actividades cotidianas del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas las cuales están compuestas por residuos biodegradables como materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas y algunas sales inorgánicas que son nutrientes para los microorganismos; este aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno y/o fósforo, produce un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, lo que afecta de manera

directa la calidad del agua, al alterar sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

4.3.5 Vulnerabilidad de la calidad del agua

Jiménez et al (2004), plantean la vulnerabilidad como aquel factor del riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca o susceptibilidad física, económica, social o política que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que se manifieste un fenómeno peligroso de origen natural.

En este contexto, el desarrollo de actividades ambientales, sociales, económicas, físicas, culturales, institucionales y técnica establecidas alrededor de una cuenca, inciden en el aumento o reducción del nivel de vulnerabilidad causada por fenómenos naturales como: deslizamientos, huracanes, avalanchas, sequías, inundaciones, etc.

De acuerdo al MAVDT (2010), los Métodos estadísticos son una de las metodologías para determinar la vulnerabilidad de la calidad del agua. Los métodos estadísticos son utilizados para cuantificar la vulnerabilidad de la contaminación del agua, determinando la dependencia o la relación estadística entre la contaminación observada, las condiciones ambientales observadas que pueden o no caracterizar vulnerabilidad y las actividades relacionadas con el uso del suelo, que sean fuentes potenciales de la contaminación. Una vez un modelo de esta dependencia o de la relación se ha desarrollado con análisis estadístico, la probabilidad de la contaminación puede ser evaluada. La vulnerabilidad se expresa como probabilidad de contaminación. Cuanta más alta es la probabilidad de contaminación, más alta será la vulnerabilidad

4.3.6 Índices de sequía

Índice de Martonne

El índice de Martonne es un índice bioclimático que permite clasificar la aridez según unos rangos ya definidos; permitiendo plantear una posterior relación con la desertificación presente en el suelo. Este índice realiza una clasificación de la aridez, usando datos de temperatura y precipitación en diferentes periodos.

Índice de Precipitación Estandarizado

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI por Standardized Precipitation Index) es un índice para evaluar el estado de sequía o exceso de lluvia. La idea del SPI es tener una idea de qué tan probable es tener una cantidad de lluvia igual o menor. Valores altos del SPI están asociados con épocas muy húmedas mientras que valores bajos indican sequía.

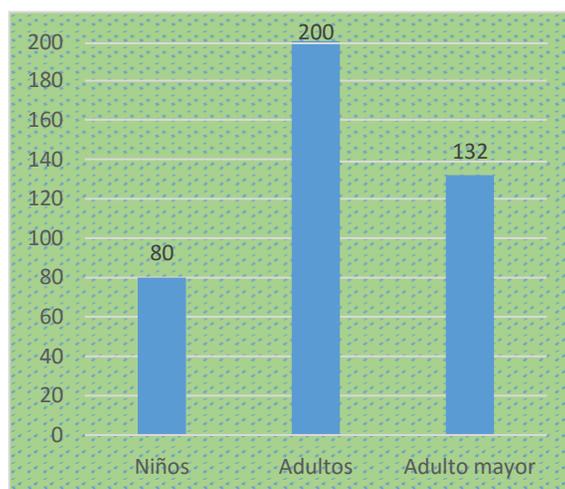
Coefficiente hidrotérmico Selyaninova

El índice hidrotérmico fue elaborado por Selyaninov en 1930 y se calcula mediante la división entre el monto total de las precipitaciones para el periodo que haya presentado una temperatura diaria promedio superior a 10° C y las temperaturas acumuladas para el mismo periodo por 0.10. de esta forma, la isolínea de CHT (coeficiente hidrotérmico) igual a 0.5 coincide con el límite de los desiertos, 1.0 marca el límite entre estepa y estepa arbolada. 0.7 señala el límite entre estepa seca y estepa típica.

4.4 Marco demográfico

De acuerdo al PBOT (2015), la vereda Monte dentro cuenta con una población de 412 personas, las cuales están ubicadas en 82 viviendas y 120 familias.

Según Velandia (2018), la dinámica poblacional en la vereda Monte dentro posee un alto porcentaje a nivel rural del Municipio de Pamplona; su mayor concentración está en personas adultas (200 habitantes) 54%, seguido de la población adulta mayor (132 habitantes) 26% y una población niños (80 habitantes) 20% (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Población de la vereda Monte dentro
Fuente: Modificado de Velandia (2018) por Gelvez (2020)

Por otra parte, Atencia (2007), sostiene que un 85.71% de la población de la vereda son hombres y un 14.29% son mujeres, lo que indica que un bajo porcentaje de estas viviendas se encuentran sostenidas por mujeres. Igualmente, afirma que la economía de la vereda Monte dentro está basada en la agricultura de papa, cebolla, hortalizas, fresas y muy poco a la ganadería la cual la utilizan para ordeño. En cuanto a vías de comunicación, la vereda Monte dentro cuenta con una carretera hasta el barrio Cariongo y en adelante, hasta el centro de la misma un camino de herradura. Lo que se refiere a salud, las enfermedades

más frecuentes son: La gripa y el parasitismo, debido a los cambios climáticos, también a la mala manipulación de las basuras y al consumo de agua sin ningún tratamiento. Por otra parte, se sabe que el 100% de las viviendas cuentan con el servicio de electricidad tipo de red baja. Además, se observa que en la vereda no existe el servicio telefónico.

En cuanto al abastecimiento de agua, en la vereda Monteadentro, las familias toman el agua para el consumo directamente de los afluentes del sector. El 92.86% de estas familias consume el agua proveniente de quebradas o ríos comunales las cuales tienen en sus predios concesión de aguas por CORPONOR, el tipo de conducción es realizado en su totalidad con manguera en buen estado y el 7.14% tienen en sus predios nacimientos propios. No existe ningún tipo de bombeo y el 98.86% tienen tanque de almacenamiento en un estado bueno (Atencia, 2007).

Por otra parte, Hernández (2010) sostiene que las viviendas de los pobladores están construida en ladrillo y tapia, con techos en teja, zinc y eternit. La mayoría de pisos son de tierra, seguido por el uso de cemento. En estas viviendas solo el 18.3% cuentan con baño, lo que contribuye a que la falta de un pozo séptico lleve los desechos a las quebradas contaminando las aguas que hay antes y después de la captación Cariongo. Así mismo, en éstas casas se cocina con leña (75.6%) y gas (24.4%), esto quiere decir que la mayoría de la población está expuesta a los efectos nocivos que produce cocinar con leña como contraer cáncer de pulmón, bronquitis, tuberculosis, asma, pulmonía y otras enfermedades respiratorias. La leña para consumo se extrae de los árboles de cada finca, los árboles como el arrayán, aliso y tuno, son de manejo sostenible, pues mientras se retiren solo las ramas, estas volverán a retoñar, sí el retiro de leña se hace de las ramas de árboles como el Gaque, si se causaran daños ya que este tiene un proceso mucho más lento de

recuperación. En general, la población de la vereda Monte dentro cuenta con los diferentes servicios para satisfacer las necesidades básicas. No obstante, al abastecerse de agua de fuentes naturales que no han sido sometidas a ningún tratamiento fisicoquímico ponen en riesgo su salud, siendo los niños la población más vulnerable.

4.5 Marco legal

En Colombia existe un conjunto de normativas que son herramientas o instrumentos para establecer las características físicas, químicas y microbiológicas mínimas del agua para consumo humano, además definen la responsabilidad de la empresa prestadora del servicio de acueducto, para monitorear las fuentes de abastecimiento y las redes de distribución con el fin de salvaguardar la salud de la población.

El **Decreto 2811 de 1974**, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual, en el título VI, capítulo II, establece que le corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario; el **Decreto 1843 de 1991** por el cual se reglamentan parcialmente los títulos III, V, VI, VII Y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas; el **Decreto 475 de 1998**, por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable y el **Decreto 1575 de 2007**, el cual establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada;

La **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; **Resolución 811 de 2008**, por medio de la cual se definen los

lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución; **Resolución 082 de 2009**, por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano; y **Resolución 549 de 2017**, por la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones.

Capítulo 3

5. Metodología

Para cumplir con los objetivos específicos se plantearon las siguientes actividades:

5.1 Realización del diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable de Pamplona.

Se realizó una visita a cada uno de los componentes de la planta de tratamiento Cariongo dirigida por un operario, y a través de la evaluación integral realizada por Superservicios a la empresa de servicios públicos Empopamplona, se obtuvo información detallada de los aspectos técnicos y operativos que se llevan a cabo en el sistema de abastecimiento. Finalmente, se aplicó el formulario de inspección sanitaria de los sistemas de suministro de agua para consumo humano establecido por la resolución 082 de 2009 (ver anexo A).

5.2 Identificación de las amenazas presentes en la cuenca que afectan la calidad del agua.

A través de las visitas de campo, se realizó un análisis visual o de observación de la situación de la quebrada Monteadentro y de las principales afectaciones que inciden sobre la misma. De igual forma, se aplicó la encuesta (ver anexo B), a la población circundante con la cual se obtuvo la caracterización de las actividades económicas que se desarrollan alrededor de la ribera del cauce en estudio y se tuvo en cuenta las apreciaciones por parte de los habitantes sobre el comportamiento de la calidad de agua en el tiempo. Teniendo en cuenta la información del PBOT (2015) del municipio de Pamplona en cuanto a amenaza por sismicidad de la zona de estudio y con base en la información de la página web del Servicio Geológico Colombiano, usando el software ArcGis, se elaboró el mapa de amenaza por

sismicidad de la cueca Monteadentro.

Para obtener el comportamiento temporal de la precipitación, se utilizaron los datos suministrado por el IDEAM de la estación ISER Pamplona con serie histórica de 1990 hasta mayo de 2020.

Con respecto al cálculo de sequía de la zona de estudio, se utilizó el índice de Martonne o Índice de Aridez (ver ecuación 1), el cual depende del valor de la precipitación media anual y la temperatura media anual.

$$IA = \frac{Pmin}{(T + 10)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, IA -Índice de aridez anual, Pmin -Precipitación mínima anual y T -Temperatura máxima anual.

Una vez aplicada la ecuación 1 para cada uno de los años de la serie en estudio, se obtuvo la clasificación del clima de la zona de estudio (Tabla 1).

Clasificación IM	Intervalo
Desiertos (hiperárido)	0 a 5
Semidesierto (árido)	5 a 10
Semiárido de tipo mediterráneo	10 a 20
Súbhúmeda	20 a 30
Húmeda	30 a 60
Perhúmeda	>60

Tabla 1 Índice de Martonne
Fuente: Instituto de Geografía UNAM (2013)

Así mismo, se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), que evalúa la sequía de una zona teniendo en cuenta el déficit de precipitación. Este índice se halló con los datos que indica la Ecuación 2. Se tuvo en cuenta la serie histórica de la estación ISER, desde 1990 hasta mayo del 2020.

$$SPI = \frac{(X - MX)}{S} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, SPI - Índice Estandarizado de Precipitación, X – Precipitación y MX - Media de la precipitación anual y S - desviación típica serie de precipitaciones anual del periodo considerado.

Luego, de haber obtenido el valor del índice SPI, se realizó la clasificación de cada uno de los valores de la serie histórica (Tabla 2) y posteriormente, se obtuvo la gráfica Precipitación vs. Índice SPI (Grafica 19)

Valor del SPI	Categoría
2.0 o mayor	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
0 a 0.99	Ligeramente húmedo
0 a -0.99	Ligeramente seco
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco (Sequía moderada)
-1.5 a -1.99	Muy seco (Sequía severa)
-2.0 o menor	Extremadamente seco (Sequía extrema)

Tabla 2. Clasificación del índice estandarizado de la precipitación SPI
Fuente: Atlas de sequías de América Latina y el Caribe (2018)

Finalmente, se evaluó el índice hidrotérmico Selyaninov, utilizando los datos de precipitación diaria y temperatura máxima diaria como se muestra en la ecuación 3 para el periodo de los 5 primeros meses de 2020

$$SCC = \frac{\sum Q}{0,1 * \sum T} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

SCC = coeficiente hidrométrico para estación vegetativa, Q = precipitación, T = temperatura

5.3 Evaluación de los factores de riesgos naturales y antrópicos que inciden sobre la calidad del agua de la zona de estudio

La metodología usada para evaluar el riesgo de la cuenca Monteadentro, fue tomada de la OMS, del manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua.

Para la evaluación de riesgos, se realizó una estimación de la probabilidad de un evento, asignándole un valor entre 1 y 5, donde el 1 significa poca probabilidad de ocurrencia y el 5 es un evento que sucede frecuentemente. También se tiene en cuenta la gravedad que ese evento ocasiona y también se le asignan valores entre 1 y 5, donde 1 es un efecto nulo o insignificante y 5 es un efecto catastrófico en la salud pública.

A partir de la información levantada a través de las visitas de campo, se definieron los ítems a evaluar, posteriormente se le asignó un valor de frecuencia a cada uno de ellos y el efecto que tiene la ocurrencia de dichos eventos, para luego determinar el puntaje de riesgo de cada uno de ellos.

El nivel de riesgo (Tabla 3) de cada fuente de peligro, se obtienen del producto entre la probabilidad de ocurrencia de dicho evento y la gravedad del mismo. Finalmente con el valor de riesgo de cada uno de los eventos realizados, se obtiene el promedio de la puntuación de riesgo de la quebrada Monteadentro.

Tabla 3.
Clasificación del riesgo

Puntuación del riesgo	<6	06-sep	sep-15	>15
Clasificación del riesgo	bajo	Medio	Alto	Muy alto

Fuente: OMS (2009)

También se realizó la evaluación del Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano definido por la Resolución 2115 de 2007 usando el promedio de los datos fisicoquímicos proporcionados por Empopamplona.

Para realizar el cálculo del IRCA se les asignó el puntaje de IRCA a aquellos valores que superaron los límites permisibles determinados por ésta norma y posteriormente se sumó cada uno de los puntajes que no cumplía con el valor estipulado, este valor se dividió entre 59.5 que es la sumatoria de los puntajes de riesgo de los parámetros analizados y finalmente se multiplicó por 100, obteniendo el nivel de riesgo.

Luego se evaluó el riesgo de la planta de suministro de agua potable, teniendo en cuenta la resolución 549 de 2017. Primero se evaluó la amenaza, según la tabla 4

Tabla 4
Evaluación de la amenaza

Amenaza	Criterio
Baja	Todos los elementos contaminantes presentan valores menores los aceptables acorde a lo establecido
Alta	Por lo menos uno de los elementos contaminantes presenta un valor igual o mayor a lo máximo aceptable acorde a lo establecido

Fuente: Resolución 549 (2017)

Posteriormente se evaluó la vulnerabilidad, teniendo en cuenta la resolución 549 de 2017 (ver Anexo C). Una vez determinada la amenaza y la vulnerabilidad se determinó el riesgo.

5.4 Análisis estadístico los parámetros hidrometeorológicos, físico-químicos y microbiológicos incidentes en la calidad del agua de la zona de estudio.

De la plataforma del IDEAM, se descargaron datos de variables meteorológicas evaporación, precipitación y temperatura, posteriormente, se utilizó el programa estadístico informático SPSS para realizar la imputación de datos faltantes. Con el software estadístico de Excel, Xlstat se realizó el análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la quebrada Monteadentro proporcionados por Empopamplona, y los parámetros hidrometeorológicos, a un nivel de significancia de 0,05.

5.5 Caracterización morfométrica, de cobertura vegetal, geología y pendientes de la zona de estudio.

Para la elaboración, caracterización físico-morfométrica y los mapas de cobertura vegetal, pendiente y geología, se utilizó el software ArcGis. Para ello, se descargó la plancha 110IIC y las capas temáticas del geoportal del IGAC. Con las herramientas del ArcToolBox como 3D Analysis Tools, Spatial Analysis Tools y Conversion Tools, se realizó la delimitación de la cuenca y luego se usó la herramienta Clip para obtener los mapas temáticos de la cuenca Monteadentro.

Capítulo 4

6. Resultados y análisis

6.1 Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable de Pamplona.

6.1.1 Aspectos técnicos y operativos del sistema de abastecimiento

Con la información obtenida a través de la visita a la planta y a partir de la evaluación de Superservicios a Empopamplona, se encontró la siguiente información en cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento.

Captación. Ésta se hace a través de una rejilla de fondo, el material de la rejilla es de hierro, los barrotes son paralelos al flujo (ver Fotografía 1). La empresa realiza frecuentemente mantenimiento para retirar los sólidos que allí se acumulan.



Fotografía 1. Captación quebrada Monte dentro
Fuente: Gelvez (2020)

Aducción. El agua captada de la Quebrada Monte dentro se conduce en un canal a flujo libre construido en concreto, que conecta la bocatoma con el desarenador (Fotografía 2).



Fotografía 2. Canal de aducción
Fuente: Gelvez (2020)

Desarenador. Empopamplona cuenta con dos desarenadores que permiten la operación del servicio cuando se realizan actividades de limpieza o mantenimiento. Los desarenadores tienen una profundidad de 4.33 m; están construidos en concreto y tienen cuatro zonas definidas: a) Zona de aquietamiento (entrada), b) Zona de sedimentación, c) Zona de lodos, y d) zona de salida de agua. A este sistema frecuentemente se le hace mantenimiento, el cual consiste en retirar arenas, para garantizar la operación óptima de la estructura, sin embargo, esta actividad no es registrada en bitácoras para verificar su ejecución (Fotografía 3).



Fotografía 3. Desarenadores planta Cariongo
Fuente: Gelvez (2020)

Conducción. El agua proveniente de la Quebrada Cariongo es conducida en canal cerrado de concreto, para evitar que lleguen sustancias exteriores al agua que ya tiene un pretratamiento (ver Fotografía 4).



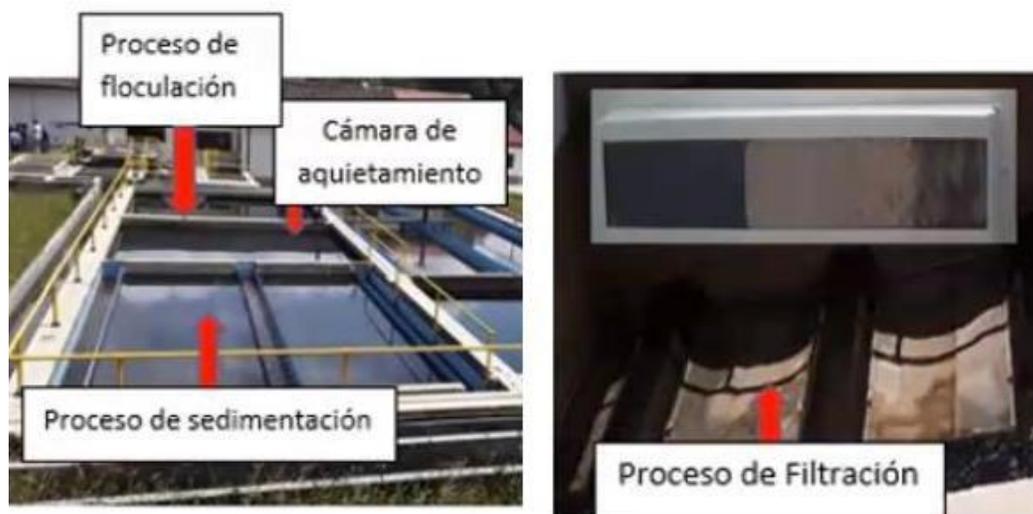
Fotografía 4. Conducción
Fuente: Gelvez (2020)

Tratamiento de agua cruda. El tratamiento utilizado en esta planta es de tipo convencional de funcionamiento hidráulico. En la actualidad, la planta trata un promedio de 100 L/s. Los lodos generados durante el proceso de potabilización del agua son vertidos en la quebrada Monte dentro sin previo tratamiento, lo que deteriora la calidad de éste cuerpo hídrico.

Con la utilización de una canaleta Parshall, se hace medición de caudal. En cuanto a coagulante se usa el policloruro de aluminio (PAC) y antes de aplicarlo, se regula el paso del agua, mediante una válvula de control, con el fin de aplicar la dosis óptima obtenida a partir del ensayo de jarras que se lleva a cabo en el laboratorio de la empresa. El PAC se le adiciona cuando el agua pasa por la garganta de la canaleta Parshall.

El proceso de purificación del agua (Fotografía 5), se hace a través de 4 procedimientos: a) Floculación, para lo cual, la planta cuenta con dos secciones de floculación hidráulica de flujo vertical, que están compuestas por cámaras floculadoras

colocadas en serie, con una pantalla deflectora en cada cámara; b) Sedimentación, se lleva a cabo con dos sedimentadores rectangulares de tipo convencional y láminas de placas paralelas de asbesto-cemento con una inclinación de 60 grados; c) Filtración, la planta cuenta con dos estructuras de filtros rápidos por gravedad con medio filtrante de antracita, arena y grava; Las carreras de filtración suelen ser de 72 horas al igual que el tiempo entre cada lavado, estipulado por el cronograma de mantenimientos; d) Desinfección, se realiza mediante la aplicación de solución de cloro en un tanque donde llega en agua que ha sido filtrada.



Fotografía 5. Procesos de purificación del agua

Fuente: Gelvez (2020)

Tanques de almacenamiento. El almacenamiento se realiza mediante 2 tanques subterráneos y la distribución se hace mediante la gravedad aprovechando la topografía de la ciudad. De acuerdo con señor Luis Fernando Vera Solano, operador de la empresa, los fines de semana desde las 8 am hasta la 1 se presenta el mayor consumo del recurso hídrico en Pamplona, quedando los tanques reguladores vacíos, por tanto deben permitir el paso directo del agua tratada para satisfacer las necesidades de los usuarios. En la fotografía 6 se

observa la entrada al tanque subterráneo



Fotografía 6. Entrada al tanque de almacenamiento

Fuente: Gelvez (2020)

Laboratorio de control de procesos. En el laboratorio de la PTAP se realizan los análisis fisicoquímicos de color, turbiedad, pH, cloro (Cl), dureza, cloruros (Cl-) y alcalinidad. Así mismo, realizan muestreos fisicoquímicos de dos puntos concertados en la red, y una muestra respecto a parámetros microbiológicos.

Con respecto a los análisis microbiológicos, que se realizan se obtiene información de coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos. Éstos análisis se hacen 2 veces al día, uno en la mañana y otro en la tarde.

Para realizar la dosificación del coagulante, se cuenta con el equipo de ensayo de jarras, el cuál es utilizado con más frecuencia en épocas de invierno (ver Fotografía 7).



Fotografía 7. Instalaciones del laboratorio de la planta

Fuente: Gelvez (2020)

Red de distribución. En Pamplona, el sistema de distribución se encuentra dividido en 8 zonas: baja, intermedia, alta norte, occidental, alta occidental, alta oriental, alta nororiental y sur. El abastecimiento de Agua Potable se realiza en su totalidad por gravedad, se cuentan con estaciones de Bombeo que permanecen Stand by para situaciones de emergencia.

6.1.2 Formulario de inspección sanitaria.

Al aplicar el formulario de buenas prácticas sanitarias definido por la resolución 082 de 2009 a la ingeniera Liseth López Areniz, jefe de plantas del sistema de abastecimiento de agua potable Cariongo, se obtiene un concepto favorable, es decir que en general el sistema de suministro de agua para consumo humano cumple con las especificaciones de la normativa anteriormente mencionada.

En cuanto al estado y pertinencia de las instalaciones cumple satisfactoriamente con las buenas prácticas sanitarias, ya que hay vías de acceso en buen estado, la planta cuenta con cerramiento y el estado físico de las edificaciones es bueno (ver Fotografía 8).



Fotografía 8. Estado y pertinencia de las instalaciones
Fuente: Gelvez (2020)

Lo que se refiere a la instrumentación de la planta, ésta cuenta con medición de caudal de ingreso, pero no cuenta con medición de caudal a la salida del mismo, por lo que se realiza un balance de agua, para determinar éste valor. Hay medición de niveles en los tanques y existe control para determinar el momento de lavado de filtros.

Respecto a seguridad industrial y salud ocupacional, cuentan con protocolos de seguridad y salud en el trabajo, además del programa de estilos saludables, los operarios visten uniformes y utilizan elementos de protección y seguridad. No obstante, no cuentan con elementos de control local de emergencias como alarmas sonoras o equipos para detectar escapes de cloro (Fotografía 9).



Fotografía 9. Seguridad industrial y salud ocupacional
Fuente: Gelvez (2020)

En cuanto al manejo de la información y comunicaciones cuentan con planilla de operación para el registro y archivo de la información. Además, de reportes de autocontrol de manera física y virtual. También cuentan con sistema de comunicaciones como teléfono fijo y celulares (Fotografía 10).



Fotografía 10. Manejo de la información y comunicaciones
Fuente: Gelvez (2020)

El laboratorio para control de procesos y calidad de agua para consumo humano, brinda las condiciones de localización, espacio y distribución que deben cumplirse. De igual manera, se efectúa periódicamente la caracterización del agua cruda y su tratabilidad; pero no cuentan con equipos de seguridad propios de ésta instalación como extractores de gases, duchas de seguridad

y lavajos. Además, el laboratorio pertenece al Programa Interlaboratorio de Control de Calidad de Aguas Potables –PICCAP del instituto nacional de salud.

En general, el sistema de distribución cumple con las buenas prácticas sanitarias, ya que existen planos detallados de la red de distribución, cuentan con un programa de medición de presión y hay varios puntos de muestro. También tienen el registro estadístico de las roturas de tuberías y sus causas. Cuentan con geófono para detectar fugas no visibles. También cuentan con equipos y accesorios mínimos para el control de operación de la red como tubos. Sin embargo, la red no está instrumentada, por ejemplo no cuentan con caudalímetro y debe realizarse trabajo manual. Además, el personal encargado de la operación y mantenimiento de la red de distribución no está certificado en sus competencias laborales, esto se debe a que existen problemas con el SENA, porque no se cuenta con el número de personas suficiente para ofertar los cursos (ver Fotografía 11).



Fotografía 11. Almacenamiento de tuberías para atender daños

Fuente: Gelvez (2020)

Finalmente, en lo que se refiere al control de calidad del agua distribuida, existen 21 puntos de muestreo distribuidos y concertados, cuentan con equipos portátiles para la toma de cloro residual y pH.

6.2 Identificación de las amenazas presentes en la cuenca que afectan la calidad del agua.

A partir de la encuesta (Anexo B) aplicada a los habitantes de la vereda Monteadentro, se obtuvo información de los factores antrópicos que afectan la calidad del agua de la quebrada.

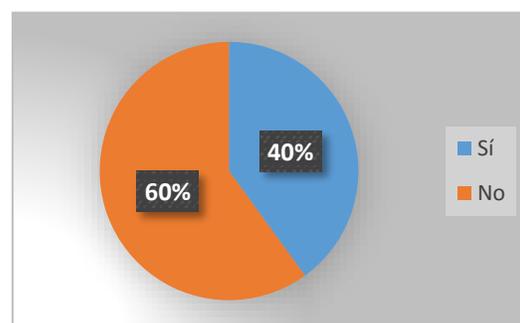
El 60% de la población encuestada, no cuenta con servicio de acueducto, se abastece del agua de una quebrada que no es sometida a un tratamiento mínimo, poniendo en riesgo la salud de la

población (ver Tabla 5, Gráfica 2).

Tabla 5.

Cobertura servicio de acueducto

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	8	40
No	12	60
Total	20	100



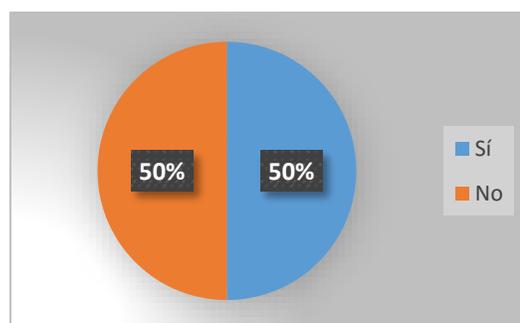
Gráfica 2. Cobertura sistema acueducto

La mitad de la población encuestada no cuenta con el servicio de alcantarillado para disponer sus aguas residuales (ver Tabla 6, Gráfica 3).

Tabla 6.

Cobertura sistema alcantarillado

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	10	50
No	10	50
Total	20	100



Gráfica 3. Cobertura sistema alcantarillado

Quienes no cuentan con el servicio de alcantarillado, utilizan fosas sépticas para disponer las aguas residuales de sus hogares, este hecho puede producir contaminación microbiológica en el cauce de estudio, si no se le hace un adecuado mantenimiento a éstas estructuras (Tabla 7, Gráfica 4).

Tabla 7.

Disposición de aguas residuales

Opción	Cantidad	Porcentaje
Directamente a la quebrada	0	0
Fosas sépticas	10	100
Otra	0	0
Total	10	100



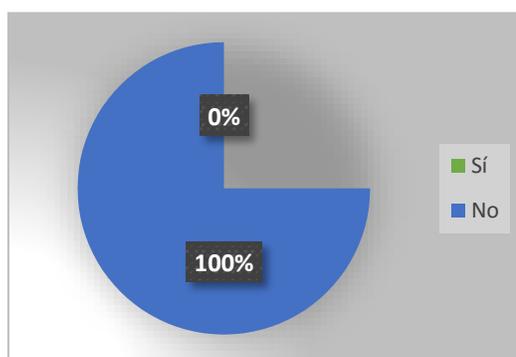
Gráfica 4. Disposición de aguas residuales

Todas las personas encuestadas niegan haber tirado basura directamente a la quebrada alguna vez, se evidencia que tienen conciencia ambiental y les parece de mal gusto hacer esto (ver Tabla 8, Gráfica 5).

Tabla 8.

Disposición de basura en la quebrada

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sí	0	0
No	20	100%
Total	20	100%



Gráfica 5. Disposición de basura en la quebrada

El 75% de la población encuestada cuenta con el servicio de aseo urbano, quienes no cuentan con éste servicio disponen los residuos sólidos que se generan en sus hogares, quemándolos. Y en cuanto a la materia orgánica, ésta es usada como abono para sus cultivos y para alimentar algunos animales (ver Tabla 9, Gráfica 6).

Tabla 9.
Disposición de residuos sólidos

Opción	Cantidad	Porcentaje
Aseo urbano	15	75
Directamente a la quebrada	0	0
Los entierra	0	0
Los quema	5	25
Total	20	100

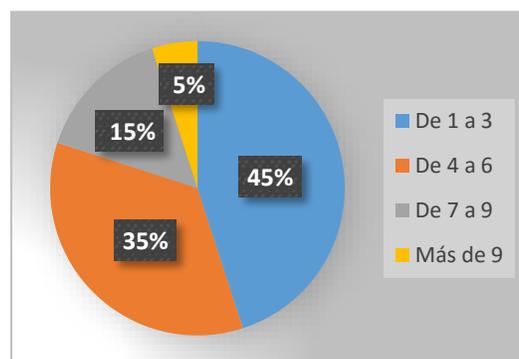


Gráfica 6. Disposición de residuos sólidos

La mayor parte de las viviendas encuestadas no son numerosas en habitantes, la cantidad de personas por vivienda oscila entre 2 y 6 (ver Tabla 10, Gráfica 7)

Tabla 10.
Número de hab/vivienda

Opción	Cantidad	Porcentaje
De 1 a 3	9	45
De 4 a 6	7	35
De 7 a 9	3	15
Más de 9	1	5
Total	20	100



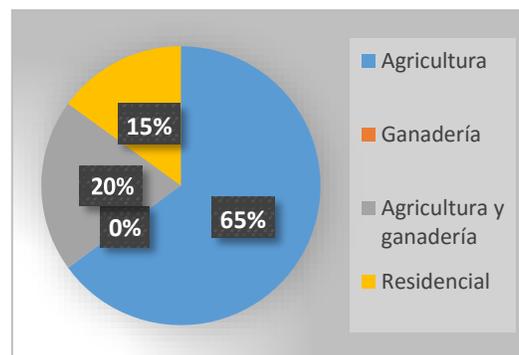
Gráfica 7. Número de hab/vivienda

El 65% de los encuestados se dedica a la agricultura, poseen cultivos de fresa, cilantro, papa, arveja, tomate de árbol, maíz, hortalizas y papa amarilla. Los agricultores argumentan que es fundamental la aplicación de diferentes sustancias, como herbicidas, insecticidas, fungicidas, fertilizantes químicos y sustancias orgánicas en los cultivos, para aumentar la producción, mantenerlos a salvo de las plagas y mejorar la fertilidad de los suelos, algunas de las marcas más usadas para ésta labor son: Mancozeb, Soluplant, Monitor, Crecer 500, , fipronil y gallinaza: estas sustancias pueden llegar a la quebrada por escorrentía agrícola, alterando su calidad. Por otra parte, ningún habitante encuestado se dedica únicamente a la ganadería, y sólo el 15% tiene un uso residencial, que corresponde a la parte baja de la vereda (ver Tabla 11, Gráfica 8).

Tabla 11.

Uso del suelo

Opción	Cantidad	Porcentaje
Agricultura	13	65
Ganadería	0	0
Agricultura y ganadería	4	20
Residencial	3	15
Total	20	100



Gráfica 8. Uso del suelo

En la Tabla 12, se observan las principales características de los agroquímicos utilizados en la vereda Monteadentro y los efectos que tienen sobre el ambiente.

Tabla 12

Caracterización de agroquímicos en la vereda Monteadentro y sus efectos sobre el ambiente

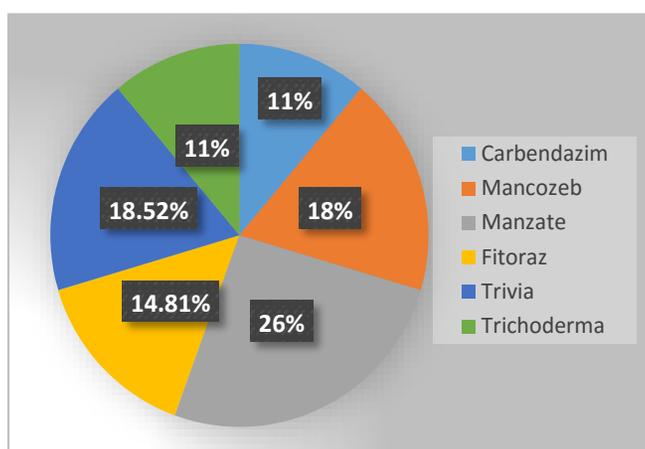
Tipo Agroquímico	Nombre	Clasificación Toxicológica	Beneficios	Información ecológica
Fungicida	Carbendazim	III Poco peligroso	Este fungicida es de rápida penetración, amplio espectro y efecto preventivo-curativo (Arysta, 2019).	El Carbendazim presenta alta persistencia en suelos, además es poco soluble en agua a diferentes pH a 20°C. y es estable en hidrólisis lo que indica que presenta alta persistencia en agua (MAVDT, 2008).
	Mancozeb	III Poco peligroso	Es protector efectivo contra una amplia gama de enfermedades fungosas de las plantas. Actúa por estricto contacto con las esporas del hongo sobre la superficie del tejido a proteger (Aragro, 2011).	Es tóxico para peces, daphnias, algas, aves y abejas (Aragro, 2011).
	Manzate	III Poco peligroso	Previene el desarrollo de múltiples enfermedades. Su formulación polvo mojable es de rápida humectación y suspensibilidad permitiendo la estabilidad del ingrediente activo (Arysta 2019).	Presenta toxicidad en peces y abejas. Además, no es persistente en suelos (Arysta 2019).
	Fitoraz	III Poco peligroso	Fungicida sistémico local, con acción preventiva, curativa y erradicativa de la Mancha, Alternaria, Peronospora y Plasmopara en los cultivos de papa, tomate, cebolla y cucurbitáceas (Bayer CropScience, 2015).	Este fungicida es tóxico para peces, plantas acuáticas, invertebrados acuáticos (Bayer CropScience, 2015).
	Trivia	III Poco peligroso	Es un fungicida preventivo-curativo por las características que le dan sus ingredientes activos; Propineb un inhibidor multisitio y Fluopicolide con acción en proteínas específicas (Crop Science, 2018).	No contaminar lagos, ríos, estanques ni arroyos con desechos o envases vacíos (Crop Science, 2020).

	Trichoderma	IV Producto que normalmente no ofrecen peligro	Tiene alta capacidad reproductiva, habilidad para sobrevivir bajo condiciones ambientales desfavorables, eficiencia en la utilización de nutrientes, capacidad para modificar la rizósfera, fuerte agresividad contra hongos fitopatógenos y eficiencia en promoción del crecimiento en plantas e inducción de mecanismos de defensa (Intagri, 2016).	El hongo Trichoderma sp no muestra toxicidad en mamíferos. Se considera un producto no tóxico ni alergénico, y es inocuo para artrópodos útiles, abejas y abejorros (Perkinsltda, 2018).
Insecticidas	Fipronil	II Moderadamente peligroso	Actúa por contacto e ingestión sobre diversas plagas. Tiene acción translaminar. Proporciona un tiempo prolongado de efectivo control de las plagas (Adama, 2016).	Muy tóxico para los organismos acuáticos. Puede causar a largo plazo efectos nocivos a los organismos acuáticos (Adama, 2016).
	Clorpirifos	II Moderadamente peligroso	Inhibe la acción de la acetilcolinesterasa mediante la combinación con esta enzima, esto resulta en una excesiva transmisión de impulsos nerviosos, parálisis y finalmente la muerte de los insectos (Arysta, 2017).	Es una sustancia muy tóxica para la acuicultura (peces), abejas y algas acuáticas. No se disuelve fácilmente en agua (bvsde, 2016).
	Monitor	I A Extremadamente tóxico	Contribuye al control de plagas como Alabama argillacea, Aphis gossypii, Aphis sp., Artogeia rapae, Bemisia tabaci, Brevicoryne brassicae, Copitarsia consueta, Creontiades sp., entre otras (Portal TenoAgrícola, 2019).	Presenta ecotoxicidad acuática y terrestre, es altamente móvil en suelos arcillosos y limosos; es extremadamente tóxico para pájaros y demás vida silvestre (Arysta, 2015).
	Lorsban	III Poco peligroso	Tiene un amplio espectro y es recomendado para el control de plagas en diversos cultivos (Dow Agro Sciences, 2016).	Altamente tóxico para las aves y tóxico para abejas (Dow Agro Sciences, 2016)
	Lannate	I B Muy peligroso	Actúa en el control de un amplio espectro de insectos. Su forma fundamental de actuar es por contacto y acción estomacal. Este insecticida no solamente actúa sobre larvas de insectos sino también sobre algunos adultos y algunos huevos próximos a eclosión (Dupont, 2014).	Este plaguicida es tóxico a peces, invertebrados acuáticos y mamíferos y es altamente tóxico a abejas expuestas a tratamiento directo durante la floración de cultivos o malezas (Dupont, 2014).
	Soluplant	IV Producto que normalmente no ofrecen peligro	Soluplant aporta nutrientes en formas completamente solubles y fácilmente asimilables para la planta (Interempresas, 2017).	Evite verter el fertilizante Soluplant directamente a cuerpos de agua (Agroactivo, 2016)
Fertilizantes	Abono triple 15	III Poco peligroso	Satisface las necesidades nutritivas de la planta de forma equilibrada (Gardencenter, 2018).	Lentamente puede liberar amoníaco y degradarse a nitrato.
	Crecer 500	III Poco peligroso	Ayuda a recuperar plantas en condiciones de estrés ocasionado por toxicidad (plaguicidas), sequía temporal, encharcamiento transitorio y heladas (Microfertisa, 2016).	No es un producto tóxico ni para el suelo ni las plantas, por lo tanto no tiene efectos ecotóxicos ni biológicos (Microfertisa, 2014).

	Coljap florescencia	III Poco peligroso	Permite reforzar los contenidos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la planta de una forma armónica y equilibrada en la etapa crítica de prefloración, floración e inicio de formación de frutos (Arysta, 2017).	Se debe evitar verter el producto por los canales de agua lluvia o al suelo (Arysta, 2014), ya que puede generar afectaciones a los recursos naturales.
Sustancias orgánicas	Gallinaza	III Poco peligroso	Aporta de nitrógeno, además de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos micronutrientes. Su aplicación al suelo también aumenta la materia orgánica, fertilidad y calidad del suelo (Intagri, 2016).	Contribuye a la degradación de las aguas superficiales y subterráneas debido a los nutrientes y microorganismos patógenos presentes en los desechos avícolas (Avicultura, 2017).
	Grossor K	III Poco peligroso	Garantiza una óptima producción y llenado de frutos (Soluciones nutritivas, 2016).	Evite verter Grossor K directamente a cuerpos de agua (Agroactivo, 2016)

Fuente: Gelvez (2020)

Entre los fungicidas usados en la vereda Monteadentro, tiene un mayor uso el Manzate (ver Gráfica 9), y de acuerdo a Bindali y Kaliwal (2002), aunque tiene baja toxicidad en mamíferos, la exposición alta o repetida a éste fungicida puede interferir con la biología reproductiva. Además, Fatma, *et al.*, (2017), argumentan que el fungicida mancozeb es un agente clastogénico. Por lo tanto, las diferentes concentraciones utilizadas en el campo podrían ser perjudiciales para los receptores finales de la cadena alimentaria y necesitan un monitoreo y manejo constantes para el mejor desarrollo de las plantas de cultivo.

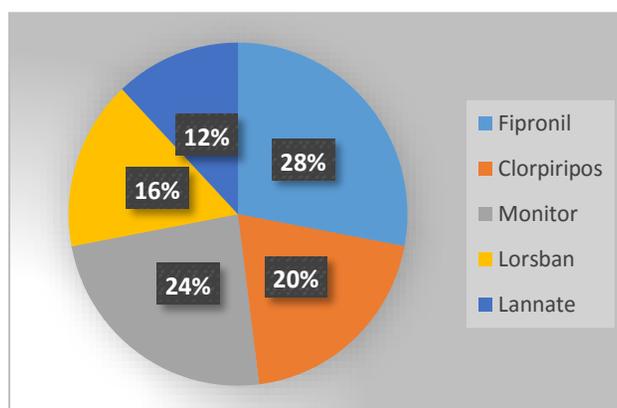


Gráfica 9. Fungicidas utilizados en la vereda Monteadentro
Fuente: Gelvez (2020)

En cuanto a insecticidas, en la vereda Monteadentro el más utilizado es el Fipronil, seguido de Monitor (ver Gráfica 10), de acuerdo a la tabla 9 éste último es extremadamente tóxico y puede tener consecuencias sobre el ambiente. Por otra parte, de acuerdo a Earth Justice (2017), el insecticida Clorpirifós es extremadamente tóxico y está altamente asociado a daños en el desarrollo neurológico en niños. Las exposiciones prenatales al clorpirifós pueden fomentar nacimientos de bajo peso, disminuir el

coeficiente intelectual, ocasionar trastornos de atención y retrasos en el desarrollo motor en los infantes. El clorpirifos que se ha aplicado al suelo, por lo general, permanece en el área donde fue aplicado porque se adhiere firmemente a las partículas del suelo.

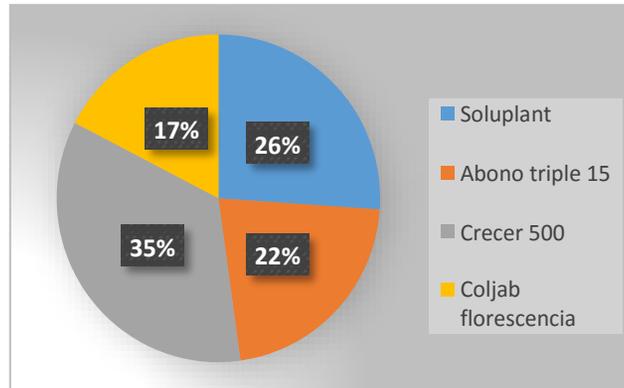
Teniendo en cuenta lo anterior, si no se le da un adecuado uso tanto a la aplicación como a la disposición final de los envases de éstas sustancias, puede tener consecuencias graves no sólo para el agua, el suelo y los animales, sino también para la salud humana.



Gráfica 10 Insecticidas utilizados en la vereda Monte dentro
Fuente: Gelvez (2020)

El fertilizante de mayor uso es Crecer 500, seguido de Soluplant (ver Gráfica 11) y de acuerdo a Martínez (2018), los efectos de los fertilizantes químicos sobre el medio ambiente están ampliamente probados y son incuestionables, su uso conlleva un riesgo elevado de daños ambientales, como son la contaminación de las aguas subterráneas y del suelo sobre los que se aplican; también tienen implicaciones sobre la salud humana. Por otra parte, Grupo Sacsa (2015), argumentan que los fertilizantes pueden causar la infertilidad del suelo a través del aumento de la acidez de los mismos. Muchos fertilizantes químicos contienen ácido sulfúrico y clorhídrico, que si se usan en exceso pueden causar un grave daño a los microorganismos.

Esto puede tener un grave impacto en el pH del suelo y afectar negativamente el crecimiento de la planta (ver Gráfica 11).



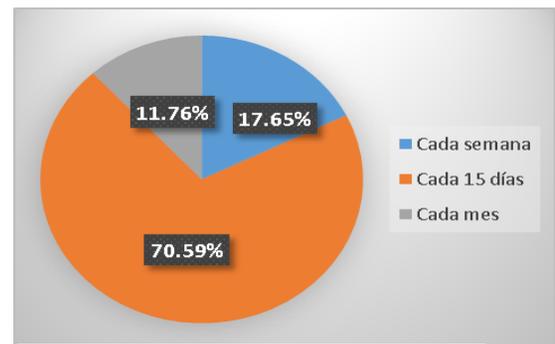
Gráfica 11. Fertilizantes utilizados en la vereda Monteadentro
Fuente: Gelvez (2020)

El 70.59% de los agricultores aplican las diferentes sustancias frecuentemente, cada 15 días a sus cultivos, para garantizar los nutrientes necesarios en el desarrollo eficiente de los mismos y así mismo contrarrestar las plagas. La frecuencia de la aplicación de estas sustancias también depende del tipo de cultivo (ver Tabla 13 Gráfica 12).

Tabla 13.

Frecuencia de aplicación agroquímica

Opción	Cantidad	Porcentaje
Cada semana	3	17.65
Cada 15 días	12	70.59
Cada mes	2	11.76
Total	20	100



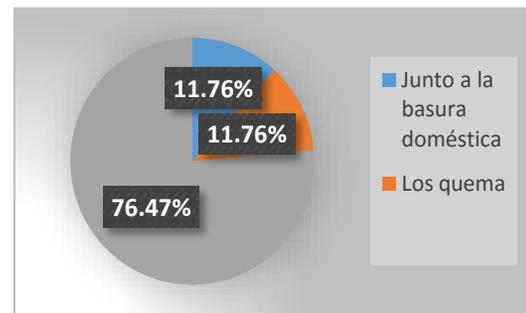
Gráfica 12. Frecuencia de aplicación de agroquímicos

La mayor parte de las personas encuestadas, que se dedican a la agricultura de la vereda Monte dentro disponen los empaques de las diferentes sustancias químicas aplicadas a los cultivos con la empresa Bioentorno que le da una adecuada disposición a los residuos peligrosos y los recolecta una vez al mes (ver Tabla 14. Gráfica 13).

Tabla 14.

Disposición de empaques de sustancias aplicadas a cultivos

Opción	Cantidad	Porcentaje
Junto a la basura doméstica	2	11.76
Los quema	2	11.76
Servicio especial	13	76.47
Total	20	100

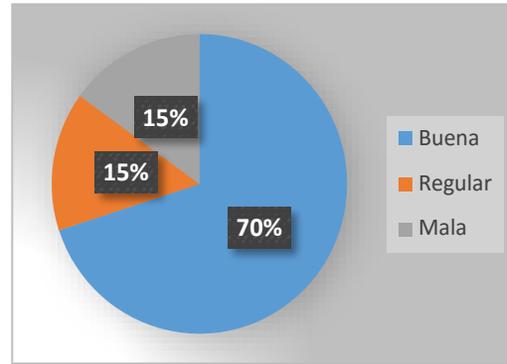


Gráfica 13. Disposición de empaques de sustancias aplicadas a cultivos

La mayor parte de los encuestados tienen una percepción buena de la calidad del agua de la quebrada Monte dentro, que corresponden a las personas ubicadas en la parte alta de la vereda. Quienes tienen una percepción mala y regular son las personas asentadas la parte baja de la vereda, debido a que en éste tramo se realizan vertimientos, incluyendo los de la planta Monte dentro cuando se realiza su lavado (ver Tabla 15, Gráfica 14).

Tabla 15.*Percepción calidad del agua*

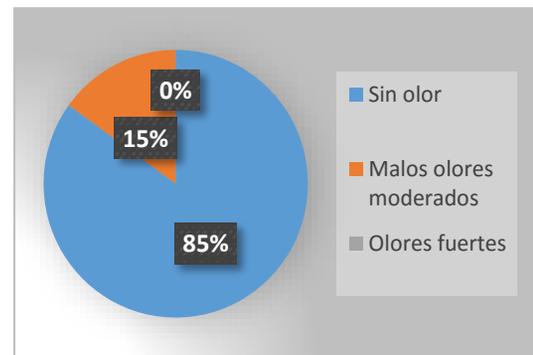
Opción	Cantidad	Porcentaje
Buena	14	70
Regular	3	15
Mala	3	15
Total	20	100

**Gráfico 14.** Percepción calidad del agua

El 85% de las personas tienen una percepción favorable en cuanto al olor del río, quienes consideran que se presentan malos olores argumentan que en épocas de verano es donde se evidencia éste hecho (ver Tabla 16, Gráfico 15).

Tabla 16.*Percepción del olor de la quebrada*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Sin olor	17	85
Malos olores moderados	3	15
Olores fuertes	0	0
Total	20	100

**Gráfico 15.** Percepción del olor de la quebrada

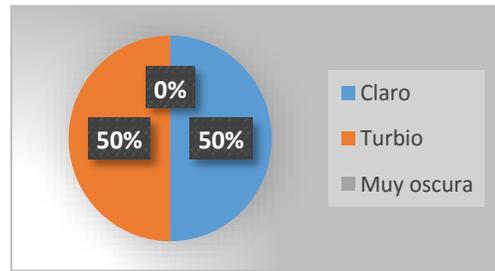
En cuanto al color de la quebrada, el 50% de los encuestados consideran que es claro. Por otra parte, el porcentaje restante considera que el color del agua del cuerpo hídrico es turbio, especialmente en épocas de lluvia. Quienes tienen una buena percepción de la quebrada, son las personas asentadas en la parte alta de la misma, a medida que se va recorriendo el cauce hacia abajo la percepción del color del agua de

la quebrada aumenta, debido a la acción antrópica. Además, debido al vertido de los lodos de la planta Monteadentro, aumenta de la turbiedad de la quebrada (Tabla 17, Gráfica 16).

Tabla 17.

Percepción del color de la quebrada.

Opción	Cantidad	Porcentaje
Claro	10	50
Turbio	10	50
Muy oscura	0	0
Total	20	100



Gráfica 16. Percepción del color de la quebrada.

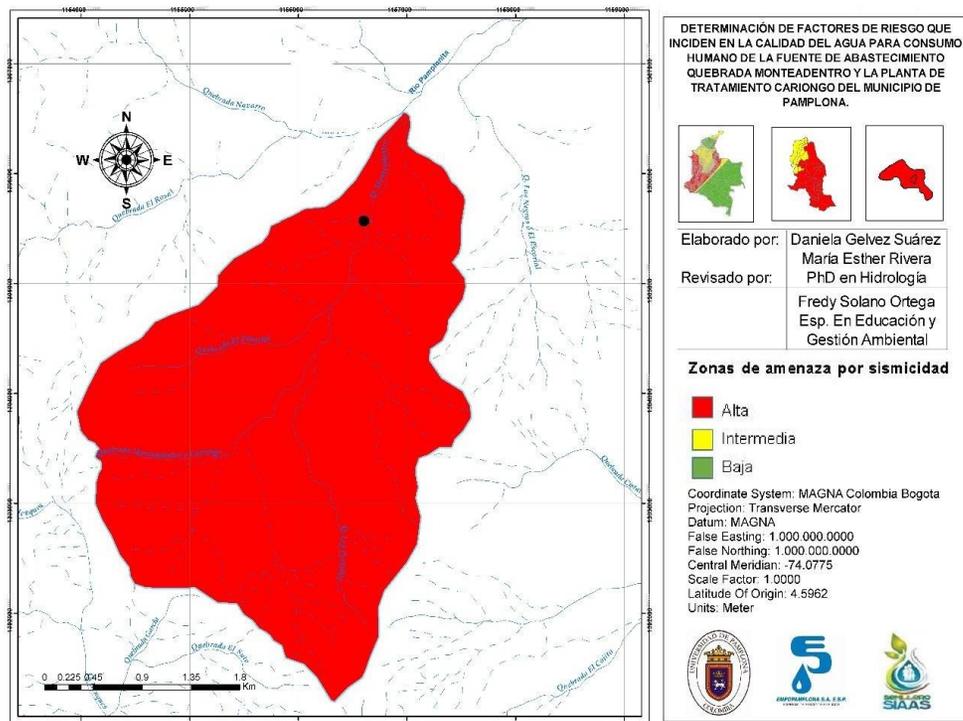
En cuanto a amenazas naturales, según Delgado (2011), en la quebrada Monteadentro existe amenaza a creciente por aumento en el caudal aportado por las Quebradas Cariongo y Piñuelal. De acuerdo a esto, en épocas de invierno, es decir, de marzo a junio y de septiembre a noviembre hay una mayor susceptibilidad de que aumenten los sedimentos o materia suspendida, alterando las características del cauce.

De acuerdo con Caracol Radio (2017), es relevante mencionar que el fenómeno de eventos extremos por lluvia ocurridos, ocasionaron una avenida torrencial por acumulación de desechos vegetales sobre la quebrada Monteadentro. Así mismo, el aumento de los niveles del agua de la quebrada, sedimentos, se debió suspender el servicio de acueducto para toda la población pamplonesa, durante varias horas. Como medida preventiva, se desalojó a los habitantes de la zona de estudio (ver Fotografía 12).



Fotografía 12. Afectación en la vereda Monteadero por creciente súbita
Fuente: Caracol Radio (2017)

Por otro lado, la vereda Monteadero junto con el municipio de Pamplona, presenta una clasificación alta en cuanto a sismicidad (PBOT, 2015) lo que favorece los procesos de remoción en masa y de erosión, afectando la estabilidad de taludes que pueden desprenderse y afectar la calidad del agua de la quebrada de estudio (ver Mapa 2).

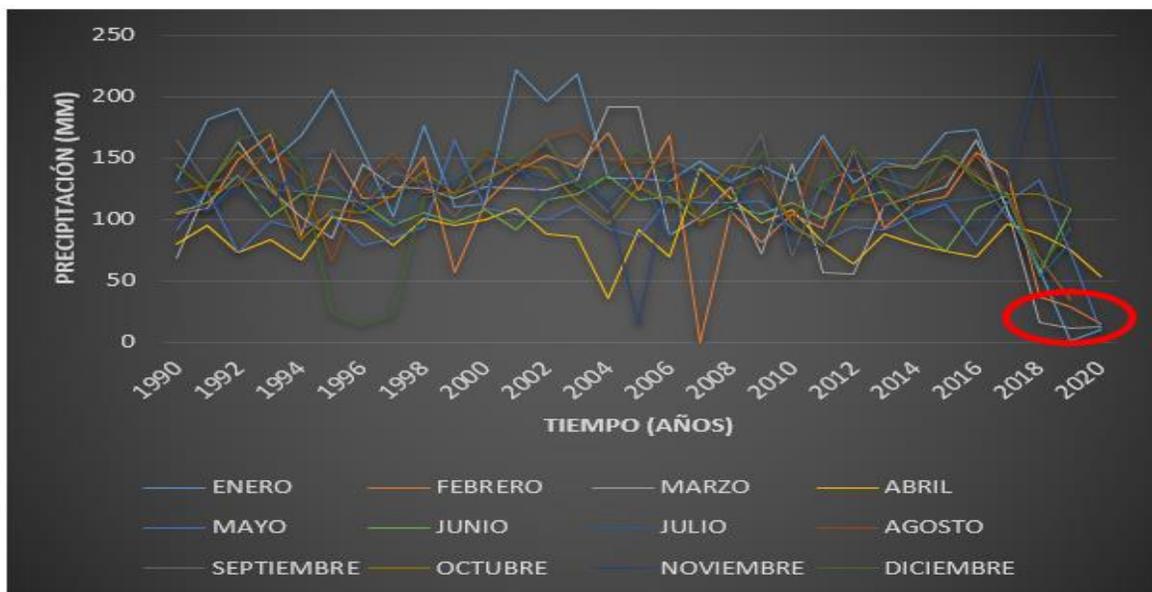


Mapa 2. Zonas de amenaza por sismicidad

Fuente: Elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información obtenida del IGAC Y del PBOT (2015)

En la Gráfica 17 se observa el comportamiento temporal de la precipitación, determinando que en los años 1995 a 1997, 2005, 2007 y 2019 se presentó valores bajos de lluvia, lo cual se pudo deber al efecto del fenómeno del niño, es decir pocas precipitaciones y aumento drástico de la temperatura. A partir del 2018 al 2020 se observan bajas precipitaciones como se muestra en el círculo rojo, generando una disminución en los niveles del agua de la quebrada en estudio, indicando un riesgo en el abastecimiento del recurso hídrico.

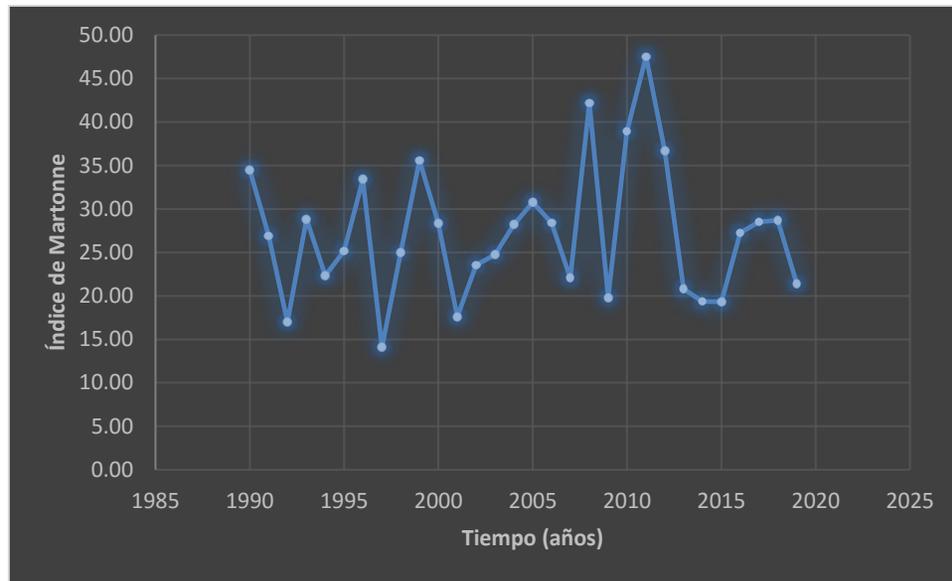
En contraste, los picos más altos se sitúan en los años 1995, 2001 a 2003, 2010 y 2018 que corresponden al fenómeno de la Niña, donde ocurre un aumento en las precipitaciones y un descenso en la temperatura. Durante estos periodos, en la cuenca Monteadentro fue más susceptible al arrastre de sedimentos y material vegetal que afectan la calidad del agua. Además las continuas lluvias propician el fenómeno de la erosión en la cuenca de estudio.



Gráfica 17. Comportamiento temporal de las precipitaciones Estación ISER Pamplona
Fuente: elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información suministrada por el IDEAM

Al evaluar el índice bioclimático de Martonne, se obtuvo una clasificación de semiárido para los años 1992, 1997, 2001, 2009, 2014 y 2015, lo cual se relaciona con la gráfica anterior, en cuanto

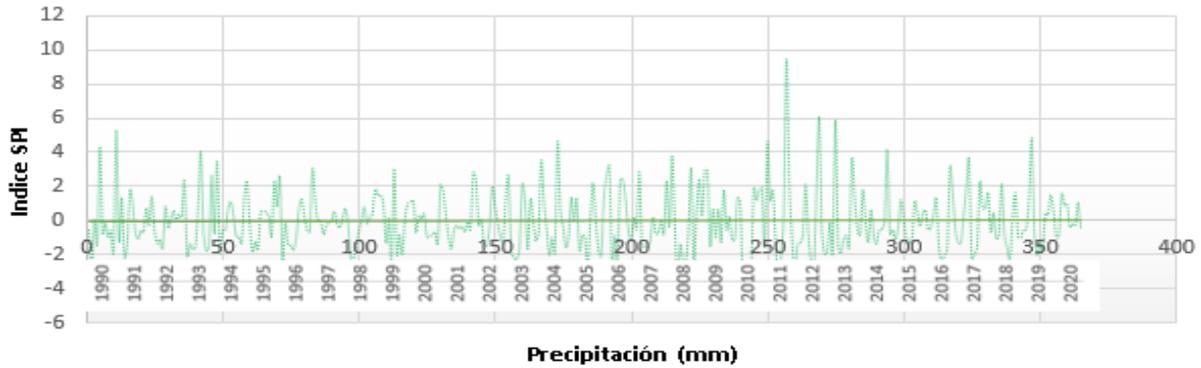
a la disminución drástica de precipitación. Por otra parte, los valores que más sobresalen están comprendidos entre los años 2010 y 2012, que corresponde con un índice de Martonne húmedo (ver Gráfica 18).



Gráfica 18 Índice de Martonne para la zona de estudio

Fuente: elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información suministrada por el IDEAM

De la gráfica 19 se obtuvo una clasificación entre extremadamente seco y muy seco para los años de 1992, 1997, 2001, 2007, 2014, 2015, al igual que para los cinco primeros meses del año 2020, que corresponde al periodo de estudio, lo cual está relacionado con los racionamientos del recurso hídrico que ha realizado la Empresa de Servicios Públicos Empopamplona por los bajos caudales de las fuentes abastecedoras entre ellas la quebrada Monte dentro (ver Imagen 1). Por otra parte se presentaron periodos húmedos el que más destaca es el del año 2011, cuando ocurría el fenómeno de la niña.



Gráfica 19. Índice de escasez, estación ISER Pamplona

Fuente: elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información suministrada por el IDEAM

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.
#QuedateEnCasa
PLAN DE CONTINGENCIA ABRIL - MAYO 2020
BARRIOS ZONA BAJA
SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE AGUA
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES - 10:00 A.M. a 7:00 P.M.

Centro	Plazuela Bolívar
Calle Real	San Agustín P. Baja
Plazuela Almeyda	Clinica
Plaza de Mercado	Bomberos
Santo Domingo	Pasaje Florian
Hospital	San Francisco
Camellón	Pasaje San Fermin
Chichira	Pasaje 4 de Julio
Humilladero	Carmelitano
Avenida Celestino	Chapinero
Tinto Redondo P. Baja	Salsamentaria
La Zona	Ursúa
Los Cerezos	Galán P. Baja

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.
#QuedateEnCasa
PLAN DE CONTINGENCIA ABRIL - MAYO 2020
BARRIOS ZONA ALTA 1
SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE AGUA
MARTES, JUEVES Y SÁBADO - 7:00 A.M. a 7:00 P.M.

Cristo Rey
Nuevo Amanecer
Villa Cristina
Simón Bolívar
Mirador Cristo Rey
Brisas del Pamplonita
Sagrada Familia
Villa Salomé
Alianza Parte Alta
Bella Vista
Vereda Alcaparral

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.
#QuedateEnCasa
PLAN DE CONTINGENCIA ABRIL - MAYO 2020
BARRIOS ZONA ALTA 2
SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE AGUA
LUNES, MIÉRCOLES Y VIERNES - 7:00 A.M. a 7:00 P.M.

Arenal
Campus Universitario
Juan XXIII
Alianza Parte Baja
Curva
Humilladero Parte Alta
Galán Parte Alta
Buque - Calle 4
Colinas del Norte

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.
#QuedateEnCasa
PLAN DE CONTINGENCIA ABRIL - MAYO 2020
BARRIOS ZONA INTERMEDIA
SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE AGUA
MARTES, JUEVES Y SÁBADO - 10:00 A.M. a 7:00 P.M.

Avenida Santander	Salida Bucaramanga
Los Alpes	Los Treces
Díaz Parada	Brighthon
La Fosforeria	El Guamo
Casas Fiscales	Paso del Burro
Cárcel Modelo	San Ignacio
Batallón G. Rovira	El Buque
La Esperanza	Arenal P. Baja
Bavaria	Tinto Redondo
La Romero	Campoamor
Los Sauces	Ciudadela Universitaria
Hilda Maria	El Carmen
Barrio Afanador	Pasaje Caicedo
Seminario Menor	Pasaje Los Abuelos
El Pilar	SENA Industrial
Augusto Ramirez	ISER
Patolandia	San Martín
Las Américas	San Rafael
San Agustín P. Alta	Escuela 4 de Julio
Los Pinos	El Contento
Los Olivos	Águeda Gallardo
Galán P. Alta	Benhabitac
Centro de Acopio	Villa Veronica
Terminal Transportes	Villas Juan de Dios

Imagen 1. Horarios de suspensión del servicio de Acueducto

Fuente: Empopamplona (2020)

Al evaluar el coeficiente hidrotérmal de Selyaninov, se obtuvo un valor de 0.785 lo que corresponde al límite entre estepa seca y estepa típica que se caracteriza por tener vegetación herbácea.

6.3 Evaluación de los factores de riesgos naturales y antrópicos que inciden sobre la calidad del agua de la zona de estudio

En la Tabla 18, se muestra la clasificación de riesgo para cada evento evaluado y finalmente, el riesgo promedio al que está expuesta la quebrada Monteadentro.

Tabla 18.
Cálculo del riesgo de la quebrada Monteadentro

Evento	Tipo de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación del riesgo	Observaciones
Pozos sépticos de las viviendas	Microbiológico	2	4	8	Medio	Gran cantidad de personas de la zona de estudio, dispone sus aguas residuales usando pozo séptico. Si no se le hace un adecuado mantenimiento, su contenido se puede infiltrar hasta llegar a la quebrada.
Sobrepastoreo de ganado	Microbiológico	1	2	2	Bajo	La actividad ganadera no es masiva en la vereda Monteadentro.
Disposición final de envases de agroquímicos utilizados en los cultivos de la zona de estudio	Físico	1	4	4	Medio	La mayoría de los habitantes dispone de los envases de las sustancias de agroquímicos con el servicio especial que ofrece la empresa Bioentorno
Arado y surcado de la tierra	Físico	3	2	6	Medio	Se realiza el surcado de la tierra para cultivar y esto aumenta la sedimentación en el agua.
Aplicación de plaguicidas	Químico	3	4	12	Alto	Con el fin de aportarle los nutrientes necesarios a los cultivos y asegurar la eliminación de plagas, frecuentemente se aplican diferentes sustancias, mayormente químicas.
Variaciones estacionales	Natural	3	2	6	Medio	La variación en el tiempo de las condiciones climáticas fomenta los cambios en la calidad del agua de la fuente hídrica de estudio.
Precipitación	Natural	4	2	8	Medio	La ocurrencia de precipitación produce cambios de la calidad del agua de manera abrupta, produciendo el aumento de turbiedad y el color del cauce. Además, favorece el arrastre de sedimentos y materia orgánica, afectando la calidad del agua de la quebrada.
Sequía	Natural	3	3	9	Alto	La quebrada Monteadentro presenta un nivel de agua bajo, debido a las diferentes captaciones que se hacen de ella, además el fenómeno del Niño remarca éste fenómeno, lo que disminuye la oferta del recurso hídrico y favorece la sedimentación del cauce.

Sismos	Natural	3	2	6	Medio	La vereda Monteadentro se encuentra en una zona de alta sismicidad, lo que ocasiona el desprendimiento de taludes que pueden llegar al cauce y afectar su calidad.
Promedio del nivel de riesgo				7	Medio	La cuenca posee un nivel de riesgo Medio, es decir, se deben tomar medidas para contrarrestar los eventos que afectan negativamente la calidad del agua y que pueden representar un peligro para la población que se abastece de la quebrada Monteadentro.

Fuente: Gelvez (2020)

A partir de la Tabla 18, se obtiene que la cuenca está expuesta a un nivel de riesgo medio, es decir, que los diferentes factores antrópicos y naturales que inciden sobre ella, alteran la calidad del agua, poniendo en peligro a la población que se abastece de ella, por tanto, la autoridad ambiental municipal y Empopamplona, deben vigilar y monitorear constantemente las diferentes actividades con el fin de velar por la calidad del agua y la salud de las personas.

En la Tabla 19 se evaluó el IRCA con los parámetros disponibles de la calidad del agua. Los parámetros que superan el valor admisible son turbiedad, coliformes totales y E-coli debido a la acción antrópica a la que es sometida la fuente hídrica de estudio.

Tabla 19.

Sumatoria del puntaje de riesgo de las muestras

Parámetro	Valor admisible	Resultado obtenido	Puntaje IRCA
PH	6-9	7.65	0
Turbiedad	2	22.40	15
Coliformes totales	0 UFC/100 cm ³	2299.84	15
E-coli	1 UFC/100 cm ³	927.77	25
Cloruros	250	12.80	0
Dureza	300	24.44	0
Alcalinidad	200	27.97	0
Total puntaje IRCA			55

Fuente: Gelvez (2020)

Se obtuvo un nivel de riesgo alto (ver Tabla 20), esto indica que el agua de la quebrada Monte dentro sin un tratamiento previo no es apta para el consumo humano.

Tabla 20

Nivel del riesgo

Puntaje total IRCA	IRCA	Nivel de Riesgo
55	92.44%	ALTO

Fuente: Gelvez (2020)

De acuerdo a la Resolución 549 de 2017, se determinó que la quebrada Monte dentro, posee una amenaza alta, debido a que según las características físico-químicas y microbiológicas, entregadas por Empopamplona, 3 de ellas presentan valores por encima de lo aceptable, que corresponden a turbiedad, coliformes totales y coliformes totales.

Por otro lado, teniendo en cuenta la resolución 549 de 2017, se evaluó la amenaza de acuerdo a la Tabla 4, y se determinó una amenaza alta, ya que de acuerdo a las características de la quebrada Monte dentro aportadas por Empopamplona 3 de éstas sobrepasan el valor admisible establecido por la norma 2115 de 2007. Además, se determinó que el sistema de suministro de agua para consumo humano es vulnerable, debido a que se obtuvieron más de dos factores con respuestas negativas, lo que implica que algunos de los elementos evaluados no son funcionales (ver Anexo C). Finalmente, de acuerdo a esta normativa se determinó que la PTAP presenta un riesgo alto.

6.4 Análisis estadístico de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de la fuente hídrica y las variables hidrometeorológicas.

A partir de los datos desde 2015 hasta abril de 2020 de las variables fisicoquímicas, microbiológicas del agua de la quebrada Monte dentro e hidrometeorológicas de la zona de estudio se realizaron el análisis de componentes principales y el análisis de correlación hallando los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 21.

Análisis de componentes principales

	Componente				
	1	2	3	4	5
Temperatura	-.133	.092	.554	.058	.044
Ph	.066	.089	.046	.518	-.203
Turbiedad	-.043	.231	.102	-.588	-.093
Coliformes totales	.036	.471	.152	-.116	.062
Ecoli	-.074	.554	-.182	.066	-.069
Cloruros	.450	.007	-.009	.049	-.011
Dureza	.412	.023	-.021	.159	.062
Alcalinidad	-.062	.087	-.441	.069	.063
Precipitación	.080	-.038	.223	.020	-.631
Evap	-.431	.244	.093	.421	.208
Tmax	.054	-.061	.213	-.028	.591

Fuente: Elaborado en SPSS por Gelvez (2020)

De la Tabla 21, se infiere que las variables se agrupan en cinco grandes grupos:

a) Componente 1: La asociación de variables Cloruros y dureza ya que de acuerdo a Soto (2010), la dureza del agua es producida por sales fijas como los cloruros (Cl⁻), y éstos son producto de los agroquímicos utilizados en los diferentes cultivos de la quebrada.

b) Componente 2: Asociación entre turbiedad, coliformes totales y E.coli. De acuerdo a Guzmán, *et al.*, (2015), estos parámetros están relacionados con la carga de materia orgánica del agua, esto es debido a que las diferentes actividades que se llevan a cabo alrededor de la cuenca. Por ejemplo, algunas heces del ganado pueden llegar al cauce, lo que afecta la claridad del agua.

c) Componente 3: Asociación entre temperatura y precipitación, ya que cuando ocurre la precipitación, disminuye la temperatura.

d) Componente 4: Asociación entre pH y precipitación, se debe a que la precipitación arrastra diferentes sustancias de origen antrópico y natural que alteran el pH de la fuente hídrica

E) Componente 5: Asociación entre evaporación y temperatura máxima, esto es porque al aumentar la temperatura de la zona, también se incrementa la tasa de evaporación de la quebrada Monte dentro

Precipitación vs. Turbiedad

El valor mínimo de turbiedad es de 1.8 UNT y el máximo fue de 78.3 UNT, con una media de 22.4 UNT. Por otro lado el valor mínimo de precipitación del conjunto de datos es de 9.5 mm y el máximo 228.071 mm con una media de 68.84 mm.

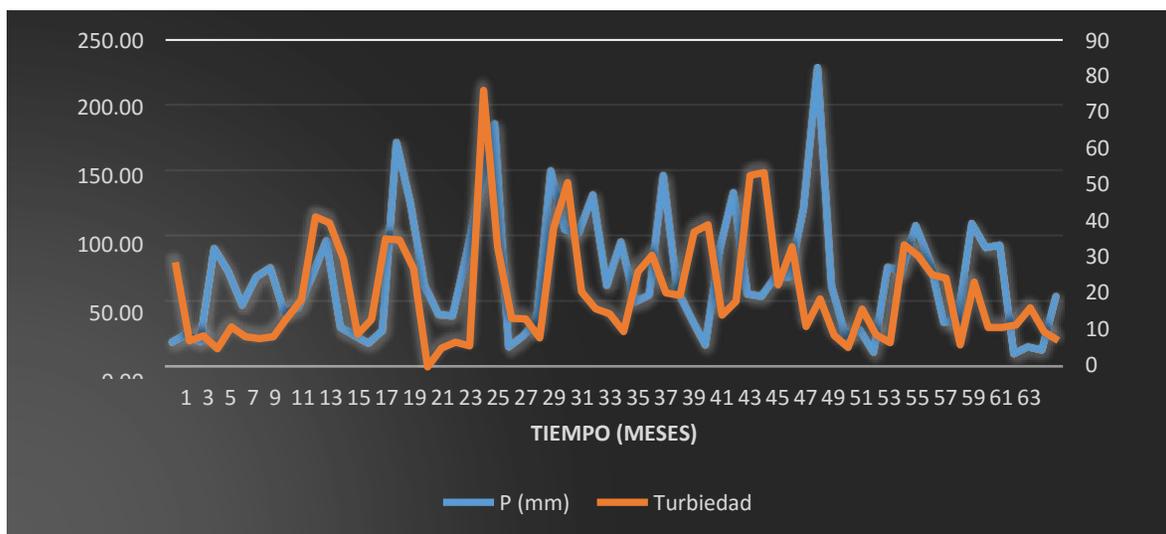
Como se muestra en la Tabla 22, se halló una relación débil entre la precipitación y la turbiedad del 27.7%, esto se explica ya que cuando ocurren eventos de lluvia, el impacto de las gotas en el suelo hace que poco a poco se vaya desprendiendo parte de él y posteriormente se une al cauce aumentando la turbiedad del mismo.

Tabla 22.*Matriz de correlaciones Precipitación vs. Turbiedad*

	P(mm)	Turbiedad
P(mm)	1	0.277
Turbiedad	0.277	1

Fuente: Elaborado en Excel XLSTAT por Gelvez (2020)

Por otra parte, en la Gráfica 20, se observa el comportamiento de las variables precipitación y turbiedad del agua de la quebrada de la zona de estudio, donde de acuerdo a Graves, *et al.*, (2004), los escurrimientos de las lluvias aumentan la turbiedad debido a los sedimentos y materia orgánica que transportan. En general, en la gráfica se observa que cuando aumenta la precipitación, también lo hace la turbiedad, no obstante, por ejemplo entre los meses del 3 al 5, esto es debido a que no hay gran cantidad de material de arrastre junto a la quebrada que transporte la lluvia.

**Gráfica 20** Precipitación vs. Turbiedad**Fuente:** Gelvez (2020).

- Precipitación vs. Cloruros

El valor mínimo de precipitación del conjunto de datos es de 9.5 mm y el máximo 228.071 mm con una media de 68.84 mm y en cuanto a cloruros su valor mínimo es de 2.48 mg/L, el máximo 34.98 mg/ L y la media 12.8 mg/ L.

En la tabla 23, se observa que hay una relación débil del 30.55% entre estas dos variables y según López (2013), el ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales, además es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre.

Tabla 23.

Matriz de correlaciones P vs. Cloruros

	P(mm)	Cloruros
P(mm)	1	0.305
Cloruros	0.305	1

Fuente: Elaborado en Excel XLSTAT por Gelvez (2020)

En la gráfica 21, se muestra la relación entre las variables precipitación y cloruros a través del tiempo, en general, es directamente proporcional y este comportamiento es debido a la escorrentía agrícola, ya que la precipitación contribuye al arrastre de las sustancias que se aplican en los cultivos que contienen entre otros componentes, cloruros, llevándolos hasta el cauce de la quebrada.



Gráfica 21. Precipitación vs Cloruros

Fuente: Gelvez (2020).

En la Tabla 24, se observa la correlación entre las diferentes variables de estudio. La precipitación tiene relación con turbiedad, cloruros, coliformes totales y E.coli, estos dos últimas se explican debido a que junto al cauce transita ganado cuyas heces se transportan hacia el cauce (ver Fotografía 13). Además, la ocurrencia de lluvia, facilita el arrastre de varios materiales y sustancias que posteriormente se incorporan al agua de la quebrada Monteadentro.



Fotografía 13. Vaca en cercanías a la quebrada Monteadentro
Fuente: Gelvez (2020)

El pH tiene relaciones débiles con la temperatura, los coliformes totales, E.coli, dureza y alcalinidad, esto se debe principalmente a la acción antrópica, actividades como la agricultura, en la que se utilizan gran variedad de agroquímicos contribuyen a la alteración del pH de la fuente hídrica.

La turbiedad presenta relación débil con la precipitación, coliformes totales, E.coli, cloruros, dureza, alcalinidad y evaporación, esto se debe a que la precipitación genera el arrastre de materiales de diferente origen, lo que genera que el agua disminuya su transparencia.

Los coliformes totales presentan relación débil con todas las variables estudiadas, excepto con la evaporación, esto indica la presencia de diferentes tipos de bacterias que disminuyen la calidad del agua y cuyo origen es mayormente de actividades antrópicas.

El E.coli presenta relación débil con precipitación, pH, turbiedad, coliformes totales y alcalinidad, esto se debe a que la precipitación contribuye al arrastre de materia fecal depositada por animales aledaños a la quebrada, lo que aumenta la turbiedad del cauce.

Tabla 24.
Matriz de correlaciones entre variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrometeorológicas

Parámetro	P(mm)	Ph	Temperatura	Turbiedad	Coliformes totales	E-coli	Cloruros	Dureza	Alcalinidad	Ev (mm)
P(mm)	1	-0.030	-0.209	0.277	0.129	0.196	0.305	-0.006	-0.192	-0.176
Ph	-0.030	1	0.052	-0.146	0.031	0.168	-0.030	0.001	0.037	-0.001
Temperatura	-0.209	0.052	1	-0.054	0.115	-0.106	0.132	0.181	-0.155	0.157
Turbiedad	0.277	-0.146	-0.054	1	0.090	0.155	0.193	0.027	0.012	0.022
Coliformes Totales	0.129	0.031	0.115	0.090	1	0.477	0.100	0.185	0.147	-0.051
E-coli	0.196	0.168	-0.106	0.155	0.477	1	-0.124	-0.019	0.080	-0.004
Cloruros	0.305	-0.030	0.132	0.193	0.100	-0.124	1	-0.070	-0.138	-0.174
Dureza	-0.006	0.001	0.181	0.027	0.185	-0.019	-0.070	1	0.098	-0.112
Alcalinidad	-0.192	0.037	-0.155	0.012	0.147	0.080	-0.138	0.098	1	0.061
Ev (mm)	-0.176	-0.001	0.157	0.022	-0.051	-0.004	-0.174	-0.112	0.061	1

Fuente: Elaborado en XLSTAT por Gelvez (2020)

6.5 Caracterización de la morfometría, cobertura vegetal, pendientes y geología de la zona de estudio.

Los parámetros morfométricos de una cuenca, son de gran importancia para determinar el funcionamiento de un sistema hidrológico, además de determinar las condiciones biofísicas de la misma.

En la tabla 25, se muestran los parámetros morfométricos obtenidos para la zona de estudio, y según Gaspari (2012), el análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite contribuir a interpretar la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. Se determinó que la quebrada Monte dentro es una microcuenca, ya que tiene posee un área de 10.9 Km² y según García (2017), se considera microcuenca cuando tiene un área menor a 25 Km². Por otro lado, de la relación entre el área y la longitud axial que es el ancho promedio, se obtuvo una forma oval redonda a redonda, esto quiere decir que presenta una torrencialida alta.

En cuanto al factor de forma de Horton, se obtuvo un valor menor uno, y de acuerdo a Horton (1932), significa que esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

La cuenca Monte dentro es de orden 3, es decir, recibe el aporte de varios afluentes de segundo orden. En cuanto al coeficiente de compacidad de Gravelius, se obtuvo un valor mayor a 1, de lo que se deduce que es una cuenca irregular, susceptible a crecidas. La cuenca presenta gran variación altitudinal a lo largo del cauce. También muestra pendientes

fuertes, de lo que se infiere, que al ocurrir lluvias torrenciales se presenta un mayor arrastre de sedimentos que alteran la calidad del agua del cauce. Posee un patrón de drenaje dendrítico, y de acuerdo a Marín (2012), este tipo de drenaje se caracteriza por tener materiales aproximadamente homogéneos en composición, sin control estructural.

Tabla 25.

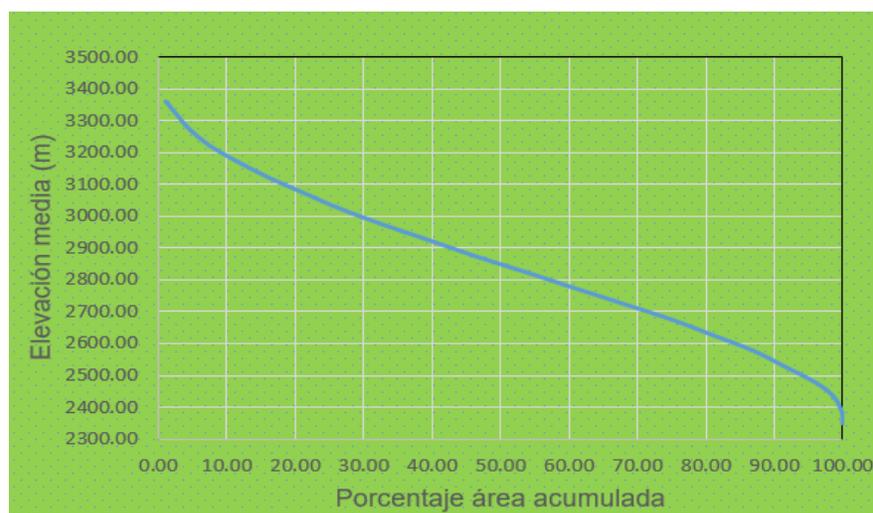
Características morfométricas de la cuenca Monte dentro

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Descripción
Área de la cuenca	Ac	Km ²	10.9091	Microcuenca
Longitud axial	Ap	Km	4.9594	
Ancho promedio de la cuenca	La	Km	2.2	Oval redonda a redonda
Longitud del cauce principal	Lcp	Km	5.127239	
Perímetro de la cuenca	P	Km	14.9366	
Relación de forma de Horton	Rf	Adimensional	0.443	Ni alargada ni ensanchada
Coefficiente de compacidad de gravelius	Kc	Adimensional	1.266	Oval redonda a oval oblonga.
Índice de alargamiento	Ia	Adimensional	1.478	Poco alargada
Altura máxima de la cuenca	Amax	m	3375.85	
Altura mínima de la cuenca	Amin	m	2344.85	
Altura media de la cuenca	Amed	m	2833.1	
Altura máxima del cauce principal		m	3191.578	
Altura mínima del cauce principal		m	2347.533	
Pendiente máxima de la cuenca		%	128.767	
Pendiente mínima de la cuenca		%	0.051	

Pendiente media de la cuenca	%	48.69
Patrón de drenaje		Dendrítico
Orden		3

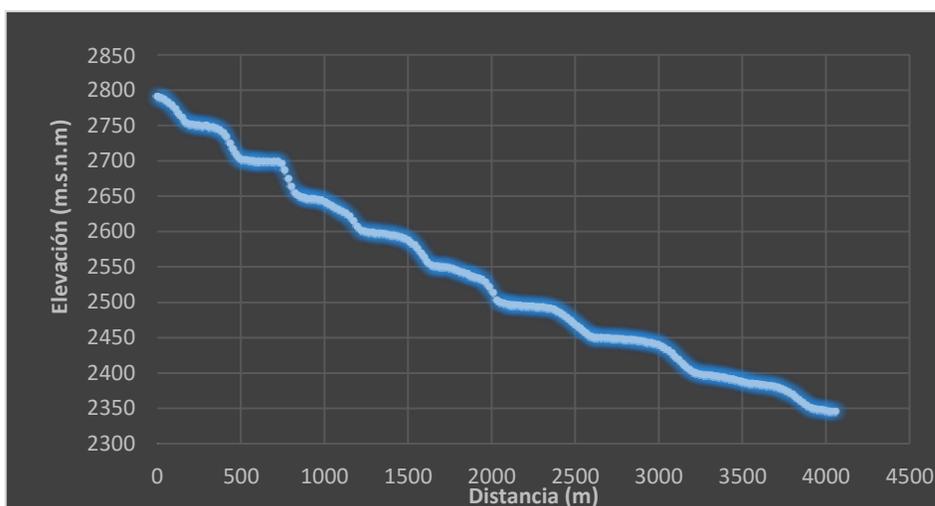
Fuente: Gelvez (2020)

En la Gráfica 22, se muestra la curva hipsométrica de la microcuenca quebrada Monteadentro, ésta presenta valores altitudinales que superan los 3300 msnm. Y de acuerdo con Strahler (1952), la curva hipsométrica muestra las curvas características para representar la etapa geológica, así como también el ciclo erosivo de la cuenca y del tipo de cuenca, con potencial evolutivo diferente. La curva obtenida indica que la quebrada de estudio, es una cuenca en equilibrio o fase de madurez, es decir, que entra en una etapa de estabilización respecto a los procesos erosivos. El estado evolutivo en que se encuentra la cuenca es característico de una cuenca de pie de montaña.



Gráfica 22. Curva hipsométrica de la cuenca Monteadentro
Fuente: Modificado de ArcGis por Gelvez (2020)

En la Gráfica 23, se muestra el perfil longitudinal de la quebrada Monteadentro y de acuerdo a MINAMBIENTE (2013), la profundidad y la anchura del lecho aumentan aguas abajo, en la medida que disminuye la pendiente. Esto es debido a que aguas abajo aumenta el caudal ya que se acumulan las aguas y disminuye la velocidad, debido a la reducción de la pendiente, por lo que la carga de material transportado cambia de gruesa a fina.

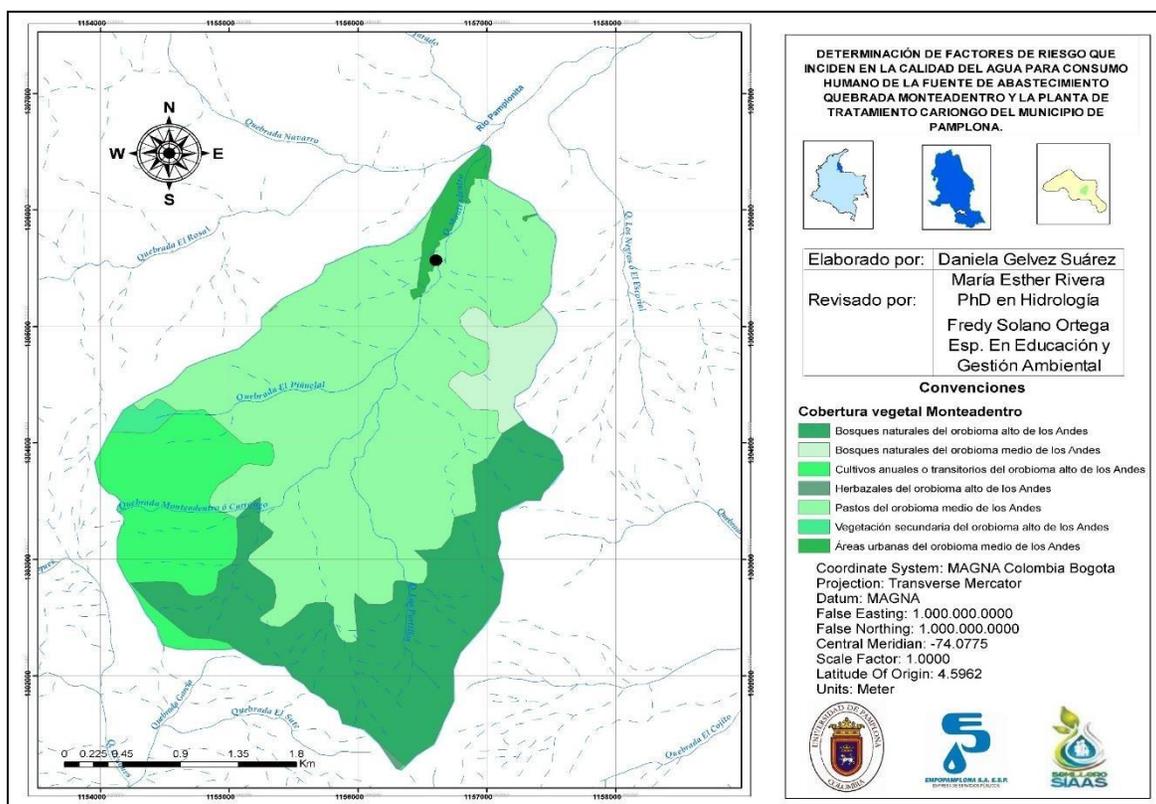


Gráfica 23. Perfil longitudinal de la quebrada Monteadentro
Fuente: Modificado de ArcGis por Gelvez (2020)

A continuación, se muestran los mapas de cobertura vegetal, pendientes y geología de la zona de estudio y su relación con la calidad del agua de la quebrada Monteadentro.

La variación altitudinal, a lo largo de la cuenca, favorece la existencia de diversos tipos de coberturas. Las características ambientales y geomorfológicas de la cuenca favorecen la dominancia de pastos del orobioma medio de los Andes, que cubre 54.12% de la superficie total del área de estudio, sólo un 0.082% corresponde a Herbazales del orobioma alto de los Andes. Y de acuerdo a Galeana (2009), en términos ecológicos, el factor más importante para el desarrollo de las plantas es el agua, y en particular la

Humedad; dicho factor está ligado a la exposición de las laderas laderas en la que éste se encuentre, así como la unidad geomorfológica (ver Mapa 3).



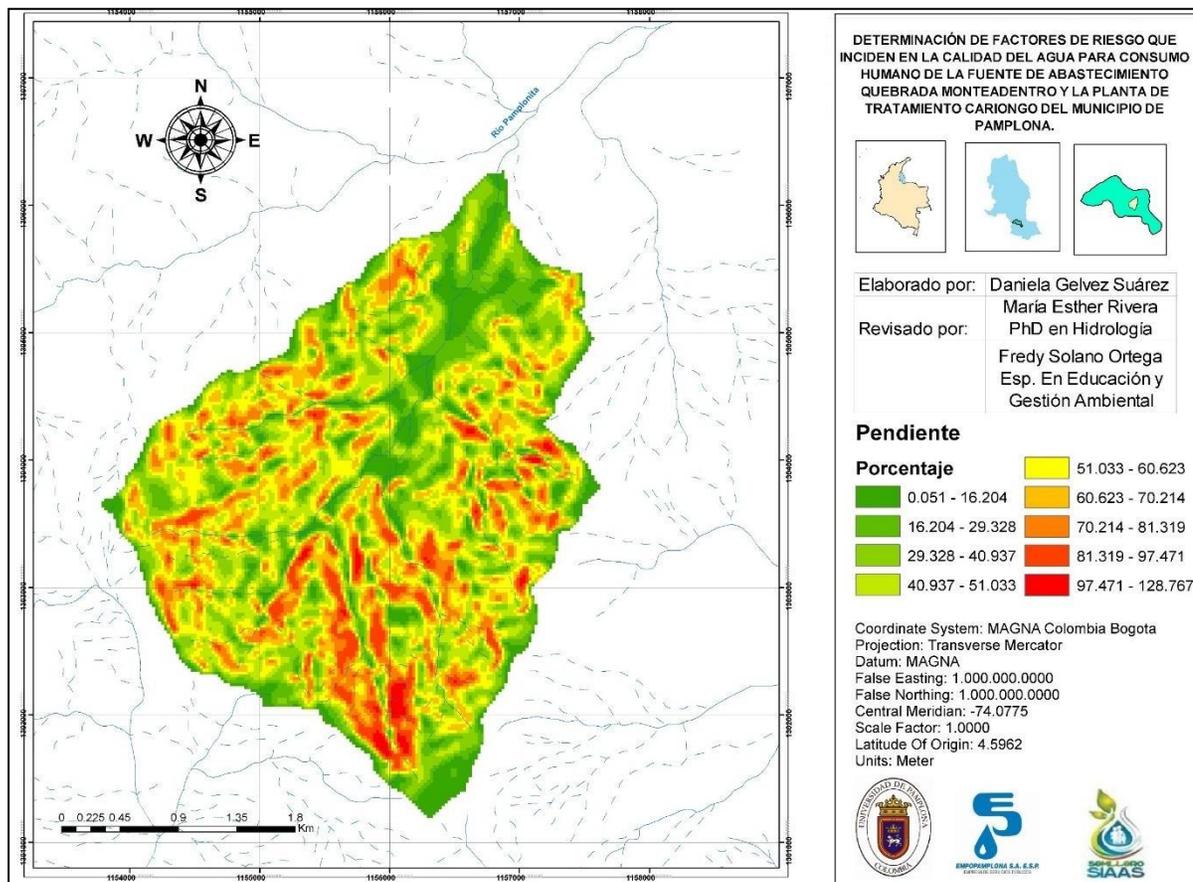
Mapa 3. Cobertura vegetal de la zona de estudio

Fuente: Elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

La cuenca Monte dentro presenta pendientes bajas con valores entre 0.051% y 16.2% en las zonas cerca de su desembocadura, y de acuerdo a Reyes, *et al.*, (2014), en regiones planas aparece principalmente problemas de drenaje y sedimentación.

Por otro lado, se evidencia pendientes muy fuertes, con valores entre 97.47% y 128.77% en las partes altas de la misma, donde se pueden presentar fenómenos de erosión. Además, debido a la alta inclinación, en épocas de invierno, la cuenca es más susceptible a que se desprendan fácilmente fragmentos de suelo y roca que pueden llegar a la quebrada

Monteadero, afectando su calidad (Mapa 4).

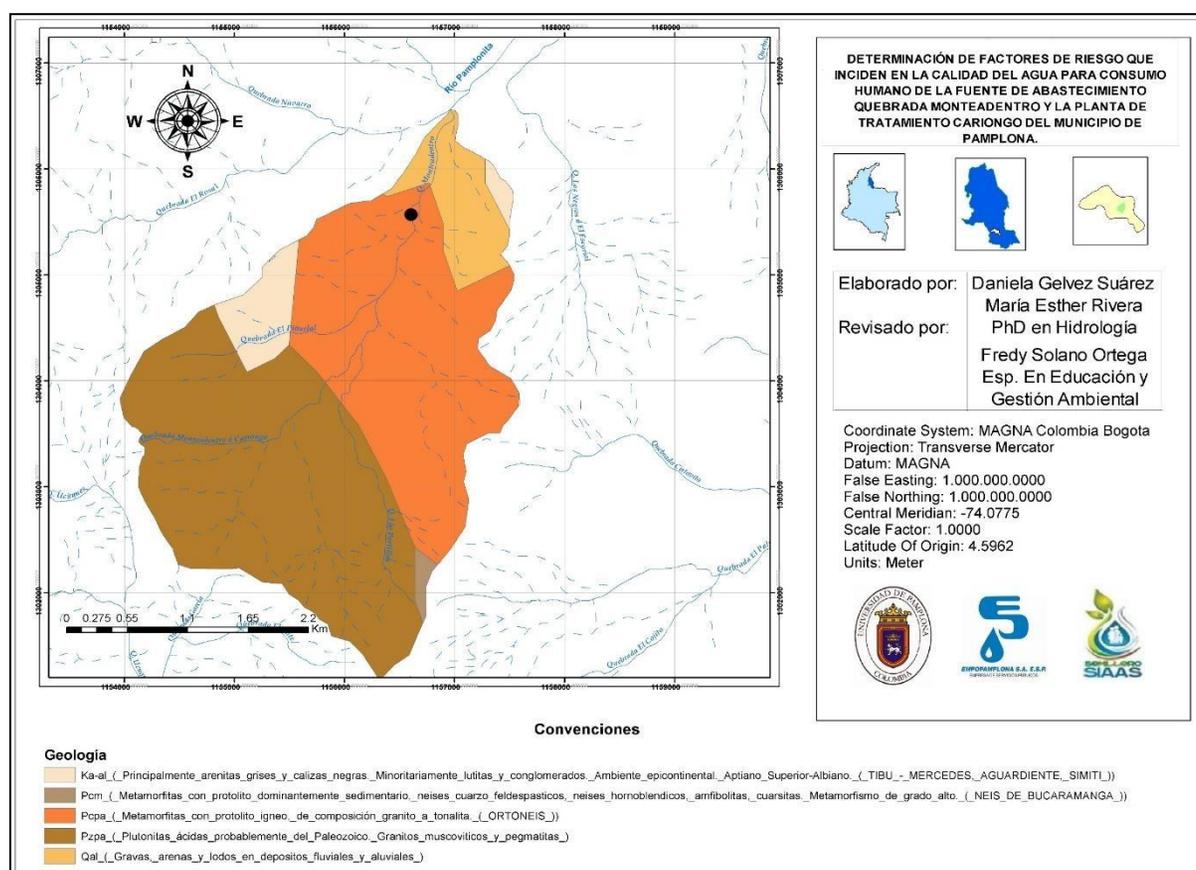


Mapa 4. Pendientes de la zona de estudio

Fuente: Elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

En la cuenca Monteadero, predominan con un 47.93% materiales de roca como Plutonitas ácidas, Granitos muscovíticos y pegmatitas, éstas se ubican en la parte baja. En la parte media con un 38.54% se encuentran materiales como Metamorfitas con protolito ígneo, de composición granito a tonalita, estos materiales por acción de factores naturales como lluvias torrenciales y sismos, pueden desprenderse y llegar al cauce, alterando sus propiedades. Y de acuerdo a Gómez, *et al.*, (2015), el mapa geológico tiene un profundo efecto sobre muchos aspectos, desde la forma como evoluciona el paisaje hasta el tipo de

vegetación que mejor crece sobre los materiales geológicos, desde la disponibilidad de agua subterránea hasta la presencia de minerales útiles, desde la cantidad de movimiento sufrido durante un terremoto hasta la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos (Mapa 5).



Mapa 5. Geología de la zona de estudio

Fuente: Elaborado por Gelvez (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

7. Conclusiones

La empresa encargada del servicio de acueducto Empopamplona, cuenta con la infraestructura necesaria para la potabilización del recurso hídrico, además, se hace constantemente seguimiento a cada una de las estructuras de la planta, lo que garantiza su óptimo desempeño. Además, la empresa realiza frecuentemente el monitoreo de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua que entra a la planta, para su posterior tratamiento. Por otra parte, en general Empopamplona cumple con las especificaciones de buenas prácticas sanitarias estipuladas por la resolución 082 de 2009, lo que garantiza la prestación de un buen servicio a la población pamplonesa.

Las actividades que incide en la amenaza en la calidad del agua de la quebrada Monte dentro son la ganadería y la agricultura, en cuanto a ésta última no se cumple con la franja de seguridad estipulada por el decreto 1843 de 1991, la cual determina que la aplicación de plaguicidas en zonas rurales no puede efectuarse a menos de 10 m en forma terrestre, en relación a cuerpos o cursos de agua; y claramente esto no se cumple en la vereda Monte dentro, debido a que la base económica está fundamentada en la agricultura, y se observan cultivos a sólo un par de metros de la fuente hídrica de estudio.

La calidad de la quebrada Monte dentro está expuesta a diferentes factores de riesgo naturales como las lluvias torrenciales y sismicidad y factores antrópicos, especialmente lo que concierne a la agricultura, debido al uso de agroquímicos en los

cultivos aledaños a la quebrada de estudio, a los cuales se les debe hacer constante seguimiento para evitar afectaciones sobre la salud de la población que se abastece de esta fuente hídrica.

La precipitación es una de las variables que tiene una mayor incidencia en la calidad del agua de la quebrada Monteadentro, debido a que cuando ocurre éste fenómeno natural, propicia el escurrimiento de diferentes sustancias producto de las diferentes actividades que se desarrollan en la cuenca. La precipitación media del año 2019 durante los primeros cuatro meses fue de 34.48 mm, mientras que en el 2020 durante el mismo periodo de tiempo fue de 22.53 mm, estos valores corresponden a lluvias fuertes, lo que propicia el arrastre de sedimentos.

Debido a las características morfométricas de la cuenca, como la pendiente, cuyo valor medio es 48.69%, es decir, es moderadamente empinada, se propicia el fenómeno de erosión y el arrastre de los diferentes tipos de sedimentos que llegan al agua de la quebrada, alterando su composición y calidad.

8. Recomendaciones

La utilización de diferentes agroquímicos en los cultivos puede contribuir al deterioro de la calidad del agua del cauce, debido a que no se cumple con la franja de seguridad, por lo que se recomienda a la autoridad ambiental municipal hacer un seguimiento a las sustancias utilizadas en la vereda Monte dentro para tener un mayor control al respecto.

También, se recomienda poner cercas alrededor de la quebrada Monte dentro para limitar el paso de animales, especialmente de ganado vacuno y así impedir que sus desechos lleguen a la fuente hídrica y alteren su calidad.

9. Bibliografía

Amenu, Markemann, y Valle (2013). Agua para consumo humano y ganadero en entornos rurales de Etiopía: evaluaciones de aspectos de calidad y salud.

Arias, Bejarano y Zafra (2014). Mapa de riesgos para la calidad del agua en sistemas de abastecimiento municipales

Arumi, Núñez, Salgado, y Claret (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile.

Atencia (2007). Diagnóstico de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas y residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca Monte dentro hasta el sector de la bocatoma del acueducto de la ciudad Pamplona.

Bacheloth (2017). Modelación del transporte de plaguicidas e insecticidas en suelos de cultivo de fresa mediante el software Hydrus- 1D en la vereda de Monte dentro Pamplona Norte de Santander

Bindali y Kaliwal (2002). Efecto antiimplantación de un fungicida carbamato mancozeb en ratones albinos.

Caracol radio (2017). Creciente del río genero pánico en los habitantes de Pamplona.

Colombia. Ministerio De La Protección Social. Decreto 1575 (9, mayo, 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C., 2007

Colombia. Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 (22, junio, 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. Bogotá, D.C

Colombia. Ministerio De La Protección Social. Resolución 82 (16, enero, 2009). Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano. Bogotá, D.C

Chaparro y Ovalles (2017). Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA y su relación con el clima y ubicación geográfica para el departamento del meta en los años 2012 – 2013.

Delgado (2011). Informe geológico ambiental preliminar para el área de Pamplona. Pamplona, 2011.

Earth justice. Clorpirifós, el pesticida tóxico que daña a nuestras familias y al medio ambiente.

Fatma, Verma , Kamal y Srivastava (2018). Monitoreo del potencial morotóxico, citotóxico y genotóxico del ensayo de mancozeb usando ajo.

Gaspari (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina

Hernández (2010) Valoración monetaria de los beneficios que puede rendir un uso óptimo del suelo en la microcuenca Monte dentro del río Pamplona, Pamplona, N. de S.

Liu, Li, Cui, y Cao (2019). Atribución de la calidad del agua y simulación del flujo de carga de contaminación de fuentes no puntuales en la cuenca del río Hulan.

López y Cufiño (2016). Análisis del índice de riesgo de calidad del agua –IRCA- y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento de Norte de Santander en los años 2012 – 2013. Bogotá D.C, 2016.

Novoa José, Viada José y López David (2001). Espacios áridos y semiáridos compendio geográfico-físico. Chile

Organización mundial de la salud (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Ginebra.

Raju, y Anjali (2017). Evaluación de la calidad del agua subterránea y mapeo de riesgos para la salud humana en la llanura aluvial del Ganges central, norte de India

Shygonskyj y Shygonska (2016). Evaluación de la calidad del agua potable como un factor que afecta la salud humana en la región de Zhytomyr, Ucrania.

Reyes, Barroso y Carvajal (2014). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuenca hidrográficas. Programa editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Rojas y Eslava (2015). Evaluación de la cantidad y calidad del cauce principal del río Pamplonita en cinco puntos de interés, afectados por la sequía como consecuencia del “fenómeno el niño”, temporada 2014-2015. San José de Cúcuta, 2015.

Sanguino, Ramirez y Angarita (2016). Análisis microbiológico de la calidad del agua del río Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Ábrego y Ocaña, Norte de Santander.

Taborda y Vanegas (2016). Elaboración del mapa de riesgos de calidad del Agua para consumo humano de la quebrada la hoya en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca.

Torrado (2017). Enfermedades causadas por microorganismos del suelo en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en las condiciones de la vereda Monte dentro del municipio Pamplona, como alternativas biológicas de control. Pamplona, 2017.

Velandia (2018). Estrategias de planificación integral social y económica para el desarrollo de una UPRA en la vereda Monte dentro en el municipio de pamplona, Colombia.

Xizhi, Dongguo, Hua, y Jiankui (2020). Evaluación de la calidad del agua en el Proyecto de desvío de agua Sur-Norte de China utilizando el método del índice de calidad del agua (WQI).

Youn-Joo, Jin, Sun-Hwa, y Myung (2013). Desarrollo e implementación de estándares de calidad de agua superficial para la protección de la salud humana en Corea.