

**Análisis de los Factores que Inciden en la Calidad del Agua de la Microcuenca Quebrada la
Cucalina, Municipio de Pamplonita**

Maryoris Corrales Hernández

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

**Análisis de los Factores que Inciden en la Calidad del Agua de la Microcuenca Quebrada la
Cucalina, Municipio de Pamplonita**

Maryoris Corrales Hernández

101125468

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniera Ambiental**

Directores

**María Esther rivera
PhD en Hidrología**

**Jesús Ramón Delgado Rodriguez
Geol. MSc. En Geotecnia**

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa Ingeniería Ambiental

Pamplona

2020

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Pamplona, Junio 2020

Dedicatoria

A Dios por ser mi fiel amigo y por no abandonarme en los momentos más difíciles que puede tener un universitario que se encuentra lejos de su familia.

A mis padres, Yesid y Yennis por brindarme su amor y apoyo.

A mis hermanos, Jhon L. y Omar Y. Por ser un pilar fundamental en este proceso.

A mis sobrinos, Ana I. y Luis M. porque son la razón de mi alegría.

A mi abuela Angela por aconsejarme y animarme a seguir con mis proyectos.

A la directora de mi tesis, PhD María por su comprensión y paciencia.

Agradecimientos

A Dios por estar conmigo en todo este proceso. A él mil gracias por su amor y favores.

A mi familia, en especial a mis padres que han sido parte fundamental en mi vida, le doy mi gratitud por su apoyo incondicional, comprensión y esfuerzo.

También quiero resaltar amigos, Daniela Gelvez, Vanesa Florián, Marcela Suarez por motivarme a seguir con este propósito.

A mis directores, PhD María Esther Rivera y MSc. Jesús Ramón Delgado Rodríguez, ya que fueron mi guía e inspiración para que este proyecto de grado fuera realidad.

A los docentes del programa de ingeniería ambiental de la universidad de Pamplona por ofrecerme sus conocimientos durante toda la carrera.

Tabla de contenido

	Pág.
Capítulo 1	14
Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema y justificación.....	16
2. Objetivos.....	18
2.1. Objetivo general.....	18
2.2. Objetivos específicos	18
Capítulo 2	19
3. Marco referencial	19
3.1. Marco contextual	19
3.2. Antecedentes.....	20
3.2.1. Antecedentes internacionales	20
3.2.2. Antecedentes nacionales	27
3.2.3. Antecedentes regionales.....	29
3.2.4. Antecedentes locales.....	30
3.3. Marco teórico.....	30
3.3.1. Agua.....	30
3.3.2. Calidad del agua	31
3.3.3. Susceptibilidad de la calidad del agua	31
3.3.4. Cuenca hidrográfica	32
3.3.5. Morfometría de una Cuenca	32

3.3.6.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	44
3.3.7.	Escorrentía superficial.....	45
3.3.8.	Factores que inciden en la contaminación del agua.....	46
3.3.9.	Geología	53
3.3.10.	Sistema de Información Geográfica (SIG)	62
3.3.11.	Medidas de tendencia central.....	63
3.4.	Marco legal.....	65
Capítulo 3	71
4.	Metodología	71
4.1.	Diagnóstico ambiental de la zona de estudio	72
4.2.	Identificación de los factores incidentes en la calidad del agua.....	74
4.3.	Caracterización de la cobertura vegetal, geología y suelos.....	74
4.3.1.	Caracterización de la cobertura vegetal	74
4.3.2.	Caracterización de la geología y suelo.....	75
4.4.	Valoración de los factores que inciden en la calidad del agua por expertos.	76
Capítulo 4	78
5.	Resultados y discusión.....	78
5.1.	Diagnóstico ambiental de la zona de estudio	78
5.2.	Identificación de los factores incidentes en la calidad del agua	94
5.3.	Caracterización de la cobertura vegetal, geología y suelo de la zona de estudio	108
5.3.1.	Geología y tipo de suelo de la zona de estudio.....	108
5.3.2.	Cobertura vegetal de la zona de estudio.....	113

5.4. Valoración de los factores que inciden en el área de la calidad del agua por los expertos.....	117
6. Conclusiones	119
7. Recomendaciones.....	121
8. Referencias bibliográficas.....	122
Anexos.....	133

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación del tamaño de la cuenca	33
Tabla 2. Clasificación del tamaño de la cuenca	34
Tabla 3. Clasificación de la longitud del cauce principal.....	35
Tabla 4. Forma de la cuenca según el Índice de Compacidad	36
Tabla 5 . Forma de la cuenca según el Factor de Forma	37
Tabla 6. Forma de la cuenca según el Factor de Forma	38
Tabla 7. Forma de la cuenca según el Factor de forma	39
Tabla 8. Clasificación del clima según la elevación media.	40
Tabla 9. Clasificación de la densidad de drenaje.	42
Tabla 10. Clasificación de la densidad de drenaje	43
Tabla 11. Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales de suelos.	59
Tabla 12. Tipos de suelos y texturas de acuerdo a la clasificación americana	60
Tabla 13. Relación textura y velocidad de infiltra	62
Tabla 14. Calculo de la mediana	65
Tabla 15. Valoración de los factores por los expertos.	76
Tabla 16 . Parámetros físicos - morfométricas de la microcuenca	79
Tabla 17. Estudios relacionados a los factores incidentes en la calidad del agua	107
Tabla 18. Áreas que corresponde a los tipos de suelos.	112
Tabla 19. Valoración de los factores que inciden en la calidad del agua.....	118

Lista de graficas

	Pág.
Gráfica 1. Curva hipsométrica y frecuencias de altitudes	80
Gráfica 2 Perfil longitudinal de la quebrada La Cucalina	81
Gráfica 3. Datos históricos de precipitación mensual.	86
Gráfica 4. Precipitación total mensual	87
Gráfica 5. Porcentaje de habitantes que hacen uso del servicio de aseo.....	88
Gráfica 6. Disposición final de las aguas residuales	89
Gráfica 7. Uso del agua del cauce principal de la quebrada para consumo doméstico	90
Gráfica 8. Tiempo de desarrollo de la actividad agrícola	91
Gráfica 9. Uso de los agroquímicos	92
Gráfica 10. Tipo de abono usado	93
Gráfica 11. Porcentaje de la cobertura en la Cucalina	114

Lista de fotografías

	Pág.
Fotografía 1. Realización conjunta de la actividad agrícola y ganadera.....	94
Fotografía 2. Asentamientos humanos.....	95
Fotografía 3. Captación de agua de la Cucalina	95
Fotografía 4. Actividad de Ganadería en la Cucalina	97
Fotografía 5. Captación de agua de la Cucalina para la ganaderia	98
Fotografía 6. Cultivos presentes en la Cucalina.	100
Fotografía 7. Actividad minera en la Cucalina.....	101
Fotografía 8. Surcos en la alta montaña	110
Fotografía 9. Coloración de las rocas en el cauce de la Cucalina	102
Fotografía 10. Corriente superficial contaminada	102
Fotografía 11. Cambio de la cobertura vegetal	115
Fotografía 12. Presencia de macroinvertebrados y anfibios	116
Fotografía 13. Desembocadura de la Cucalina.....	116

Lista de mapas

	Pág.
Mapa 1. Mapa de la localización de la zona de estudio	19
Mapa 2. Mapa de pendiente de la microcuenca en porcentaje	82
Mapa 3. Mapa de relieve de la microcuenca	83
Mapa 4. Mapa de climas presentes en la microcuenca.....	84
Mapa 5. Mapa del orden de drenaje de la Cucalina	85
Mapa 6. Mapa de Vías de la zona de estudio	104
Mapa 7. Precipitación efectiva para 120 mm	105
Mapa 8. Mapa litológico de la quebrada La Cucalina.....	109
Mapa 9. Mapa de tipos de suelo en la Cucalina.....	111
Mapa 10. Mapa de la cobertura en la Cucalina	113

Lista de imágenes

	Pág.
Imagen 1. Tipos de curvas hipsométricas.....	40
Imagen 2. Clasificación de las corrientes según el grado.....	41
Imagen 3. Patrones de drenajes.....	43
Imagen 4. Perfil de la pendiente topográfica.	51
Imagen 5. Permeabilidad de las rocas	58
Imagen 6. Diagrama de la metodología desarrollada.	71
Imagen 7. Diagrama de proceso de la delimitación de la cuenca	73
Imagen 8. Diagrama de proceso de la caracterización de la cobertura.....	75
Imagen 9. Vías en la Parte baja de la Cucalina.....	103

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1 Ancho promedio -----	35
Ecuación 2. Índice de compacidad -----	36
Ecuación 3. Factor forma -----	37
Ecuacion 4. Índice de alargamiento -----	37
Ecuación 5. Pendiente media del cauce principal -----	38
Ecuación 6. Altura media -----	39
Ecuación 7. Densidad de drenaje-----	42
Ecuación 8. Extensión media de la escorrentia -----	44
Ecuación 9. Media atritmetica -----	64

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Encuesta aplicada en la microcuenca -----	133
Anexo B. Carta de solicitud enviada a los expertos -----	135

Resumen

Este proyecto de grado está enfocado en analizar el entorno en que se encuentra el agua de la quebrada la Cucalina, para lo cual se hizo el reconocimiento de la zona de estudio. También, con la ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG), se realizó la caracterización geológica, hidrológica y de cobertura vegetal, los mapas se obtuvieron del Instituto Geológico Colombiano (IGAC) y las imágenes satelitales Landsat 8 se descargaron del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). El estudio arrojó que los principales factores que inciden en la calidad del agua son los antrópicos (minería, uso del suelo por la ganadería y agricultura, avenida de transporte y áreas urbanas o rurales) y naturales (tipo de suelo, pendiente, litología y cobertura vegetal), se concluyó que la microcuenca presenta alta susceptibilidad a la contaminación en la parte baja, debido a que es la zona en la cual se centran las actividades ganaderas, agrícolas y mineras. Además, es en esa área donde se encuentran suelos con contenido en arcillas, esto suelos poseen alta capacidad de retención hídrica y de almacenamiento de nutrientes y químicos procedentes de los fertilizantes y plaguicidas empleados en la ganadería y la agricultura, por otra parte las pendientes abruptas en la quebrada favorecen al lavado de los suelos por la escorrentía superficial, transportando de esta manera los contaminantes a los cuerpos de agua. En la zona media y alta de la quebrada las actividades económicas se disminuyen y las condiciones del suelo cambian de arcilloso a arenosos, por lo que se deduce que la microcuenca en esa parte presenta baja susceptibilidad a la contaminación.

Palabras clave: Actividad antrópica, calidad del agua, escorrentía superficial, factores que influyen en la calidad del agua, SIG.

Capítulo 1

Introducción

Según Gualdrón (2016), Colombia se encuentra entre los países más ricos del mundo en recursos hídricos, ubicándose en la séptima posición, después de China con una disponibilidad de 2.132 km³/año. Pero la calidad del agua en muchos ríos de nuestro país se ha visto afectada por diferentes factores naturales y antrópicos. Sin embargo, Khatri y Tyagi (2015), afirman que si no existieran las influencias humanas, la calidad del agua solo se vería afectada por los procesos naturales, como la meteorización de los minerales del lecho rocoso; procesos atmosféricos que involucran evapotranspiración; deposición de polvo y sal por el viento, lixiviación natural de materia orgánica y nutrientes del suelo; factores hidrológicos y los procesos biológicos en el ambiente acuático que pueden producir cambios en la composición física y química del agua.

Por otra parte, L. Ye, *et al.*, (2008), los ríos constituyen los principales recursos hídricos continentales para fines domésticos, industriales y de irrigación, y desempeñan un papel importante en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, asimismo Villanueva y Pantoja (2012), en su estudio dicen que el recurso hídrico es altamente utilizado en actividades diarias, como la agricultura (del 70% al 80%), la industria (20%), el uso doméstico (6%), entre otras. No obstante, estas actividades han conllevado a la degradación de la calidad del agua, y Uriarte-Arce *et al.*, (2010), consideran que los humanos influyen en las cuencas hidrográficas a través de múltiples vías. Afectan directamente el uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo.

Por tanto, para la determinación de la calidad del agua se han implementado diferentes metodologías que tienen en cuenta el entorno en que se encuentra el recurso hídrico. Al-Adamat (2017), propone estudiar 6 factores; incluyendo pendiente de gradiente (%) (GS), distancia a corrientes (arroyos) (DW), arcilla de suelo (%) (SC), distancia a tierras agrícolas (DA), distancia a áreas urbanas (DU) y distancia a carreteras (DR). Este estudio se basó en que la escorrentía es capaz de transportar sedimentos en suspensión a cuerpos de agua. Solo cuatro factores intrínsecos están involucrados en la estimación del potencial de escorrentía de aguas superficiales, estos factores son la pendiente del gradiente, la distancia al agua (arroyos y lagos), la cobertura del suelo y las propiedades del suelo.

De modo similar, en este estudio se analizaron los factores naturales y antrópicos que inciden en la microcuenca considerando el medio que la rodea. Para la caracterización de cada uno de los parámetros que tienen impacto en la quebrada La Cucalina, se hizo uso de los sistemas de información geográfica (SIG). Cabe resaltar que sin esta herramienta no hubiese sido posible llevar a cabo esta investigación, debido a la complejidad de las variables a estudiar.

1. Planteamiento del problema y justificación

Las fuentes hídricas son esenciales para la existencia de la vida acuática y terrestre. Así mismo, son de gran importancia para el desarrollo cultural y económico de una comunidad. Sin embargo, la calidad del agua superficial está determinada por los factores naturales y antrópicos que la rodean. Estos factores al no ser controlados pueden llegar a deteriorar los cuerpos hasta el punto de producir graves problemas sanitarios y ecológicos.

Al-Adamat (2017), afirma que los principales factores naturales que inciden en la contaminación de las fuentes hídricas son: la topografía, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, entre otros, y factores antropogénicos como son los asentamientos urbanos cerca de fuentes hídricas, debido a que los cuerpos de agua deben asimilar las aguas residuales de origen doméstico e industrial provenientes de zonas urbanas. Además, debe suministrar el agua para fines agrícolas, ganaderos, actividades que contaminan el agua por el uso de fertilizantes, y herbicidas. De acuerdo con L. Ye, *et al.*, (2008), las actividades antropogénicas tienen efectos significativos en la disminución de la calidad del agua superficial.

La quebrada Cucalina, es una fuente abastecedora del recurso hídrico para algunos de los Acueductos Rurales Comunitarios de las veredas que se encuentra a lo largo del cauce. Así mismo, utilizan el agua de la quebrada para las labores agropecuarias (Barroso, 2017).

Con las visitas de campo realizadas se observó que uno de los principales problemas en la calidad del agua de la microcuenca, está relacionado con productos agroquímicos procedentes de las actividades agrícolas, es decir, herbicidas, fungicidas, pesticidas. Además, la quebrada se ve afectada por la mina de Santa Helena, la cual se dedica a la extracción o explotación del carbón. Por lo tanto, se observa que partículas de carbón son arrastradas y transportadas hasta la

quebrada por acción de las escorrentías superficiales. De igual manera, se observó que las rocas que están en el cauce de la quebrada presentan un color naranja esto se debe a la oxidación por presencia de iones de hierro en el agua, por alteración de piritas resultado de la actividad minera que se realiza en la zona, también en el sitio se encuentran depósitos cuaternarios.

Por lo anterior se hacen las siguientes preguntas investigativas: ¿Qué factores afectan la susceptibilidad de la calidad agua en la quebrada Cucalina?, ¿Se puede zonificar la calidad del agua espacialmente en la quebrada Cucalina?

Esta investigación representa un beneficio para los habitantes del municipio de Pamplonita, que de forma directa o indirecta se relacionan con la microcuenca, dado que el conocer los factores que inciden en la calidad del agua de la quebrada Cucalina, permitirá a las autoridades competentes tomar medidas de prevención, mitigación ante los posibles efectos adversos a la salud humana o ecosistemas, teniendo en cuenta lo contemplado en el artículo 80 de la constitución política de Colombia donde se establece que el Estado debe planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos Naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, igualmente el artículo 79 de la constitución describe que todas las personas tienen derecho de gozar de un ambiente sano, por tanto es deber del Estado proteger la diversidad y e integridad del ambiente.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar los factores que inciden en la calidad del agua de la microcuenca quebrada Cucalina, municipio de Pamplonita.

2.2. Objetivos específicos

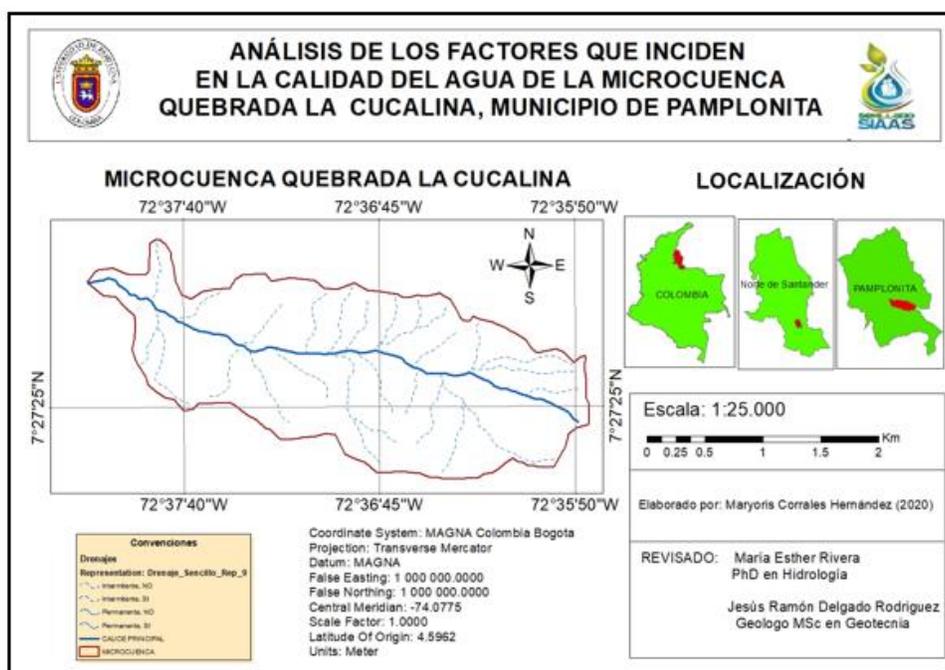
- ✓ Realizar el diagnóstico ambiental en la quebrada Cucalina.
- ✓ Identificar los principales factores que influyen en la calidad del agua de la quebrada la Cucalina.
- ✓ Caracterizar la cobertura vegetal, geología y suelo de la microcuenca.
- ✓ Valoración de los factores por parte de los expertos en la calidad del agua de diferentes universidades

Capítulo 2

3. Marco referencial

3.1. Marco contextual

La quebrada La Cucalina, se encuentra ubicada al noroeste del municipio de Pamplonita Norte de Santander, nace aproximadamente a los 2950 m.s.n.m. m en las coordenadas 7°27'20" N y 72°35'45" W. y desemboca a los 1440 m.s.n.m sobre el Rio Pamplonita, específicamente al frente de la vereda San Antonio en el punto georeferenciado con las coordenadas 7°28'5" N y 72°37'55" W (ver mapa1). Posee un área de 4.9 km² y 12 Km en perímetro, posee una precipitación media anual de aproximadamente de 2049 mm, y una temperatura promedio de 19 °C.



Mapa 1. Mapa de la localización de la zona de estudio

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

La zona de estudio tiene vía de acceso con la carretera que conduce de Pamplona a Cúcuta, la cual la atraviesa a la quebrada en la parte baja en el kilómetro 55. Además, en la entrada de la vereda San Antonio se encuentra una vía destapada que conduce a la mina Santa Helena, por la cual entran y salen las volquetas que transportan el carbón extraído de la mina.

Por otra parte, las principales actividades económicas que se realizan en la microcuenca son la minera, en la que se lleva a cabo la extracción y explotación del carbón por la mina Santa Helena. Las agrícolas que incluyen cultivos de mora, café, plátano, pimentón, cebollín, tomate, habichuela, frijol, cilantro, maíz y naranjas. La mayoría de los agricultores usan cantidades excesivas de fertilizantes y pesticidas. Asimismo, se observa las actividades de ganadería, con la presencia de bovinos, ovinos y porcinos. Además, se visualiza criaderos de pollos. La mayoría de estas actividades tienen más de 10 años de estar desarrollándose en la zona de estudio.

3.2. Antecedentes

3.2.1. Antecedentes internacionales

Según Al-Adamat (2017), el Modelado de la susceptibilidad del agua superficial a la contaminación usando SIG, en el norte de Jordania ubicada en la frontera con Siria, identificaron 6 factores que inciden en la cuenca, incluyendo pendiente de gradiente (%) (GS), distancia a corrientes de agua (arroyos), arcilla de suelo (%) (SC), distancia a tierras agrícolas (DA), distancia a áreas urbanas (DU) y distancia a carreteras (DR). Para asignar el peso apropiado para cada factor, se invitaron a 7 expertos en el campo de la calidad del agua superficial de varias Universidades y organizaciones de Jordania para asignar un peso a cada factor. Les solicitaron a los expertos que otorgaran 6 por el factor que tiene el mayor impacto en la contaminación de las

aguas superficiales y 1 por el factor de menor impacto, en la cual para llegar a un solo peso para cada factor y superar la variación entre la asignación de pesos de los expertos se hizo uso de la media y la mediana determinando el peso adecuado para cada factor.

Asimismo, A. Al-Harashseh et al., (2010), asegura que una variedad de actividades humanas derivadas de la agricultura, la industria, la comunidad y las fuentes residenciales, así como el mal uso de los recursos hídricos, puede contribuir al deterioro de la calidad del agua. La metodología implementada en esta investigación, está basada en un principio fundamental de que las áreas que son más propensas a la escorrentía son capaces de llevar los sedimentos en suspensión a los cuerpos de agua, por tanto propone 4 factores que influyen en la calidad del agua, la pendiente, la distancia a agua (ríos y lagos), cobertura de la tierra, y las propiedades del suelo. Cada factor tiene un peso para reflejar su contribución a la escorrentía del agua superficial y, por lo tanto, una indicación general de la superficie potencial de contaminación del agua. Los factores se combinan entonces para estimar los valores de susceptibilidad para toda la zona de estudio.

Por otra parte, la investigación de Uriarte, et al., (2011) establece que la expansión urbana puede degradar la calidad del agua, mientras que el aumento observado en la cubierta forestal tiene el potencial de regular el flujo de agua y mejorar la calidad del agua, para el estudio del uso de la tierra utilizaron tres mapas de uso / cobertura de la tierra de 1977 a 1978, de 1991 a 1992 y de 2000 para cuantificar el uso local y la cobertura del suelo (LUC) durante nuestro período de estudio. La calidad del agua y los datos del flujo de la corriente para Puerto Rico se obtuvieron del Sistema Nacional de Información sobre el Agua de los Servicios Geológicos de los Estados Unidos (USGS).

Años después Thatri y Tyagi (2014), con el fin de estudiar los efectos de los procesos naturales y humanos en los sistemas acuáticos rurales y urbanos, afirman que los factores naturales que influyen en la calidad del agua son la geología de la roca, el cambio climático, los desastres naturales (inundaciones, sequías, terremotos), deposición atmosférica (en seco y húmedo) y erosión de las rocas y que los antrópicos son las actividades agrícolas, escorrentía de la tierra de cultivos, corrales y cebaderos, instalaciones de almacenamientos, sitios de construcción, operaciones mineras, extracción de madera y pastos (granjas avícolas).

Poco después estos mismo autores, Khatri y Tyag, (2015), llevaron a cabo un estudio de las Influencias de los factores naturales y antropogénicos en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en áreas rurales y urbanas, en cual afirman que las aguas superficiales se ven afectada tanto por los procesos naturales como por las influencias antropogénicas. Debido a esto, el agua es cada vez más escasa a medida que aumenta la población en todo el mundo. Los procesos naturales que conducen a cambios en la calidad del agua incluyen la meteorización de las rocas, la evapotranspiración, los depósitos debido al viento, la lixiviación del suelo, la escorrentía debido a factores hidrológicos y los procesos biológicos en el medio ambiente acuático. Estos procesos naturales causan cambios en el pH y la alcalinidad del agua, y también en la carga de fósforo, aumento en el contenido de fluoruro y altas concentraciones de sulfatos. Los factores antropogénicos que afectan la calidad del agua incluyen los impactos debidos a la agricultura, el uso de fertilizantes, abonos y pesticidas, actividades de cría de animales, prácticas de riego ineficientes, deforestación de bosques, acuicultura, contaminación debido a efluentes industriales y aguas residuales domésticas, minería y actividades recreativas. Estas influencias antropogénicas causan concentraciones elevadas de metales pesados, mercurio, coliformes y cargas de nutrientes.

Ye, et al., (2008), determinó que la calidad del agua en la zona de estudio estaba fuertemente relacionada con el uso del suelo, donde la región dominada por el bosque tiene bajas concentraciones de la mayoría de las variables de nutrientes, mientras que la sub-cuenca agrícola tiene alta concentración de nitrato (NO_3), Nitrógeno total (NT), Algas., Y dureza. Este patrón de buena calidad del agua en las zonas boscosas y altas concentraciones de nitrógeno en las zonas agrícolas se ha demostrado en muchos estudios relacionados. La alta concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) en la región de bosque puede ser causada por altos niveles de materia orgánica terrestre (ramas y hojas) entran en el canal de río. La región aguas abajo de la zona urbana tiene altas concentraciones de amoníaco (NH_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), fosfatos (PO_4) y fósforo total (PT), que puede ser el resultado de la fuente de descarga de aguas residuales, así como la contaminación de la industria de fósforo en las cuencas hidrográficas. El alto valor de Conductividad en esta región se debió a la contaminación de la minería de piritas aguas arriba, por otra parte, demostraron que la topografía puede restringir ciertos patrones en el uso del suelo.

Eimers- Midgette et al., (2000), aplicaron un método creado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), en este método la calificación de las características de la cuenca se basa en una combinación de factores que contribuyen a probabilidad de que el agua, con o sin contaminantes, alcanzará una toma pública de suministro de agua superficial siguiendo el camino del flujo terrestre o el camino de flujo subterráneo. Los factores seleccionados, incluyen precipitación anual promedio, pendiente de la superficie del suelo, cobertura del suelo, uso del suelo y contribución del agua subterránea.

Asimismo, Xiao-larga- Tie-yu et al., (2006), llevaron a cabo una investigación que buscaba identificar las influencias antropogénicas en la calidad del agua de los ríos en la cuenca

Taihu en China, ellos concluyeron que las actividades antropogénicas han tenido significantes efectos en la calidad del agua en los ríos. Los factores estudiados fueron las aguas residuales provenientes de los hogares y de las industrias, la influencia de la agricultura y acuicultura.

Otro estudio acerca de la influencia antrópica en la calidad del agua fue el realizado por Morrice- Peterson et al., (2007), dedujeron que la química del agua de su zona de estudio depende de la influencia de factores antrópicos. Las prácticas agrícolas, distribución de la población humana, la contaminación de fuente puntual, y la deposición atmosférica fueron factores significativos en modelos de predicción de la química del agua.

Por otra parte en China se desarrolló una investigación sobre la influencia de la topografía y uso del suelo en la calidad del agua del río Xiangxi en la región de las Tres Gargantas por Ye, et al., (2008), determinó que la calidad del agua en la zona de estudio estaba fuertemente relacionada con el uso del suelo, donde la región dominada por el bosque tiene bajas concentraciones de la mayoría de las variables de nutrientes, mientras que la sub-cuenca agrícola tiene alta concentración de nitrato (NO_3), Nitrógeno total (NT), Algas., Y dureza. Este patrón de buena calidad del agua en las zonas boscosas y altas concentraciones de nitrógeno en las zonas agrícolas se ha demostrado en muchos estudios relacionados. La alta concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) en la región de bosque puede ser causada por altos niveles de materia orgánica terrestre (ramas y hojas) entran en el canal de río. La región aguas abajo de la zona urbana tiene altas concentraciones de amoníaco (NH_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), fosfatos (PO_4) y fósforo total (PT), que puede ser el resultado de la fuente de descarga de aguas residuales, así como la contaminación de la industria de fósforo en las cuencas hidrográficas. El alto valor de Conductividad en esta región se debió a la contaminación de la

minería de pirita aguas arribas, por otra parte, demostraron que la topografía puede restringir ciertos patrones en el uso del suelo.

Del mismo modo, Ahearn, Sheibley (2005), concluyeron que la agricultura tiene una significativa influencia en la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y de nitrógeno (N) en el agua, no obstante la densidad poblacional contribuye a la presencia de SST pero no tiene un impacto en la carga de nitrógeno, por tanto la principal fuente de nitrógeno está relacionada a los pastizales.

Diamantino- Lobo et al., (2007), comentan que el índice WRASTIC es un método desarrollado para evaluar la susceptibilidad de las cuencas hidrográficas a la contaminación de las aguas superficiales en cualquier entorno hidrogeológico en función de las principales características de la cuenca y los usos del suelo. Fue desarrollado para US-EPA, en 1991, por el Asociación Americana de Obras de Agua y luego adaptado por NMED / DWB (Oficina de Agua Potable del Departamento de Medio Ambiente de Nuevo México) (NMED / DWB, 2000). WRASTIC es un acrónimo de los siguientes parámetros: descargas de aguas residuales (W); impactos del uso recreativo de la tierra (R); impactos del uso de la tierra agrícola (A); tamaño de la cuenca hidrográfica (S); avenidas de transporte (T); impactos del uso industrial de la tierra (I); y cantidad de cobertura vegetal del suelo (C).

En este mismo orden de idea Ahearn- Tate et al., (2005), desarrollaron una investigación en California EE.UU, en la que concluyeron que la cobertura agrícola tenía una significativa influencia en los sólidos suspendidos totales (SST) y nitrato. La densidad de población también contribuyó a la presencia de los SST, pero no tienen un impacto en nitrato, los pastizales actuaron como una fuente de nitrato durante años promedio de agua y los canales que se ejecutan a través de ellos actuaron como un sumidero de nitrato durante años secos.

En el estudio realizado por Ecofluidos Ingenieros S.A (2012), la concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares, del mismo modo, los sulfatos son compuestos que se encuentran presentes en el agua de forma natural, debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre (formaciones rocosas compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados). Se han encontrado altas concentraciones tanto en las aguas subterráneas como sometidas a contaminación antropogénicas. Además, el ión fosfato en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes fosfatados.

Luego Montero y Martínez (2014), generó un estudio sobre la composición físico-química de aguas ácidas procedentes de dos minas de carbón, donde determinó que otra fuente de contaminación está asociada con las actividades mineras. En ese sentido, la extracción y procesamiento de yacimientos metálicos y del carbón constituyen un factor en la pérdida de la calidad de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, permitiendo variaciones en el pH, el aumento en solución de altas concentraciones de metales como Se, Mo, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, As, Cr y V, así como también de especies solubles como Ca, Mg, Na y SO_4 . Además, la actividad minera, al exponer grandes volúmenes de rocas, puede conllevar a la oxidación de los minerales presentes en la misma. En ese sentido, la pirita es un mineral común en los mantos de carbón, cuyo producto de su oxidación puede generar ácido sulfúrico (disociado en sus iones) y la precipitación de hidróxidos de hierro. Asimismo, en la pirita pueden estar presentes una serie de

metales y metaloides como As, Se, Hg, Cu y Ni, entre otros, que pueden ser aportados al ambiente como resultado de la meteorización de dicho mineral, en general concluyeron que el K^+ como la sílice disuelta (SiO_2) y el Al son aportados a las aguas ácidas durante la interacción de esta agua con los aluminosilicatos presentes en las rocas adyacentes al manto de carbón.

De igual manera, Corbett (2003), desarrollo la investigación acerca de la afectación que genera la minería de carbón en las aguas superficiales. Esta actividad económica produce agua dura del tipo sulfato de calcio o sulfato de calcio-magnesio que tiene un pH bajo, alto en hierro y aluminio. Estas aguas duras difieren del tipo más común de aguas duras en que el anión dominante es el sulfato en lugar del bicarbonato.

3.2.2. Antecedentes nacionales

Con respecto a Colombia, Ayala, Helcías, et al., (2016), hicieron una publicación relacionada a la actividad minera en el país, donde se determinó que las actividades mineras, dependiendo del mineral y del tipo de extracción, pueden ocasionar afectaciones al recurso hídrico de muchas maneras; desde la contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, pasando por la alteración de los flujos de agua superficiales y subterráneos, hasta la utilización de volúmenes de agua significativos, que pueden representar de manera directa o indirecta afectaciones en la disponibilidad hídrica para el consumo de personas y comunidades aledañas a los proyectos, o la utilización en otras actividades económicas agrícolas y ganaderas. Por otra parte la minería de Carbón es predominante en Boyacá, con el 54% de todas las extracciones del país (70% con título minero), seguido por Cundinamarca con el 22% (50% con título minero), Norte de Santander con el 15% (65% con título minero), Antioquia con el 5% (27% con título minero) y Valle del Cauca con el 4% (9% con título minero).

Según Gualdrón (2016), llevó a cabo una investigación de la evaluación de la calidad del agua en ríos de Colombia, determinó que la alta oferta hídrica Colombiana existen serios problemas de disponibilidad de agua de calidad en muchas regiones; en especial, aquellas zonas más pobladas. Algunos aspectos como: contaminación, deforestación, erosión, pérdida de la capacidad de retención y regulación hídrica, han alterado directa o indirectamente la oferta hídrica. Diversos estudios señalan que aquellas zonas del territorio nacional sometidas a mayores presiones antrópicas, presentan cambios importantes en la cobertura vegetal y en el uso y manejo del suelo, viéndose alterado elementos particulares del perfil de los ríos (longitud desde el nacimiento hasta desembocadura), ocasionando drásticas alteraciones en la parte media y baja de las cuencas hidrográficas, en relación a las cabeceras de las mismas. Asimismo, el problema actual de la calidad de agua se deriva principalmente por las descargas de residuos resultantes de actividades humanas que interfiere con el uso deseable del agua. Uno de los agentes más contaminantes del agua destinada para consumo es el arsénico (As). Este mineral está asociado no sólo a actividades extractivas, sino también a condiciones geológicas e hidrogeológicas. La contaminación de cuerpos de agua en Colombia se debe a factores naturales y antropogénicos.

Otra actividad que contamina las fuentes hídricas es la expuesta por Tobó – Paniagua *et al.*, (2010), ellos comentan que en la zona de estudio existen dos microcuencas: 1. La quebrada Fray Juana, que divide los terrenos de la Hacienda La Montaña y sus aguas se utilizan como fuente de abastecimiento para sus unidades de producción. Estas aguas, son tratadas en una planta de potabilización ubicada en su predio. 2. La quebrada El Hato, que recibe las aguas de la quebrada Fray Juana, dentro de la hacienda. Ambas microcuencas son contaminadas por tres factores fundamentales: a) descarga directa de aguas residuales, resultado del lavado de la infraestructura productiva; b) descarga directa de residuos sólidos y c) utilización inadecuada de

plaguicidas y pesticidas tóxicos, contaminantes de dichas fuentes hídricas que merecen particular atención, como son los compuestos organoclorados, organofosforados y los carbamatos.

3.2.3. Antecedentes regionales

A escala regional Delgado (2019), realizó el análisis hidrológico de la quebrada las pavas, Mutiscua - norte de Santander, estableció que la contaminación encontrada en un tramo de la microcuenca es de tipo natural, ya que aguas arriba no existía viviendas o actividad antrópica aparente. La presencia de depósitos coluviales con bloques de calizas y lodolitas orgánicas, pudieron facilitar la ocurrencia de reacciones con el agua que llevan a liberar carbonatos, fósforo y materia orgánica que entra en solución y en suspensión, fluyendo en el cauce. Esto explica la presencia significativa carbonatos asociados a rocas calizas, cuya dilución aporta considerables concentraciones de calcio al agua de la quebrada, aunque en cantidades inferiores a los umbrales establecidos en la norma.

Berbesi (2014), realizó el análisis de las precipitaciones, a través de las estaciones meteorológicas de dos estaciones que se encuentran en el municipio de Pamplona, de las cuales obtuvo las precipitaciones máximas en 24 horas por una serie de tiempo desde el año 1972 hasta el 2013. Además con la ayuda de las curvas IDF determinó la máxima intensidad de precipitación para tres periodos de retorno (2, 5 y 10 años), lo cual permite la determinación de caudales máximos dependiendo del método utilizado aportando la intensidad máxima específica para cada año de retorno.

3.2.4. Antecedentes locales

Hasta el momento se conoce que en la microcuenca Barroso (2018), aplicó el método de corine land cover, para realizar la zonificación de la cobertura vegetal y determinó que los bosques con cubierta buena cubren la parte media y alta de la cuenca; y los pastizales, en su mayoría en la parte en la parte, los bosques con cubierta buena cubren un 69% del área total de la cuenca; en segundo lugar, son los Pastizales con condiciones óptimas con 14,7%; y le siguen los Bosques con cubierta pobre con 7,5%, y Pastizales con condiciones pobre con 7,3%. Las tierras cultivadas presentes en la microcuenca, tienen tratamiento de conservación, por lo que el suelo utilizado no se encuentra degradado. En este estudio se establece que el clima de la microcuenca Cucalina es templado húmedo.

3.3. Marco teórico

3.3.1. Agua

Es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Puede encontrarse, principalmente, en forma de hielo (IDEAM, 2004).

En este mismo contexto, Fernández (2012), hace énfasis en la salinidad total de las aguas superficiales continentales, las cuales está determinada normalmente por la presencia de los cationes sodio, calcio, magnesio y potasio y de los aniones cloruros, sulfato y bicarbonato,

carbonato y se debe principalmente a los procesos de meteorización de rocas de la cuenca de drenaje, a la precipitación atmosférica y al equilibrio precipitación- evaporación. A su vez, la meteorización se produce mayormente como consecuencia de procesos de disolución, hidrólisis, de óxido reducción y de formación de complejos con sustancias inorgánicas u orgánicas (Kilham, 1990).

3.3.2. Calidad del agua

El decreto 1575 del 2007 define la calidad del agua como el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia, para Chávez (2018), es un valor ecológico esencial para la salud y para el crecimiento económico. También dice que la relación de la calidad de agua con la salud, es evidente y es una prioridad sanitaria desde siempre. Igualmente la Organización Mundial de la Salud (OMS) encuentra, una relación directa entre la calidad del agua y la pobreza.

En este mismo contexto Castro-Díaz *et al.*, (2014), resalta que la calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado, de la misma manera, Oana (2010), menciona que el tipo de calidad del agua se define en función de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

3.3.3. Susceptibilidad de la calidad del agua

Según Soldano (2009), la susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico, de acuerdo a este esquema se puede entender por susceptibilidad del agua a la mayor o menor

probabilidad de que un cuerpo de agua se encuentre contaminado o no. De acuerdo (Al-Adamat, 2017). La evaluación de la susceptibilidad de los recursos de agua superficial a la contaminación es importante para obtener los mapas de riesgo de contaminación, lo que contribuye a la toma de decisiones que permitan mitigar o prevenir efectos adversos en los seres vivos.

3.3.4. Cuenca hidrográfica

Es el espacio de terreno limitado por las partes altas de las montañas, laderas y colinas, en el que se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal, el cual se integra al mar, lago u otro río más grande. En una cuenca hidrográfica se ubican recursos naturales diversos como suelos, aguas, vegetación y otros, en estrecha vinculación con las actividades humanas a las que les sirven de soporte. Cardona (2010), de la misma manera en el decreto 1640 del 2012, por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. La define como el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

3.3.5. Morfometría de una Cuenca

Reyes Trujillo, Ulises Barroso, y Carvajal Escobar (2010), citado por Hernández (2015), indican que la morfometría es la forma de una cuenca siendo la configuración geométrica proyectada en el plano horizontal que influye en la tasa en la que se suministra el agua al cauce

principal durante su recorrido inicial hasta su desembocadura, es decir que la forma se relaciona con el comportamiento hidrológico de la cuenca.

En el mismo orden de idea Delgado (2019), expresa que dentro de los rasgos hidromorfométricos de una cuenca se encuentran:

3.3.5.1. Parámetros de superficies

3.3.5.1.1. Área (A)

Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en km^2 . Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor Lux (2016). Las cuencas se pueden clasificar teniendo en cuenta el área. (Ver tabla 1).

Rangos de áreas (Km^2)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 - 250	Pequeña
250 - 500	Intermedia - pequeña
500 - 2500	Intermedia - grande
2500 - 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Tabla 1. Clasificación del tamaño de la cuenca

Fuente: Campos Aranda (1992) citado en Camino- De Marco (2018).

En la tabla 2. Se muestra otra la clasificación de la cuenca según su área

Rangos de áreas (Km ²)	Clasificación
< 5	Unidad
5 a 20	Sector
20 a 100	Microcuenca
100 a 300	Subcuenca
> 300	Cuenca

Tabla 2. Clasificación del tamaño de la cuenca
Fuente: Jiménez y Materón (1986). Citado por López (2016).

3.3.5.1.2. *Perímetro (P)*

El perímetro de la cuenca o longitud de la línea divisoria de la cuenca es una línea curvada y ondulada que recorre la divisoria de vertido de aguas entre las cuencas adyacentes Asensio – Gibert *et al.*, (2011).

3.3.5.1.3. *Longitud axial (La)*

Es una línea recta en la misma dirección del cauce principal, que inicia en la desembocadura hasta el punto más lejano de la cuenca, regularmente se expresa en km.

3.3.5.1.4. *Longitud del cauce principal (L)*

Es la distancia recorrida por el cauce principal de la cuenca, usualmente su unidad de medida es en km. La importancia de este parámetro es importante para determinar la clase de la longitud del cauce, como se muestra en la tabla 3.

Rangos de longitud (Km)	Clases de longitud del cauce
1.69 - 4.17	Corto
4.18 - 6.65	Mediano
6.66 - 9.13	Largo

Tabla 3. Clasificación de la longitud del cauce principal
Fuente: Cortolima (2015)

3.3.5.1.5. *Ancho promedio (Ap)*

Se define como la relación entre el área y la longitud axial de la cuenca (Ibáñez –Gibert *et al.*, 2011). Para Peña (2015), este es un parámetro muy importante, puesto que con él se puede crear un indicio de la geometría y se puede inferir acerca del comportamiento hidráulico del cuerpo hídrico (ecuación 2).

$$Ap = \frac{A}{La} \quad Ec. 1$$

Donde, Ap - Ancho promedio, A - Área de la cuenca, La - longitud axial

3.3.5.2. Parámetros de forma

3.3.5.2.1. *Índice de compacidad (kc)*

La forma de la cuenca ha sido comparada con diferentes formas ideales, algunas con más éxito que otras. El índice de compacidad de Gravelius, compara la longitud del perímetro con la circunferencia de un círculo con igual superficie que la cuenca. Este índice señala la mayor o menor compacidad de la cuenca a través de la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie que la cuenca. Cuanto más cercano esté

el índice a la unidad, se considera que la cuenca tiene una forma más circular y que por tanto es más compacta, y va aumentando conforme disminuye la compacidad, (González 2004).

Según Monsalve (1995), mencionado en Peña (2015), es un factor determinante, puesto que en cuencas con índices de Gravelius cercanos a 2 el tiempo de concentración es mayor debido a que la hoya se torna alargada. Por el contrario, cuencas con índices de Gravelius cercanos a 1, el tiempo de concentración será menor, entonces las hoyas se tornan circulares. Este factor es adimensional, ver ecuación 3. En la tabla 4 se muestra la interpretación.

$$Kc = \frac{0.28 * P}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde, Kc - Índice de compacidad, A - Área de la cuenca y P - Perímetro de la cuenca.

Kc	Formas dela cuenca
1 - 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 - 1.5	Oval redonda a oval oblonga
1.5 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular

Tabla 4. Forma de la cuenca según el Índice de Compacidad
Fuente: Gaspari et al. (2012) citado por Camino- De Marco (2018)

3.3.5.2.2. *Factor de forma (Rf)*

De acuerdo con Jardí (1985) es otra variable que intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje. Fue introducida por Magette en 1976, quien la denominó Form factor, simbolizándola por Rf .

Las cuencas pueden presentar igual área, sin embargo el factor de forma puede cambiar debido a que este es inversamente proporcional a la longitud de la cuenca. Una cuenca con factor de forma más bajo es menos susceptible a crecidas extraordinarias Peña (2015). La variable queda definida por la ecuación 4.

$$R_f = \frac{A}{La^2} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde, R_f - Factor de forma de Horton, A - Área de la cuenca, L - Longitud axial de la cuenca

Este índice se interpreta como lo describe la tabla 5.

Rangos de K_f	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.2	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Tabla 5 . Forma de la cuenca según el Factor de Forma
Fuente: Strahler (1957), en Sellers- Miranda et al, (2019).

3.3.5.2.3. Índice de alargamiento (I_a)

Moreno y Esquivel (2015). Este parámetro muestra el comportamiento de la forma de la cuenca, pero no con respecto a su redondez sino a su tendencia a ser de forma alargada, este parámetro relaciona la longitud axial con el ancho máximo de la cuenca (Ecuación 5)

$$I_a = \frac{la}{l} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde, I_a - índice de alargamiento, La - longitud axial, L - Ancho máximo.

Este índice permite predecir el movimiento del agua en los drenajes y potencia erosiva o de arrastre, se rige a partir de los siguientes parámetros, los cuales se observan en la tabla 6.

Ia	Forma de la cuenca
1.4	Poco alargada
1.5 -2.8	Moderadamente alargada
2.9 a > 4.2	Muy alargada

Tabla 6. Forma de la cuenca según el Factor de Forma

Fuente: Cortolima (2015)

3.3.5.3. Parámetros de relieve.

3.3.5.3.1. Pendiente media del cauce principal (S_c):

Peña (2015), la define como diferencia total de elevación del lecho del río dividido entre su longitud entre esos puntos, este parámetro se calcula con la ecuación 6, propuesta por Villarroel (2006).

$$S_c = \frac{\Delta_H}{L} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde, S_c - Pendiente media del cauce principal, Δ_H – Es la diferencia de altura, entre la cota máxima y la cota mínima de la cuenca, L - es la distancia que hay entre la cota máxima y la cota mínima de la cuenca. Para un correcto análisis del relieve (ver tabla 7).

Pendiente (%)	Tipo de Relieve
0 a 3	Plano
3 a 7	Suave
7 a 12	Mediano
12 a 20	Accidentado
20 a 35	Fuertemente Accidentado
35 a 50	Muy fuertemente Accidentado
50 a 75	Escarpado

> 75	Muy escarpado
------	---------------

Tabla 7. Forma de la cuenca según el Factor de forma
Fuente: Moreno y Esquivel (2015)

3.3.5.3.2. *Altura media (H)*

Es la elevación promedio referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca. La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes, Ibáñez- Gisbert *et al.*, (2011). Este mismo autor comenta que la altura media o elevación media puede ser calculado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total, sin embargo Moreno y Esquivel (2015).

Peña (2015), La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua, depende en gran medida de la pendiente de sus canales fluviales, a mayor pendiente mayor velocidad de escurrimiento. Se plantea la ecuación 7.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i X e_i}{A_t} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde, E_m - elevación media, A_i - Áreas entre curvas, e_i - Cotas intermedias entre área (ver tabla 8).

Elevación media (m.s.n.m)	Tipo de clima
800 a 1000	Macro térmico, con las temperaturas siempre elevadas y constantes.
1000 a 2750	Meso térmico o piso templado.
2750 a 4700	Micro térmico o piso paramo.
> 4700	Gélido, o de nieves perpetúas.

Tabla 8. Clasificación del clima según la elevación media.
Fuente: Moreno y Esquivel (2015)

3.3.5.3.3. Curva hipsométrica

De acuerdo a Villada (2008), La curva hipsométrica representa, en abscisas, la superficie de la cuenca que se está por encima de las cotas de altura indicando en ordenadas, es decir la superficie dominada por cada cota. Para el trazado de la curva se deben medir las áreas parciales entre cada curva de nivel y graficarla, ordenada las cotas y en abscisas las sumatorias inversas parciales (ver imagen 1).

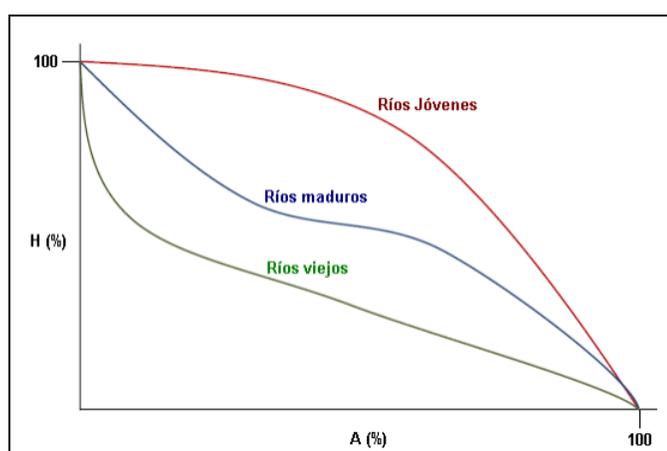


Imagen 1. Tipos de curvas hipsométricas.
Fuente: Sánchez (2004)

Una cuenca joven representa un gran poder erosivo, la cuenca madura indica que está en equilibrio y la fase de vejez que es una cuenca sedimentaria.

3.3.5.3.4. Perfil longitudinal del cauce

Sellers-Miranda *et al.*, (2017), el perfil longitudinal de un río es la línea obtenida a partir de la representación gráfica de las diferentes alturas desde su nacimiento hasta su desembocadura

3.3.5.4. Parámetros de drenaje

3.3.5.4.1. Orden de las corrientes de agua

Es un parámetro que para Zamudio (2015), Refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca (ver imagen 2).

- ✓ Corrientes de primer orden: pequeños canales que no tiene tributarios.
- ✓ Corrientes de segundo orden: cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- ✓ Corrientes de tercer orden: cuando dos corrientes de segundo orden se unen.
- ✓ Corrientes de orden $n+1$: Cuando dos corrientes de orden n se unen.

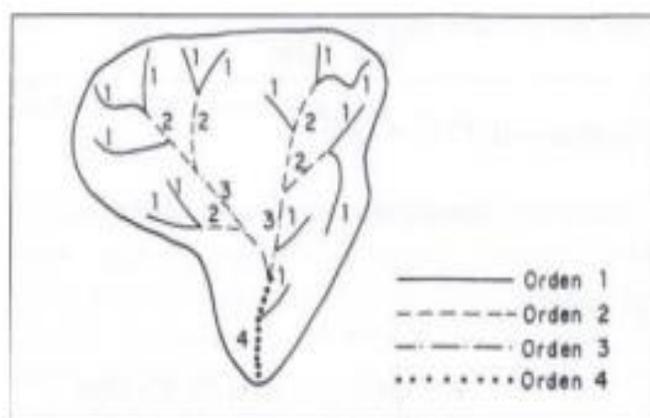


Imagen 2. Clasificación de las corrientes según el grado
Fuente: Zamudio (2015)

3.3.5.4.2. Densidad de drenaje (Dd)

Camino- De Marco et al., (2018), es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total.

Los valores más altos de densidad de drenaje, indican zonas de poca cobertura vegetal o suelos fácilmente erosionables o impermeables, quiere decir que cuando cae la precipitación la cuenca drena rápidamente el agua y no le da tiempo a esta de percolarse a estratos más bajos de suelo y como resultado el tiempo de concentración es menor. Los valores más bajos indican una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta. La litología de este tipo de cuencas, corresponde a suelos duros poco erosionables o muy permeables. Peña (2015). Se propone la ecuación que se presenta a continuación.

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde, L -Longitud total de las corrientes de agua, A - Área total de la cuenca.

Este parámetro brinda información de la eficiencia del drenaje, como se observa en la tabla 9 y 10, donde se presenta la clasificación de la densidad de drenaje según dos autores.

Dd (km/km ²)	Clase
0 - 1.8	Baja
1.9 - 3.6	Moderada
3.7 - 5.6	Alta

Tabla 9. Clasificación de la densidad de drenaje.
Fuente: Junco (2004), citado por Camino- De Marco et al., (2018)

Dd (km/km ²)	Clase
< 1	Baja
1.0 - 2.0	Moderada
2.0 - 3.0	Alta
> 3	Muy alta

Tabla 10. Clasificación de la densidad de drenaje
Fuente: Delgadillo y Páez (2008), citado por Camino- De Marco (2018)

3.3.5.4.3. Patrón de drenaje

El patrón de drenaje (imagen 3) es un elemento compuesto, para cuyo análisis es fundamental tener en cuenta el relieve, la distribución de la vegetación y las condiciones estructurales de la zona (Londoño, 2001, mencionado por Corradine 2017).

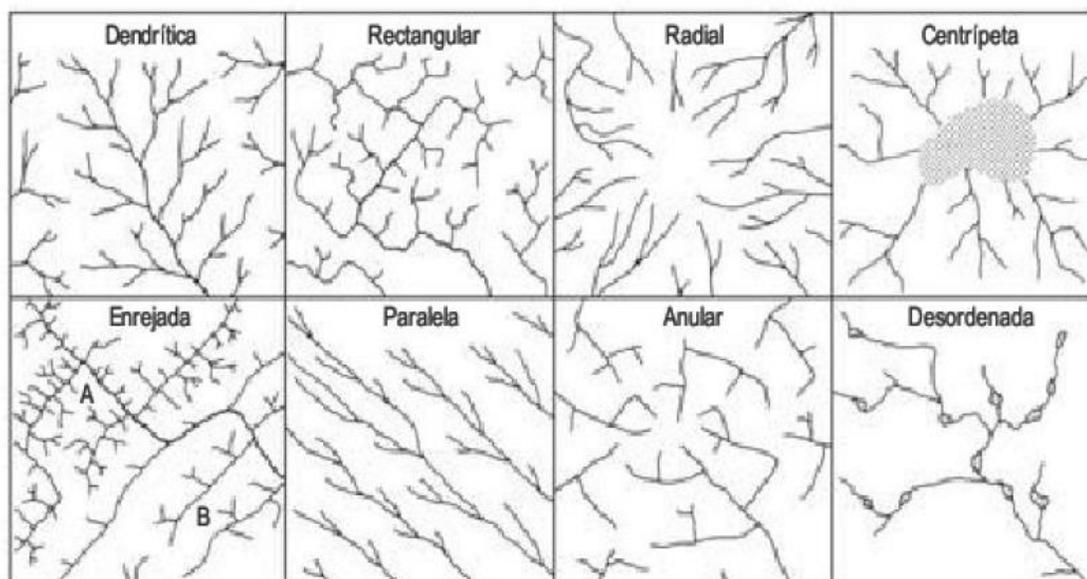


Imagen 3. Patrones de drenajes
Fuente: Gregory y Walling (1973)

3.3.5.5. Parámetro de escorrentía:

3.3.5.5.1. Extensión media de la escorrentía superficial

Se define como la distancia media en que el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una hoya, en caso de que la escorrentía se diese en línea recta desde donde la lluvia cayó hasta el punto más próximo al lecho de una corriente cualquiera de la hoya (Peña, 2015) (ver ecuación 9)

$$i = \frac{A}{4L} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde i - Extensión media de la escorrentía superficial, A - Área de la cuenca, L - Longitud del cauce principal.

3.3.6. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Teniendo en cuenta a Chang (2008) los parámetros como la temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sedimento suspendido (SS), fósforo total (TP), coliformes fecales (CT), coliformes totales (CF) y nitrógeno total (TN), entre otros, son importantes en la determinación de la calidad del agua, ya que ellos son indicadores de calidad.

De acuerdo a Debels- Figueroa, *et al.*, (2005) estos parámetros son herramientas útiles para monitorear las tendencias globales de calidad del agua en diferentes cuencas. De acuerdo a Khatri y Tyag, (2015), la calidad del agua, medida mediante la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua contra un conjunto de estándares, se utiliza para determinar si el agua es apta para el consumo humano o posee las condiciones óptimas para mantener la vida acuática.

3.3.7. Escorrentía superficial

Rivas (2017). Precisa que la escorrentía Superficial o Directa es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Corresponde a la precipitación que no queda tampoco detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración. El proceso que describe el agua cuando se inicia un aguacero depende de las características del terreno: la primera lluvia caída se invierte en llenar la capacidad de retención de la parte aérea de las plantas y en saturar el suelo. Cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, el agua comenzará a moverse por la superficie del terreno. Se forma, entonces, una capa delgada de agua. Ésta se mueve por la acción de la gravedad según la pendiente del terreno y es frenada por las irregularidades del suelo y por la presencia de vegetación hasta incorporarse a la red de drenaje, donde se junta con los otros componentes que constituyen la escorrentía total.

La escorrentía disminuye cuando los suelos están compuestos con materia orgánica, ya que incrementa la infiltración del agua hacia estratos inferiores (Porto et al., 2003; Kirkby, 1998; Grazhdani y Shumka, 200, citados por Sánchez- Mancera, 2015).

El papel importante que juega la escorrentía superficial en la calidad del agua es por la capacidad de la escorrentía superficial de arrastrar contaminantes presentes en las superficies por donde transita hacia los cuerpos de agua naturales y artificiales, efecto que es conocido como contaminación difusa (Castro Fresno et al. 2005, citados por Fernández, 2009).

3.3.8. *Factores que inciden en la contaminación del agua*

Para L. Ye, *et al.*, (2008), los ríos constituyen los principales recursos hídricos continentales para fines domésticos, industriales y de irrigación, y desempeñan un papel importante en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos.

Uriarte- Arce *et al.*, (2010), publicó que los humanos influyen en las cuencas hidrográficas a través de múltiples vías. Afectan directamente el uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo. La urbanización y el desarrollo de los pastizales generalmente degradaron la calidad del agua en la agricultura, mientras que el segundo crecimiento forestal secundario tiene impactos mixtos.

Para Al-Adamat (2017), la USGS para determinar la calidad del agua teniendo en cuenta el entorno, se basa en el uso de 5 factores, que incluyen la precipitación anual promedio, la pendiente de la superficie del suelo, la cobertura del suelo, el uso del suelo y la contribución de las aguas subterráneas, también habla de una metodología desarrollada por el Laboratorio de Análisis Espacial y Geociencias en la Universidad de Minnesota-Duluth, EE. UU. La cual está fundamentada en el principio de que las áreas con mayor tendencia a la escorrentía son capaces de transportar sedimentos en suspensión a cuerpos de agua. Solo cuatro factores intrínsecos están involucrados en la estimación del potencial de escorrentía de aguas superficiales, estos factores son la pendiente del gradiente, la distancia al agua (arroyos y lagos), la cobertura del suelo y las propiedades del suelo. Los incrementos en la extensión de las superficies impermeables alteran el ciclo hidrológico, mientras que la descarga de contaminantes en los arroyos, ríos y lagos conduce a la contaminación de las aguas abajo y la eutrofización (Khatri y Tyag , 2015).

De acuerdo con Yisa y Jimoh, (2010) la cobertura se asocia positivamente con aumentos en la contaminación del agua y se incluye como variable explicativa importante para las variaciones en todos los parámetros de calidad del agua, excepto del pH. La topografía y los factores del suelo explican aún más las variaciones espaciales en pH, DQO, DBO y SS. A continuación se presentan algunos factores que influyen en la calidad del agua.

3.3.8.1. Uso de la tierra

La estructura temporal que el uso del suelo tiene naturalmente diseñada, se ve deteriorada por las actividades antrópicas, factor que ayuda a la escorrentía, en procesos como la erosión, lo cual degrada la calidad de aguas de esta cuenca. Perez- Martins *et al.*, (2017). De la misma manera, Jaramillo (2013), establece que los cambios en el uso del suelo, primordialmente en zonas naturales y de ocupación agrícola, provocados por el abuso de la excesiva “permisividad edificatoria” causarán a medio y largo plazo un impacto ambiental negativo sobre el medio. Sobre todo y como se estudia en este proyecto, afectará a la calidad de las aguas. Los principales usos del suelo están definido por las siguientes actividades:

3.3.8.1.1. Actividad agrícola

La agricultura es la actividad humana tendiente a combinar diferentes procedimientos y saberes en el tratamiento de la tierra, con el objetivo de producir alimentos de origen vegetal, tales como frutas, verduras, hortalizas, cereales, entre otros. Unknown (2018).

De acuerdo con Pacheco y Cabrera (1996), de todas las actividades del hombre que tienen influencia en la calidad del agua, la agricultura es, probablemente, una de las más importantes debido a que puede causar la degradación del recurso por el uso de fertilizantes y plaguicidas.

Esta degradación, es originada por cambios bioquímicos en la zona del suelo donde los fertilizantes nitrogenados y fosforados, cambian a nitratos y fosfatos. También, este autor resalta que existen estudios que indican que los fertilizantes han causado cambios en la calidad del agua, en especial, en la concentración de nitrato.

Pérez y Aguilar (2012), estima que, de los plaguicidas utilizados en la agricultura en forma preventiva, sin importar si se presenta o no una plaga, sólo 1% alcanza los cultivos, el resto contamina suelo, aire y, principalmente, los cuerpos de agua. Igualmente, Villaamil – Nassetta *et al.*, (2013), en su investigación sobre la contaminación del agua por plaguicidas, detectaron esta sustancia química en aguas de la cuenca en estudio; observaron niveles altos de agroquímicos en las zonas con prácticas intensas de agricultura.

Ahearn-Tate *et al.*, (2005), asegura que la agricultura aporta gran cantidad de nitrógeno a los cuerpos de agua, fosforo y sedimentos.

Estas sustancias, pueden llegar a las fuentes hídricas por la erosión superficial que puede transportar herbicidas a los sistemas acuáticos o por la acción de la escorrentía superficial. Silva y Correa (2009).

3.3.8.1.2. Actividad ganadera

La actividad ganadera se considera uno de los sectores más perjudiciales para los recursos hídricos, contribuyendo a la contaminación del agua, la eutrofización (proliferación de biomasa vegetal debido a la excesiva presencia de nutrientes). Los principales agentes contaminantes son los desechos animales, los antibióticos y las hormonas, los productos químicos utilizados para teñir las pieles, los fertilizantes y pesticidas que se usan para fumigar los cultivos forrajeros. El sobrepastoreo afecta al ciclo del agua e impide que se renueven los recursos hídricos tanto de

superficie como subterráneos. La producción de forraje obliga a desviar importantes cantidades de agua (FAO 2006, citado por Arrieta- Trujillo *et al.*, 2018).

Basándonos en Ramírez-Chará et al., (2018), en el pastoreo fluyen agroquímicos, nutrientes, materia orgánica y sedimentos hacia las corrientes de agua, esto modifica las características físicas naturales de los sistemas lóticos, genera pérdida de hábitats y deterioro de la calidad de agua lo que a su vez afecta a los organismos acuáticos.

3.3.8.1.3. Actividad minera (Carbón)

Montero y Martínez (2014), declaran que las actividades mineras como la extracción y procesamiento de yacimientos metálicos y del carbón constituyen un factor en la pérdida de la calidad de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, permitiendo variaciones en el pH, el aumento en solución de altas concentraciones de metales como Se, Mo, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, As, Cr y V, así como también de especies solubles como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y SO_4 . También, expone grandes volúmenes de rocas, puede conllevar a la oxidación de los minerales presentes en la misma. En ese sentido, la pirita es un mineral común en los mantos de carbón, cuyo producto de su oxidación puede generar ácido sulfúrico (disociado en sus iones) y la precipitación de oxihidróxidos de hierro. Asimismo, en la pirita pueden estar presentes una serie de metales y metaloides.

Otro autor que hacer referencia a cerca de las afectaciones que genera la minería de carbón es Corbett (2003), él indica que las áreas perturbadas por la minería, producen agua dura del tipo sulfato de calcio o sulfato de calcio-magnesio que tiene un pH bajo, alto en hierro y aluminio, y que contiene oligoelementos de uno o más órdenes de magnitud mayores que el agua del terreno no perturbado.

3.3.8.1.4. Distancias a vías carreteras

Los sistemas de carreteras mueven grandes volúmenes de tráfico de manera rápida, segura y efectiva. Sin embargo, una vez que estos caminos están en su lugar, su uso y mantenimiento afectan continuamente el medio ambiente circundante. El tráfico en las carreteras es una fuente de sustancias químicas en áreas cercanas a las carreteras y en áreas remotas a través del transporte aéreo y por arroyos que drenan las carreteras. Cualquier evaluación completa de los efectos del desarrollo sobre la calidad del agua debe incluir los efectos de las carreteras. Aunque la magnitud de estos efectos varía, los diferentes tramos de carretera que tienen clima, topografía y densidad de tráfico similares deberían tener tipos similares de efectos ambientales (Harmed 1982).

Fallah- Seigneur *et al.*, (2012), estimaron que la contribución del tráfico local a la contaminación de las aguas pluviales es significativa para Pb y, en menor medida, para Zn y Cd; sin embargo, lo más probable es que se sobreestime el Pb debido a factores de emisiones obsoletos.

Por último Fallah- Seigneur *et al.*, (2012), estima importante tener conocimiento exhaustivo de la distribución espacial de las carreteras con mucho tráfico para predecir la calidad del agua en las zonas urbanas.

3.3.8.2. Pendiente topográfica

Ibáñez – Moreno *et al.*, (2011), el concepto de pendiente en sí, es la relación que existe entre el desnivel (ΔY) y la distancia en horizontal (ΔX) que debemos recorrer. Se expresa normalmente en porcentaje o en grados. Su aplicación al terreno se basa en el control del desnivel existente en una ladera (ΔY) mediante las cotas, y su variación en el espacio (Imagen 5).

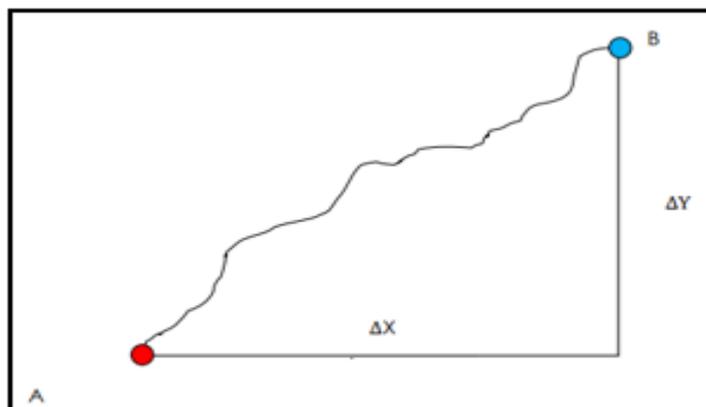


Imagen 4. Perfil de la pendiente topográfica.
Fuente: Ibáñez – Moreno et al., (2011)

Pero la pendiente topográfica es un detonante ambiental, ya que contribuye a la contaminación del agua.

Al-Adamat (2017), concluyo que la escorrentía del agua superficial ocurre cuando hay un exceso de agua en una pendiente que no puede ser absorbida por el suelo o está atrapada en la superficie. Cuanto más pronunciada es la pendiente de un campo, mayor es el potencial de escorrentía y por tanto el agua superficial es más susceptible a la contaminación cuando la escorrentía es alta y la infiltración es baja.

En este mismo orden de idea L. Ye, *et al.*, (2008), exponen que los sólidos suspendidos totales, en tierras con altas pendientes aumenta la turbidez del agua, mientras que en zonas planas la turbidez disminuye, no obstante, también resaltan que la topografía puede limitar ciertos patrones de uso del suelo, es decir ellos encontraron que en campos agrícolas se da principalmente donde la topografía es relativamente plana, mientras los bosques se distribuyó en regiones de alta elevación.

3.3.8.3. Tipo de suelo

Los suelos con alto contenido de arcilla tienen varias propiedades que podrían conducir al movimiento de contaminantes de las tierras agrícolas. Además, la estructura de la superficie de los suelos puede degradarse en los suelos con alto contenido de arcilla. Esto conducirá a la formación de corteza que restringe la infiltración y aumenta la escorrentía. La escorrentía aumenta cuando los suelos arcillosos están húmedos, debido a la compacidad del suelo. La escorrentía puede contener contaminantes y podría afectar la calidad del agua superficial. Al-Adamat (2017).

3.3.8.4. Asentamiento humano en riberas de los ríos

El crecimiento urbano puede degradar significativamente el agua superficial (Rahman y Lee, 1997; Karn y Harada, 2001, Ouyang et al., 2006; Goonetilleke et al., 2005; Praus, 2007, Cunha et al., 2010). Citado por Ternus – Magro et al., (2011).

Asimismo, Zhang – Gao *et al.*, (2017), El desarrollo urbano altera drásticamente las estructuras y funciones de los ecosistemas naturales de las cuencas hidrográficas y enfatiza los recursos hídricos. Los recursos hídricos y la calidad del agua en los entornos urbanos de todo el mundo están cada vez más estresados debido al crecimiento de la población y al rápido cambio en el uso de la tierra. Los estudios demuestran que la urbanización podría aumentar los niveles de bacterias coliformes, metales pesados y otros indicadores de agua de arroyos, lagos y ríos, incluyendo oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, pH, dureza total y otros productos químicos.

3.3.9. Geología

Pino- Alfaro, *et al* .La calidad de agua es influenciada por la geología que la alberga, es decir, por la interacción del ciclo hidrológico y las temperaturas elevadas el océano se evapora y estas nubes son transportadas por los vientos hacia la Cordillera, se condensa, y después precipita por diferencia de presión atmosférica y cambios de temperatura. La calidad de agua resultante en la salida de la cuenca depende de la geología, geomorfología y variación del clima. La importancia de la geología del terreno por donde atraviesa el agua es indispensable, ya que de las características del mismo dependerá en gran parte la composición química del agua.

3.3.9.1. Rocas sedimentarias

De acuerdo con Duque (2017), la meteorización y erosión producen partículas de diverso tamaño que son transportadas por el hielo, el agua o el aire hasta las zonas de mínima energía donde se acumulan. Una vez en reposo los sedimentos sufren procesos que los transforman en rocas sedimentarias. Son tres los principales minerales componentes de las rocas sedimentarias: la arcilla, principalmente la illita y la caolinita, el cuarzo y la calcita. Otros minerales son los feldespatos, de sodio y calcio principalmente, dolomita, yeso, anhidrita y halita. Así mismo, con la participación son tres las rocas sedimentarias más abundantes: lutitas 45%, areniscas 32% y calizas 22%; otras, 1%. Teniendo en cuenta el mismo autor, en las arcillolitas habrá, hidróxidos de hierro y aluminio, en las lateritas; caolinita, en los caolines; montmorillonita, en la bentonita, y arcilla, cuarzo, feldespatos y calcita, en los loess. En las margas se tendrá carbonato cálcico y arcilla. En travertinos, tobas, calizas, y caliches, habrá carbonato cálcico, como también en las calizas de bacterias y algas; en las cretas y calizas, conchíferas y coralinas; en las dolomías y calizas dolomíticas, formadas por procesos metasomáticos, habrá calcita y dolomita. En el sílex,

pedernal, gliceritas, trípoli, jaspe y lidita, se tiene sílice coloidal y criptocristalina. En los yesos, sal gema y otras evaporitas, habrá sulfato cálcico y cloruros de sodio, potasio y magnesio. En las sideríticas y pantanosas, que son ferruginosas, carbonato, óxidos e hidróxidos de hierro. En las fosforitas y guano, fosfatos de calcio y otros elementos.

Asimismo, Suarez (1975), establece que las rocas sedimentarias más comunes son el conglomerado, breccia, lutitas, areniscas, limolitas, calizas, dolomitas, y evaporitas.

En este mismo orden de idea Vallejo (2014) explicó que el volumen de los primeros 15 km de la corteza las sedimentarias son el 5%; el 95% restante son rocas ígneas, las metamórficas se encuentran en los ambientes profundos. Por área de afloramiento, las sedimentarias son el 75% de la superficie lo demás son ígneas. Las rocas sedimentarias más se caracterizan por su plasticidad o impermeabilidad; las areniscas con 32% pueden ser duras si son cuarzosas o de servir como acuífero y las calizas con un 22%; son rígidas y solubles y son la materia prima del cemento.

Con respecto al color de la rocas, para Vallejo (2014), el humus y los materiales carbonosos le imprimen a las rocas colores gris y negro, pero son los óxidos de hierro los agentes más importantes en la coloración, tenemos: la hematita (Fe_2O_3) color rosado; la limonita, (hierro de pantanos) amarillo y café; la goethita (hierro acicular) pardo oscuro a negro, y por el hierro libre o nativo, verde, púrpura o negro.

3.3.9.2. Definición y Composición de las rocas sedimentarias

3.3.9.2.1. Arenisca

La arenisca es una roca sedimentaria de tipo detrítico que contiene clastos de tamaño arena. Después de la lutita, es la roca más abundante ya que constituye el 20% del conjunto de rocas sedimentarias del planeta Tierra. Este tipo de roca tiene un granulado muy variable y se divide en: a) Areniscas de grano Grueso: 2mm, b) Arenisca de grano Medio: 0,63cm y c) Arenisca de grano Fino: 0,2mm.

La roca está compuesta esencialmente de cuarzo y se podrían encontrar pequeñas cantidades de feldespato y otros minerales. El material cementador que mantiene unido a los granos de la arenisca suele estar compuesto de sílice, carbonato de calcio u óxido de hierro. Su color viene determinado por dicho material cementador; los óxidos de hierro generan: areniscas rojas o rojizas (como la muestras presentada) mientras que los otros producen areniscas blancas, amarillentas y grisáceas. Tarbuck y Lutgens (2005), citado por Graterol y Vásquez (2013).

3.3.9.2.2. Rocas calizas

Las calizas son rocas sedimentarias de origen fundamentalmente químico u organógeno, formadas al menos por un 50% de carbonato cálcico. Las de origen bioquímico se forman por la acción de los seres vivos. Estos fijan el calcio disueltos en el agua y lo utilizan para construir sus esqueletos en forma de calcita o aragonito, cuando estos mueren, sus esqueletos darán unas calizas formadas por calcita, siempre el aragonito es inestable y se transforma en calcita, también se depositan calizas en los fondos marinos como consecuencia indirecta del metabolismo de los

seres vivos. Así las algas al realizar la fotosíntesis consumen bióxido de carbono (CO₂). Guerrero (2001).

Por otro lado García (2004), la define como una roca sedimentaria porosa formada por carbonatos, principalmente carbonato de calcio. Cuando tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomita. La roca caliza tiene una gran resistencia a la meteorización, eso ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en dichas rocas hayan llegado hasta nosotros. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y ríos provoca la disolución de la caliza, creando un tipo de erosión característica denominada kárstica.

3.3.9.2.3. Lutitas

Son rocas sedimentarias compuestas por partículas del tamaño de la arcilla y del limo, es decir aquellas con el tamaño de clasto más fino y que constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias. A veces la composición química de la roca proporciona información adicional. Un ejemplo es la lutita negra, que es negra, porque contiene abundante materia orgánica (carbono) o bien una lutita ferruginosa, que presenta un 6,5% de óxido de hierro, etc. Moreno y Gisbert (2012).

Suarez (1975), Las rocas que contienen cantidades significativas de arcilla, se les denomina genéricamente como lutitas y a éstas pertenecen las limolitas, arcillolitas y lodolitas. Las lutitas pueden ser arcillosas, limosas, arenosas o calcáreas de acuerdo con los tamaños y composición de las partículas. En ocasiones, tienen una presencia de roca cementada y en otras, el de un suelo con capas relativamente suelta. Algunas lutitas tienen resistencia alta, pero otras se comportan más como suelos que como rocas y presentan con frecuencia problemas de deslizamiento.

3.3.9.3. Formaciones de rocas sedimentarias

3.3.9.3.1. Formación Girón

Está compuesto por una serie de areniscas e intercalaciones periódicas de lutitas rojas Cediell (1969).

3.3.9.3.2. Formación tibú mercedes

La formación Tibú Mercedes son rocas sedimentarias conformadas por un miembro arenoso inferior, Fm Tibú, y un miembro calcáreo, Fm Mercedes. Delgado (2011). Asimismo el personal técnico de la empresa de Desarrollos Energéticos de Oriente S.A.S. E.S.P. (2018), dicen que las rocas con esta formación, están constituida en la parte inferior por lodolitas gris oscuras, calcáreas, areniscas cuarzosas de grano fino y algunas capas de conglomerado gris claro, calcáreo. En la parte media se presentan algunas capas de lodolitas calcáreas, limosas, grises, areniscas grises y calizas grises, en capas planas a lenticulares. La parte superior está conformada por areniscas cuarzosas, grises, grano fino, en capas delgadas y medianas, con intercalaciones de lodolitas gris oscuras y negras, calcáreas y calizas grises,

3.3.9.3.3. Formación aguardiente

La formación Aguardiente son rocas sedimentarias conformadas por areniscas de grano medio a grano grueso, cuarzosas a cuarzo feldespáticas, colores crema a amarillento, de cementación variable, lo que las hace explotables para arena de peña y gravas. Delgado (2011). De la misma manera, el personal técnico de la empresa de Desarrollos Energéticos de Oriente S.A.S. E.S.P. (2018), explican que las rocas con esta formación están conformada por areniscas glauconíticas y

calcáreas, de grano grueso, color gris o verde claro, extremadamente duras y estratificación cruzada. Se encuentran capas delgadas de shale negro carbonáceos y micáceos.

Permeabilidad de rocas sedimentarias, se observan en la imagen 5

Mineral	imagen	Conductividad hidraulica
arenisca-cuarzosa		Algo impermeable
caliza		Algo impermeable
limolita		impermeable

Imagen 5. Permeabilidad de las rocas

Fuente: Peña (2015)

3.3.9.4. Rocas Blandas

Se define como roca blanda a aquellos materiales de origen arcilloso o limoso que presentan una marcada cementación, y cuyo comportamiento mecánico se sitúa en un punto intermedio entre los suelos y las rocas. Dentro de este grupo se incluyen las argilitas, limolitas, margas, lutitas (shales) y lodolitas. Una característica de especial relevancia de las rocas blandas es que son materiales muy evolutivos, ya que presentan una tendencia muy importante a modificar su comportamiento, pasando de uno cercano a "tipo roca" a uno tipo suelo" ·en un corto periodo de tiempo (Cáceres, 2013).

Khazai y Sitar (2003), citado por Suarez (1975), afirman que las rocas sedimentarias blandas, al igual que las formaciones volcánicas, son muy propensas a sufrir deslizamientos en el caso de los

sismos, especialmente las areniscas y limolitas, las cuales son muy pobremente cementadas y muy frágiles o fítiles.

3.3.9.5. Tipos de suelo.

Todos los suelos están compuestos por fracciones y partículas minerales de diferentes tamaños.

Las más gruesas se denominan arenas, las medianas son los limos y las más pequeñas son las arcillas. Ciancaglini- Prosap (2009)

El término utilizado para definir una clase textural implica el separado dominante en la textura; así, en un suelo Arcillo limoso, el separado dominante es la arcilla, ya que es el separado que encabeza el nombre de la clase textural (Jaramillo, 2002). Los suelos se pueden clasificar de acuerdo a su textura, como se observa en la tabla 11.

CLASE TEXTURAL	RANGO (%) EN EL CONTENIDO DE		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
Arenosa	100 – 85	15 – 0	10 – 0
Arenosa franca	90 – 70	30 – 0	15 – 0
Franco arenosa	85 – 43	50 – 0	20 – 0
Franca	52 – 23	50 – 32	27 – 7
Franco limosa	50 – 0	87 – 50	27 – 0
Limosa	20 – 0	100 – 80	12 – 0
Franco arcillo arenosa	80 – 45	28 – 0	35 – 20
Franco arcillosa	45 – 20	53 – 15	40 – 27
Franco arcillo limosa	20 – 0	73 – 40	40 – 27
Arcillo arenosa	67 – 45	20 – 0	55 – 35
Arcillo limosa	20 – 0	60 – 40	60 – 40
Arcillosa	45 – 0	40 – 0	100 – 40

Tabla 11. Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales de suelos.

Fuente: Jaramillo (2002).

En la tabla 12 se muestra de forma detallada las composiciones de los suelos de acuerdo a su textura.

Tipos de Suelo	Textura	Relación	
		Arena-Limo- Arcilla	Símbolo
		(%)	
Livianos	Arenoso	90-5-5	a
	Arenoso franco	80-15-5	aF
	Franco arenoso	65-25-10	Fa
	Franco	40-40-20	F
Medios	Franco limoso	20-65-15	FL
	Franco arcillo arenoso	35-35-30	FAa
	Franco arcilloso	35-30-35	FA
	Franco arcillo limoso	10-35-55	FAL
Pesados	Limoso	10-85-5	L
	Arcillo arenoso	55-5-40	Aa
	Arcillo limoso	5-50-45	AL
	Arcilloso	10-20-60	A

Tabla 12. Tipos de suelos y texturas de acuerdo a la clasificación americana
Fuente: Ciancaglini- Prosap (2009).

3.3.9.6. Suelos franco arenoso

Ciancaglini- Prosap (2009), si un suelo contiene 60 % de arena, 30 % de limo y 10 % de arcilla corresponde a una textura franca arenosa.

Luna- Pacheco *et al.*, (2012). Lo determinan como suelos con bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno, donde la mayor parte del carbono está constituido por cenizas, poseen una conductividad hidráulica media que permite la retención de humedad. De acuerdo al pH son considerados como fuertemente a moderadamente ácidos con efectos despreciables de salinidad.

3.3.9.7. Suelos francos

Jaramillo (2002), Franco es aquel cuyos separados están en una proporción tal que ninguno de ellos domina las propiedades del suelo; desde el punto de vista de la planta, esta clase textural es la que presenta un mejor equilibrio entre sus separados.

3.3.9.8. Suelos franco arcillosos

Si el porcentaje de arcilla es del 30 %, el limo al 40 % y la arena también 40 %, la textura es Franco arcillosa. Ciancaglini- Prosap (2009)

3.3.9.9. Suelos arcillosos

Las arcillas confieren al suelo baja permeabilidad, alta capacidad de retención de agua y de almacenamiento de nutrientes. Esto hace que su fertilidad potencial sea alta. Si las partículas de arcilla representan del 25% al 45% del total de partículas presentes en el suelo, puede considerarse arcillo-arenoso, arcilloso de arcilla gruesa o arcillo-limoso. Si las arcillas superan el 45% de la composición total, estamos en presencia de un suelo arcilloso de arcilla fina. La mayoría arcillas pertenecen al grupo de los filosilicatos (silicatos de forma escamosa). Hay distintos tipos según el número de láminas que forme su estructura. Entre las más abundantes están la moscovita, caolinita, biotita, clorita, vermiculita y montmorillonita. Otros grupos de arcilla de mediana abundancia son los óxidos de cuarzo. Entre los menos frecuentes encontramos los feldespatos, hematites, goethita, calcita, yeso y halita. En suelos arcillosos de origen piroclástico (cenizas volcánicas) se encuentra la cristobalita y materiales amorfos. Por la naturaleza coloidal de sus partículas, los suelos arcillosos retienen gran cantidad de minerales. Los suelos arcillosos tienen una tendencia a retener el hierro (Fe) y en menor medida aluminio

(Al). Debido a que los suelos arcillosos retienen mucha humedad, ocurren procesos de oxidación.

Los óxidos de hierro hidratados les confieren a estos suelos coloraciones amarillas o rojizas.

Violeta Gómez.

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades fisico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm). Romero y Suarez (2018).

Capacidad de infiltración de los suelos, se observa en la tabla 13.

Textura	Velocidad de infiltración (mm/hr)
Arcilloso	< 5
Franco- arcilloso	5-10
Franco	10-20
Franco-arenoso	20-30
Arenoso	>30

Tabla 13. Relación textura y velocidad de infiltra

Fuente: Pereira –Pórtela et al., (2011)

3.3.10. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Sáenz (1992). Describe un SIG como una forma particular de un sistema de información, que además de incluir dentro de sus componentes las bases de datos tradicionales (descriptivas), incluye el manejo simultáneo de bases de datos espaciales o gráficas. De acuerdo con este marco conceptual, se puede definir un Sistema de Información Geográfico (SIG), como "un conjunto interactivo de subsistemas orientados hacia la captura y organización de la información georreferenciado, con el fin de suministrar elementos de juicio para apoyar la toma de

decisiones". Para cumplir con estos objetivos, un SIG lleva implícito el uso del computador para la entrada, manipulación, análisis y despliegue de la información descriptiva y espacial.

De igual manera, Molina-Villega *et al.*, (2005), el mundo real es representado espacialmente por los SIG como una superposición de capas temáticas que utilizan, en el formato vector, líneas, polígonos y puntos para representar los diferentes elementos de cada capa presentes en un área definida. Los atributos de los elementos de cada capa temática se almacenan en una base de datos.

La función de un Sistema de Información Geográfica (SIG) es la de mejorar nuestra capacidad para tomar decisiones. Un sistema de información es la cadena de operaciones que nos lleva desde la planificación de la observación y recolección de los datos hasta su almacenamiento y análisis, y luego a la utilización de la información obtenida en algún proceso de toma de decisiones. Un mapa es una colección de datos almacenados y analizados y la información derivada de este proceso se utiliza en la toma de decisiones. Además, las herramientas SIG se pueden utilizar para numerosas finalidades tales como realizar análisis de sensibilidad en los modelos mediante la manipulación de las variables de insumo, y estudiar una cuenca para distintas escalas/resoluciones y sus efectos en la exactitud de la predicción del modelo. Finalmente, una ventaja importante de la utilización de una herramienta SIG, sería el ahorro considerable de tiempo, costo y mano de obra para realizar un estudio. FAO (1993).

3.3.11. Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado

el conjunto de los datos. Las medidas de tendencia central más utilizadas son: media, mediana y moda. Acevedo (2011).

3.3.11.1. Media aritmética

Media Aritmética es la medida de tendencia central normalmente llamada, media, promedio o valor esperado (Ardila, 2013). Acevedo (2011) formula la ecuación 9.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = \frac{(Y_1+Y_2+Y_3+\dots+Y_n)}{n} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde, \bar{Y} - Mediana, Y_i - Cada uno de los elementos a analizar, n - Número de elementos.

3.3.11.2. Mediana

Ardila (2013) define la mediana como la observación que queda en la mitad, de los datos después que han sido ordenados. Para calcular la mediana se tiene que ordenar los valores de la distribución de menor a mayor y localizar aquel que ocupa el lugar central. Si el número de elementos es impar la mediana será el valor del elemento central. Por ejemplo, si tenemos una distribución de 11 elementos ordenados de menor a mayor, el valor del que ocupa el lugar sexto será la mediana de la distribución. Si el número es par, la mediana es la media de los dos centrales. Por ejemplo, si tenemos 10 elementos, será la media del quinto y el sexto. Hay fórmulas y otras formas para calcular la mediana cuando el número de elementos es grande, pero lo mejor es, como siempre, recurrir a un programa informático que lo hará sin el menor esfuerzo. Molina (2014).

Ubicación de la mediana, para una cantidad impar de datos	$\frac{n + 1}{2}$
Ubicación de la mediana, para una cantidad par de datos	\bar{Y} de los datos que quedan ubicados en el centro

Tabla 14. Calculo de la mediana

Fuente: Ardila (2013)

3.4. Marco legal

En el año 1972 la Organización Mundial de las Naciones Unidas, convocó en Estocolmo, Suecia a varios países del mundo para realizar la primera conferencia sobre el medio ambiente, en la que los países que asistieron se comprometieron en cumplir los acuerdos pactados.

Colombia en aras de poner en marcha ese compromiso, dos años después de la conferencia en Estocolmo emitió el decreto ley 2811 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, este tiene por objeto lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos y Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.

Posteriormente, en Colombia sean establecido diversas normas en función de proteger la calidad del agua de las fuentes hídricas, la salud humana, la biodiversidad, entre otros.

En el marco de las leyes ambientales que confieren en este trabajo de grado se encuentran las siguientes:

❖ Constitución Política de Colombia 1991.

En el capítulo III se establecen los derechos colectivos y del ambiente, por tanto en el **artículo 79**, se confiere que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Así mismo, el **artículo 80**, se contempla que es función del Estado planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

❖ Ley 142 del 11 de julio 1994

Por el cual se establece el Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios y se dictan otras disposiciones. En el artículo 1 del capítulo I, se define la aplicabilidad de la presente ley, mientras que el artículo 5, menciona las competencias de los municipios en cuanto a la prestación de los servicios públicos. Una de las funciones es asegurar que se presten a sus habitantes, de manera eficiente, los servicios domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, y telefonía pública básica conmutada, por empresas de servicios públicos de carácter oficial, privado o mixto, o directamente por la administración central del respectivo municipio en los casos previstos en el artículo siguiente.

❖ Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2016.

En el título D se consolidan los conceptos, parámetros y métodos de diseño de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales Domésticas y Aguas Lluvias. En el inciso 1.3.1.3 del Ras, hace referencia a los sistemas in situ, como son las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, también recomienda usar este tipo de sistemas en zonas de suburbanas con baja densidad de población y en zonas rurales. Además, indica que en el título J del Ras 2010, se establecen los criterios de diseño de este tipo de sistema. Sin embargo, existe una norma más vigente, la resolución 0330 del 8 de junio del 2017, esta adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

❖ Decreto 1843 del 22 de julio del 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 control y la vigilancia epidemiológica en el uso y manejo de plaguicidas, deberá efectuarse con el objeto de evitar que afecten la salud de la comunidad, la sanidad animal y vegetal o causen deterioro del ambiente.

❖ Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015.

La presente Resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad con el artículo 18 de la presente resolución.

❖ Nuevo código nacional de policía y convivencia.

Este código fue creado por la Ley 1801 de julio del 2016 y en el título IX, capítulo II, inciso 2,3 y 4, estipula las actividades que los ciudadanos no pueden efectuar para la conservación del recurso hídrico.

❖ Decreto 0703 del 28 de abril de 2018

Por el que se efectúan unos ajustes al Decreto 1076 de 2015, se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se dictan otras disposiciones.

Con relación al recurso hídrico el presente decreto en el artículo 60 corrige el numeral 2 del artículo 2.2.3.2.1. De la Sección 1, Capítulo 2, Título 3

Parte 2, Libro 2. Igualmente los siguientes artículos ejecutan correcciones.

- ✓ Artículo 7, determina las correcciones para el artículo 2.2.3.2.3.2 de la Sección 3, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.
- ✓ Artículo 8, corrige el artículo 2.2.3.2.9.4 de la Sección 9, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.

- ✓ Artículo 9, Corrige la numeración de los artículos 2.2. y 2.2.3.2.11.5. de la Sección 11, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.
- 1. Artículo 10, Corrige la numeración de los artículos 2.2.3.2.12.1.2. y 2.2.3.2.12.1.3 de la Sección 12, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.
- 2. Artículo 11, Corrige el artículo 2.2.3.2.13.12 de la Sección 13, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.
- ✓ Artículo 12, Corrige el artículo 2.2.3.2.13.18 de la Sección 13, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.
- ✓ Artículo 13, Corrige el inciso primero y el literal a) del artículo 2.2.3.2.16.10 de la Sección 16, Capítulo 2, Título 3, Parte 2, Libro 2.
- ✓ Artículo 14, Corrige la titulación de la Sección 2, del Capítulo 3, del Título 3, de la Parte 2 del Libro 2.

❖ Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015.

A través de este decreto se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el capítulo 1 del título I, de la parte 3 del libro 2, tiene por objeto reglamentar las normas del Sistema General de Participaciones para Agua Potable y Saneamiento Básico para los departamentos, distritos y municipios relacionadas con el giro de los recursos, la certificación para los distritos y municipios para la administración de los mismos y el aseguramiento de la prestación de los servicios, los efectos del proceso de certificación, la cofinanciación del pago de pasivos laborales de los prestadores de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y/o aseo, la destinación mínima para el otorgamiento de subsidios y el

ejercicio de las actividades de monitoreo, seguimiento y control a la utilización de dichos recursos para el manejo empresarial de los servicios de agua y saneamiento (PDA).

❖ Resolución 2115 del 7 de junio del 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.

Capítulo 3

4. Metodología

En la imagen 6 se observa el diagrama de la metodología implementada en el desarrollo de la presente investigación.

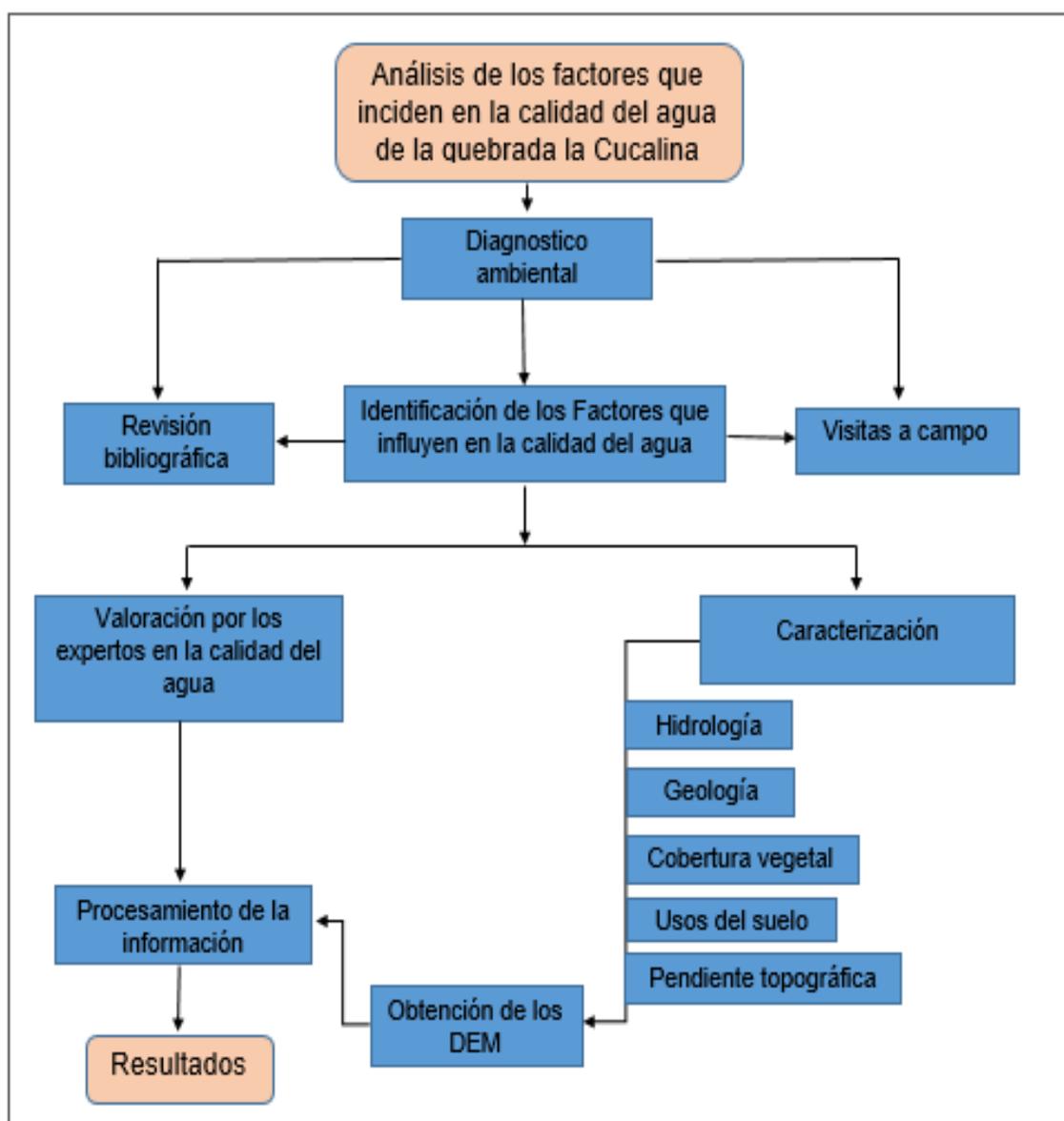


Imagen 6. Diagrama de la metodología desarrollada.

Fuente: Corrales H. (2020)

4.1. Diagnóstico ambiental de la zona de estudio

Inicialmente se realizó la revisión bibliográfica por medio de revistas, artículos, libros, páginas web, tesis, entre otras fuentes, con el fin de buscar investigaciones relacionadas al tema de estudio. De igual manera, se realizaron visitas a campo y se aplicó una lista de chequeo, con el fin de levantar información de campo, como tipos fertilizantes y pesticidas que usan los habitantes de las veredas próximas a la quebrada. Así mismo, se verificaron los tipos de cultivos que se dan en la zona. También, saber si existen vertimientos y que características presentan.

La información meteorológica se obtuvo del sensor TRMM, a través del satélite NASA Giovanni, se descargaron datos de precipitaciones del periodo comprendido entre los años 1998 y 2019, esto para realizar un análisis estadístico y espacial de las precipitaciones que se presentan en la zona de estudios.

Del Instituto Geológico Colombiano (IGAC), se adquirió la plancha 110IIA a una escala de 1.25.000.

Además, en esta fase se procesó la plancha 110IIA mediante el software ArcGis 10.5, hasta obtener la delimitación de la cuenca. Luego se procedió a determinar el valor del área, perímetro, longitud del cauce principal, longitud axial, longitud total del drenaje, altitud máxima, altitud mínima, altitud media, la gráfica hipsométrica, el perfil longitudinal y orden de la cuenca, los demás parámetros se calcularon como se explica en el apartado 4.3.5 sobre morfometría de una cuenca, en él se encuentran todas las ecuaciones pertinentes para calcular el ancho promedio, el parámetro de forma, de relieve y de drenaje.

En la imagen 7 se muestra el procedimiento de la delimitación de la cuenca.

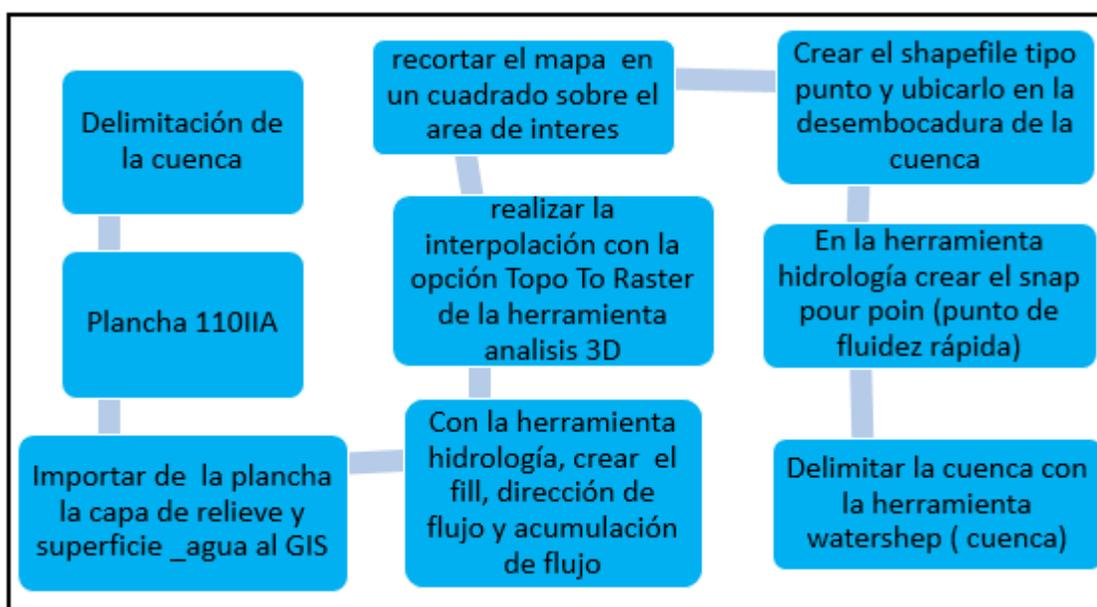


Imagen 7. Diagrama de proceso de la delimitación de la cuenca

Fuente: Corrales H. (2020).

El uso del suelo se determinó por las visitas a campo, en la cual se hizo un reconocimiento de la zona y se aplicó una encuesta (ver anexo A) a los habitantes de la vereda San Antonio.

La caracterización de las pendientes se hizo a través de la capa de curvas de nivel, importada inicialmente a arcGis para delimitar la cuenca, con la herramienta surfase (superficie), se eligió la opción slope (pendiente), el software en este proceso efectúa una clasificación automática, por lo que, posteriormente se realizó la reclasificación, basándonos en los rangos establecidos en la tabla 7.

Con la plancha de relieve y clima de Norte de Santander descargada del Instituto Geológico Colombiano (IGAC), a escala 1:100.000, se adquirió el mapa de relieve y clima a través del software ArcGis.

4.2. Identificación de los factores incidentes en la calidad del agua

Teniendo en cuenta la información obtenida del diagnóstico, el registro bibliográfico de las investigaciones relacionadas al tema de interés y la visita a campo, se procedió a relacionar la información recopilada de la revisión bibliográfica con la zona de estudio. Asimismo, el registro fotográfico, permitió identificar los factores tanto naturales como antrópico que influyen en la calidad del agua de la microcuenca la Cucalina, ya que cada cuenca posee características diferentes.

4.3. Caracterización de la cobertura vegetal, geología y suelos.

4.3.1. Caracterización de la cobertura vegetal

La imagen satelital Landsat 8 del 25 de febrero del 2019, se descargaron de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), para descargarla se tuvo en cuenta que el contenido de nubosidad no fuera superior al 10%, posteriormente se importaron al arcGis las bandas 1 hasta la 11, de la imagen satelital landsat 8 del 25 de febrero del año 2019, que corresponden a las longitudes de onda rojo, verde y azul y con una resolución de 30 m. Esta se eligió, debido a la poca nubosidad que presentaba, posteriormente, se usaron las opciones de la ArcToolbox que tiene el programa, tales como las herramientas, de proyección y transformación, las de análisis espacial, las de conversión, las de edición, entre otras. Para esta caracterización se manejó el sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS (MAGNA Colombia Bogotá).

Se combinaron las bandas 5, 4 y 3 (color infrarrojo), esta combinación resalta la vegetación, luego se utilizó la herramienta clasificación no supervisada, con el objetivo de clasificar las diferentes coberturas, después con la herramienta conversión se utilizó la opción

To KML, para exportar el archivo a google eart y poder visualizar e identificar la cobertura vegetal de la zona de estudio, por último se realizó el mapa de cobertura (ver mapa 10). Para mejor comprensión (ver imagen 8).

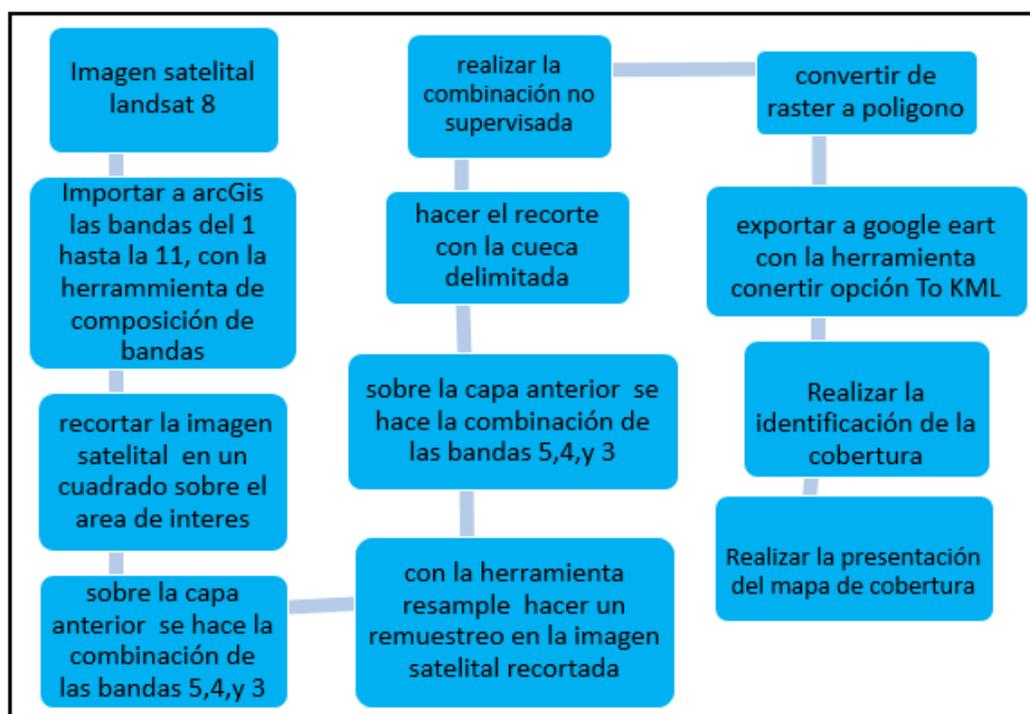


Imagen 8. Diagrama de proceso de la caracterización de la cobertura.

Fuente: Corrales H. (2020).

4.3.2. Caracterización de la geología y suelo

Se llevó a cabo con el uso de la plancha suelo y geología, para Norte de Santander a escala 1:100.000 descargada del IGAC, que al procesarla en arcGIS 10.5 se creó el mapa de litología (ver mapa 8) y de suelos (ver mapa 9). Además con visitas a la zona de estudio se corroboró la información plasmada en los mapas, por último se procedió a realizar el análisis respectivo.

4.4. Valoración de los factores que inciden en la calidad del agua por expertos.

En esta fase se aplicó la metodología usada por Al-Adamat (2017), citada en el apartado de antecedentes y se realizó como se muestra a continuación.

Después de identificar los factores que inciden en la calidad del agua de la quebrada la Cocalina, se procedió a determinar el peso apropiado de los factores, por lo cual se les pidió a 8 expertos en el área de la calidad del agua de diferentes universidades de Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad El Bosque, Universidad Francisco de Paula Santander, Universidad de la Guajira, Universidad Militar Nueva Granada y Universidad Central, que asignarían una ponderación de uno punto cero (1.0) a seis puntos cero (6.0), donde (1.0) es la calificación al factor de menor impacto y (6.0) la calificación al factor de mayor incidencia (ver anexo B). Como los pesos asignados por los expertos fueron diferentes o variados (ver tabla 15), por ello se implementó el promedio aritmético para obtener un peso aproximado de la evaluación por los expertos.

Factores	Expertos								Media
	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Ex 5	Ex 6	Ex 7	Ex 8	
Distancia a zona minera	3	6	4	4	4	6	6	6	4.875
distancia a áreas urbanas	5	6	4	4	5	6	2	6	4.75
Distancia a zona agrícola y ganadera	4	3	5	5	5	5	5	5	4.625
Cobertura vegetal	3	4	4	4	5	5	6	4	4.375
Pendiente del gradiente (%)	3	2	3	5	5	4	4	6	4
Tipo de suelo y geología	2	3	4	4	4	3	3	4	3.375
distancia a carreteras	1	2	2	2	4	2	1	4	2.25

Tabla 15. Valoración de los factores por los expertos.

Fuente: Corrales H. (2020)

Como la distancia a la zona minera fue el factor que mayor peso obtuvo, se le otorgó el valor de 7, mientras que la distancia a carreteras fue el de menor peso, se le otorgó el valor de 1 y así sucesivamente (ver tabla 19)

Capítulo 4

5. Resultados y discusión

5.1. Diagnóstico ambiental de la zona de estudio

En la tabla 16 se muestran los parámetros físicos morfométricos de la zona de estudio, donde se observa que por su tamaño es una microcuenca, la longitud del cauce principal tiene una distancia de 4.65 Km, lo que indica que es mediano. Por el índice de compacidad se establece que es una cuenca alargada, lo cual concuerda con lo encontrado por Aranda (1992).

Parámetros de superficie				
Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades	Interpretación
Área	A	4.9	Km ²	Microcuenca
Perímetro	P	12	Km	
Longitud Axial	La	4.48	Km	
Longitud del cauce principal	L	4.65	Km	Mediano
Longitud total del drenaje	Lc	16.67	Km	
Ancho promedio	Ap	1.09	Km	
Ancho máximo	Am	1.6	Km	
Altitud máxima		2955	m.s.n.m	
Altitud mínima		1441	m.s.n.m	
Altitud media		2198	m.s.n.m	
Parámetros de forma				
índice de compacidad	Kc	1.52		Oval oblonga a rectangular oblonga
Factor forma	Rf	0.24		Alargada
índice de alargamiento	Ia	2.8		Moderadamente alargada
Parámetros de relieve				
Pendiente media de la cuenca	s	0.663	m/m	Escarpado
		66.3	%	
Pendiente media del cauce	Sc	0.33	m/m	
		33	%	Accidentado

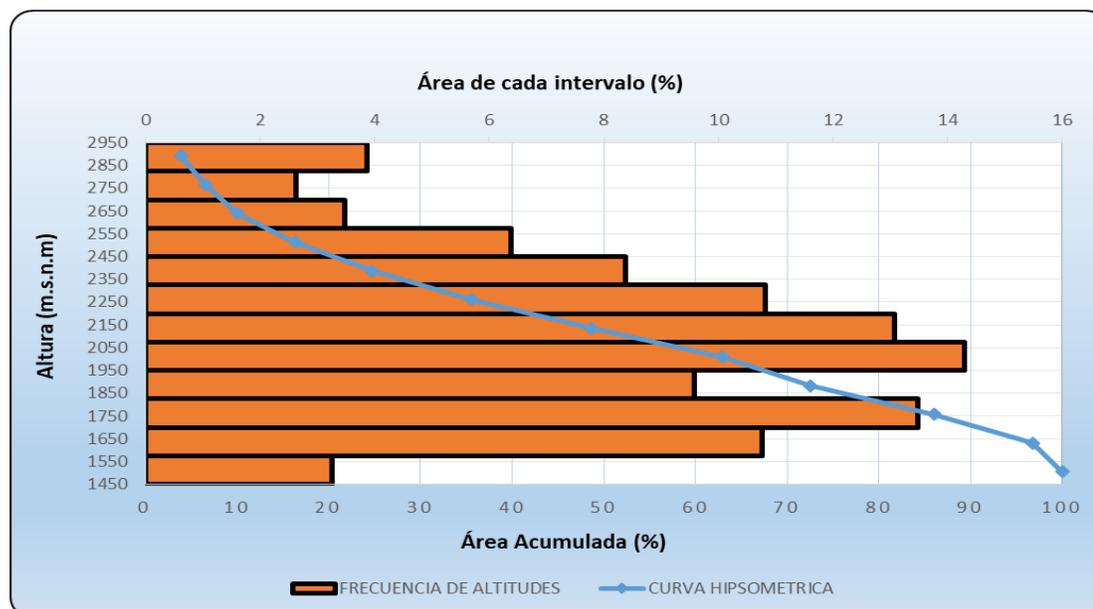
Elevación media	Em	2089.86	m.s.n.m	Meso térmico o piso templado
Curva hipsométrica		Equilibrio		
Parámetros de drenajes				
Orden de la red de drenaje		3		
Densidad de drenaje	Dd	3.40	Km/km ²	Alta
Patrón de drenaje		Dendrítico		
Tiempo de concentración	Tc	19.6	min	
Extensión media de la escorrentía superficial	i	268.64	m	

Tabla 16 .Parámetros físicos - morfométricas de la microcuenca
Fuente: Corrales H. (2020).

De la tabla 16, se infiere que los tres métodos aplicados en la determinación del parámetro de forma, coincidieron que la microcuenca es alargada, esto significa que la Cocalina es poco susceptible a que se presenten crecientes súbitas. Sin embargo, según el periódico el Tiempo (2018), la Cocalina produjo una fuerte crecida que causó caída de la banca en el kilómetro 58+300 de la vía que comunica a Pamplona con Cúcuta, esa emergencia se debió a la presencia de eventos extremos, generados por las precipitaciones, que conjuntamente con la topografía, la red de drenaje, la litología y el tipo de suelo, provocaron un aumento en los niveles de agua de la Cocalina.

En la gráfica 1, se observa la curva hipsométrica, la cual revela que la microcuenca está en la fase de estabilización respecto a los procesos erosivos, lo que significa que la quebrada tiene

mayor capacidad de respuesta ante un evento extremo, esto se debe a que se encuentra en la etapa de equilibrio o de madurez.

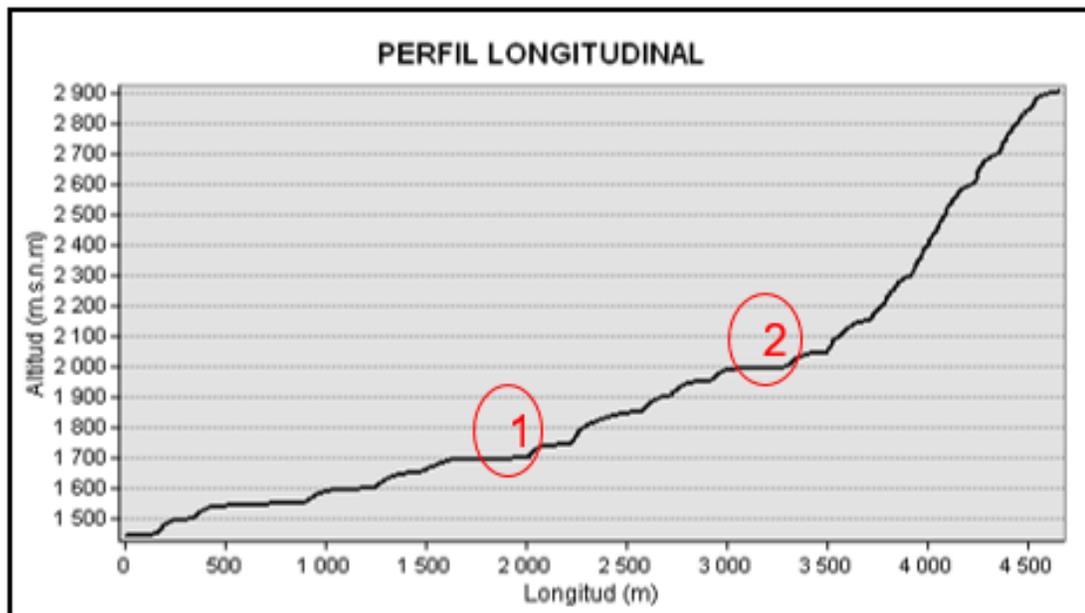


Gráfica 1. Curva hipsométrica y frecuencias de altitudes

Fuente: Corrales H. (2020).

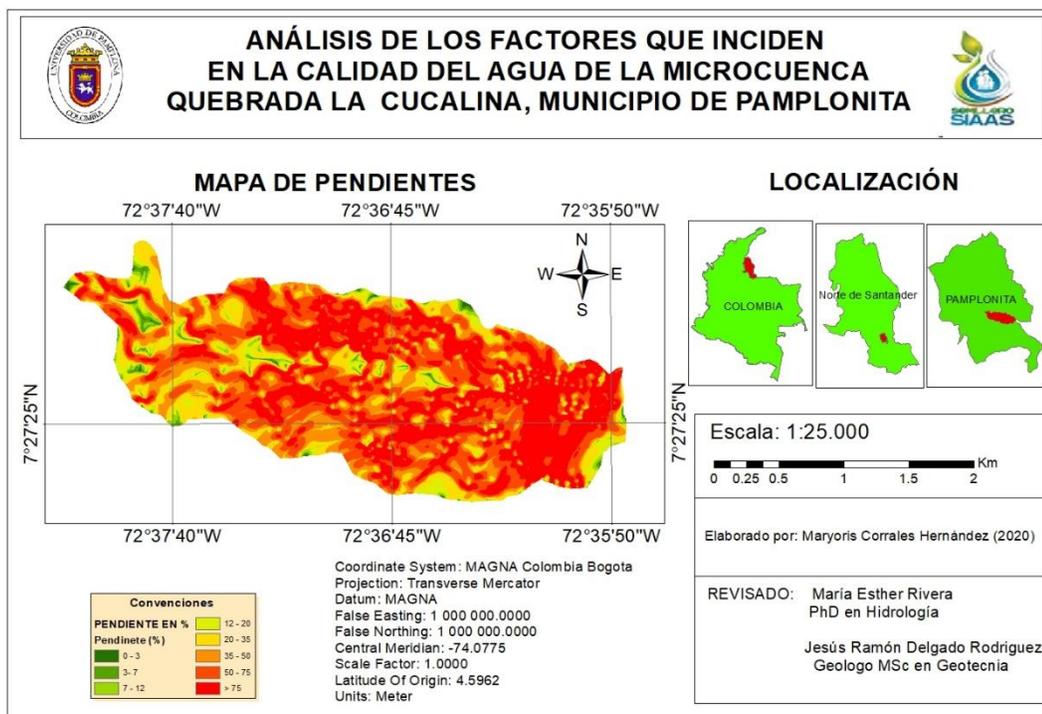
El histograma de frecuencia da respuesta a la cantidad de área que se encuentra entre curvas, para la Cucalina el 14.3% del área total de la microcuenca se localiza entre la cota 2104 y 2004 m.s.n.m.

Por otra parte en el perfil longitudinal del cauce principal, se visualizan cambios abruptos de pendiente (Gráfica 2), desde el nacimiento a los 2950 m.s.n.m hasta el punto 2. Estos cambios de pendientes permiten que la velocidad de la corriente sea mayor en comparación al tramo que va desde el punto 1 hasta la desembocadura a los 1441 m.s.n.m. Por lo tanto, la velocidad de la corriente presenta un comportamiento variado en los diferentes tramos de la quebrada.



Gráfica 2 Perfil longitudinal de la quebrada La Cucalina
Fuente: Corrales H. (2020).

En el mapa 2, se observa que las pendientes que predominan en la zona de estudio se encuentra entre 50 - 75% y mayores a 75%, categorizándole como un relieve escarpado a muy escarpado. La pendiente media de la cuenca es del 66%, corroborando que la zona de estudio posee pendientes muy inclinadas.



Mapa 2. Mapa de pendiente de la microcuenca en porcentaje

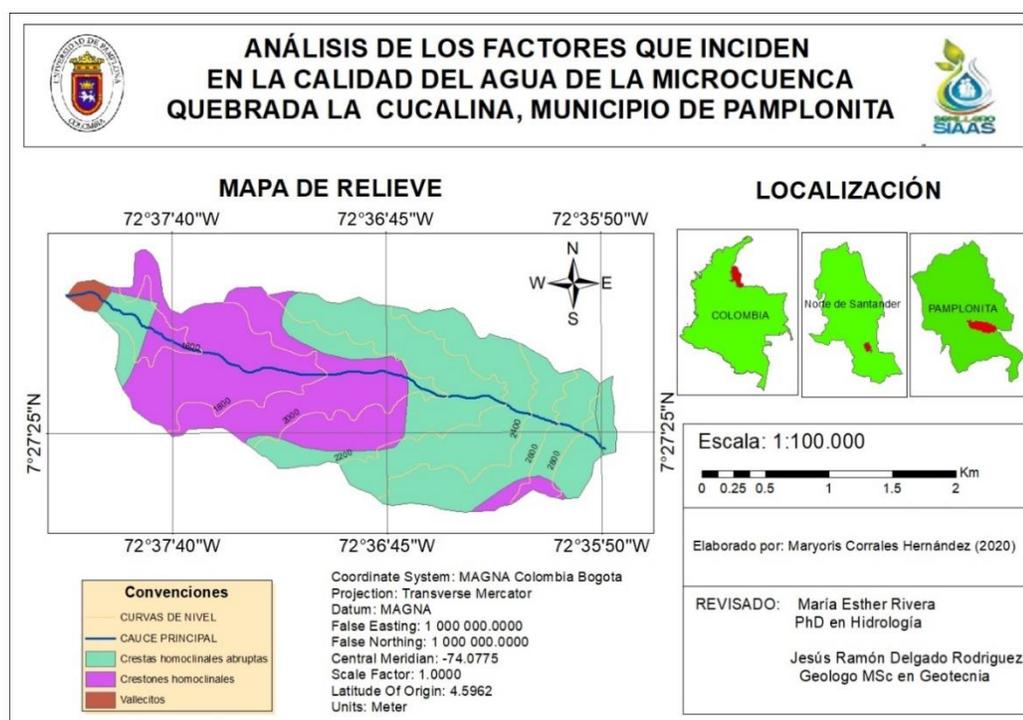
Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

En general, se establece que este tipo de relieve favorece a que los niveles de escorrentía superficial sean elevados y puedan adquirir la fuerza para arrastrar todo a su paso, incluyendo materia orgánica, componentes químicos y partículas que se encuentran en el suelo, hasta el punto de alterar las condiciones físico-químicas del agua.

Así mismo, en la tabla 16, se observa que el valor obtenido para la densidad de drenaje es de 3.4 Km/Km², valor que categoriza la densidad de drenaje como alta de acuerdo con Delgadillo y Páez (2008). Este parámetro representa que la zona de estudio, según Peña (2015), puede tener poca cobertura vegetal o suelos fácilmente erosionables o impermeables, quiere decir que cuando hay precipitación la cuenca drena rápidamente el agua y no le da tiempo a esta de percolarse a estratos más bajos de suelo y como resultado el tiempo de concentración es menor, esto conlleva a que la escorrentía superficial sea alta y podría haber la posibilidad a que

se den crecientes súbitas, no obstante, los drenajes de la microcuenca son intermitentes, es decir todos los aportes dependen de la lluvia para transportar agua por sus cauces. La intermitencia de los drenajes contribuye a que la quebrada tenga mejor respuesta antes lluvias torrenciales.

Los relieves de tipo cresta homoclinales que se observan en el mapa 3, una vez más confirma que casi toda quebrada manifiesta pendientes bastante pronunciadas.

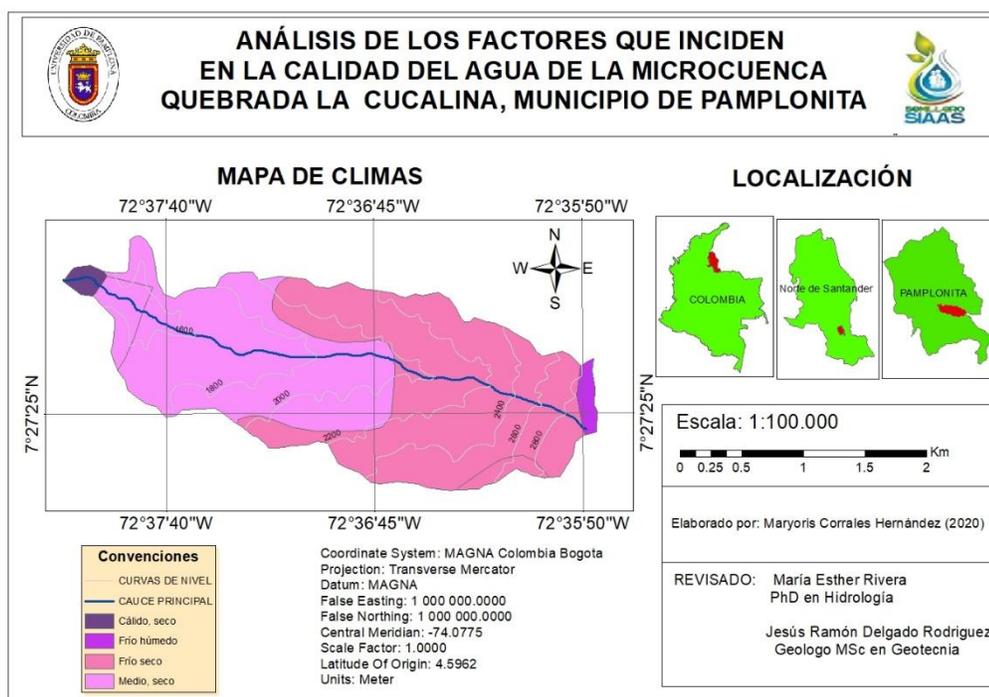


Mapa 3. Mapa de relieve de la microcuenca

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

En el mapa 4, se evidencia la variedad climática que presenta la microcuenca, producto de la topografía, en la zona de la desembocadura el clima es cálido seco, al seguir cuesta arriba aparece un clima medio seco ubicándose en las cotas 1600 a 1900 m.s.n.m. Posteriormente, a los 2000 m.s.n.m el clima cambia a húmedo seco. Por último, en la parte más remota a los 2900 m.s.n.m el clima es frío húmedo

La diversidad del clima (de la zona de estudio, favorece a las diferentes prácticas económicas, en específico a la agricultura, principal actividad, que juntamente con la ganadería efectúan cambio en la cobertura del suelo. Además son una de las que más afectan la calidad del agua con el uso de sustancias químicas que utilizan con el fin de mejorar la producción.

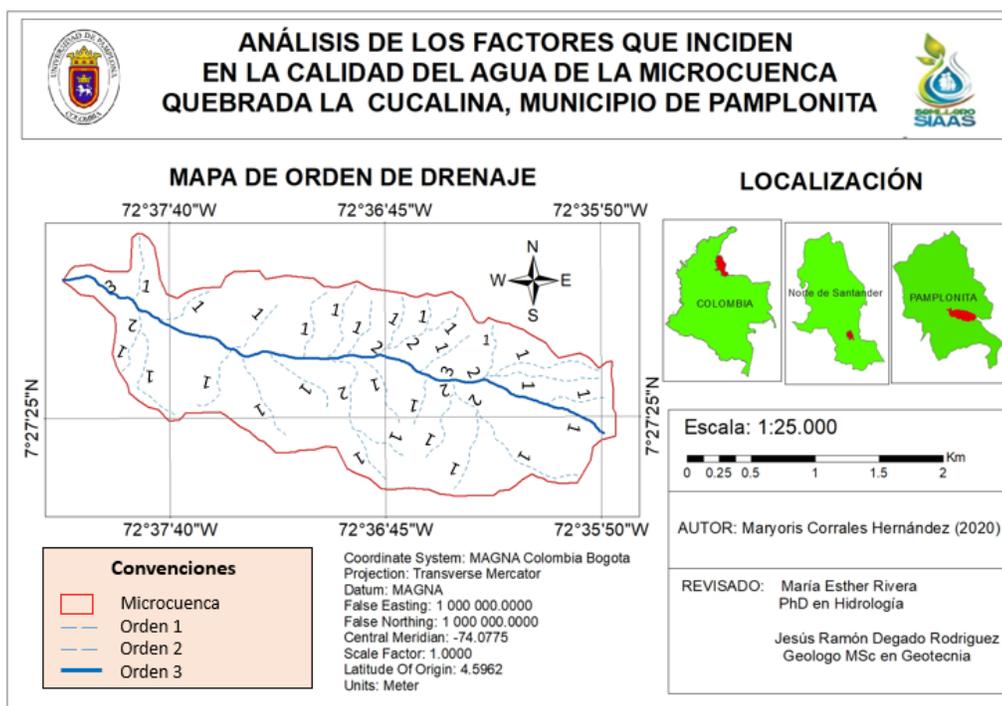


Mapa 4 .Mapa de climas presentes en la microcuenca

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

La Cucalina se categoriza como una microcuenca de orden 3, debido a la cantidad de aportes que llegan a ella a pesar de ser una microcuenca. De la misma manera, en el mapa 5, se observa que los aportes llegan al cauce principal sin ninguna orientación definida, y las ramas que constituyen la red no guardan ninguna preferencia, esto es características de los patrones dendríticos, según la imagen 3.

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano (2016), los materiales uniformes de granulometría fina, tales como loess, areniscas, granitos y gneis, son propios de red dendrítica. En el mapa 8, se muestra la litología de la zona de estudio.



Mapa 5 .Mapa del orden de drenaje de la Cucalina

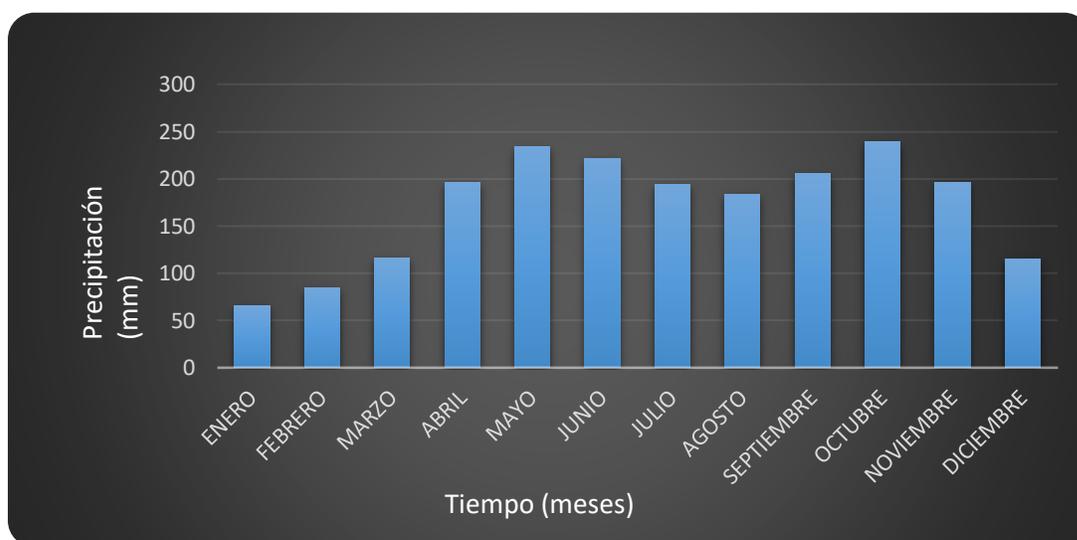
Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

Un componente importante que depende de la composición de los suelos, cobertura, pendiente, es la escorrentía superficial, principal causante que los contaminantes lleguen a los ríos, contribuyendo así al deterioro del mismo. Por lo tanto, los suelos con más contenido en arcilla, serán bien drenados, en cambio los suelos con alto contenido en arena dejan percolar el agua disminuyendo la escorrentía. Los suelos arcillosos tienen incidencia en la contaminación del agua, ya que al almacenar nutrientes y sustancias tóxicas producto de las actividades económicas que se realizan en la microcuenca, las sustancias y los nutrientes son transportados al

cuerpo de agua por las escorrentías, teniendo en cuenta que una de las características es que son suelos bien drenados.

La superficie arenosa al proceder de las rocas duras, contienen minerales como el cuarzo, feldespato y elementos como el calcio, los minerales son depositados en el agua por la acción de las lluvias.

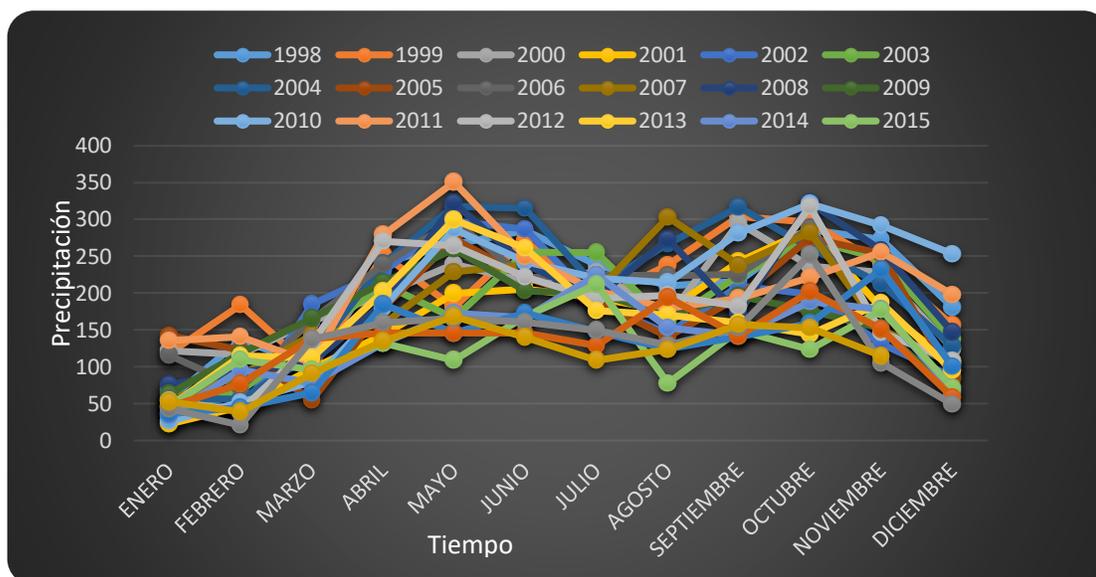
Las precipitaciones en la microcuenca presentan un comportamiento bimodal, esto quiere decir que existen dos épocas en el año, en el cual se presentan los picos más altos de precipitación, los meses donde se presentan esos picos son marzo y superando los 200 mm/ mes. El promedio mensual de precipitación en la quebrada es de 171 mm. (Ver grafica 3).



Gráfica 3. Datos históricos de precipitación mensual.
Fuente: Corrales H (2020).

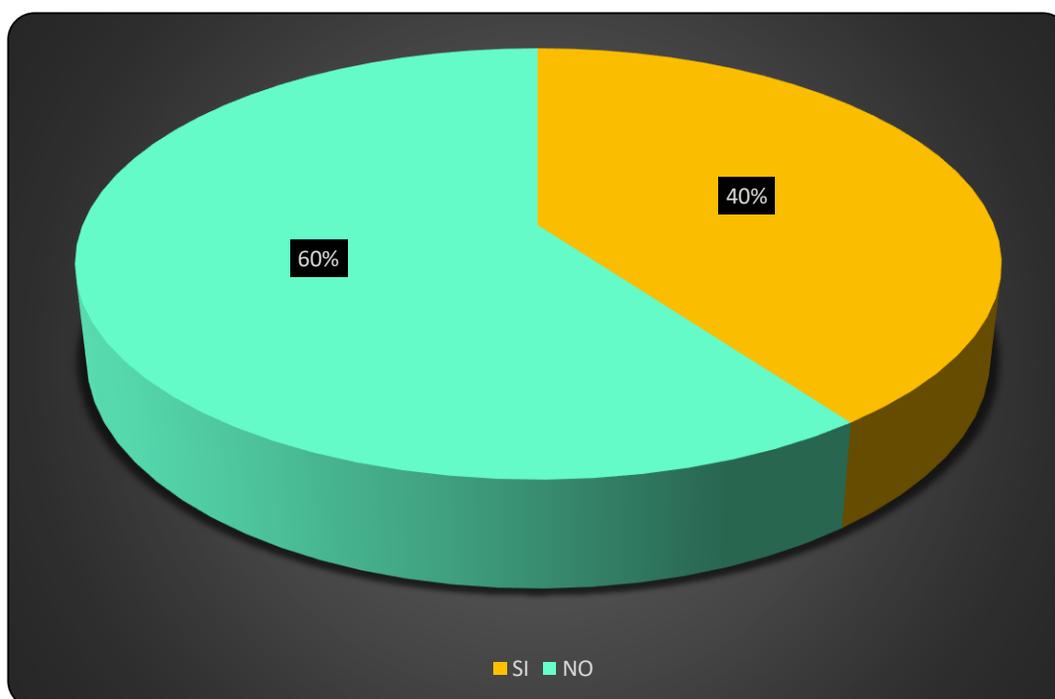
Las precipitaciones a lo largo de los años presentan un comportamiento variado, como se muestra en la gráfica 4, esto se debe al fenómeno de la niña y del niño que alteran el régimen de las precipitaciones, de acuerdo a Arango- Ruíz et al., (2016) , el ENSO tiene influencia sobre las componentes meteorológicas en Colombia, principalmente en la precipitación.

El fenómeno de la niña, indica temporadas con un incremento significativo en las precipitaciones, por otro lado, el fenómeno del niño representa periodos de sequias con la disminución en las lluvias.



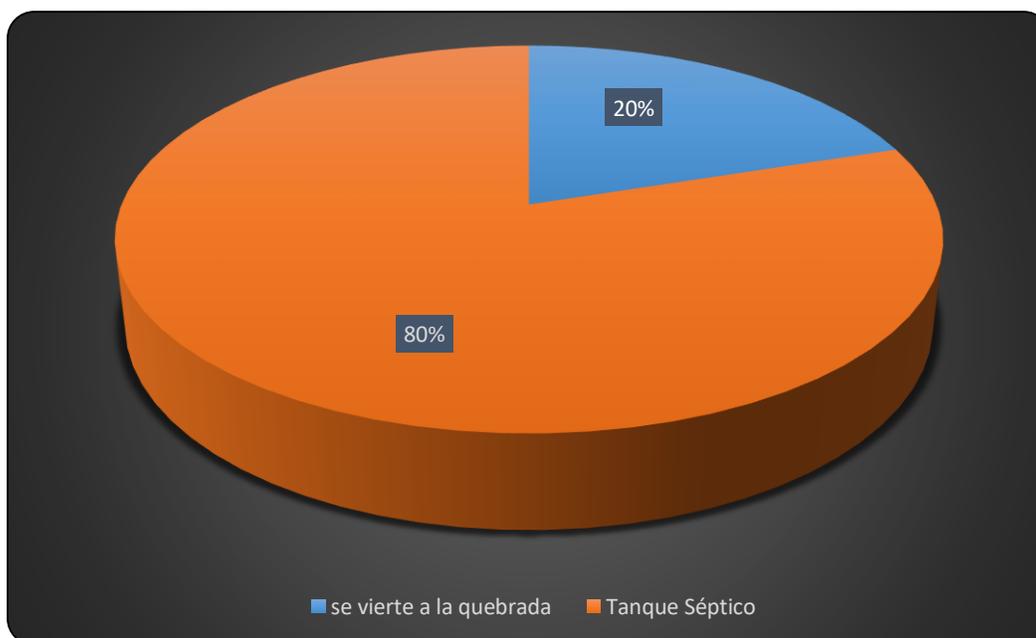
Gráfica 4. Precipitación total mensual
Fuente: Corrales H (2020).

Por otra parte, Los habitantes de la Cucalina no cuentan con los servicios de alcantarillado, agua potable y el de aseo solo el 40% hace uso de este servicio, debido la empresa encargada de recoger los residuos tiene una ruta que pasa por la entrada de la vereda San Antonio. Sin embargo, el 60% de los habitantes de este lugar, manifiestan que no llevan los residuos hasta ese lugar, porque les queda muy lejos, por lo que han optado en darles ellos mismo la disposición final, algunos toman los residuos orgánicos como alimentos para los animales domésticos, otros comentaron que los queman, entierran o lo usan como abonos para las plantas ornamentales, (Ver grafica 5)



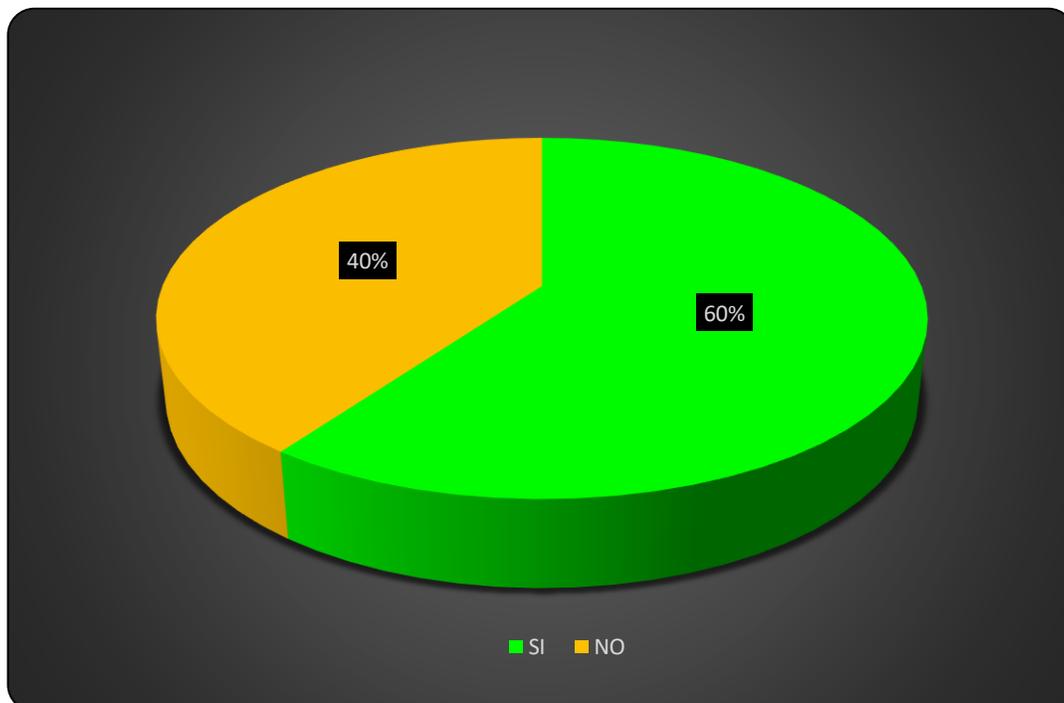
Gráfica 5. Porcentaje de habitantes que hacen uso del servicio de aseo.
Fuente: Corrales H. (2020)

De la gráfica 6, se infiere que el 80% de los pobladores, para satisfacer las necesidades del servicio de alcantarillado han implementado tanques sépticos, por lo contrario el 20% de los pobladores vierte las aguas residuales directamente a la quebrada



Gráfica 6. Disposición final de las aguas residuales
Fuente: Corrales H. (2020)

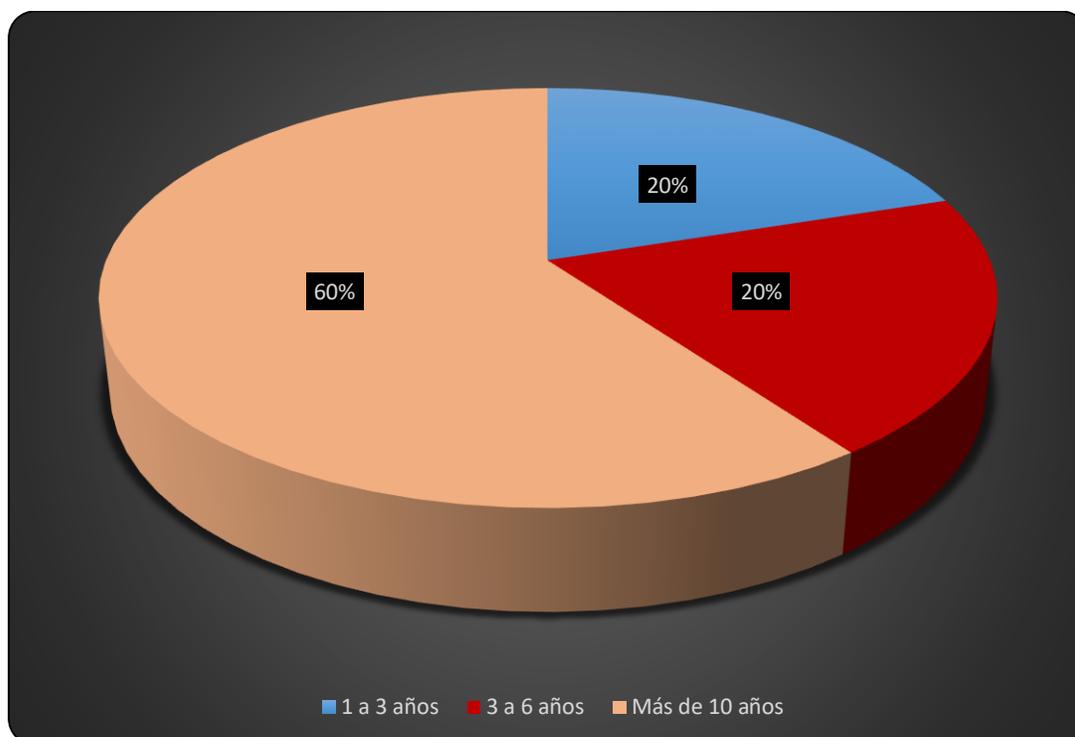
En la gráfica 7, se visualiza que el 60 % de los habitantes utiliza el agua del cauce principal de la quebrada la Cucalina para uso doméstico, mientras que el 40% toman el agua de aportes que pasan por sus predios. El agua la captan con sistemas inventados por ellos mismos (ver fotografía 3), es importante resaltar que el agua que usan para consumo no le hacen ninguno tratamiento previo.



Gráfica 7. Uso del agua del cauce principal de la quebrada para consumo doméstico
Fuente: Corrales H. (2020)

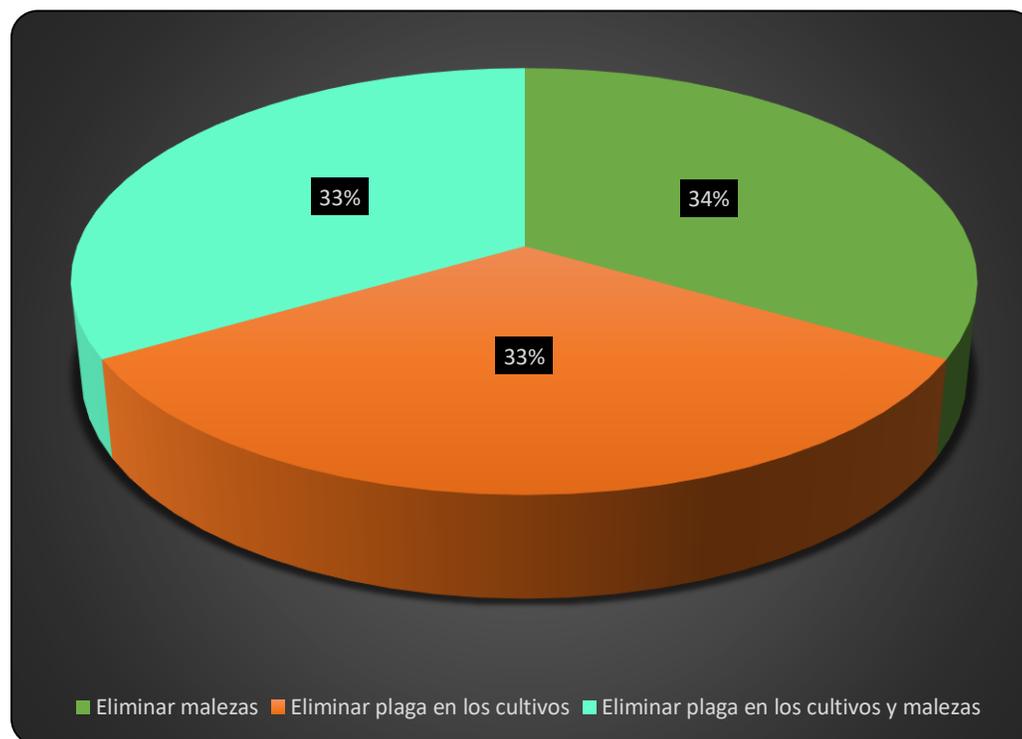
También con la visita acampo se identificó que las labores económicas realizada por los habitantes de la microcuenca son, la agrícola, ganadera y minera (Carbón).

En el caso de la agricultura, se encontraron cultivos de tomate, aguacate, pimentón, habichuela, cebollín, cilantro, maíz, mora, café, plátano, y naranja, estos cultivos tienen más de 10 años de estar desarrollándose por el 60 % de los agricultores (ver gráfica 8)



Gráfica 8. Tiempo de desarrollo de la actividad agrícola
Fuente: Corrales H. (2020)

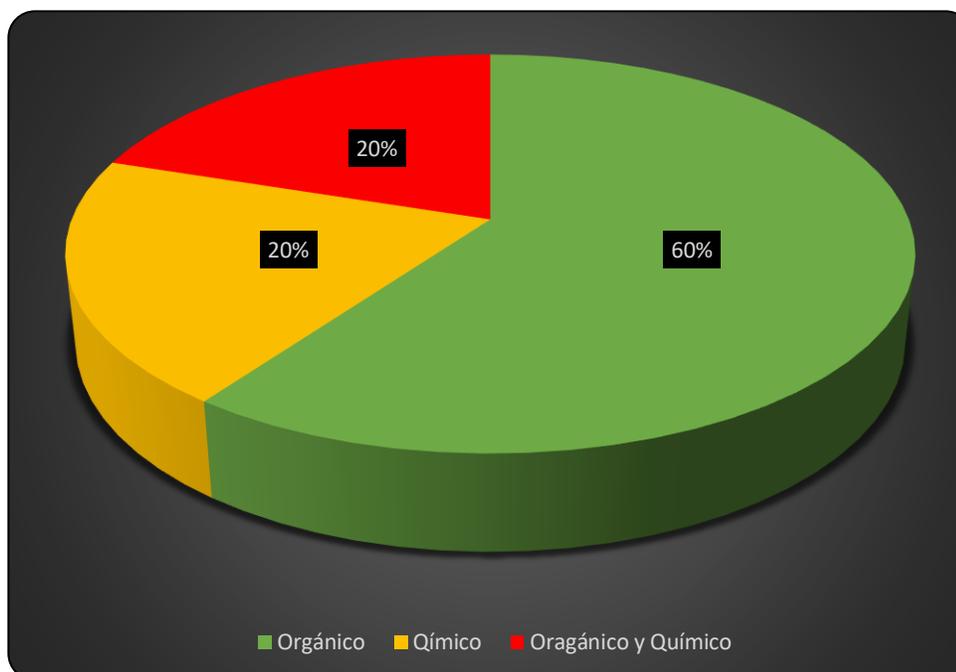
Toda actividad agrícola requiere del uso de agroquímicos, para eliminar plaga de los cultivos o la cobertura vegetal no deseada, en la Cucalina el 33% de los agricultores, emplean los agroquímicos en la eliminación de maleza, como se observa en la gráfica 9, de la misma manera el 33% de las persona lo usan sobre los cultivos en el control de las plagas.



Gráfica 9. Uso de los agroquímicos

Fuente: Corrales H. (2020)

En la agricultura también es esencial la aplicación de abono, con el objeto de obtener un mejor rendimiento en las plantas y aumentar la producción, en la gráfica 6, se observa que el tipo de abono empleado por el 60% de los agricultores es el orgánico, como es el cipe de café, gallinaza, boste de vaca y caballos.



Gráfica 10. Tipo de abono usado

Fuente: Corrales H. (2020)

La mayoría de los habitantes de la microcuenca no solo se desempeñan en la agricultura, sino que de manera conjunta lo hacen con la ganadería, la fotografía 1, recalca con un círculo rojo presencia de animal de granja y al mismo tiempo con el círculo en azul refleja una zona cultivada en el mismo predio, evidenciando que estas dos actividades están fuertemente relacionadas.

En la imagen 1, también se infiere que la remoción de la cobertura no solo se debe a la agricultura sino a la ganadería que para el sustento de los animales necesita producir pastos o hierbas como alimento.

Entre los animales de granja se visualizaron cría de bovinos, porcinos y caprinos



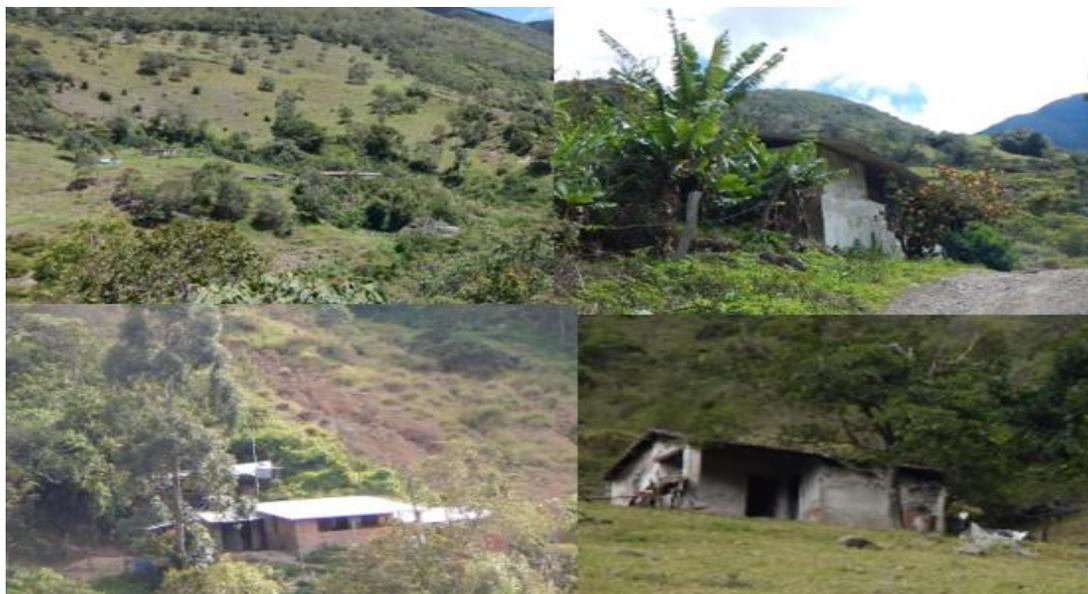
Fotografía 1. Realización conjunta de la actividad agrícola y ganadera
Fuente: Delgado (2020)

La minería de carbón es otra de las fuentes económicas en la zona de estudio, ya que se encuentra la mina Santa Helena, mina que tiene más de 10 años de estar dedicándose a la extracción del carbón en este lugar, y se ha convertido en una oportunidad de empleo en la comunidad de la Cucalina.

5.2. Identificación de los factores incidentes en la calidad del agua

Desde que el hombre dejó de ser nómada y se convirtió en sedentario, iniciaron los problemas ambientales, las primeras civilizaciones se organizaron en las orillas de los ríos, trayendo consigo cambio en el uso del suelo, debido a que las riveras son óptimas para la agricultura y ganadería, primeras actividades realizadas por nuestro ancestros.

La fotografía 2, revela que la microcuenca no es exenta de la radicación de los seres humanos cercas de los ríos.



Fotografía 2. Asentamientos humanos.
Fuente: Delgado y Corrales H. (2020).

Las poblaciones requieren satisfacer necesidades básicas como el servicio de acueducto, alcantarillado y aseo, pero en la zona de estudio no cuentan con estos servicios, es por esto que los habitantes captan el agua de la quebrada con métodos creados por ellos mismo (ver fotografía 3).



Fotografía 3. Captación de agua de la Cucalina
Fuente: Delgado y Corrales (2020).

Algunas viviendas ubicadas en la microcuenca, vierten sus aguas servidas al cauce principal, no obstante, otros habitantes utilizan tanques sépticos.

En el tratamiento de los residuos, según la gráfica 6, el 60% de los habitantes deben buscar la manera de brindarle la disposición final de los residuos sólidos, por tanto en algunos casos ellos han implementado reutilizar los residuos orgánicos, como alimento de los animales domésticos o hacer abono a partir de ellos, otra alternativa que usan es quemarlo.

Otro factor importante que incide en la calidad de agua son las actividades de ganadería es una de las fuentes económicas que han implementado los habitantes de la microcuenca para su sustento. En la fotografía 4, se muestran los tipos de ganadería, la bovina y caprina, pero en la quebrada también se lleva a cabo la porcina.

La ganadería (Fotografía 4) al desarrollarse en la ribera de la Cucalina, representa un grave problema para la calidad del agua, debido a la presencia de contaminantes que resultan de los desechos fecales, fertilizantes y pesticidas.



Fotografía 4. Actividad de Ganadería en la Cucalina
Fuente: Delgado y Corrales (2020).

El uso de pesticidas se implementa en la eliminación de la cobertura vegetal no deseable, con el fin de producir pasto u otro alimento, al adicionar los químicos sobre la vegetación, parte de ellos se almacenan en el suelo y posteriormente llegan al agua causando alteración en la misma. Además, muchos ganaderos o campesinos, toman el agua de los ríos para realizar las fumigaciones y no tienen las precauciones, necesarias para evitar que los recipientes con el contenido del pesticida tengan contacto con el recurso hídrico o el suelo.

Otra herramienta que se implementa en la eliminación de la vegetación es el uso de máquinas a motor, donde el combustible que se requiere para su funcionamiento está hecho a base de petróleo (gasolina, ACPM y aceites).

Al descubrir los suelos, lo que se hace es exponerlos a las lluvias y los vientos, provocando inestabilidad y erosión en los suelos. Por otra parte, estudios han comprobado que

en los lugares donde se evidencian la ganadería los suelos se compactan, disminuyendo la infiltración y por ende aumenta la corriente superficial.

Según la FAO (2006), el sobrepastoreo afecta al ciclo del agua e impide que se renueven los recursos hídricos tanto de superficie como subterráneos. La producción de forraje obliga a desviar importantes cantidades de agua.



Fotografía 5. Captación de agua de la Cucalina para la ganadería
Fuente: Corrales (2020)

En el punto A de la fotografía 5, se visualiza un círculo de color rojo, resaltando un bebedero empírico para el ganado, el cual se abastece de la captación de un aporte de la microcuenca.

Dentro del cauce se encontraron excrementos de ganado, como indicador de que llegan a beber agua al cauce principal.

Las captaciones de agua, si no se hacen con las medidas adecuadas, causan serios problemas al hábitat acuático, si no se mantiene el caudal mínimo necesario para la

supervivencia de los seres que viven en él. Ahora al disminuir drásticamente los caudales, la concentración de minerales o químicos en el río aumentará, causando afectaciones al recurso.

Los efectos de la ganadería en la calidad del agua son semejantes a los de la agricultura, esto se debe a que en la agricultura también, necesita eliminar la cobertura para realizar la siembra de los cultivos y se hace de la misma manera que en la ganadería. Estas difieren en que la agricultura requiere del uso frecuente de fertilizantes y pesticidas, en comparación a la ganadería.

En la microcuenca al poseer cultivos de tomate, aguacate, pimentón, habichuela, cebollín, cilantro, maíz, mora, café, plátano, y naranja, (ver fotografía 6). La eliminación de hongos en el cultivo de tomate lo hacen aplicando el fungicida manzate, y con una frecuencia de 1 a 3 meses. La mayoría de los pesticidas son tóxicos y representan un peligro para la calidad del agua.

Algunos de los fertilizantes usados por los agricultores son la gallinaza, cipe de café, bosta de ganado o caballo y el 10-30-10, este último fertilizante es rico en potasio, nitrógeno y fosforo., Como ya se había mencionado los fertilizantes ya sean orgánicos o químicos su función primordial y la causa por la cual lo aplican, es para aumentar los niveles de nutrientes en el suelo, que son retenidos en mayor proporción por los suelos arcillosos. Sin embargo, no todos los nutrientes son absorbidos por la planta sino que se almacenan en el suelo, que al hacer lavados por las lluvias los nutrientes y las sustancias toxicas son transportados hasta el recurso hídrico.



Fotografía 6. Cultivos presentes en la Cucalina.

Fuente: Delgado y Corrales (2020)

En la microcuenca existe una mina subterránea que tiene más de 10 años de dedicarse a la extracción y explotación del carbón, se ubica aproximadamente en el punto 1316225 N 1160240 W.

La manera que utilizan para transportar el carbón es a través de volquetas que ingresan por la Vereda San Antonio, a través de una vía destapada que se encuentra en el lugar.

Los escombros que resultan de la extracción del carbón, de acuerdo a información entregada por el personal que trabajan en la mina, no se les realiza ningún manejo o tratamiento, sino que son almacenados en espacios libres cerca de la mina, sin ofrecerles alguna protección de los vientos o de las lluvias. (Ver punto C de la fotografía 7).



Fotografía 7. Actividad minera en la Cucalina
Fuente: Delgado y Corrales (2020)

Lo más probable es que estos escombros terminen en el cauce de la quebrada, por las corrientes superficiales.

En el punto georeferenciado con las coordenadas 1316380 N 1159982 W, a unos metros aguas abajo de la mina Santa Helena, se visualiza que las rocas en el cauce han adquirido un color naranja, esto se debe a la oxidación por presencia de iones de hierro en el agua, por la alteración de las piritas, resultado de la actividad minera.

La fotografía 8, es evidencia que la Cucalina es susceptible a la contaminación en la parte baja de la microcuenca, ya que en este parte de la microcuenca se deben presentar valores representativos de materia orgánica y de hierro en el agua.



Fotografía 8. Coloración de las rocas en el cauce de la Cucalina
Fuente: Delgado y Corrales (2020).

De igual forma al frente de la mina Santa Helena pasa un riachuelo que se encuentra en mal estado por la cantidad de carbón presente en el suelo (Ver fotografía 9)



Fotografía 9. Corriente superficial contaminada
Fuente: Corrales H. (2020).

Para acceder a la microcuenca se hace por la entrada a la vereda San Antonio o como le llaman los habitantes, la entrada a la Cucalina, debido a que en el kilómetro 58+300 la carretera destapada, utilizada por la mina Santa Helena para que las volquetas ingresen y puedan sacar el carbón se conecta con la vía tipo 1 que conduce de Pamplona a Cúcuta (Ver imagen 9).

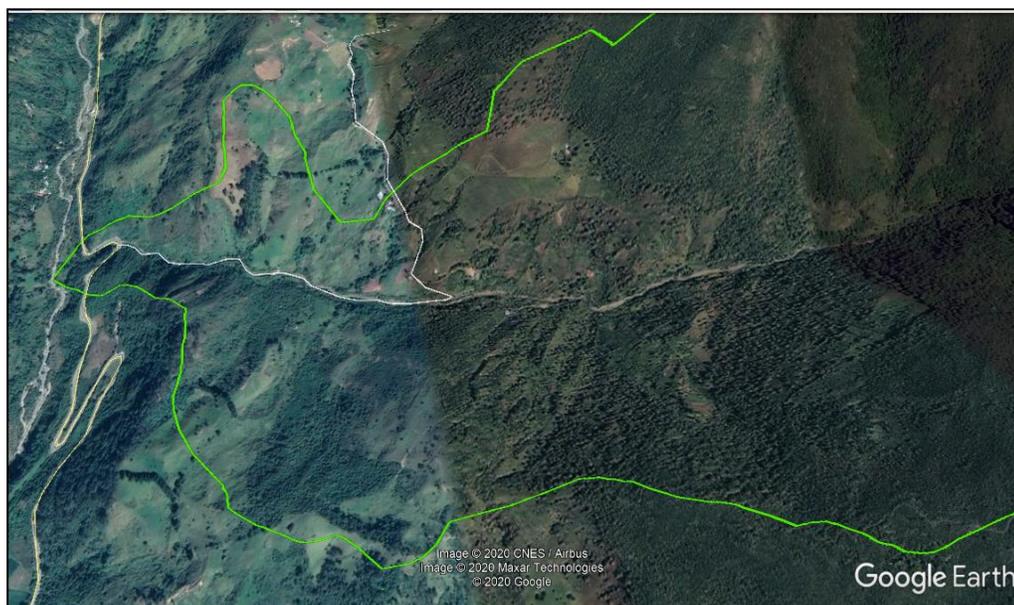
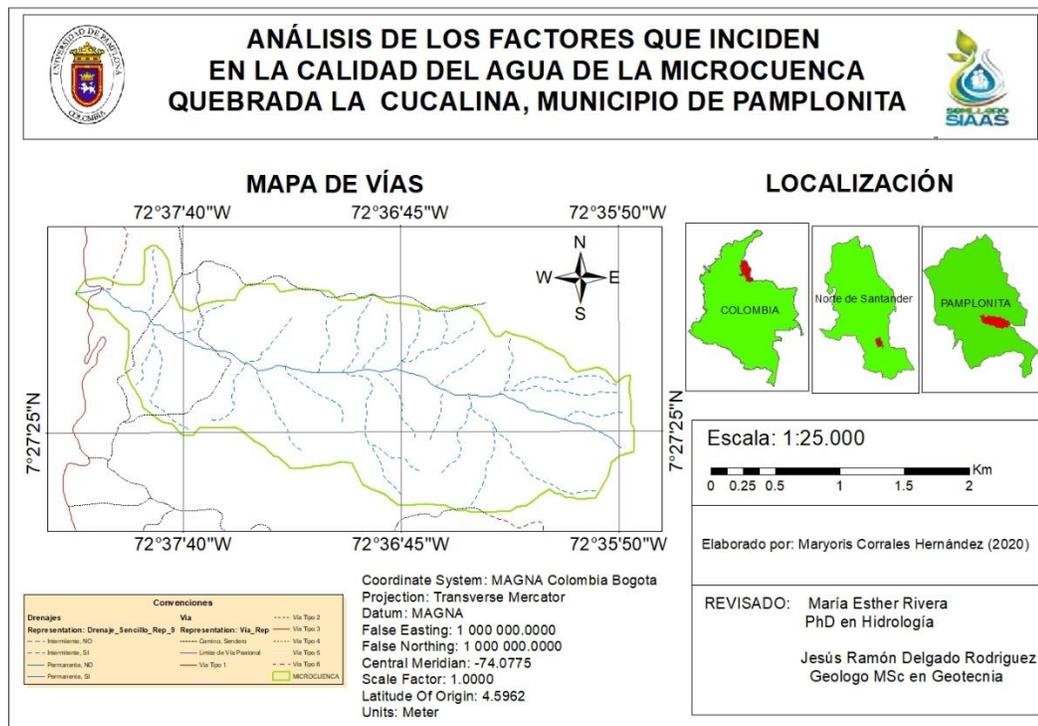


Imagen 9. Vías en la Parte baja de la Cucalina

Fuente: Google Earth (2020)

En el mapa 6, solo se alcanza a ver la vía tipo 1, una tipo 2 y algunos caminos o senderos, pero todos se ubican en la parte baja de la quebrada, demostrando una vez más que la zona baja es la que más afectada debe estar, ya que todas las actividades se desarrollan en esta parte de la Cucalina.

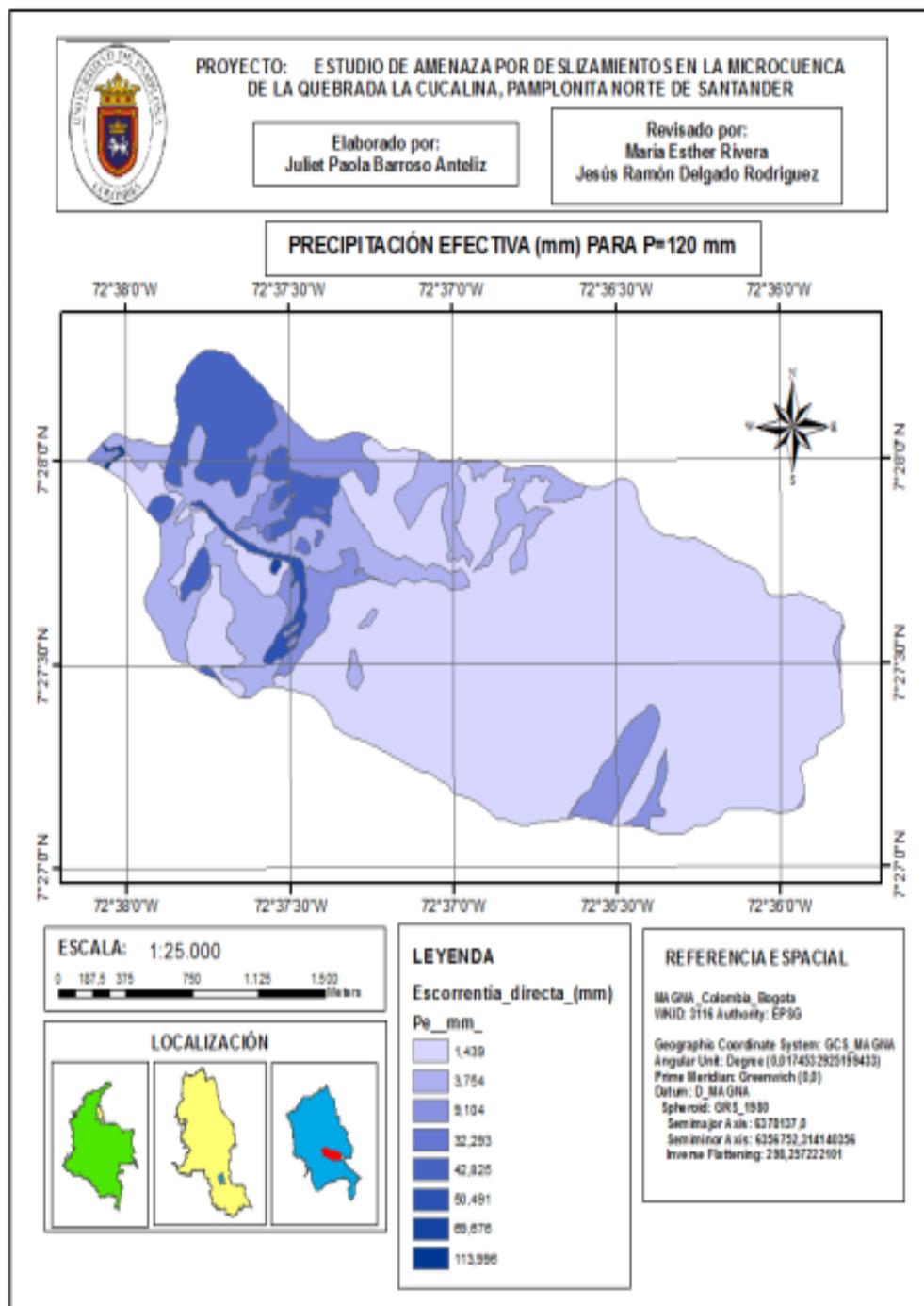
La importancia de este factor consiste en que las carretas son una fuente difusa de contaminantes químicos, como el plomo, petróleo y partículas corroídas.



Mapa 6. Mapa de Vías de la zona de estudio

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

Las escorrentías según el mapa 7, es en la zona baja dónde se genera mayor escorrentía, y en la parte media de la microcuenca la escorrentía es mínima, esto se debe a que en la zona baja existen suelos descubiertos y con contenido en arcillas, mientras que en la zona media y alta la cobertura es más abundante y el suelo de textura arenosa.



Mapa 7. Precipitación efectiva para 120 mm

Fuente: Barroso (2018)

De la revisión bibliográfica se resaltan los siguientes estudios relacionados con esta investigación (ver tabla 17)

Titulo	Autor	Factores
Modelado de la susceptibilidad del agua superficial a la contaminación usando SIG	Al-Adamat (2017)	<ul style="list-style-type: none"> *pendiente de gradiente *distancia a corrientes de agua *distancia a corrientes de agua (arroyos) *distancia a tierras agrícolas *distancia a áreas urbanas *distancia a carreteras
Los impactos potenciales sobre la Calidad del Agua Superficial de la utilización de aceite de esquisto en Lajjoun Área / Jordan Southern utilizando Sistemas de Información Geográfica y pruebas de lixiviación	A. Al-Harahsheh et al., (2010),	<ul style="list-style-type: none"> *la pendiente topográfica *la distancia a agua (ríos y lagos) *cobertura de la tierra *las propiedades del suelo
Influencias de los factores naturales y antropogénicos sobre la calidad superficial y subterránea en las zonas rurales y urbanas	Thatri y Tyagi (2014)	<ul style="list-style-type: none"> * geología de la roca * cambio climático * los desastres naturales (inundaciones, sequias, terremotos) * deposición atmosférica (en seco y húmedo) * erosión de las rocas * actividades agrícolas *escorrentía de las tierra de cultivos, corrales y cebaderos, instalaciones de almacenamientos * sitios de construcción *operaciones mineras * extracción de madera y pastos (granjas avícolas).

Métodos de calificación de zona no saturada y características de la cuenca del público Suministros de Agua en North Carolina Identificación de las influencias	Eimers- Midgette et al., (2000)	<ul style="list-style-type: none"> * precipitación anual promedio * pendiente de la superficie del suelo * cobertura del suelo * uso del suelo * contribución del agua subterránea
antropogénicas en la calidad del agua de los ríos en Taihu cuenca	Xiao-larga- Tie-yu et al., (2006)	<ul style="list-style-type: none"> *aguas residuales provenientes de los hogares y de las industrias * la influencia de la agricultura y acuicultura
influencia humana en la calidad del agua en los humedales costeros Gran Lagos	Morrice- Peterson <i>et al.</i> , (2007)	<ul style="list-style-type: none"> * Las prácticas agrícolas *distribución de la población humana *contaminación de fuente puntual * deposición atmosférica
La influencia de la topografía y el uso del suelo en la calidad del agua del río Jiangxi en la región del embalse de las tres gargantas	Ye, <i>et al.</i> , (2008)	<ul style="list-style-type: none"> * el uso del suelo *Topografía
Metodologías para la evaluación del riesgo de contaminación de los sistemas de recursos hídricos.	Diamantino- Lobo et al., (2007)	<ul style="list-style-type: none"> * descargas de aguas residuales * impactos del uso recreativo de la tierra * impactos del uso de la tierra agrícola * tamaño de la cuenca hidrográfica * avenidas de transporte * impactos del uso industrial de la tierra *cantidad de cobertura vegetal del suelo

Tabla 17. Estudios relacionados a los factores incidentes en la calidad del agua

Fuente: Corrales H. (2020)

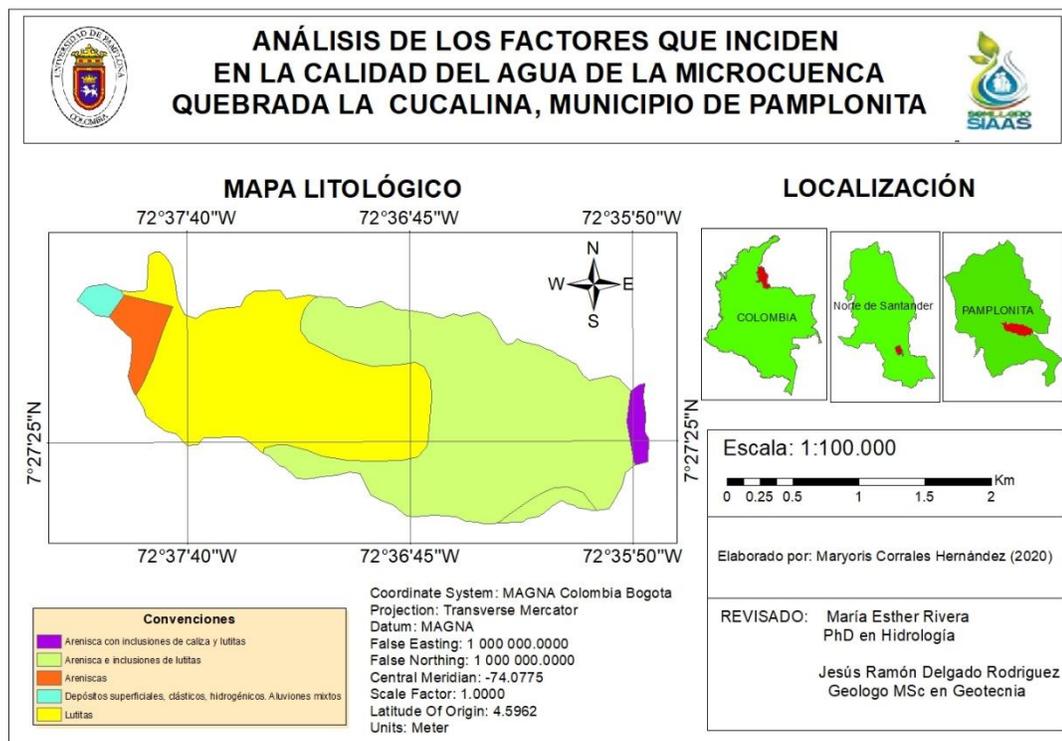
De acuerdo a la revisión bibliográfica, los contaminantes alcanzan al recurso hídrico por acciones de las corrientes superficiales que arrastran la polución hasta los sistemas hídricos, en la tabla 17, se contempla que el uso del suelo por la agricultura es el factor más estudiado, posteriormente la cobertura vegetal del suelo, pendiente, composición de las rocas y del suelo, descargas de aguas residuales, minería y en menor frecuencia las avenidas de transportes.

5.3. Caracterización de la cobertura vegetal, geología y suelo de la zona de estudio

5.3.1. Geología y tipo de suelo de la zona de estudio

Estudios han demostrado que los cuerpos de agua se contaminan con la geología que la rodea. La litología y el suelo están compuestos de minerales y sustancias químicas que al tener contacto con el agua reaccionan dando lugar a otro compuesto.

El mapa 8, muestra que en la microcuenca existen arenisca con inclusiones de caliza y lutitas, areniscas o inclusiones de lutitas, areniscas, depósitos superficiales, clástico, hidrogénicos. Aluviones y lutitas. Pero las visitas a campo, determinaron que no son inclusiones si no intercalaciones entre los diferentes componentes de las rocas.



Mapa 8 .Mapa litológico de la quebrada La Cucalina

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

Según Delgado (2020), la litología en la Cucalina es de origen sedimentario, compuestas por rocas blandas (lutitas negras y rojas, shale) y rocas duras (Caliza, areniscas), de formación tibu mercedes, girón y aguardiente. Uno de las rocas más abundante después de la lutita es la arenisca, estas existen de color blanco y gris oscuro. También, hay depósitos flujo potenciales y depósitos de cascajos. Las rocas blandas como las lutitas negras, son de color oscuras porque están formadas por materia orgánica, al descomponerse forman gas y petróleo, otra parte se descompone en arcilla, produciendo así suelos impermeables. En la Cucalina también se observaron lutitas de color rojo, color generado por el dióxido de hierro que contiene la roca. Las rocas duras son altamente permeables, por lo que los niveles de filtración serán altos, caso contrario las rocas blandas.

En el punto con coordenadas 1316650 N y 1159540 W a una altura de 1547 m.s.n.m, se ubica un surco en la alta montaña que se ha formado por las caídas de rocas blandas, quedando al descubierto los materiales más duros (Ver fotografía 10).

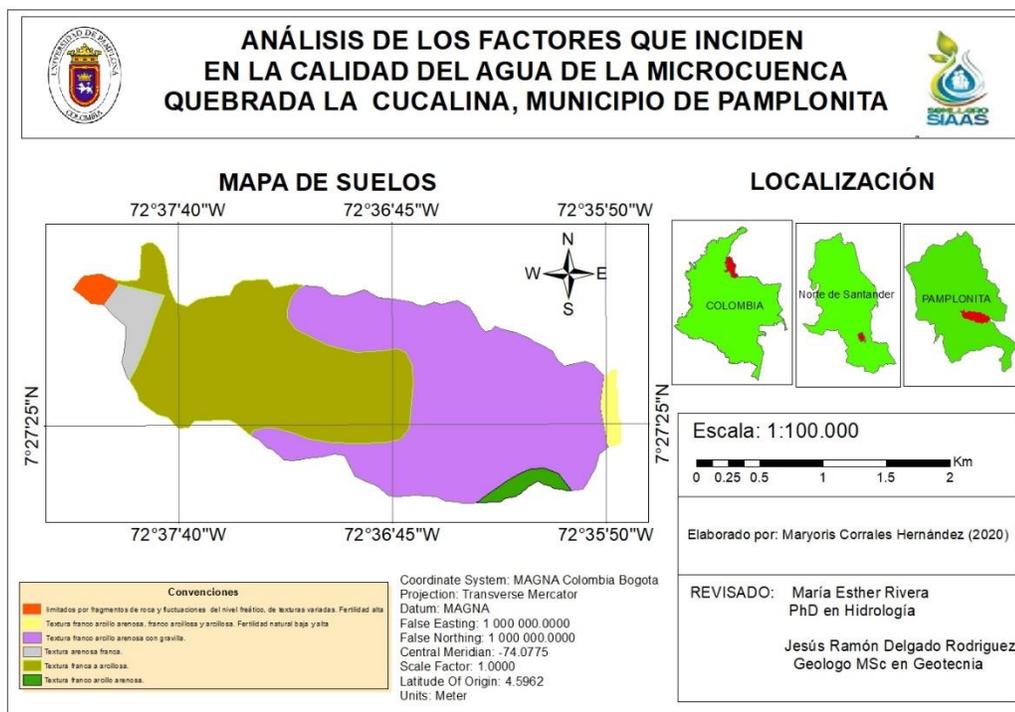


Fotografía 10. Surcos en la alta montaña
Fuente: Corrales H. (2020)

Los materiales blandos que se desprenden llegan al cauce principal por acción de la escorrentía superficial o por la gravedad, estos materiales al acumularse en la quebrada, pueden contaminar el agua por la composición mineralógica de las rocas.

De igual manera, como ya se había mencionado los suelos son un parámetro de gran importancia en temas relacionados a la calidad del agua. La composición de los suelos presenta relación directa con la composición de las rocas, por ejemplo, las zonas con presencia de lutitas,

va a mostrar suelos ricos en arcillas. Asimismo, donde hay areniscas y calizas, los suelos serán arenosos, con contenido de calcio, hierro, silicio y otros elementos (mapa 9).



Mapa 9. Mapa de tipos de suelo en la Cucalina

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del IGAC

Del mapa, se deduce que el suelo de la Cucalina presenta diferentes texturas, como son la, franco arcillo arenosa, franco arcilloso, arenosa franca, arcillosa y franco a arcillosa. Las áreas correspondientes a cada tipo de suelo se muestran en la tabla 18.

Textura	Áreas (Km²)
Franco arcillo arenosa	2.535
Franco a arcillosa	1.987
Arenosa franca	0.169
Franco arcillo arenosa, franco arcillosa, arcillosa	0.073
Variadas	0.058
Franco arcillo arenosa	0.081

Tabla 18. Áreas que corresponde a los tipos de suelos.

Fuente: Corrales H. (2020).

El suelo con mayor área es el franco arcillo arenoso, posee un área de 2.535 Km² (Ver tabla 18). Está compuesto en un 35% de arena, 35% de limo y 30% de arcilla, como se determina en la tabla 11. Le sigue el suelo franco a arcillosa con un área de 1.98 Km², su composición es parecida a la anterior.

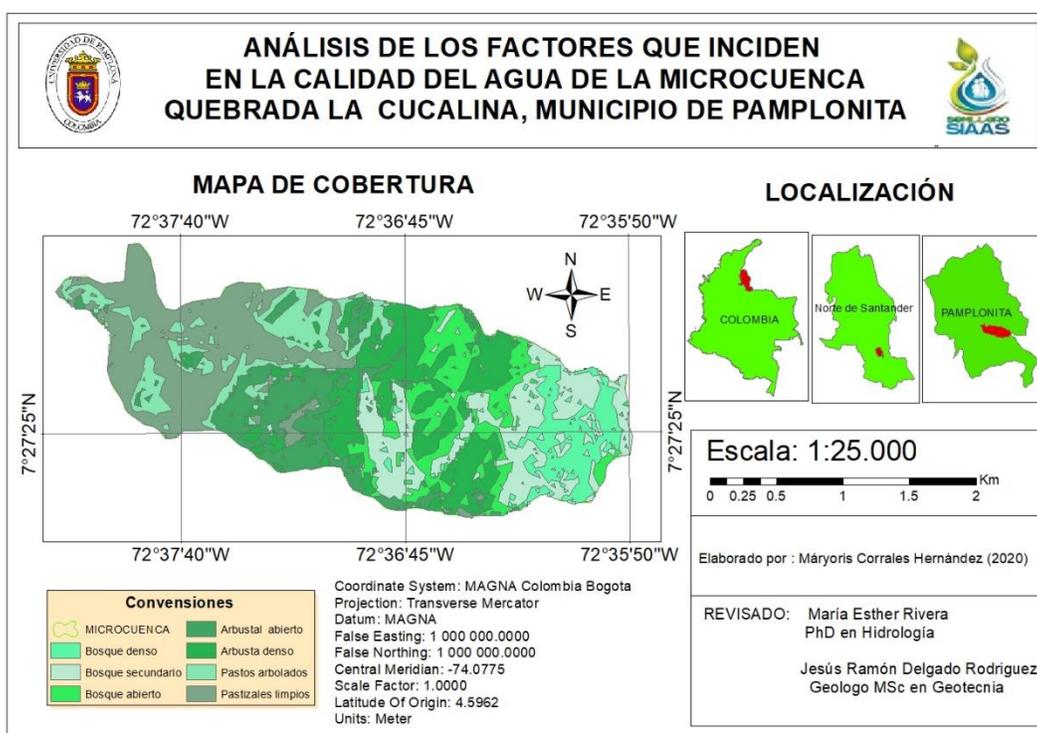
Al existir una textura franca el suelo va adquirir todas las condiciones requeridas para realizar todo tipo de actividad agropecuaria, debido a que se alcanzará un equilibrio entre los diferentes componentes del suelo. De igual manera, los francos arcillosos conservan cierto grado de fertilidad, mientras que los francos arenosos no se consideran fértiles para llevar a cabo actividad agrícola, esto se debe porque la arcilla es rica en materia orgánica y tiene capacidad de almacenar nutrientes como el nitrógeno, fósforo, entre otros, la arena por tener partículas gruesas no puede retener los nutrientes. Por otro lado, la arcilla contiene alta capacidad de retención de agua, por el grado de impermeabilidad que la distingue, caso contrario a la arena.

5.3.2. Cobertura vegetal de la zona de estudio

La cobertura vegetal existente en la Cucalina está determinada por el relieve, clima, geología y uso del suelo.

A través de la aplicación de la metodología de Corine Land Cover, se determinó que la cobertura vegetal está comprendida por bosque denso, bosque secundario, bosque abierto, arbustal abierto, arbustal denso, pastos arbolados y pastizales limpios (Ver mapa 10).

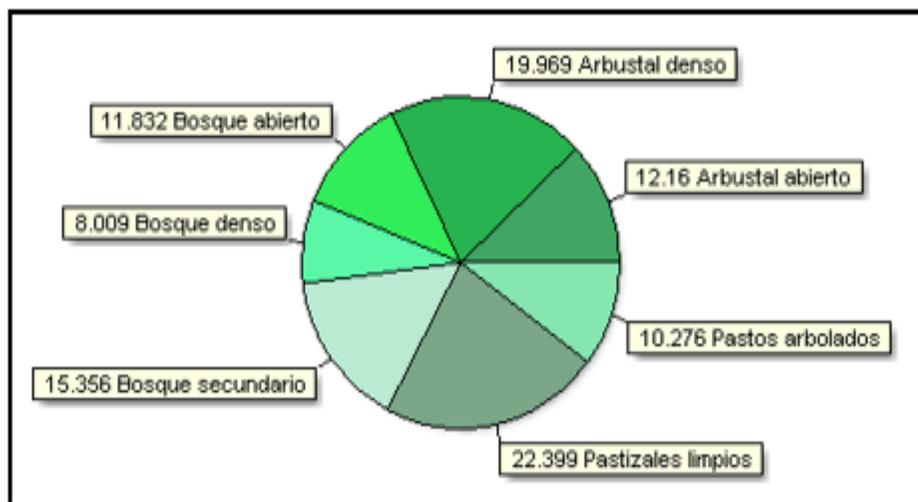
La parte baja de la microcuenca es la que más se ha intervenido, ya que es el área donde se concentran las labores económicas.



Mapa 10. Mapa de la cobertura en la Cucalina

Fuente: Elaborado por Corrales H. (2020) a partir de la información obtenida del USGS

En esta zona la cobertura está compuesta en un 33% por pastos arbolados y pastizales limpios, y tan solo el 8% es bosque denso y se ubica en la zona alta (ver gráfico 11)



Gráfica 11. Porcentaje de la cobertura en la Cucalina
Fuente: Corrales H. (2020).

Los suelos descubiertos y con poca vegetación como se visualiza en la fotografía 11, confirman la transformación que ha experimentado la vegetación en la zona baja de la Cucalina, es por ello que la escases de revestimiento del suelo con lleva a la proliferación de corrientes superficiales. Además, en esta zona es donde se sitúa gran parte de rocas lutitas (ver mapa 8) y por ende suelo con arcillosa que favorecen a la escorrentía.

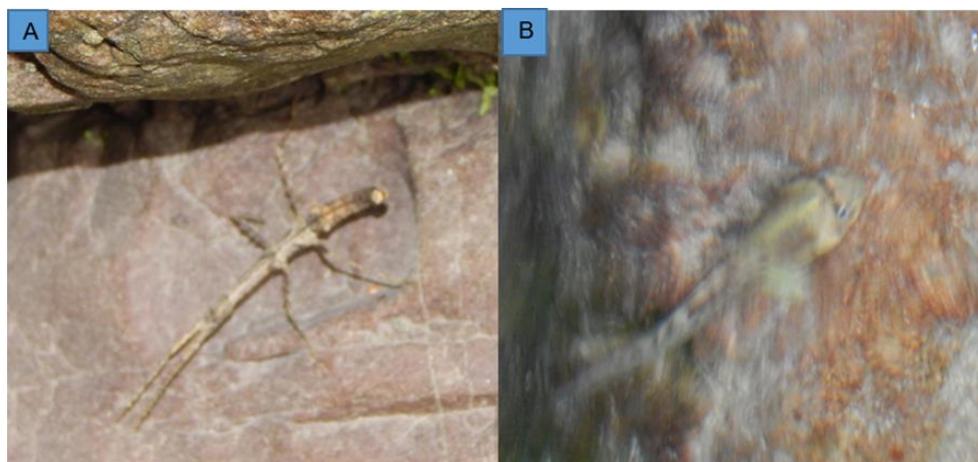


Fotografía 11. Cambio de la cobertura vegetal

Fuente: Delgado (2020).

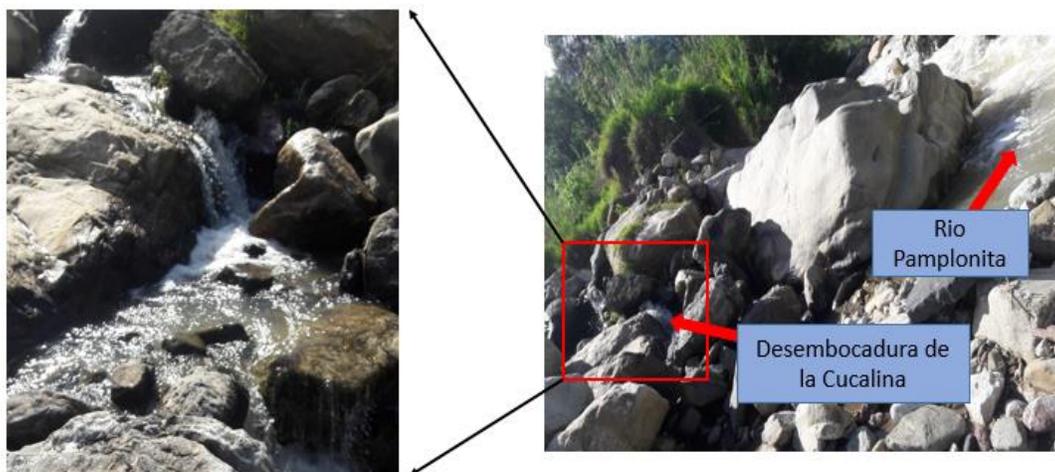
Por otra parte aproximadamente a los 1819 m.s.n.m, se ubica una zona de restauración y reforestación, lo cual explica que la calidad del agua en este tramo de la microcuenca muestre características de estar en buen estado, porque, diagonal al área de restauración se encontraron macroinvertebrados y vertebrados (ver fotografía 12) que según Belamendia (2010), los anfibios se les atribuyen propiedades "bioindicadoras" de la calidad del medio y son el colectivo más vulnerable a la alteración de las variables ambientales por ser sus pieles permeables a diferentes tipos de agentes químicos artificiales.

Igualmente la presencia de Neuston (patinadores), solo se encuentran cuando existe una adecuada tensión superficial en el agua, de no ser así, de que no haya una adecuada tensión superficial, se debería a cambios significativos en la temperatura, presencia de tensoactivos, como detergentes en el agua. Barrera y Monroy (2015).



Fotografía 12. Presencia de macroinvertebrados y anfibios
Fuente: Delgado (2020).

Sin embargo en la desembocadura (ver fotografía 13) de la microcuenca no se observaron macroinvertebrados ni anfibios, esto debe a que posiblemente en esta parte de la Cucalina se encuentre contaminada, por otra parte en este punto el agua de la quebrada presentaba un olor no agradable.



Fotografía 13. Desembocadura de la Cucalina.
Fuente: Corrales H (2020)

5.4. Valoración de los factores que inciden en el área de la calidad del agua por los expertos

Las interacciones entre hombre y naturaleza, es la principal causa de los problemas ambientales que actualmente atraviesa el mundo.

De acuerdo al análisis realizado en esta investigación los principales factores que inciden en la calidad del agua de la quebrada la Cucalina son los antrópicos (minería, uso del suelo por la ganadería y agricultura, distancia de los cuerpos de agua a las vías y la distancia del recurso hídrico a áreas urbanas o rurales) y naturales (tipo de suelo, geología, pendiente topográfica y cobertura vegetal).

Según la valoración dada por los expertos en la calidad del agua, el factor que mayor impacto genera sobre el recurso hídrico de la quebrada con un ponderado de 7, es la minería, Valor aceptable, ya que precisamente cerca de la mina Santa Helena la microcuenca muestra indicios de estar contaminada por la oxidación de la pirita.

Mientras que la distancia del cuerpo de agua a las carreteras obtuvo una valoración de 1, indicando que este factor es el que menos inciden en la calidad del agua. La tabla 19 se observa la valoración dada a los factores que inciden en la calidad del agua por los expertos de las diferentes universidades mencionado en el capítulo 3.

FACTORES	Expertos								Media	Ponderado
	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Ex 5	Ex 6	Ex 7	Ex 8		
Distancia a zona minera	3	6	4	4	4	6	6	6	4.875	7
distancia a áreas urbanas	5	6	4	4	5	6	2	6	4.75	6
Distancia a zona agrícola y ganadera	4	3	5	5	5	5	5	5	4.625	5
Cobertura vegetal	3	4	4	4	5	5	6	4	4.375	4
Pendiente del gradiente (%)	3	2	3	5	5	4	4	6	4	3
Tipo de suelo (Arcilla)	2	3	4	4	4	3	3	4	3.375	2
distancia a carreteras	1	2	2	2	4	2	1	4	2.25	1

Tabla 19. Valoración de los factores que inciden en la calidad del agua
Fuente: Corrales H. (2020)

6. Conclusiones

La Cucalina presenta características únicas de relieves montañosos, como son suelos bien drenados con alta capacidad de retención hídrica, pendientes inclinadas, lluvias torrenciales, entre otros, estas condiciones explica que en los últimos años se hayan presenciado crecidas súbitas, a pesar de encontrarse en la fase de equilibrio y ser largada.

Por tanto en temporada de lluvia la concentración de los contaminantes en el recurso hídrico aumenta, porque la escorrentía superficial arrastra sedimentos y químicos retenidos en los suelos, producto de la ganadería minería y agricultura, efectuando cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua.

Asimismo, la calidad del agua en una cuenca no solo se ve afectada por las actividades antrópicas, sino también por los procesos naturales que impactan negativamente al recurso hídrico.

Por otra parte la calidad del agua en la parte baja de la Cucalina es susceptible a la contaminación, debido a que es la zona donde se centran las actividades como la ganadería, agricultura, minería, teniendo en cuenta que en esta área la geología presente es impermeable, y las pendientes son abruptas, las cuales favorecen a la escorrentía superficial. Mientras que en la zona media y alta de la quebrada las condiciones de calidad del agua cambian, porque aún se conservan áreas boscosas, es decir, con menos influencias de actividades humanas y es la parte con mayor presencia de suelos con texturas arenosas.

En este mismo orden de idea los factores antrópicos en comparación a los naturales, son los que mayor daño causan a la calidad del agua y al ambiente en general, ya que a diferencia de los naturales, las actividades hechas por el hombre liberan aceleradamente contaminantes al medio.

Por lo anterior, para poder conservar la calidad del agua es importante mantener un equilibrio entre las actividades humanas y naturaleza, debido a que los factores antrópico inciden en la calidad del agua por esta relación (hombre-naturaleza)

7. Recomendaciones

Teniendo en cuenta las limitaciones que presentó este proyecto por la emergencia sanitaria del Covid-19 decreta por el gobierno nacional se recomienda:

- ❖ Realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la parte baja, media y alta de la Cocalina, para corroborar la información proporcionada en este trabajo y confirmar que esta metodología es viable.
- ❖ Estudiar otros factores que pueden influir en la contaminación del agua de la microcuenca.
- ❖ Aplicar esta metodología para futuros estudios concernientes a la calidad del agua.

8. Referencias bibliográficas

- A. Al-Harashseh, R. Al-Adamat & M. Al-Farajat. (2010). Impactos Potenciales en la superficie de la Calidad del Agua de la utilización de aceite de esquisto en Lajoun Área / Jordan Southern utilizando Sistemas de Información Geográfica y Análisis de lixiviación. 1763-1776. doi: 10.1080 / 15567036.2010.491779
- A. Morrice, P. Dan, R. Regal, R. Kelly, J.Niemi, D. Reavie. S. Peterson. (2007). Human Influences on Water Quality in Great Lakes Coastal. Environmental Management, 347-357. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-007-9055-5>
- Actualización POMCA río Garagoa: Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica. (2018). Las corporaciones. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=38330>
- Al-Adamat. (2017). Modelling Surface Water Susceptibility to Pollution Using GIS. 293-308. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317609349_Modelling_Surface_Water_Susceptibility_to_Pollution_Using_GIS
- Alex Javier Cardona. (2010). Estrategia nacional para el manejo de cuencas hidrográficas en Honduras. Departamento de Cuencas Hidrográficas y Ambiente. Obtenido de <https://cuencasgolfodefonseca.org/wp-content/uploads/2017/11/Estrategia-Nacional-de-Cuencas.pdf>
- Alvarado, J. J. (2013). La influencia de los cambios de los usos del suelo en la calidad de las aguas de la bahía de cullera. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, Gandía,

España. Obtenido de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35826/memoria.pdf.pdf?sequence=1>

Arrieta, Trujillo & Arrieta. (2018). Análisis de aspectos ambientales generados por las prácticas ganaderas en el área de influencia de la ciénaga de Betancí en el municipio de Montería.

Revista ESPACIOS, 24. Obtenido de

<http://www.revistaespacios.com/a18v39n44/a18v39n44p24.pdf>

Arroyo, R. C. (2013). Evaluación del comportamiento estructural de un tunel de sección tipo herradura y un túnel de sección con paredes verticales con domo arqueado. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/320>

Aquilla, Astorga & Jiménez. (s.f.). Obtenido de

http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6408/Influencia_de_uso_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Camarasa, López & Pascual. (2006). Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía. 46-63. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/267863520_Analisis_mediante_SIG_de_los_parametros_de_produccion_de_escorrentia

Campo, Aldalur & Fernández. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. Investigaciones geográficas. Obtenido de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000100002

Cardona, B. L. (s.f.). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de

- <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Carlos, V. V. (2014). MANUAL DE GEOLOGÍA: CAPÍTULO 9. ROCAS SEDIMENTARIAS. Universidad Nacional Sede Manizales, Manizales. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/48418/37/rocassedimentarias.pdf>
- Cediel, F. (1968). UNA MOLASA MESOZOICA DE LA CORDILLERA ORIENTAL. Geológico, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Obtenido de <https://revistas.sgc.gov.co/index.php/boletingeo/article/view/108/386>
- Chávez, J. A. (2018). CALIDAD DEL AGUA Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Perú Med Exp Salud Pública. Obtenido de <https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/3719/3065>
- Chester Sellers, Sandra Buján, Eduardo, Corbelle & David Miranda. (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos lidar en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. Open Journal Systems (OJS) - Public Knowledge Project. Obtenido de <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87>
- Ciancaglini, N. (s.f.). Guía para la determinación de textura de suelos por método. Obtenido de. http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. Revista Química Viva. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Colombiano, S. G. (2016). ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE UN CONJUNTO DE PLANCHAS A ESCALA 1:100 000 UBICADAS EN EL

- TERRITORIO NACIONAL, IDENTIFICADAS POR EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de <http://recordcenter.sgc.gov.co/B17/23008010028490/Documento/Pdf/2105284901102000.pdf>
- Corbett, R. G. (1977). EFFECTS OF COAL MINING ON GROUND AND SURFACE WATER QUALITY, MONONGALIA COUNTY, WEST VIRGINIA. 21-38. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0048969777900596>
- Correa, A. H. (2009). Desarrollo de un sistema de tratamiento del agua de escorrentía superficial procedente de aparcamientos impermeables usando flujo ascendente y geotextiles. Universidad de Cantabria, Santander, España. Obtenido de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/10713>
- Duarte, G. A. (s.f.). ARTÍCULO DE REVISIÓN. Obtenido de <https://www.unicieo.edu.co/wpcontent/uploads/2013/11/MTODOS%20BIOESTDISTICOS%20PARA%20EL%20DESARROLLO%20E%20IMPLEMENTACION%20DEL%20RIGOR%20CIENFICO.pdf>
- Durán, L. E. (2018). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos. 20. Obtenido de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/4593>
- Emilia García Romero, Mercedes Suárez Barrios. (s.f.). LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS.
- Empresas exportadoras agrícolas en el Perú. (29 de 03 de 2018). Recuperado el 10 de 6 de 2020, de exp-agricolaperu.blogspot.com/2018/03/concepto-de-agricultura.html

- Fallah Shorshani, Bonhomme, Petrucci André & Seigneur. (2014). Impacto del tráfico vial en la calidad del agua urbana: un paso hacia el modelado integrado del tráfico, el aire y las aguas pluviales. *Environ Sci Pollut Res Int.* doi: 10.1007 / s11356-013-2370-x
- Figueras, Valdovinos, Araya & Parra. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 275-285. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2003000200012
- Gamboa, Reyes & Arrivillaga. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadoras de salud ambiental. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001
- Geología web. (s.f.). Obtenido de <https://geologiaweb.com/rocas-sedimentarias/lutita/>
- Gómez, V. (6 de 2020). Recuperado el 3 de Marzo de 2020, de <https://www.lifeder.com/suelos-arcillosos/>
- Guerra, D. A. (2015). Estimación de los parámetros morfométricos y las unidades de respuesta hidrológica de la cuenca del río Ráquira departamento de Boyacá a través del programa swat. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, Bogotá. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2352/1/Trabajo_Grado_Cuenca_Raquira.pdf
- Guerrero, Cirilo Joaquín. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. 3-14. Obtenido de http://www.utm.mx/edi_anteriores/pdf/ensayo1t14R.pdf

- HARMED, D. A. (2008). Effects of Highway Runoff on Streamflow and Water Quality in the Sevenmile Creek Basin, a Rural Area in the Piedmont Province of North Carolina, July 1981 to July 1982. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/wsp/2329/report.pdf>
- Ibáñez Asensio, Gisbert Blanque & Moreno Ramón. (s.f.). LA PENDIENTE DEL TERRENO. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La%20pendiente%20del%20terreno.pdf>
- Ibáñez Asensio, Moreno Ramón & Gisbert Blanquer. (s.f.). Morfología de las cuencas hidrográficas. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- J. Yisa & T. Jimoh. (2010). Analytical Studies on Water Quality Index of River Landzu. 453-458. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/279409512_Analytical_Studies_on_Water_Quality_Index_of_River_Landzu
- J., D. F. (2002). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- JARDÍ, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. 43 revista de Geografía. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39036417.pdf>
- Jiménez, F. M. (2015). Estudio morfométrico de la cuenca del río azul, afluente del río Calima, departamento del valle del Cauca. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Valle del Cauca. Obtenido de

- <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2126/1/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf>
- Juana Teresa Suárez Sarria & José Antonio Bravo Iglesias. (s.f.). Obtenido de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5325/IIF.pdf>
- Lillo. (s.f.). Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>
- Lin Ye, Qing-hua, Rui-qiu Liu & Ming Cao. (2008). The influence of topography and land use on water quality. *Environmental Geology*, 937-942. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-008-1573-9>
- María Custodio & Rafael Pantoja Esquivel. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. doi:10.18259/acs.2012015
- Mario Castro, J. A. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. doi:10.16925/in.v9i17.811
- Martínez Frías, Lunar, Rodríguez-Losada3 Eff-Darwich & Madero Jarabo. (2008). La Geología en la exploración planetaria. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/36138/1/mesa_redondaCGE2008.pdf
- Matauco, A. I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Asociación de Geógrafos Españoles*. Obtenido de <http://age.ieg.csic.es/boletin/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf>
- Molina, López & Villegas. (2005). Los sistemas de información geográfica SIG en la planificación municipal. *Revista EIA*, 21-31. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S179412372005000200003
- Molina, M. (25 de 7 de 2014). Anestesiari. Obtenido de (<https://anestesiari.org/author/mmolina/>)

- Montero & Martínez. (2014). Composición físico-química de aguas ácidas procedentes de dos minas de carbón: lobatera, Estado Táchira, Venezuela. 55-66. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000400006
- Ortega, ortega, Momcayo, Vargas & Pompêo. (2017). Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. doi: OI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2089>
- Pacheco & Cabrera. (1996). Efecto del uso de fertilizantes en la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. 53-60. Obtenido de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/767>
- Pereira, M. R. (2011). *Edafología 1* (1 ed.). Caldas: Espacio Grafico Comunicaciones S.A. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Pino, Tocora, teenken, Alfaro, Valle, Chávarri,... & Mejía Marcacuzco. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuencadel río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 77-99. doi:DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-06
- Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas las panelas y la balsa. (s.f.). Obtenido de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.11CARACTERIZACION_AMBIENTAL.pdf.
- Ramírez, Giraldo, Zuiga, Ramos y Chará. (2018). Influencia de la ganadería en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/30316>

- Ricard, F. Q. (2011). Medidas de tendencia central y dispersión. Medwave. doi:doi: 10.5867/medwave.2011.03.4934.
- Rodríguez, J. R. (2011). Informe Geológico Ambiental preliminar para el área de Pamplona. Universidad de Pamplona, Pamplona. Obtenido de <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/>
- S. Ahearn, w. Sheibley, A. Dahlgren, Anderson, portallIG/home_1/recursos/noticias-2011/mayo/06052011/informegeologico.pdf Johnson & w. Tate. (2005). Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. 234-247. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169405001368>
- S.A., E. I. (2012). Estudios de calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco. LIMA. Obtenido de <http://siar.minam.gob.pe/puno/tematica/parametros-calidad-agua-dulce>.
- SAAVEDRA, N. S. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. Ingeniería e Investigación, 31-40. doi:10.15446/ing.investig
- Sánchez, Pinilla & Mancera. (2015). Efectos del uso del suelo en las propiedades edáficas y la escorrentía superficial en una cuenca de la Orinoquía. 255-272. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v18n2/v18n2a06.pdf>
- Silva & Correa. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normatividad y posibilidades económicas. 12, 23. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1156>

- Sistemas de información geográfica conexión con los modelos de simulación y aplicación a las materias relacionadas con la erosión. (25 de 05 de 2020). Obtenido de www.fao.org/3/T2351S04.htm
- Suárez, J. (2009). Tomo: 1 Análisis Geotécnico (Unknown (2009) ed., Vol. 1). Universidad Industrial de Santander UIS. Obtenido de <https://www.librosyeditores.com/ingenieria/7793-deslizamientos-9789588504032.html>
- Tobón, López & Paniagua. (2010). Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. págs. 300-307. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-00642010000200013&script=sci_abstract&tlng=es
- Urrea, C. C. (2015). Estudio Morfométricos y Estimación de caudal de creciente de la quebrada La Caya hasta la desembocadura en río San Pablín del municipio de Guican-Boyacá utilizando el método racional. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/8331/1/Pe%C3%B1aUrreaCristianCamilo2015.pdf>
- Gutiérrez, D. A. (2016). Estudio morfométrico y cálculo de caudal de creciente en la hacienda pozo rubio por método racional entre caño venado y caño el pescado. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4126/1/Proyecto%20Cuenca%20Ca%C3%B1o%20Venado%20y%20Ca%C3%B1o%20El%20Pescado.pdf>
- Villaamil, BomiMitre & Nassetta. (2013). Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. 25-43. Obtenido de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/viewFile/41476/38388>

Xiao-long WANG, Yong-long LU, Jing-yi HAN, Gui-zhen HE & Tie-yu WANG. (2007).

Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed.

475-481. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074207600801>

Zeni Ternus, de Souza-Franco, Krombauer Anselmini, Douglas João & Dal Magro. (2011).

Influence of urbanisation on water quality in the basin of the upper Uruguay River in

western Santa Catarina, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. Obtenido de

<http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2011000200009>