

Análisis hidrológico y de crecientes de la quebrada Galindo, municipio de Pamplonita

Yhoana Marcela Suarez Cruz

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Programa de Ingeniería Ambiental
Pamplona
2021

Análisis hidrológico y de crecientes de la quebrada Galindo, municipio de Pamplonita

Yhoana Marcela Suarez Cruz

1094280867

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniera ambiental

Directores

María Esther Rivera

PhD en Hidrología

Jesús Ramón Delgado Rodríguez

MsC en Geotecnia

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Pamplona

2021

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Dedicatoria

A Dios por darme la valentía y la perseverancia de
seguir adelante con mis estudios.

A mis Padres, Alix Cruz y Pedro Suarez, por los
sacrificios del día a día, por ese cariño y el amor
incondicional que me brindan y por darme la vida.

A mi hermana Valentina por su cariño y alegría.

A mis abuelos Ismael y Anita por su apoyo, cariño y
amor.

Finalmente, gracias a todos aquellos que han aportado un
granito de arena a lo largo de mi vida.

Agradecimiento

A Dios por darme fortaleza y la sabiduría.

A mi Madre que siempre estuvo en los momentos de alegría y triste, gracias por esos consejos y por su amor.

A mis directores PhD. María Esther Rivera y MSc. Jesús Ramón Delgado Rodríguez quienes confiaron en mis conocimientos para la realización de esta investigación, por ser excelentes personas y educadores.

A los docentes del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Pamplona, por el conocimiento que me brindaron en cada una de las fases de la carrera.

A las personas que fueron parte de este camino, mil gracias por sus compañerismo y amistad.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	18
Introducción	19
1. Planteamiento del problema.....	21
2. Justificación.....	22
3. Objetivos	24
3.1 Objetivo general	24
3.2 Objetivos específicos.....	24
4. Marco Referencial.....	25
4.1 Marco Contextual.....	25
4.2 Antecedentes	26
4.2.1 Antecedentes Internacionales.....	26
4.2.2 Antecedentes Nacional.....	28
4.2.3 Antecedentes Regionales	31
4.2.4 Antecedentes Local	33
4.3 Marco Teórico.....	35
4.3.1 Hidrología	35

4.3.3 Método Racional	50
4.3.3 Suelo, Cobertura, geología.....	54
4.3.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	59
4.4 Marco legal.....	61
5. Metodología	63
5.1 Realización del diagnóstico del estado actual del cauce principal de la quebrada Galindo.....	63
5.2 Análisis y procesamiento de la información meteorológica de la zona de estudio.	64
5.3 Determinación de los parámetros físico-morfométricos, y uso del suelo de la microcuenca en estudio.	65
5.4 Calculo del caudal máximo de creciente por el método racional	66
5.5 Caracterización de la cobertura vegetal, litología, geología en la zona de estudio.	67
6. Resultados	69
6.1 Diagnóstico del estado actual del cauce principal de la quebrada galindo.....	69
6.2 Análisis y procesamiento de la información meteorológica de la zona de estudio.	77
6. Características físico-morfométricos, y uso del suelo.....	97
6.4 Calculo del caudal máximo de creciente por el método racional.....	110
Curvas IDF	110
6.5 Caracterización de la cobertura vegetal y geología en la zona de estudio.	115
Conclusiones	121

Recomendaciones.....	122
Bibliografía	123

Lista De Tablas

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de tamaños de cuencas. _____	37
Tabla 2 Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius _____	38
Tabla 3 Características de la cuenca de acuerdo con el valor de k_f _____	39
Tabla 4 Clases de valores de Alargamiento _____	40
Tabla 5 Clasificación de la red de drenaje de las cuencas _____	41
Tabla 6 Tipo de relieve según la pendiente _____	44
Tabla 7 . Información de los datos meteorológicos de NASA Giovanni _____	64
Tabla 8. Serie de Datos temperaturaS _____	78
Tabla 9 Medidas de resumen de Temperatura _____	79
Tabla 10 Velocidad del Viento _____	81
Tabla 11 Medidas de resumen de la Velocidad del viento _____	82
Tabla 12 Radiación solar Onda larga mensual por años. _____	84
Tabla 13 Medidas de resumen de Radiación solar Onda larga _____	84
Tabla 14. Radiación solar Onda Corta mensual por año _____	87
Tabla 15 Medidas de resumen de Ronda Corta _____	88
Tabla 16. Humedad Relativa Mensual _____	90
Tabla 17. Medidas de resumen de la Humedad _____	91
Tabla 18. Precipitación Total Mensual por año _____	92
Tabla 19. Medidas de resumen de Precipitación _____	93
Tabla 20. Evaporación total mensual por año _____	95

	10
Tabla 21.Medidas de resumen de la Evaporación. _____	96
Tabla 22.Parámetros físicos _____	98
Tabla 23.Parámetros de forma de la cuenca _____	99
Tabla 24. Longitud y orden de la red Hídrica _____	100
Tabla 25.Características del Relieve _____	101
Tabla 26.Características del Sistema de Drenaje _____	102
Tabla 27. Cálculo del tiempo de concentración _____	112
Tabla 28.Coeficiente escorrentía ponderado de acuerdo Ras 2000/Res 0330 del 2017. ____	113
Tabla 29.Coeficiente escorrentía ponderado, tomado de Ing Espejo “Hidrología en cuencas pequeñas la formula racional”. _____	114
Tabla 30.Caudales Maximos _____	115

Gráfico 1. Esquema metodológico para el estudio de hidrológico y de crecientes en la zona de estudio. _____	63
Gráfico 2. Análisis Clúster para la variable temperatura para los años comprendidos entre 2002-2019 _____	79
Gráfico 3. Comportamiento de la temperatura. _____	80
Gráfico 4. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019 _____	82
Gráfico 5. Comportamiento de la velocidad del viento _____	83
Gráfico 6. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019 _____	85
Gráfico 7. Comportamiento R. Onda larga _____	86
Gráfico 8. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019 _____	88
Gráfico 9. Comportamiento R. Onda Corta _____	89
Gráfico 10. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019 _____	91
Gráfico 11. Comportamiento de la Humedad _____	92
Gráfico 12. Análisis Clúster para la variable años comprendidos entre 2002-2019 _____	94
Gráfico 13. Comportamiento Precipitaciones _____	94
Gráfico 14. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019 _____	97
Gráfico 15. Comportamiento Evaporación. _____	97
Gráfico 16. Curva Hipsométrica de la Quebrada Galindo _____	101
Gráfico 17. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes Microcuenca Galindo _____	102
Gráfico 18. Perfil del cauce principal de la Microcuenca Galindo _____	103
Gráfico 19. Porcentaje del uso del suelo de Q. Galindo _____	109
Gráfico 20. Precipitación Diaria. _____	109

Grafico 21. Curvas IDF para la Microcuenca Galindo _____	111
Grafico 22. Porcentaje de la cobertura vegetal Q. Galindo _____	118

Lista De Fotografía

Fotografía 1. Escuela Llano Grande, Municipio de Pamplonita _____	71
---	----

	13
Fotografía 2 .Extracción de material _____	72
Fotografía 3.Entrada del sitio de extracción. _____	72
Fotografía 4.Asentamientos Humanos _____	72
Fotografía 5.Tanque de almacenamiento _____	73
Fotografía 6.Contador del alumbrado _____	73
Fotografía 7.Zona de pastos limpios _____	73
Fotografía 8.Deforestación _____	74
Fotografía 9. Erosión en la Parte alta, parte media, parte baja, de la quebrada Galindo . ____	76
Fotografía 10:Pastoreo Extensivo _____	107
Fotografía 11.Sistema forestal protegido	
Fotografía 12:Sistema forestal productivo _____	107
Fotografía 13.Cultivos Transitorios y Permanentes _____	108
Fotografía 14.Escuela Rural Llano Grande y Mina de Arena _____	108
Fotografía 15.Pastos arbolados _____	116
Fotografía 16.Bosque abierto bajo _____	117
Fotografía 17.Pastos Limpios _____	117
Fotografía 18.Escuela Rural y Mina _____	117
Fotografía 19.Mosaico de pastos y cultivos _____	118
Fotografía 20.Rocas Arenisca _____	119

Lista De Mapas

Mapa 1.Localización de la zona de estudio _____	25
Mapa 2.Mapa de Clima de la microcuenca _____	75
Mapa 3.Mapa de relieve de la microcuenca _____	76
Mapa 4. Orden red hídrica Microcuenca Galindo _____	104
Mapa 5.Pendientes de la Microcuenca Galindo _____	105
Mapa 6.Uso del Suelo de la Microcuenca Galindo. _____	106
Mapa 7.Cobertura Vegetal de la Microcuenca Galindo _____	116
Mapa 8.Litología de la Microcuenca Galindo _____	119
Mapa 9.Tipo de suelo de la Microcuenca Galindo _____	120

Lista De Imágenes

	Pág.
Imagen 1.. Esquema general de una cuenca hidrográfica _____	36
Imagen 2.Esquema general de una cuenca hidrográfica. _____	39
Imagen 3.Sistema jerárquico de Horton _____	42
Imagen 4.Tipos de curvas hipsométricas _____	45
Imagen 5.Curva Intensidad Duración Frecuencia _____	50
Imagen 6.Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad. _____	53
Imagen 7.Coeficiente de escorrentía _____	53
Imagen 8.Unidades de Clasificación de las coberturas de la tierra según la metodología CORINE Land Cover. _____	57
Imagen 9Imagen 9.Datos ingresados en Infostat _____	65
Imagen 10.. Representación de los parámetros morfométricos de la quebrada Galindo _____	66
Imagen 11.Proceso de descarga imagen satelital _____	68
Imagen 12. Zona de educación básica y Zona de extracción minera. _____	71

Lista De Ecuaciones

Ecu 1. Ancho de la cuenca _____	38
Ecu 2 Coeficiente de compacidad. _____	38
Ecu 3 Factor de Forma. _____	40
Ecu 4 Índice de alargamiento _____	40
Ecu 5. Coeficiente de masividad _____	41
Ecu 6. Densidad de drenaje _____	41
Ecu 7. Índice de Torrencialidad _____	42
Ecu 8 Relación de Bifurcación . _____	42
Ecu 9. Pendiente media de la cuenca _____	44
Ecu 10. Ecuación de Kirp _____	46
Ecu 11. Ecuación de Temez _____	46
Ecu 12. Ecuación de Giandotti _____	47
Ecu 13 Ecuación de SCS – Ranser _____	47
Ecu 14. V.T Chow _____	47
Ecu 15. Ecuación Clark _____	47
Ecu 16. Ecuación de California (del U.S.B.R) _____	48
Ecu 17. Método Racional _____	51
Ecu 18. Método de Mac Math _____	51
Ecu 19. Método de Burkli-Ziegler _____	51
Ecu 20. Coeficiente de esorrentía _____	52
Ecu 21. Intensidad de la lluvia _____	54

Resumen

El presente trabajo analizo el comportamiento hidrológico y de crecientes de la Quebrada Galindo, Municipio de Pamplonita, Norte de Santander. Inicialmente se realizó el reconocimiento de la zona permitiendo de cierta manera justificar este proyecto, posteriormente se implementó una metodología de cinco fases; El diagnostico al cauce principal del área de estudio, identificando y generando información sobre los aspectos sociales, hidrológicos, de suelo y cobertura vegetal mediante las visitas de campo. Posteriormente, se hace la caracterización físico morfométrica de la microcuenca con las herramientas SIG y ecuaciones que permite determinar los demás parámetros. Seguidamente se realizó el análisis de datos metereologicos con el paquete estadístico infostat y se determina el uso del suelo. Así mismo, se calcula el caudal máximo por el método racional determinando el coeficiente de escorrentía, intensidad máxima por medio de la IDF realizadas para la zona de estudio. Finalmente se caracteriza la cobertura vegetal tomando la metodología de Corine land cover ,la litología y la geología utilizando herramientas SIG .Concluyendo que la a amenaza por crecientes súbitas en el área está determinada por las características hidrológicas ,físico-morfométricas geomorfológicas de la quebrada Galindo , en donde se presentan procesos de erosión y transporte de sedimentos condicionados por lo aspectos antrópicos como es la actividad ganadera, agrícola y minería sin ninguna restricción, lo que permiten que se presente estos eventos amenazando a la comunidad del municipio.

Palabra Clave: Creciente, análisis hidrológico, diagnostico, caudal máximo y morfométrico.

Introducción

La variabilidad climática y los impactos causados al medio han conllevado a una serie de cambios que generan riesgos, propiciados por eventos naturales que pueden ocasionar desastres.

Colombia no es la excepción, por varios años la población ha tenido que sobrellevar crecientes súbitas, avenidas torrenciales, inundaciones, remociones de masa causando pérdidas humanas y materiales. Estos eventos son generalmente atribuidos al fenómeno de variabilidad climática como la Niña, caracterizándose por un aumento de precipitaciones superiores a la máxima histórica, y se está ante la posibilidad de grandes crecientes y más cuando existe susceptibilidad topográfica y geológica a los deslizamientos (Carreño, 2018). Por otro lado, también se les atribuye a las actividades antrópicas que se realizan a diario en las rondas hídricas como es la deforestación, las actividades primarias como la agricultura, la ganadería, la siembra de especies exóticas como el eucalipto y el pino que son plantaciones maderables y se suelen utilizar como un recurso económico en poblaciones de medianos recursos.

De acuerdo con Aristizábal, Arango y García (2019), en la región Andina la lluvia tiene un comportamiento bimodal con temporadas lluviosas en abril-mayo y octubre-noviembre, como consecuencia del doble paso de la zona de convergencia intertropical, en estos meses las cuencas hidrográficas presentes en esta zona tienen ambientes tropicales y zonas de montaña que al presentarse precipitaciones cortas e intensas

generan una rápida concentración del flujo en la red de drenaje, dando lugar a una amenaza latente en la parte baja en donde habita la mayor población.

Por lo anterior, en la presente investigación se analizó el comportamiento hidrológico y de crecientes en la microcuenca Galindo, la cual está ubicada en el municipio de Pamplonita, al sur del Departamento Norte de Santander. Para ello, se llevó a cabo el diagnóstico ambiental del cauce principal, se obtuvieron los parámetros físico-morfométricos de la microcuenca en estudio, el cálculo de caudal de crecientes y la caracterización de la cobertura vegetal, litología y geología. De esta manera, se pretende que sea una herramienta para complementar el esquema de ordenamiento territorial del municipio y para futuras investigaciones.

1. Planteamiento del problema

El país tiene el privilegio de contar con un gran recurso hídrico como son las cinco vertientes hidrográficas que están a lo largo y ancho del mismo. Estas se dividen en pequeñas microcuencas, abasteciendo a millones de personas en las zonas rurales y urbanas.

Actualmente los estudios Hidrológicos en cuencas de pequeñas dimensiones son realizados frecuentemente con el fin conocer el estado y el comportamiento, debido a que muchas de estas se encuentran ubicadas en áreas urbanas presentados riesgos que habitualmente son desastrosos para el hombre.

Según Laguardia (2002), las cuencas hidrográficas están en constante modificación, por las actividades ya sean de origen antrópico y/o natural. Su grado de alteración depende de la intensidad de la erosión de los suelos debido a las lluvias, de la cobertura vegetal, de su geología y especialmente de la acción de la sociedad humana que en su afán de mejorar su entorno causan impactos negativos al ambiente.

En el caso particular del Municipio de Pamplonita, en la quebrada Galindo no se cuenta con estudios hidrometeorológicos. Por lo tanto, se plantean las siguientes preguntas investigativas: ¿Qué riesgo hidrológico presenta la Microcuenca Galindo para la población que habita en la zona de estudio? ¿Qué variables hidrológicas inciden en los crecientes de la Quebrada Galindo?, ¿Hay información hidrometeorológica suficiente en el área de estudio para realizar el análisis hidrológico?

2. Justificación

Colombia contempla una serie de normas que contribuyen al medio, una de estas la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) la cual define la cuenca hidrográfica como una unidad espacial de análisis y de gestión, en donde interactúan elementos ambientales y/o ecosistemas estratégicos, y así como también los elementos antrópicos que influyen positiva y negativamente en esta.

La importancia de analizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca y de las crecidas especialmente en épocas de invierno, permitirá tener acciones ambientales, sociales y económicas, que benefician al recurso hídrico y a la comunidad. Las entidades territoriales cuentan con limitada información, lo cual hace necesario este tipo de proyectos que pueden ayudar a tomar decisiones que se presenten a corto o a largo plazo en la zona. Por lo tanto, al realizar el estudio hidrológico a partir del diagnóstico del cauce precipitación, análisis meteorológico, análisis físico-morfométricos, análisis de cobertura vegetal, usos del suelo, litológico, y geológico, estimar el comportamiento del caudal de la quebrada en estudio cuando se presentan precipitaciones fuertes y extremas.

Por otra parte, al estudiar adecuadamente el comportamiento de la microcuenca, es posible cuantificar la intensidad y duración de las lluvias que originan crecientes súbitas, es decir con la instrumentación de la quebrada Galindo es útil, porque permite obtener información de buena calidad y confiable, con la cual se conoce el comportamiento hidrológico en cuanto a crecientes súbitas y normales.

Con los resultados obtenidos se podrán plantear en otras investigaciones medidas de mitigación y prevención como el sistema de alerta temprana por crecientes para proteger los habitantes de la zona en los alrededores de la quebrada en estudio.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento hidrológico y de crecientes de la Quebrada la Galindo, municipio de Pamplonita

3.2 Objetivos específicos

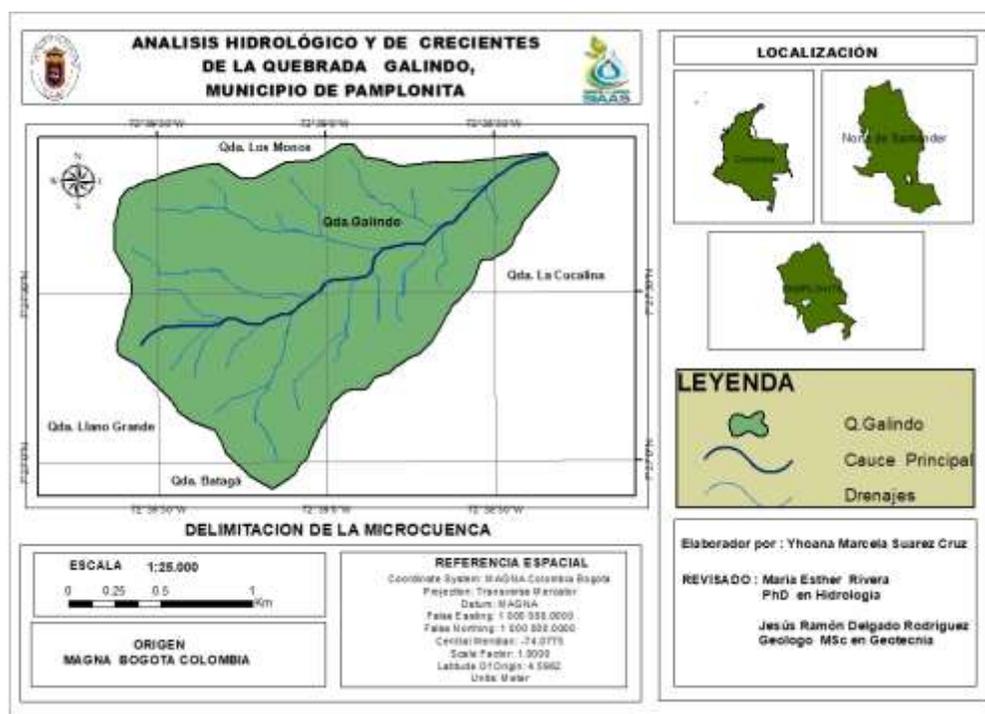
- ❖ Realizar el diagnóstico del estado actual del cauce principal de la quebrada Galindo.
- ❖ Analizar y procesar la información meteorológica de la zona de estudio.
- ❖ Determinar los parámetros físico-morfométricas, y uso del suelo de la microcuenca en estudio.
- ❖ Calcular el caudal máximo de creciente por el método racional.
- ❖ Caracterizar la cobertura vegetal, litología de las vertientes.

4. Marco Referencial

4.1 Marco Contextual

La microcuenca Galindo está ubicada en la zona rural del municipio de Pamplonita al Noroccidente del departamento Norte de Santander con coordenadas geográficas 72° 38' al Oeste y 7° 27' al Norte (Mapa 1). Abarca una extensión de 2.6 Km² y un perímetro 7.13 Km, nace aproximadamente a una altura 2100 m.s.n.m y se une con quebrada los Monos a una altura 1500 m.s.n.m para luego desembocar en el río Pamplonita, se ubica específicamente en la vereda Llano Grande limitan al sur con la quebrada Bataga, al Norte con la quebrada Los Monos y al Occidente con la quebrada Llano Grande o las Minas, y al Oriente con la quebrada la Cucalina.

Mapa 1. Localización de la zona de estudio



Fuente: Elaborado por Suarez C (2021) a partir de la información obtenida del portal Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

4.2 Antecedentes

4.2.1 Antecedentes Internacionales

Las crecientes súbitas son eventos que se producen cuando aumenta el caudal del cauce a causa de precipitaciones en cortos tiempos, pero con mayor intensidad en una cuenca hidrográfica. Durante muchos años los investigadores han presentado una serie de estudios que corroboran las causas, las consecuencias y los impactos que genera este tipo de fenómenos.

A nivel internacional existen proyectos, trabajo y tesis que proporcionan información sobre este tipo de eventos que frecuentemente ocurren en todo el mundo en épocas de invierno. En Honduras, Valle (2002) realizó la evaluación de los aspectos hidrológicos de esorrentía-precipitación en la microcuenca Agua Amarilla, aplicando métodos indirectos (balance hídrico, la técnica de Holdridge y la del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU) con información climática y edáfica, de esta manera afirma que comportamiento hidrológico se presenta por las precipitaciones verticales y las características del terreno (fuertes pendientes).

En Chile, Parra (2009) analizó los métodos de predicción presentados por el manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos que no cuentan con información pluviométrica en la cuenca las Cruces las X y XIV, además utiliza modelación en HEC-HMS para determinar caudales máximos. Así mismo, Sandoval y Aguilera (2014) proponen ecuaciones lógicas para determinar los caudales mínimo, medio y máximo, con el fin de brindar información hidrométrica en diversas cuencas del país ecuatoriano.

Mientras que Puelles (2015) estimó las descargas máximas con datos de precipitación máxima de 24 horas en periodos de 100,200 y 500 años utilizando HIDROESTA, HEC HMS y HEC RAS de manera que se obtengan resultados más reales y se pueda dar una solución a los daños causados por los crecientes.

En Perú, Canllahui (2013) realizó el análisis de los métodos de estimación de avenidas en el río Verde con datos meteorológicos de las estaciones de la zona de estudio, utilizando métodos empíricos como Racional, Mac Math e Hidrograma Unitario y aplico Distribución normal, Distribución log-normal, Distribución gamma y entre otros para obtener la bondad y los valores de factor frecuencia. Pino (2013), realizó la caracterización hidrológicamente y geomorfológica del comportamiento de la cuenca hidrográfica del río Caplina, por la incidencia de crecidas fluviales que han generado desbordamiento y movimiento de masa que han afectado a la población varias ocasiones, por lo anterior realizan la modelación para calcular las avenidas máximas, mínimas y establecer los vínculos de causalidad y cuantificación.

Calderón (2016) en Ayacucho, diseñó un modelo metaheurístico con el fin de obtener los caudales de máxima avenida para proyectos hidráulicos, mediante el modelo Artificial Neural Network an Maxhmun Flow (ANNMF) en las cuencas urbanas apoyándose del reglamento nacional de edificaciones, utilizan variables como el coeficiente de escorrentía, el periodo de retorno, duración de las precipitaciones y el tiempo de concentración como alternativa cuando no hay estaciones pluviográficas.

En el noroeste de Argentina, Garnero (2017) evaluó las fluctuaciones estacionales del agua y el origen de los grandes proyectos hídricos en las cuencas relacionan a la población y las cuencas hidrográficas, ya que durante el periodo de estiaje las crecientes súbitas superaban lo habitual afectando las bocatomas, las estructuras, la agricultura y no menos a la población de la parte baja, lo cual condujo a obras de infraestructura y plantear normas generales que contribuyeran al manejo de la cuenca. Así mismo, en el sudeste bonaerense, Camino, Bo, Cionchi, Armentia, Del río y De Marco (2018), analizan la morfometría de doce cuencas de drenaje de la provincia de Buenos Aires ubicadas en la vertiente sur del sistema de Tandilia en la

zona rural y urbana para comprender y predecir el comportamiento hidrodinámico de manera que permita realizar una planificación ambiental y la adecuada gestión del recurso hídrico para evaluar y comprender la respuesta del sistema hídrico ante eventuales picos de crecidas y la respuesta hidrológica.

4.2.2 Antecedentes Nacional

A nivel nacional se han desarrollado investigaciones en el tema, a continuación, se presentan algunas.

En el municipio de Restrepo (Meta), Galvis y Castiblanco (2005) evalúan la Amenaza por crecientes súbitas de la Quebrada Salinas y los ríos Upín y Caney identificando en cada uno las clases de amenazas por inundaciones, determinando que la mayor inestabilidad y ocurrencia de eventos extremos se presentan por las precipitaciones intensas y cortas conllevándolos a realizar una caracterización, clasificación y zonificación de la amenaza por inundación.

En los municipios de Itagüí, Medellín y la Estrella (Antioquia), Montoya, Silva y González (2009) realizan la evaluación de amenaza por avenidas en la quebrada Doña María, utilizan métodos cualitativos como son los sistemas de información geográfica y la técnica de los residuos ponderados, para determinar el peso relativo de las diferentes elementos presentes en las microcuencas específicamente la topografía, la pendiente, la geología y geomorfología, la red de drenaje acumulada, la distancia a los cauces y el índice de Melton. Identifican que cuatro microcuencas tienen la mayor amenaza, de igual forma verifican con las modelaciones hidráulicas y las vistas a campo.

La región Andina y Caribe en el año 2010 fue afectada por el fenómeno de la niña, ocasionando crecientes súbitos, inundaciones, remociones en masa y la probabilidad de huracanes. Según el SIAC este no tiene un patrón claro del evento climatológico, lo que genera pérdidas económicas en los sectores primarios como la agricultura, la ganadería y el pecuario por el desbordamiento de los ríos, derrumbes en vías terciarias y desabastecimiento de los alimentos afectando a comunidades vulnerables que muchas veces terminan trasladándose para otras zonas. De igual forma, Vélez y Botero (2010), realizaron la estimación de los tiempos de concentración y de rezago mediante los hidrogramas y hietogramas de acuerdo a los datos de las estaciones pluviográficas presentes en la cuenca San Luis en el municipio de Manizales, comparan las ecuaciones empíricas con el fin de tener datos concretos para el diseño hidrológico.

En el municipio de Carmen de Apicalá (Tolima), Estrada y Rojas (2013) estiman el caudal de la quebrada la Arenosa por el método racional y el método del número de curva para la construcción de un puente, con el fin de obtener los periodos de retorno para estar exceptos de crecidas.

En el departamento de Boyacá, Ospina y Mancipe (2016) estudiaron la tipología de la quebrada Canauchita la cual desembocadura en el rio Chirche del municipio de Otanche, utilizan el método racional para calcular el caudal de crecida y la morfometría del terreno, con el fin de que obras de infraestructura no sea afectada por fenómenos que genera la precipitación en cortos o largos periodos. De igual forma, Peña (2015) emplea el método racional para estimar el caudal de creciente en la quebrada La Caya en el municipio de Guican para evaluar los diferentes factores morfológicos y así conocer el estado y la capacidad hídrica. Así mismo, Zabala (2016) realizo el análisis de las características morfométricas y la determinación del caudal máximo de creciente de los afluentes del rio Somondoco municipio de Almeida, con el fin de brindarle a la

región información de vital importancia como es conocer el estado y el comportamiento de las cuencas y evitar posibles crecidas.

En el río Manzanares ha presentado eventos de desbordamiento en la parte baja del cauce por las crecientes súbitas que generan inundaciones que afectando a los habitantes de los diferentes barrios aledaños. De modo que, Quintero, Robles y Vilorio (2017) desarrollan un sistema de información de alertas tempranas encargo de recibir datos provenientes de tres tipos de sensores instalados en la cuenca para monitorear la humedad del suelo, precipitación y nivel de agua, con el fin de brindarle este tipo de herramientas tecnológicas para alertar a la población de un posible peligro inminente, y también ser un apoyo para los organismos de atención para el proceso de gestión del riesgo.

En el departamento de Antioquia en el año 2018, el proyecto Hidroitango genero alerta máxima en el río Cauca causando inundaciones, crecientes súbitas y avalanchas por el taponamiento de los túneles llevando al desbordamiento de la represa, por tal motivo los organismos de socorro evacuaron a varias familias de diferentes departamentos de manera que no fueran afectadas material y físicamente (OCHA, 2018).

En el municipio de Guayabetal (Cundinamarca) en el año 2018 las fuertes precipitaciones ocasionaron crecientes súbitos en varias quebradas de las veredas Chirajara, San Antonio y Mesa Grande, generando remoción en masa y avalanchas dejándolas incomunicadas y con daños materiales (RCN radio). De igual manera, en el año 2018 en el municipio Acevedo (Huila) la creciente súbita del río Suaza y la quebrada El Toro provoco desbordamiento, causando el arrastre de una familia que se encontraban con su vehículo en la orilla del afluente (El Tiempo,2018).

Pinzón (2019) en el río Caney realizó la modelación y simulación del arrastre y transporte de sedimentos con el software HEC-RAS v 5.0.5 empleando el modelo Yang, con el fin de determinar el comportamiento con monitoreos constantes para la toma de datos y procesar de información hidrometeorológica de la zona detalladamente, y así predecir para la toma de decisiones y medidas en la región. De igual forma, en el departamento de Antioquia se presentaron varios episodios de fuertes lluvias en un solo mes, desbordando los ríos que se encuentran aledaños a los municipios, generando pérdidas materiales (cultivos, viviendas) y personas heridas, causando el desplazamiento de los pobladores para otras regiones del país (FloodList, 2019).

4.2.3 Antecedentes Regionales

A nivel regional, En el municipio de Chitaga las crecientes súbitas de la microcuenca la Viuda ha tenido varios antecedentes en los cuales han tenido impactos tanto a la comunidad como al medio, por lo anterior Villamizar (2017) realizó el análisis de amenazas para este tipo de eventos, generando el mapa de amenazas y susceptibilidad como herramienta para la comunidad y la complementación del Plan de Ordenamiento territorial del municipio (POT).

Así mismo, en la microcuenca el Arpero, Villamizar B (2017) analizó la amenaza por crecientes súbitas, con el fin de estimar el comportamiento del flujo ante eventos hidrológicos ya que es una fuente de abastecimiento y no cuenta con monitoreo, en años anteriores las condiciones climatológicas, meteorológicas, geológicas, litológicas y antrópicas han generado pérdidas económicas y de infraestructura ocasionando socavación y colmatación de sedimentos, por ende, realizan una zonificación de amenaza para mitigar el riesgo y determinar la zona de vulnerabilidad.

En la quebrada Zipacha municipio de Pamplona, Berbesi, Rivera, Maldonado (2018) elaboran un modelo en el software HEC RAS 4.1.0 para determinar los caudales máximos a diferentes periodos de tiempo y así lograr establecer las zonas inundables de mayor gravedad de la zona de estudio.

Lamus (2019), realiza la modelación y simulación hidráulica de las zonas de desborde y socavación mediante el software Hec-Ras y ArcGIS v. 10.2 en la quebrada Tanauca con el fin de brindar información que permita reconocer las zonas en riesgo y vulnerabilidad. Afirman que esta se encuentra en una etapa de equilibrio con pendientes altas y un cauce con secciones encañado, lo que evidencia la socavación, erosión y colmatación que se da por las altas velocidades en la longitud del cauce.

En el municipio de Ocaña se llevó a cabo un estudio por Forero (2017), con el fin de brindar apoyo técnico, gestionar el tiempo y los costos, a la cuenca del Rio Pamplonita de manera que se brinde un control a los materiales suministrados en la construcción. Establecen una red de monitoreo y meteorología para de esta manera tomar decisiones y ayudar a la autoridad ambiental para mitigar los impactos, y además elaboran un manual para instalar y construir las estaciones hidro climatológicas e hidrometereológicas en la cuenca del Rio Pamplonita.

Bochalema es un municipio que como muchos no cuentan con un sistema de alertas tempranas que ayuden a detectar aquellos fenómenos naturales que ponen en riesgo la población, por ende, Laverde y Rivera (2015) diseñaron un proyecto piloto para las quebradas Aguablanca y La Chiracoca, con el fin de que se conviertan en una herramienta que logre documentar los eventos que se puedan presentar, de esta manera brindaron estrategias y medidas en caso de cualquier tipo de emergencia que pueda ocurrir.

4.2.4 Antecedentes Local

A nivel local, el municipio de Pamplonita cuenta con 26 quebradas las cuales están distribuidas en la zona urbano como en la rural, cada una tiene una caracterización física-morfométrica establecidas en el Esquema de Ordenamiento Territorial. Por lo que, las instituciones educativas superiores aledañas realizan estudios que ayudan a reconocer estos espacios de vida, de manera que logren mitigar aquellos impactos que causan los pobladores al medio.

Gutiérrez y Muñoz (2004) elaboraron el programa de uso eficiente y ahorro del agua, de manera que cumplieran con la ley 373 de 1997 con el fin de prestarle un servicio de calidad a la población y brindarle un óptimo sistema de acueducto.

Leal, Rivera y Delgado (2015) realizan en la quebrada el Bobo, ubicada en la vereda El Páramo al Nororiente del municipio la caracterización hidrológica y modelación hidrodinámico usando Mike 11 para determinar el estado actual y el uso racional del recurso. Por lo que establece, que la microcuenca es potencialmente erosiva y peligrosa a avenidas torrenciales especialmente en épocas de estiaje, los cauces transportan variedad de sedimentos afectando la conducción del agua, pero no a la población.

En la vereda San Antonio García (2017), determina las causas que originan la degradación del suelo mediante una investigación cualitativa apoyada por la comunidad para establecer cada uno de los elementos que influyen de manera directa al suelo. Identifica las actividades agrícolas, ganadería extensiva, tala de árboles y explotación minería han deteriorado la calidad del suelo dando paso a la generación de procesos erosivos acelerados, susceptibles a la degradación severa y la disminución de nutrientes.

En la Quebrada La Cucalina ubicada en la vereda San Antonio, Corrales, Rivera y Delgado (2020) realizan el análisis de los factores que inciden en la calidad del Agua identificando cada una las actividades económicas presentes en la zona, como la minería, la agricultura, la ganadería, el tipo de suelo, la pendiente cada uno estos influyen en la parte baja de la microcuenca lo que la hace susceptible a contaminarse.

Actualmente la Quebrada Galindo la nombran en conjunto con la Quebrada los Monos en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), pero hasta el momento no se ha encontrado estudios realizados.

4.3 Marco Teórico

4.3.1 Hidrología

El **Análisis hidrológico**, es el estudio o un instrumento que se realiza en una zona con el fin de brindarle información para llevar a cabo un nuevo proyecto que beneficie a la comunidad. Es importante este documento ya que contribuye a planificar, aprovechar, determinar el uso del recurso hídrico (INGERSIA, s.f.).

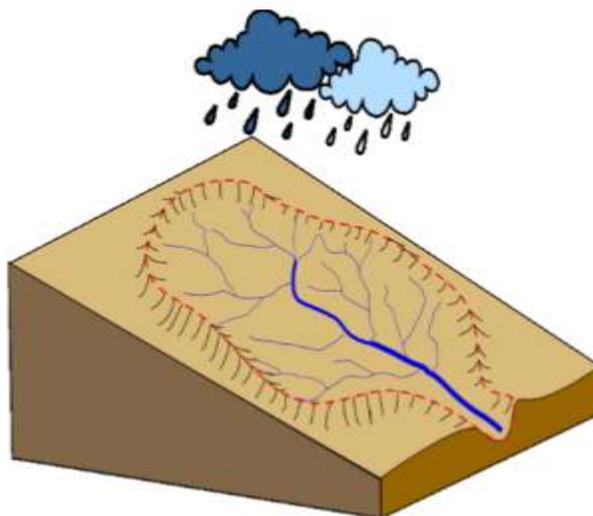
La **Creciente Súbita**, según el IDEAM es un tipo de inundación que se presenta de manera periódica en la región Andina en cuencas de alta pendiente, por las fuertes precipitaciones en la parte alta de la cuenca incrementando el nivel del arroyo afectando áreas con su poder destructivo llevando a su paso vidas. De igual forma, la Guía técnica para la formulación del POMCA la define como una avenida torrencial que se presenta en cuencas con condiciones geomorfológicas especiales, que al presentar precipitaciones fuertes el flujo aumenta y el material de arrastre va consigo por ende actúa con mayor grado de destrucción.

Cuenca hidrográfica, según Cotler, Galindo, González, Pineda y Ríos (2013), la definen como el territorio delimitado por montañas de grandes dimensiones que generan escurrimiento que son drenados para generar arroyos que fluyen hasta desembocadura en un mismo sitio, este puede ser el mar (cuenca exorreica) o en un lago (cuenca endorreica). En el Decreto 1729 de 2002, define que es el área de agua superficial o subterránea con varios cauces intermitentes o continuos que se unen en solo lugar desembocando en ríos, panto o el mar. De igual manera, es la unidad fisiográfica conformada por un conjunto de sistemas de cursos de agua definidos por el relieve, la forma, el drenaje y la diversidad de componentes como factores; biofísicos, antropológicos, demográficos y socioeconómicos (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado y Besteiro ,2013)

Las cuencas se pueden clasificar según Galvez y Pimiento (2015), por la constancia de escorrentía: a) Perennes: La lluvia se presente a lo largo del periodo hidrológico, por ende, la corriente se mantiene constante. b) Intermitentes: corrientes con agua en tiempo de lluvia, pero secas durante tiempo de verano. c) Efímeras: son corrientes que solo existen durante o inmediatamente después de la precipitación, de modo que son zonas secas o semiáridas (Bateman, 2007)

La Imágen 1 representa el esquema de una cuenca con el respectivo cauce principal y sus órdenes tributarios.

Imagen 1.. Esquema general de una cuenca hidrográfica



Fuente: Galvez y Pimiento (2015).

4.3.1.1 Análisis Morfométrico

El estudio que relaciona diferentes variables o cualidades de una cuenca hidrográfica permitiendo conocer aquellas características cualitativas que la hacen diferentes unas de otras, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica, es conocido como análisis morfométrico (Cardona, 2015)

➤ Características Morfométricas

Área (A), es la superficie delimitada por la divisoria de aguas de una zona a estudiar. Es definida como la proyección horizontal de toda la zona de drenaje de un régimen de escorrentía directa o indirectamente formando así el cauce principal, (Rojo, 2012). Tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de tamaños de cuencas.

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

Fuente: Campos Aranda (1992) Citado por Camino, Bo, Cionchi, Armentia, Del rio, y De Marco (2018).

Perímetro (P), es la línea divisoria o la longitud del polígono que define los límites de la cuenca dependiendo de la forma y la superficie, expresado en Km (Simancas, s.f).

Longitud de la cuenca (L), También llamada como Longitud Axial, es definida como la línea o la distancia horizontal proyectada desde el punto de desagüe o el límite inferior de la cuenca hasta el otro punto aguas arriba en donde el orden o la ramificación esté más cerca al contorno de la cuenca, expresado en Km (Rojo, 2012)

Ancho de la cuenca (B), es un parámetro geométrico que relaciona el área (Km²) y la longitud de la cuenca (Km). Fundamental para otros cálculos morfométricos que ratifican el comportamiento del curso hídrico (Rojo, 2012). Se calcula con la ecuación 1.

$$B = \frac{A}{La} \quad \text{Ecu 1.}$$

Coefficiente de compacidad (Kc), es un parámetro adimensional, propuesto por Gravelius (1914), relaciona el perímetro (P) y el área (A) de la cuenca de manera que se obtenga la forma. (Gravelius, 1914; Horton, 1932; Jardí, 1985) citado por (González 2004) establecen que 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. Así mismo, Rojo, sf. define que valores cercanos a la unidad presentan mayor concentración de agua por ende mayor volumen de escorrentía.

En la tabla 2, se observa cuatro clases de formas con sus respectivos rangos, de manera que al aplicar la Ecuación 2 se ubique el valor numérico en alguno de estos rangos para saber el tipo de forma.

Tabla 2 Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius

Kc	Clasificación
1 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval-oblonga
1.5 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular

Fuente: Gaspari et al. (2012). Citado por Camino, Bo, Cionchi, Armentia, Del rio, y De Marco (2018).

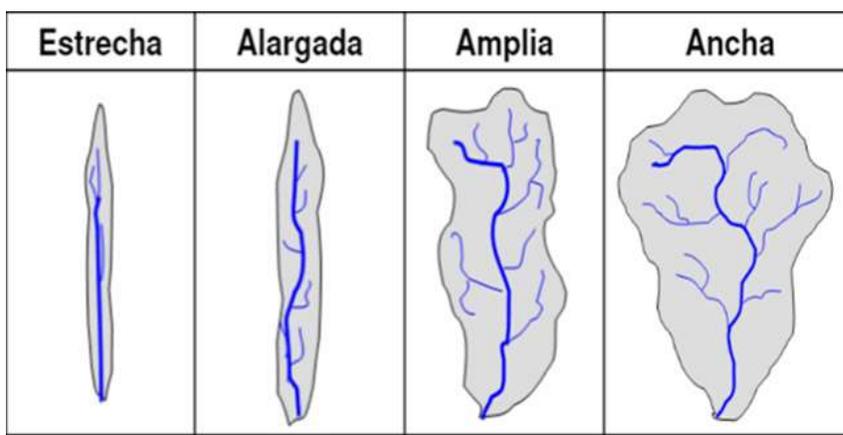
$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Ecu 2.}$$

Donde, P es el perímetro de la cuenca y A es el área de la cuenca

Factor de Forma (Kf) Según Horton (1945), es el índice que relaciona el área total (km²) y la longitud axial (km) de la cuenca al cuadrado representado en la Ecuación 3. Es un factor

indispensable, en donde el movimiento de la gota de agua se ajusta a la forma controlando la velocidad con la que el agua llega al cauce (Cellini,2005) citado por (Tapia, 2012). Es determinante de crecientes rápidas e intensas grandes o pequeñas (Corporación del Valle del Cauca,2020). En la Imagen 2, se presentan cuatro cuencas con diferentes morfologías cada una de estas tiene una tendencia de respuesta hidrológicas que las caracteriza.

Imagen 2. Esquema general de una cuenca hidrográfica.



Autor: Iglesias,2017

En la Tabla 3, se observa los valores de la forma de la cuenca con diferentes rangos según Horton (1945) para determinar la forma de la cuenca por medio de la Ecuación 3.

Tabla 3 Características de la cuenca de acuerdo con el valor de k_f

Valores aproximados	Forma de la cuenca
>0.22	Muy Alargada
0.22-0.300	Alargada
0.300-0.37	Ligeramente alargada

0.37-0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45-0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60-0.80	Ensanchada
0.80-1.20	Muy Ensanchada
>1.200	Rodeando al Desagüe

Fuente: Delgadillo y Moreno s.f

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad \text{Ecu 3.}$$

Donde A es el área de la cuenca y L es la longitud del cauce

Índice de alargamiento (Ia), fue propuesto por Horton (1945), relaciona la longitud máxima de la cuenca (L.max), con su ancho máximo (W. Max), medido perpendicularmente a la dimensión anterior (Ecuación 4).

Tabla 4 Clases de valores de Alargamiento

Rangos	Clases
0.0-1.4	Poco alargada
1.5-2.8	Moderadamente alargada
2.9-4.2	Muy alargada

Fuente: Pérez (2018)

La Tabla 4, representa los diferentes rangos que tiene el índice de alargamiento con su respectiva clasificación.

$$Ia = \frac{Lmax}{Wmax} \quad \text{Ecu 4}$$

Coefficiente de masividad (Cm), es la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie (Lopez,2016). Según Horton (1945) define que es el cociente entre el número de

cauces de cualquier orden (Nu) y el número de cauce de orden (u) del siguiente orden superior (Ecuación 5).

$$Cm = \frac{Amed}{A} \quad \text{Ecu 5.}$$

Densidad de drenaje (Dd), parámetro establecido por Horton (1945), relaciona la longitud total de los órdenes (Ln) y el área total de la cuenca (A) clasificándola como bien o mal drenada. Henao (1988), considera que la densidad de drenaje caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, definiendo el grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante. De igual manera, Tapia (2012) define que es la respuesta de la cuenca frente a fuertes precipitaciones evacuando el agua en el menor tiempo posible. (Rojo s.f) considera que valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. En la Tabla 5 se observa las diferentes categorías que puede tener la red de drenaje de una cuenca calculando el rango con la ecuación 6.

Tabla 5 Clasificación de la red de drenaje de las cuencas

Rangos Km/Km ²	Clases
0.1-1.8	Baja
1.5-2.8	Moderadamente
2.9-4.2	Alta

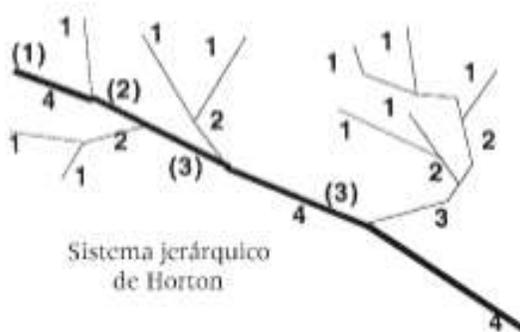
Fuente: Junco (2004)

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \text{Ecu 6.}$$

Orden de los cauces, según Horton 1945 y Strahler (1952, 1957) es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación de una cuenca, establecen los siguientes criterios: Las

corrientes de primer orden, son corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Las corrientes de segundo orden resultan de la unión de 2 de orden 1, y así de manera, que cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden (Cardona,2015), como se puede observar en la Imagen 3.

Imagen 3. Sistema jerárquico de Horton



Autor: Senciales, 1998

Índice de Torrencialidad (Ct), o también llamado Coeficiente de Torrencialidad, relaciona el número de corrientes de primer orden (n_1) y el área total de la cuenca (A). Este índice es utilizado para definir el carácter torrencial de una cuenca (Rojo,2012). Se determina con la (Ecuación 7).

$$Ct = \frac{n_1}{A} \quad \text{Ecu 7.}$$

Relación de bifurcación (Rb), Horton (1945) y Strahler (1969) lo define como el cociente entre el número de cauces de cualquier orden (N_u) y el número de cauce de orden (u) del siguiente orden superior.

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad \text{Ecu 8.}$$

En la ecuación 8 se presenta: la relación de bifurcación (R_b), número total de cauces con orden (N_u) y número de orden de cauce (U).

De acuerdo con Cardona (2015), las relaciones de bifurcación varían de 3.0 a 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. En condiciones naturales y en general, el valor promedio es 3.5. La R_b de corrientes de primero a segundo orden varía de 4.0 a 5.1 y de las de segundo a tercer orden varía de 2.8 a 4.9

Otros parámetros que inciden los lo de relieve, entre ellos están:

- **Cota mayor de cauce (CMC):** Elevación del punto más alto del cauce (msnm.).
- **Cota menor de cauce (CMC):** Coincide con la cota menor de la cuenca (msnm.).
- **Longitud del cauce principal (L_c),** es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento del mismo. También es llamado colector principal es útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica de la cuenca (Díaz, Mamadou, Iturbe, Esteller y Reyna, 1999)

La pendiente, es el factor que permite determinar el grado o porcentaje de inclinación del terreno, esta dirige la velocidad de escorrentía superficial ya que, a mayor inclinación mayor pendiente, afectando el tiempo de concentración en la red de drenaje (Escobar, s.f.).

En la tabla 6, se observa los diferentes tipos de relieve según % de la pendiente emitida por el IGAC.

Tabla 6 Tipo de relieve según la pendiente

Pendiente%	Tipo de relieve
0-3%	Plano
3-7%	Ligeramente inclinado
7-12%	Moderadamente inclinado
12-50%	Fuertemente inclinado
25-50%	Ligeramente escarpado
50-75%	Moderadamente escarpado
>75%	Fuerte escarpado

Fuente: IGAC, (1992)

Pendiente media de la cuenca (S_c), Según Villegas.s.f., es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca. De igual manera, Cardona (2015) define como uno de los parámetros fundamentales que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie.

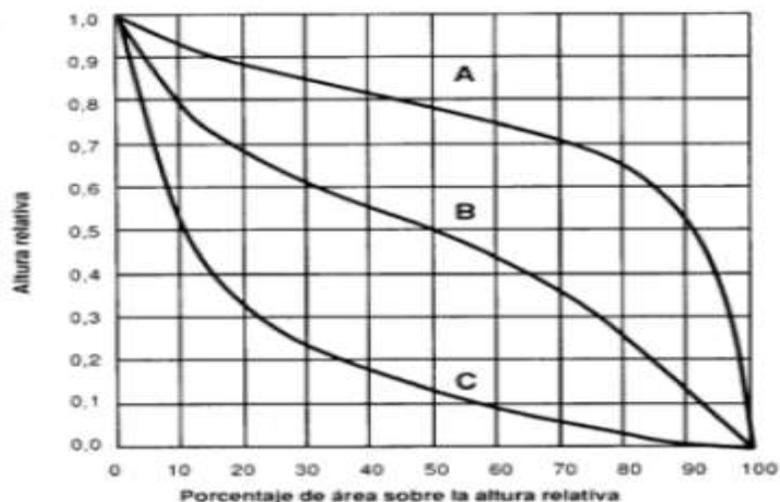
En la ecuación 9 se observa la diferencia de altura de las cotas (máxima -mínima) de la cuenca (ΔH), sobre la distancia que hay entre la cota máxima y mínima (L) para determinar la pendiente del cauce principal (S_c)

$$S_c = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{Ecu 9.}$$

Curva Hipsométrica, Según Hernández (sf) citado por Guerra y González (2002), la curva hipsométrica es simplemente una distribución del área de acuerdo con la elevación, es

decir, una representación bidimensional, que grafica en el eje vertical la elevación y en el eje horizontal el porcentaje del área sobre cada curva de nivel, en términos del área total.

Imagen 4. Tipos de curvas hipsométricas



Fuente: Galvez y Pimiento (2015)

En la imagen 4 se observa la curva hipsométrica con sus respectivas tres etapas geológicas; la primera es la etapa joven (A) se presenta con pendientes altas, sección transversal tipo “V”, cauces de montaña y eventualmente se encuentran en un proceso de degradación e irregularidad. La segunda es la etapa equilibrio o madura (B), es una fase estable en donde la pendiente es baja, los valles son amplios y la erosión del fondo es la que anteriormente se encontraba en los márgenes. Por último, se observa la etapa senil o vejez (C), esta se encuentra con pendientes muy bajas, los valles son amplios y presenta planicies de 15 a 20 de ancho, generalmente son zonas de pantanos y/o lagos con formas de herradura (UNC, 2014).

Perfil longitudinal del cauce, Según Castro,s,f. es la representación gráfica de la línea de una cuenca o río que traza un curso desde su nacimiento hasta su desembocadura, a lo largo de

esta se observan las capacidades del flujo. Por ende, a mayor capacidad dispone el caudal mayor es la erosión y transporte del escurrimiento. Su forma varía dependiendo de la etapa en que se encuentre, si es joven es abrupta, redondeada en su madurez y en la vejez es plana (Dolores, s.f.).

Tiempo de concentración (Tc), es el tiempo transcurrido desde el momento en que inicia la precipitación hasta el momento en que el total del área de la cuenca contribuye al escurrimiento superficial (Monsalve, 1999).

Según Zabala (2016), lo define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre.

También Villodas (2018) lo denomina como tiempo de respuesta o tiempo requerido durante una lluvia o aguacero uniforme alcance el estado necesario para que toda la cuenca lleve la generación de flujo al desagüe.

Ecuación de Kirpich (1942)

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.77} \quad \text{Ecu 10.}$$

En la ecuación 10 se observa: Tiempo de concentración (Tc) en horas (h), Longitud del cauce principal (L) en kilómetros (km), Pendiente del cauce principal (S), en metros por metro (m/m).

Ecuación de Témez (1978)

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76} \quad \text{Ecu 11.}$$

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h), L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

Ecuación de Giandotti

$$Tc = \frac{4 \cdot A^{0,5} + 1,5L}{25,3(L \cdot S)^{0,5}} \quad \text{Ecu 12.}$$

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h), A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²), L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km), S : Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).

Ecuación de SCS – Ranser

$$Tc = 0,947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Ecu 13}$$

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal, en metros (m).

V.T Chow

$$Tc = 0,8773 \left(\frac{Lc^{1,5}}{\sqrt{CMe - Cme}} \right)^{0,64} \quad \text{Ecu 14.}$$

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). Lc: Longitud del cauce principal (Km), CMe, es cota mayor del cauce principal (msnm), Cme, es la cota menor del cauce principal (msnm)

Ecuación Clark

$$Tc = 0,335 \left(\frac{A}{\sqrt{S_0^{0,5}}} \right)^{0,593} \quad \text{Ecu 13.}$$

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h); So, es la pendiente promedio del cauce principal (m/m); A, es el área de la cuenca (Km²).

Ecuación de California (del U.S.B.R)

$$Tc = 0,066\left(\frac{L}{J^{0,5}}\right)^{0,77} \quad \text{Ecu 14.}$$

Tc: Tiempo de concentración, en horas (h); J, es la pendiente promedio del cauce (m/m); L; Longitud del cauce principal (Km).

Precipitación, es un fenómeno atmosférico fundamental, se presenta en agua líquida, de agua sólida como nieve o granizo. Es vinculada con la circulación del aire en la atmósfera ya sea frío o caliente relacionado como frentes, que caen en la superficie de diferentes formas (Ambientum, s.f.), son estimuladas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001) citado por (Ordoñez 2012).

Es conocida como la cantidad de agua que desciende a la superficie en forma líquida y sólida, proviene de la humedad atmosférica. Es un parámetro meteorológico fundamental en la hidrología, junto a la evaporación y la condensación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo del agua (Gonzalez, Nuñez, Bizochea, Barrera, 2020).

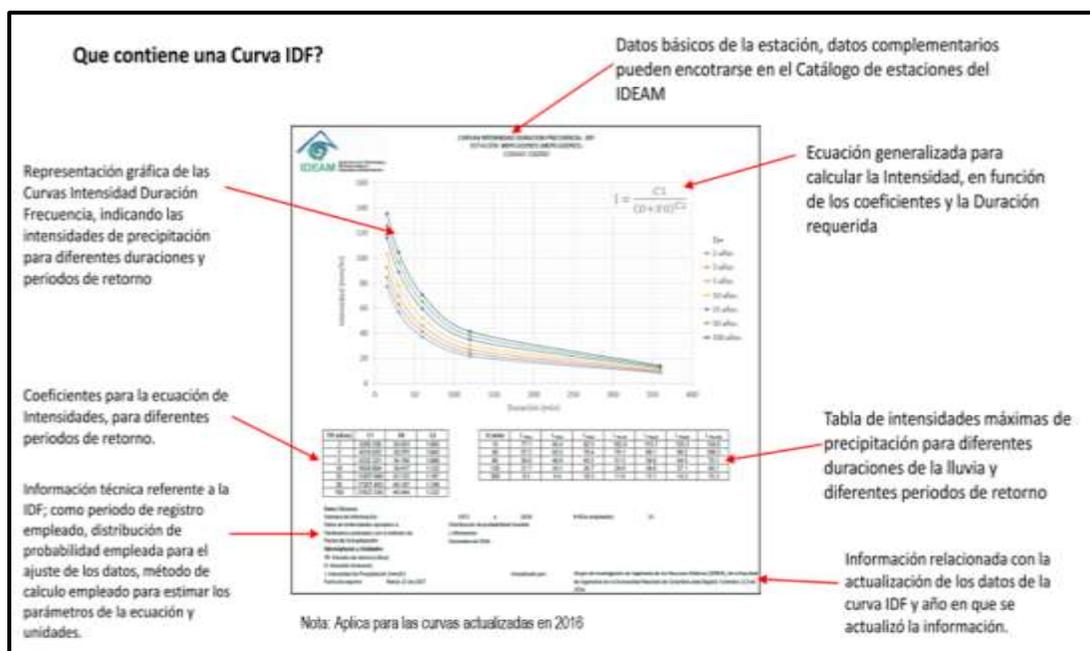
Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF), Galvez y Pimiento (2015), establecen que son aquellas herramientas fundamentales las cuales hacen relación a la máxima precipitación que se espera para un determinado periodo de retorno. Con estos periodos se logran

realizar diseños hidráulicos e hidrológicos; como el diseño de evacuadores de crecidas, la construcción de puentes y la construcción de redes de drenaje, entre otros.

Témez (1978) citado por Zabala (2016), las definen como aquellas curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) explica que la Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora (mm/h), para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno. En la Imágen 5 se observa los elementos que contiene con sus respectivas especificaciones.

Imagen 5. Curva Intensidad Duración Frecuencia



Fuente: IDEAM 2016

4.3.3 Método Racional

Es uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño, fue desarrollado por Mulvaney (1850), afirma que una cuenca de área A con un tiempo de concentración T_c , si se produce una lluvia P con duración $D=T_c$, el caudal generado en el punto de salida será el máximo, ya que estará aportando toda la cuenca (Chiarito, Zimmermann y Méndez, 2018).

Se utiliza en diseños urbanos y rurales, como también, vertedero de una presa; o para una obra en la que vaya a cruzarse un río o arroyo, como puede ser un puente (Galvez y Pimiento, 2015). Según Kuichling (1989) citado Zabala (2016) es un método para la predicción de gasto máximo de cuencas rurales pequeñas, debido a la simplicidad y la fácil preparación de la información requerida para la aplicación.

Tiene la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la Determinación de Caudales Máximos.

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \quad \text{Ecu 15.}$$

Dónde, Q - caudal en (m³/s), C - coeficiente de escorrentía, I - intensidad de la lluvia de diseño, A-A área de la cuenca hidrográfica en ha.

Método de Mac Math.

Según Villón (2005) citado por Canllahui (2013), la fórmula de Mac Math, para el sistema métrico es la siguiente:

$$Q = 0,0091CIA^{\frac{4}{5}}S^{\frac{1}{5}} \quad \text{Ecu 16.}$$

Dónde: Q = caudal máximo con un periodo de retorno de T años, en m³/s ; C= factor de escorrentía de Mac Math, representa las características de la cuenca; I = Intensidad máxima de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración tc y un periodo de retorno de T años, mm/hr; A= área de la cuenca en (ha) y S = pendiente promedio del cauce principal, en %.

Método de Burkli-Ziegler

Se aplica, generalmente, en cuencas de extensión superior a 200 Ha (Adif, 1980).

$$Q = 3,90 S I h e \left(\frac{i}{S}\right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{Ecu 17.}$$

Donde; Q = Caudal en l/s, S = Superficie de la cuenca en Ha. Ih = Lluvia máxima horaria en mm, e = Coeficiente de escorrentía y i = Pendiente media de la cuenca%.

Escorrentía, es una fracción de precipitación que circula generando una corriente ya sea superficial, continuas o intermitentes, de una cuenca. De igual manera, Valdivielso, s.f. define la escorrentía como un proceso natural que se presenta al caer el agua lluvia generando un escurrimiento por una red de drenaje. La escorrentía superficial o directa, es la precipitación que no se infiltra en ningún momento en el suelo llegando a la red de drenaje sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico

Coefficiente de escorrentía. Según Chiarito, Zimmermann y Méndez (2018), es la variable que presenta mayor incertidumbre en su determinación, y representa una relación adimensional entre la lámina de escorrentía superficial generada por una determinada cuenca y la lámina de la precipitación.

El coeficiente este sujeto de diversos factores según Azagra (2006): El tipo de suelo (granulometría, materia orgánica, grado de compactación, textura, estructura, rugosidad, la pendiente, entre otras), el tipo de precipitación (llovizna, chubasco, aguacero y roció), el tiempo (años, meses, días, horas, minutos) y el tipo de cobertura vegetal (herbazal, Arbustal y Bosque).

En la ecuación 20, se muestra cómo se calcula el coeficiente ponderado a partir de la sumatoria de cada fragmento sobre el área total.

$$c_{ponderado} = \frac{\sum(C_i * A_i)}{\sum A_i} \quad \text{Ecu 18.}$$

Para la estimar el Coeficiente de escorrentía se toma la imagen 6 y 7 como guía para su selección.

Imagen 6. Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad.

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

Fuente: Ras 2000, Título D.

Imagen 7. Coeficiente de escorrentía

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

Fuente: Ing. Msc. Airthon Angel Espejo Rospigliossi Cochabamba-Bolivia presentación "Hidrología en cuencas pequeñas la fórmula racional"

Intensidad de la lluvia. La intensidad media máxima, se determina a partir de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) construidas con datos medidos en el sitio en estudio. Con dichas curvas se adopta una duración de diseño igual al tiempo de concentración de la cuenca y para una recurrencia especificada se obtiene la intensidad de precipitación en mm/hr con la Ecuación (13) propuesta por Aparicio (1997).

$$I = \frac{CT^a}{t^B} \quad \text{Ecu 19}$$

Donde; a,B,C :Constante por determinar,; T: Periodo de retorno (años) y t: Duración (min)

Periodo de retorno es definido como el lapso de tiempo en años que se puede presentar el evento igual o excedido. De igual forma, es el parámetro más significativo al instante en que es dimensionada la obra hidráulica, cuyo destino es el soporte de avenidas, es usado comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento. El periodo de retorno suele ser un elemento obligatorio para el diseño de construcciones ingenieriles, puesto que permite demostrar el nivel de confianza, los valores extremos de ciertas variables meteorológicas como la precipitación, de manera que el diseño de una obra se comporte de forma adecuada en términos de seguridad y funcionalidad (Frizando, 2018).

4.3.3 Suelo, Cobertura, geología

El suelo es un elemento del medio, formado por minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos que realizan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones para el desarrollo de la vida (SIAC.s.f).

Tiene ciertas propiedades que ayudan a mantener su composición y la naturaleza en relación con su entorno. La permeabilidad es una propiedad física-mecánica que posee para

infiltrar el agua en diferentes las capas. De acuerdo, a la composición se clasifican en suelos permeables (absorben mayor cantidad de agua) e impermeables (menor cantidad de agua). Aquellos que contienen en mayor cantidad arena el agua pasa a las capas inferiores permitiendo en menor medida la escorrentía superficial, por el contrario, en suelos que contiene arcillas, menor cantidad de agua pasa por tanto se infiltra menos y el escurrimiento se presenta en mayor cantidad (Bonilla2007) citado por (Pardo y Rodriguez,2014).

4.3.3.1 Uso del suelo

El uso del suelo según la FAO (1997), son aquellas las actividades y acciones que se realizan a diario en un determinado espacio sobre la superficie, modificándola para un beneficio. En Colombia existen una variedad, destacándose suelos primitivos como son los entisoles e inceptisoles, suelos poco fértiles como los ultisoles y los oxisoles. Por el contrario, se destacan los suelos agrícolas (andisoles y molisoles).

El uso del suelo trae consigo una serie de procesos que causan impacto negativo al medio, lo más destacados son la contaminación, la pérdida de materia orgánica, la compactación, la desertificación y la gestión insostenible, por la creciente demanda de bienes y servicios que adquiere la población (IGAC, 2012) citado por (SIAC.s.f).

4.3.3.2 La cobertura vegetal

Es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (Martínez, Montoya, Calderón, Camacho, s.f.)

La cobertura vegetal de un lugar en específico juega un papel fundamental en las inundaciones pluviales, protege al terreno de la erosión provocada, menor escurrimiento, mayor infiltración y actúa como una barrera natural regulando la cantidad de agua que llegará al suelo, por el fenómeno de intercepción y va a depender de la densidad y naturaleza de la vegetación. También la vegetación impide que las gotas de agua caigan de manera directa sobre el suelo, lo que provoca la compactación del mismo y como consecuencia la disminución de la permeabilidad, evitando la erosión producida por las gotas de agua cuando impactan sobre el suelo (Pardo y Rodríguez, 2014).

La leyenda nacional de las coberturas de la tierra del país a escala 1:100.000 (2010) ,es una propuesta metodológica para realizar la caracterización de las coberturas naturales presentes en el territorio colombiano. Ésta permite unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer cómo está cubierto el país, a partir de la adaptación realizada de la metodología europea CORINE Land Cover a nuestro entorno.

En la Imagen 8, se presentan las unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional, escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

Imagen 8. Unidades de Clasificación de las coberturas de la tierra según la metodología CORINE Land Cover.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ANTICIPALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
2. TERRITORIOS AGRIKOLAS	3.2.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.2. Caña	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.4. Tabaco	3.3. Áreas abiertas, en o con poca vegetación
2.2.1.5. Papaya	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.1.6. Amapola	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.3. Tierras desmenuadas y degradadas
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.2. Café	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.3. Cacao	4. ÁREAS HÚMEDAS
2.2.2.4. Viñedos	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.2.5. Coca	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3. Cultivos permanentes arboreos	4.1.2. Turberas
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arboreos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.2. Palma de aceite	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.3.3. Citricos	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.3.4. Mango	4.2.2. Saltral
2.2.4. Cultivos agriflorostales	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.2.5. Cultivos confinados	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.3. Pastos	5.1. Aguas continentales
2.3.1. Pastos limpios	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.3. Canales
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.2. Aguas marítimas
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.3. Estanques para acuicultura marina
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	

Fuente: Leyenda nacional de coberturas de la tierra- Colombia, 2010

4.3.3.4 Geología

Geología es la ciencia que tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el estudio de las rocas. Esta ciencia parte de la premisa de que el relieve actual de la Tierra es el resultado de una larga y variada evolución, por ello analiza este desarrollo espacial y temporal para indicar los factores y fuerzas que intervinieron en el proceso que le ha dado la forma que actualmente conocemos, tanto en el exterior como en el interior (SGM,s.f).

4.3.3.5 La Litología

Es parte de la geología que estudia del tamaño del grano, de la partícula y las características físicas y químicas de las rocas que se presentan en cuencas de diferentes relieves. Es importante para conocer el relieve, ya que cada una tiene un comportamiento dependiendo de la naturaleza ante fenómenos como movimientos tectónicos, efectos de erosión, transporte, y los diferentes tiempos atmosféricos de manera directa o indirecta (Medina, Salazar, Prado, Sanchez, Chavez, 2015). Según Gómez, Escorial y Roldan (2019), la define como uno de los condicionantes principales de la composición y organización espacial de los componentes de la fracción sólida del suelo, aspecto especialmente determinante de la respuesta hidrológica superficial.

Una roca se define como el conjunto inorgánico de uno o varios minerales producto de forma natural por procesos geológicos exógenos o endógenos, de forma completa o incompleta. Según Williams, et al., (1982) citado por Orozco, Branch, Jiménez (2014) se clasifican en tres tipos:

- a) Roca Ígneas, se forman por el enfriamiento y la solidificación de material fundido, magma, proveniente del interior de la Tierra. Según el proceso de formación se clasifican en rocas ígneas intrusivas o plutónicas, son aquellas que se forman en zonas profundas de la corteza, bajo presiones que no permiten el escape de gases, presentan cristales grandes y bien formados. Rocas ígneas efusivas o volcánicas, se forman a partir del magma que fluye hacia la superficie terrestre a través de zonas de debilidad o que fue expulsado desde un volcán.
- b) Rocas sedimentarias, se pueden formar por la acumulación de sedimentos y partículas, que se forman por la meteorización de otras rocas, erosión, transporte,

sedimentación y diagénesis de rocas preexistentes ya sean ígneas, metamórficas u otras sedimentarias, o por la acumulación de material de origen biológico, o por la precipitación de sustancias químicas o bioquímicas, o por la combinación de todas las anteriores.

- c) Rocas metamórficas, son aquellas que han sido sometidas a cambios de presión y temperatura, generalmente en profundidades relativamente grandes con respecto a la superficie, y que en estado sólido han tenido cambios en la mineralogía y las estructuras como respuesta a los diferentes cambios físicos y químicos que conllevan los cambios de presión y temperatura. son el resultado de la recristalización de otras rocas de naturaleza ígnea, sedimentaria o metamórfica bajo la acción de cambio en la presión, temperatura o en los fluidos intersticiales.

4.3.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El SIG es una herramienta en la ciencia geográfica que permite reunir, gestionar integrar y analizar diferentes tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con cada uno de estos atributos revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes (aeroterra, s.f.).

El software ArcGIS define el SIG como aquel sistema utilizado para describir y categorizar la geografía por medio de mapas, con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. El objetivo consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información, de manera que puedan apoyar el trabajo de las organizaciones.

La etapa de diagnóstico, González (1995) plantea que es la fase que tiene como objetivo analizar y evaluar el medio en su estado actual, observando cada uno de los aspectos positivos o negativos que se presentan en los recursos naturales renovables y no renovables, como también los aspectos sociales, culturales y tecnológicos que se dan por el factor antrópico. De igual forma Morales (2000) citado por Cordón Suárez, Johnson, Cordón Suárez (2008), lo define como aquel requisito importante para llevar a cabo proyectos que beneficien el recurso hídrico con el fin de garantizar su uso sostenible, para esto se tiene en cuenta aquellos aspectos que se relacionan entre sí para lograr determinar las causas y el efecto de las actividades que se desarrollan en la zona de estudio.

El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR) afirma que el **diagnostico ambiental** es la caracterización más exacta del medio ya sea físico, químico o biótico, para establecer el estado actual del área impactada. Así mismo, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) precisa que el objetivo es evaluar y compararla la información que requiera cualquier persona con el fin de desarrollar cualquier clase de obra que afecte al recurso.

Estadística descriptiva, Los métodos de la Estadística Descriptiva o Análisis Exploratorio de Datos ayudan a presentar los datos de modo tal que sobresalga su estructura. Ofrece modos de presentar y evaluar las características principales de los datos a través de tablas, gráficos y medidas resúmenes (Alvarino y Ocampo ,2016).

4.4 Marco legal

La **constitución política de 1991** establece en el **Artículo 79** que 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.

La **constitución política de 1991** en el **Artículo 80** establece la planificará en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

El Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (**Decreto - Ley 2811 de 1974**) en marca el inicio de las directrices que de manera específica orientan la administración del recurso hídrico en el país. En el artículo 316 define la cuenca hidrográfica como la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca.

Ley 99 de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece los lineamientos para fortalecer el Sistema Nacional Ambiental y fija las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas.

Ley 1450 del 2011 estableció en el párrafo del artículo 212 la implementación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

El decreto 1729 DE 2002 se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 decreta las disposiciones generales, la ordenación, elaboración y ejecución del plan de las cuencas.

Ley 812 de 2003. Establece políticas de estado para la formulación de programas para el manejo integral del agua teniendo como base la conservación natural de las especies de fauna y flora.

El decreto 1323 del 2007 contempla los sistemas de información del recurso hídrico SIRH para implementarlos en los planes de ordenamiento y manejo de una cuenca.

El decreto 1640 de 2012 en el artículo 3 define la cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, y además reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas.

Resolución 104 del 2003 por el cual se contempla los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.

Resolución 0509 del 2013 define los lineamientos para la conformación de los consejos de cuencas y sus fases del plan de ordenación de la cuenca.

Resolución 0330 de 2017 por el cual se Reglamentó Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se deroga la Resolución 1096 de 2000, 424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2000.

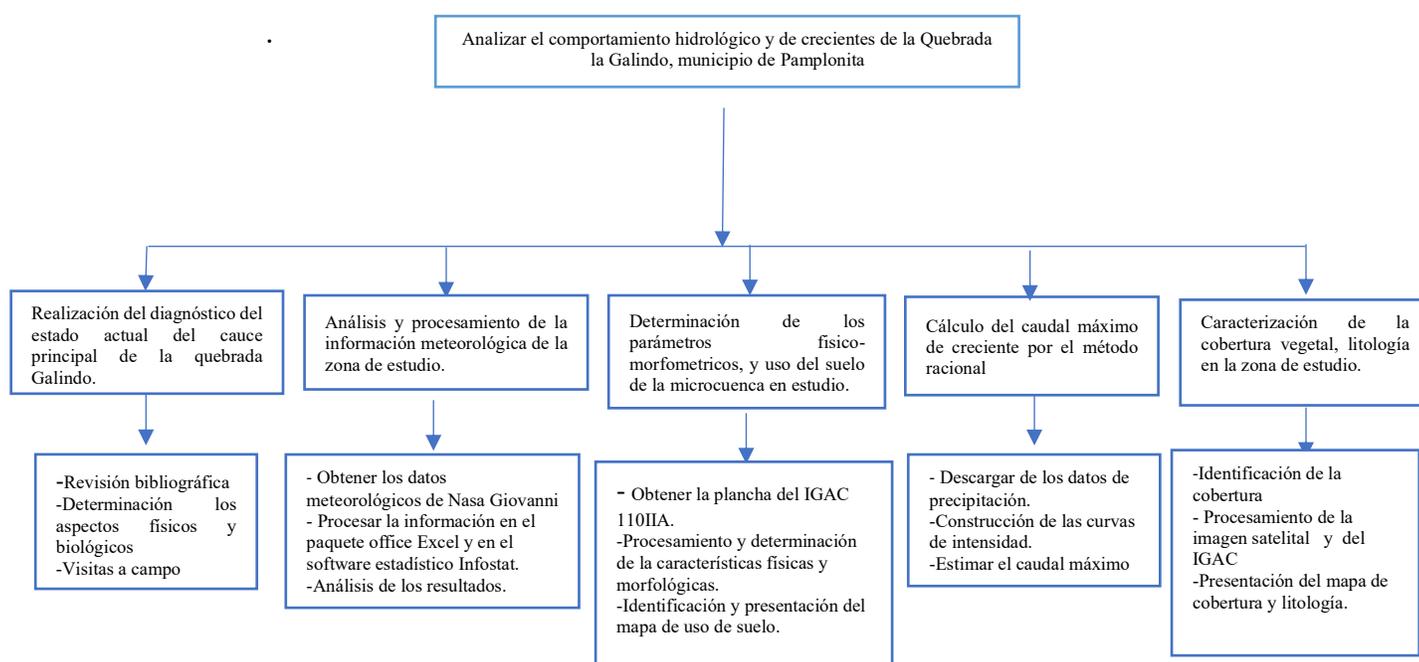
Resolución 0566 de 2018 por el cual se adopta la guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas.

Resolución 751 de 2018, Se adopta la Guía Técnica para la formulación de Planes de Ordenamiento del recurso hídrico (PORH).

5. Metodología

La metodología aplicada para el desarrollo del proyecto se basa en cinco etapas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados. A continuación, se presentan las actividades que se llevaron a cabo para dar cumplimiento a los objetivos específicos, (Ver Gráfico 1).

Gráfico 1. Esquema metodológico para el estudio de hidrológico y de crecientes en la zona de estudio.



5.1 Realización del diagnóstico del estado actual del cauce principal de la quebrada

Galindo.

Se consultó en la Oficina de Planeación del municipio de Pamplonita la existencia de información sobre estudios o investigaciones que se hubiesen realizado en la microcuenca Galindo, se obtuvo como respuesta de que no hay información registrada hasta estos momentos. Igualmente, se realizó una revisión literaria de libros, artículos científicos, tesis de grado, revistas, páginas web y entre otras fuentes, para obtener el diagnóstico de la zona de estudio. Así

mismo, se realizaron algunas visitas a la zona para obtener información de manera que se pueda corroborar las principales actividades agrícolas para determinar el uso del suelo, la cobertura vegetal, las captaciones de agua y si existe algún tipo de vertimientos que este afectando el recurso hídrico.

5.2 Análisis y procesamiento de la información meteorológica de la zona de estudio.

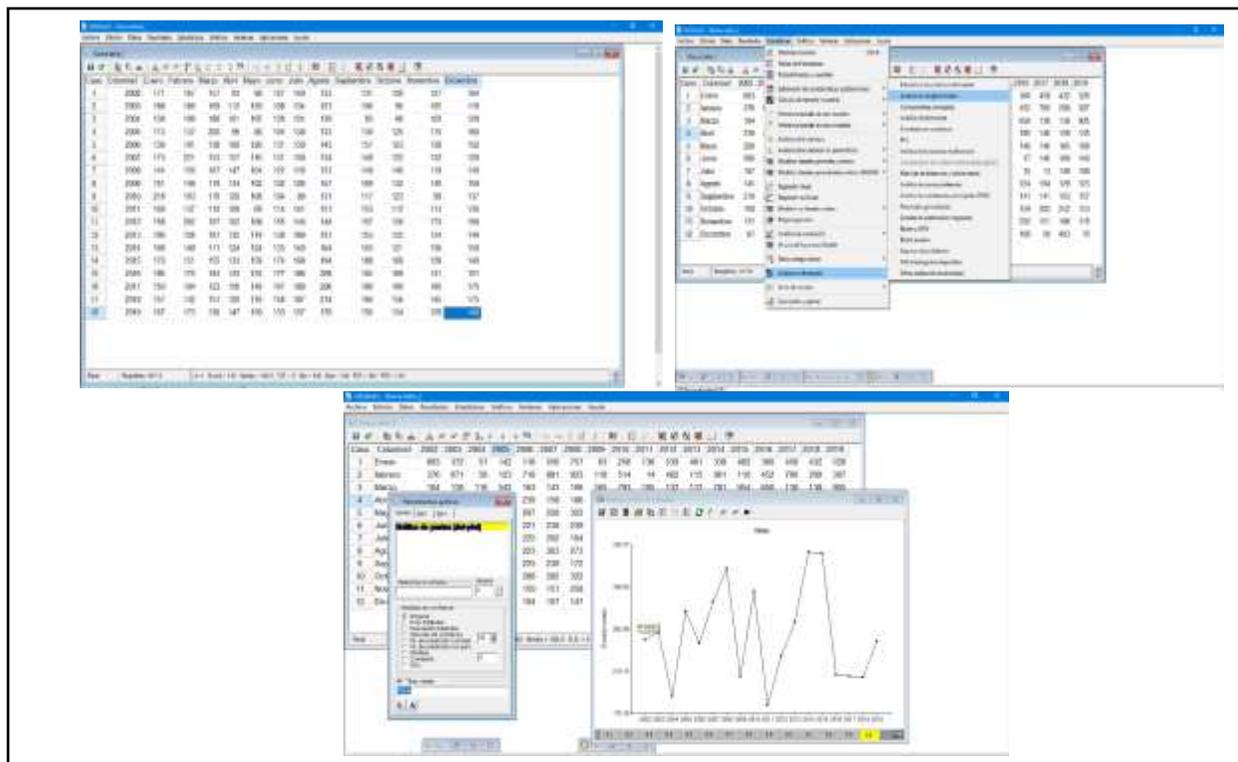
La información meteorológica se tomó de Giovanni es la interfase web de la NASA, en esta se ingresaron las coordenadas del terreno (-72.6507,7.4516,-72.6356,7.4653) para obtener los datos. Posteriormente se empieza a descargar los datos meteorológicos mensuales de las variables: precipitaciones, temperatura, velocidad del viento, evaporación, humedad relativa, radiación onda corta y larga de la zona en estudio (Tabla 7), a los cuales se les realizó imputaciones múltiples por datos faltantes a las variables de Temperatura, Velocidad el viento y Humedad relativa por medio del software estadístico SPSS versión prueba, De manera , que se ingrese el conjunto de datos completos para realizar el análisis descriptivo en el paquete estadístico InfoStat versión estudiantil (Imagen 9).

Tabla 7 . Información de los datos meteorológicos de NASA Giovanni

Variable	Sensor	Periodo	Unidad
Precipitación	TRMM 3B43 v7 precipitation	1998-2019	mm/mes
Temperatura	AIRS3STM 006 SurfAirTemp A	2002-2020	° C
Velocidad del Viento	GLDAS_NOAH10_M_2_1_Wind_f_inst	2000-2020	m s-1
Radiación onda larga	GLDAS_NOAH10_M_2_1_LWdown_f_tavg	2000-2020	Wm-2
Radiación onda corta	GLDAS_NOAH10_M_2_1_SWdown_f_tavg	2000-2020	Wm-2
Humedad R	AIR S3STM 006 RelHumSurf A	2002-2020	%
Evaporación	GLDAS Model GLDAS_NOAH025_M v2.	2000-2019	Wm-2

Fuente: Nasa Giovanni, Elaborado por Suarez C.

Imagen 9. Datos ingresados en Infostat



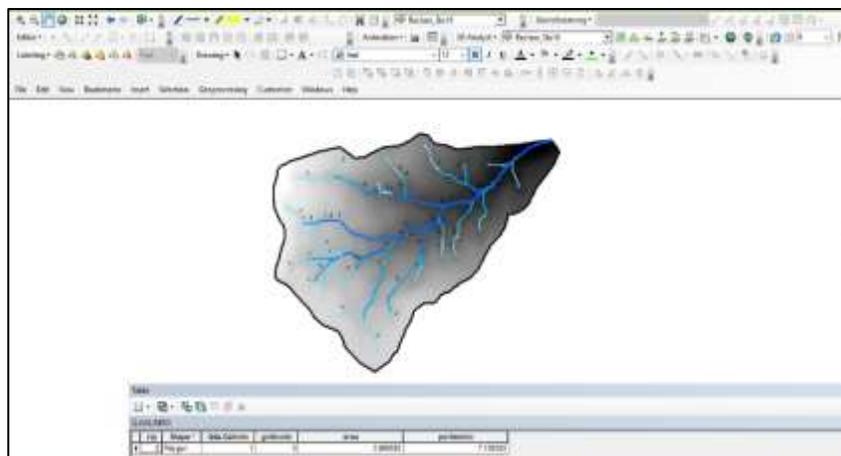
Fuente: Suarez C. Tomado de Infostat.

5.3 Determinación de los parámetros físico-morfométricos, y uso del suelo de la microcuenca en estudio.

Del Geoportail del IGAC se descargó la plancha cartográfica No. 110IIA, para la creación y edición de los datos se realiza el procesamiento geográfico mediante el Software ArcGIS, se utilizaron las herramientas Geoprocessing y Arctoolbox; Spatial Analyts tools – Interpolation - Hydrology (Fill, Flow direction ,Flow acumulation y entre otras), Conversion tools para la delimitación de la microcuenca , a partir de eso se obtiene los parámetros de físicos y morfométrico; como es , el área (A), el Perímetro (P),la Longitud axial (Lax), las curvas de nivel cada 50 metros, la red de drenaje, el orden hídrico, Curva hipsometría, Coeficiente de compacidad (Kc), Índice de forma(Horton), perfil del cauce, el ancho, elevación media,

pendiente (%), altura máxima, mínima , Tiempo de concentración entre otras. En la Imágen 10 se observa que a partir de la herramienta SIG, se calculan las características propias de la quebrada Galindo.

Imagen 10.. Representación de los parámetros morfométricos de la quebrada Galindo



Fuente: ArcGIS 10.4, elaborado por Suarez C.

De igual forma, para determinar el uso del suelo se realizaron vistas a campo y se descargó el shapefile de la Geoportal del IGAC y se procesó en el software ArcGIS corroborando dicha información con la leyenda de usos agropecuarios del suelo del IGAC el cual permitió una clasificación supervisada para de esta manera diseñar el mapa del uso del suelo de la zona de estudio.

5.4 Calculo del caudal máximo de creciente por el método racional

Para el cálculo del caudal máximo de creciente se tiene en cuenta; el área de la microcuenca calculada anteriormente, la intensidad- la duración - frecuencia de la lluvia (IDF) , periodo de retorno y el coeficiente de escorrentía.

Para obtener las curvas IDF representativas de la zona se descargaron los datos precipitación del sensor TRMM diarios, a través de la plataforma NASA Giovanni, con un periodo comprendido entre los años 1998 y 2019 años, se hace el proceso para determinarlas por el método precipitación máxima probable (PMP).

Con respecto al coeficiente de escorrentía se aplicó los criterios del RAS 2000 – y un coeficiente tomado del Ing Espejo de su presentación “Hidrología en cuencas pequeñas la formula racional” el cual permite asociar más el tipo de cobertura y se aplican cada una de las ecuaciones especificadas anteriormente.

5.5 Caracterización de la cobertura vegetal, litología, geología en la zona de estudio.

Se utilizó la metodología de clasificación de coberturas a nivel nacional Coordination of Information on the Environment (Corine Land Cover), la cual fue adaptada el IDEAM, esta permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características a partir de la utilización de imagen de satélite SENTINEL 2A de 2 diciembre 2018, obtenidas de la plataforma Copernicus Open Access Hub (Imagen 11). Además, fue necesaria apoyarnos en información secundaria para comparar, validar y establecer la información en las imágenes, como son; los mapas temáticos de cobertura de la zona, cartográfica básica de la zona y la información actual que se tomó de las visitas a campo.

De igual forma, se realiza la clasificación supervisada de la cobertura, permitiendo aplicar algunos de los conocimientos previos y con ayuda de la extensión ArcBruTile_07 y Google Earth se pudiese verificar cada una de las diferentes unidades.

Del Instituto Geológico Colombiano (IGAC) se crea el mapa de litología procesada en ArcGIS, Además se obtienen mapas de relieve, clima y tipo de suelo.

Imagen 11. Proceso de descarga imagen satelital



Fuente: tomado de Copérnico Open Access Hub

6. Resultados

6.1 Diagnóstico del estado actual del cauce principal de la quebrada galindo

La Quebrada Galindo es una fuente hídrica ubicada en la zona rural del municipio; por lo tanto, la densidad de población es menor, los adultos mayores son los que prevalecen, seguidamente los niños (as) y por ultimo los adultos, de esta manera, hay 22 viviendas (Ver fotografía 4) y una escuela rural (Ver fotografía 1) sede del Colegio Nuestra del Pilar de municipio prestando el servicio de educación a los niños(as) de 5 años hasta los 11 años. La economía se fundamenta en el sector primario como es la ganadería y la agricultura y en menor dimensión la minería (Imagen 7).

Por ubicarse en la parte rural la población solo cuentan con el servicio de luz (Ver fotografía 6), y acueductos veredales no potables, los demás servicios de saneamiento básico como Alcantarillado, Gas y Aseo (recolección de residuos sólidos) no se llevan a cabo. Para satisfacer las necesidades básicas se abastecen del agua que captan por gravedad de diferentes quebradas que se encuentran en la parte alta , como es Quebrada las Minas y la Tonchala el cual pagan una mensualidad por tener el recurso , los residuos sólidos orgánicos son reutilizados y los inorgánicos son incinerados, utilizan sistema de pozo séptico o fosa séptica para la disposición del agua residual domésticas, los cuales no cuentan con un diseño estructural apropiado para realizar algún tratamiento, el agua depositada se infiltra en el suelo. Por último, el gas propano es una opción si se tiene recursos económicos y si no se utiliza leña como fuente de energía para cocinar.

Por otro lado, El sector ganadero es la actividad principal, se estima que se está utilizando actualmente 64% del área de la cuenca, cabe aclarar que estas son rotacionales de cultivo a pasto o de pasto a cultivo, el cual se le pueden aplicar en algunas ocasiones

herbicidas, este tipo de actividad tiene fines de lechería, carne o ceba y cría (Ver fotografía 7). También, se encontró que la agricultura es una actividad que se desarrolla de manera permanente, el cual tiene serie de procesos para que se adquiera una cosecha que los beneficie. Algunos de estos procesos son; la preparación el terreno, consta de un arado manual removiendo la tierra para abrir los surcos, adicionándole nutrientes o abonos para realizar la siembra y se hace un regado constante para su germinación, se adicionan algunos fertilizantes y/e insecticidas. Algunos propietarios cuentan con reservorios que ayudan en épocas de sequias a contrarrestar el evento, su riego es por aspersor, los cultivos periódicos son; el maíz, el café, caña, la yuca, el lulo, habichuela, tomate de árbol, frijol, papa y arveja.

En pequeña escala se encuentra la extracción de materias de construcción como es la arena, actividad que viene desarrollando aproximadamente 30 años a cielo abierto (ver fotografía 2), no se ve ninguna afectación a simple vista, pero se puede inferir puede haber alteraciones en los recursos renovables como son el agua, el aire, suelo, el paisaje y no menos importe los habitantes que están a su alrededor. La extracción de este mineral se realiza de manera manual la cual tiene carretera hasta su entrada (ver fotografía 3), no es reiterativa la extracción solo se realiza cuando se necesita para alguna actividad local afirma el dueño del terreno.

En la parte alta de todos los nacientes de la quebrada están con cerca viva a su alrededor para que no se han afectados, según los habitantes esto lo ha realizado COPONOR como corporación administradora y con autonomía sobre los recursos naturales del departamento para proteger y conservar el afluente. En la parte intermedia del cauce se realizan captaciones para el consumo humano y animal (Ver fotografía 5)

para la población de la parte inferior lo que genera que el arroyo del afluente disminuya, de igual manera se presenta deforestación alrededor del cauce por las diferentes actividades (Ver fotografía 8).

Imagen 12. Zona de educación básica y Zona de extracción minera.



Fuente: Google Earth,2021.



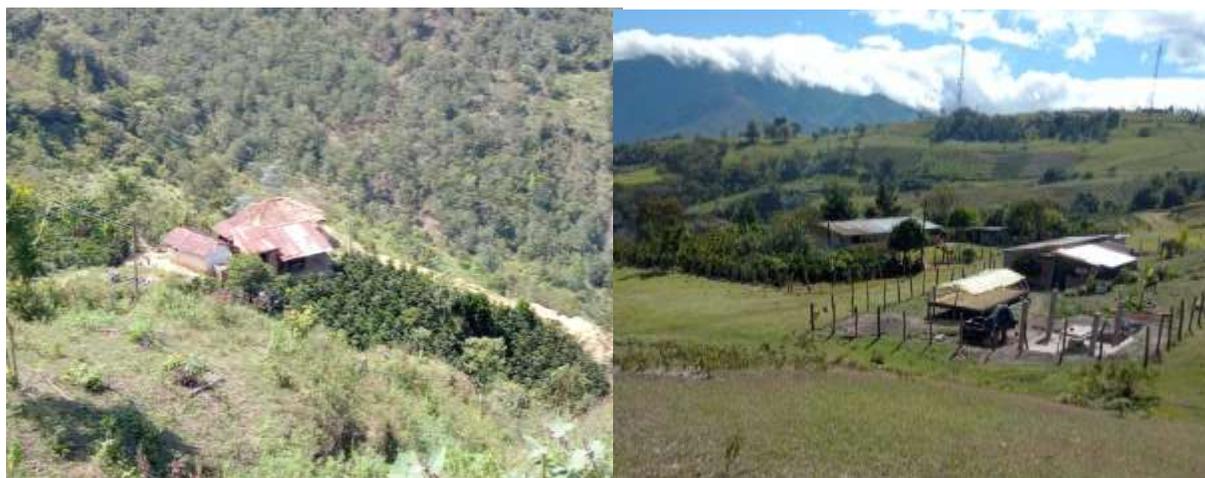
Fotografía 1. Escuela Llano Grande, Municipio de Pamplonita



Fotografía 2 .Extracción de material



Fotografía 3.Entrada del sitio de extracción.



Fotografía 4.Asentamientos Humanos



Fotografía 5. Tanque de almacenamiento



Fotografía 6. Contador del alumbrado



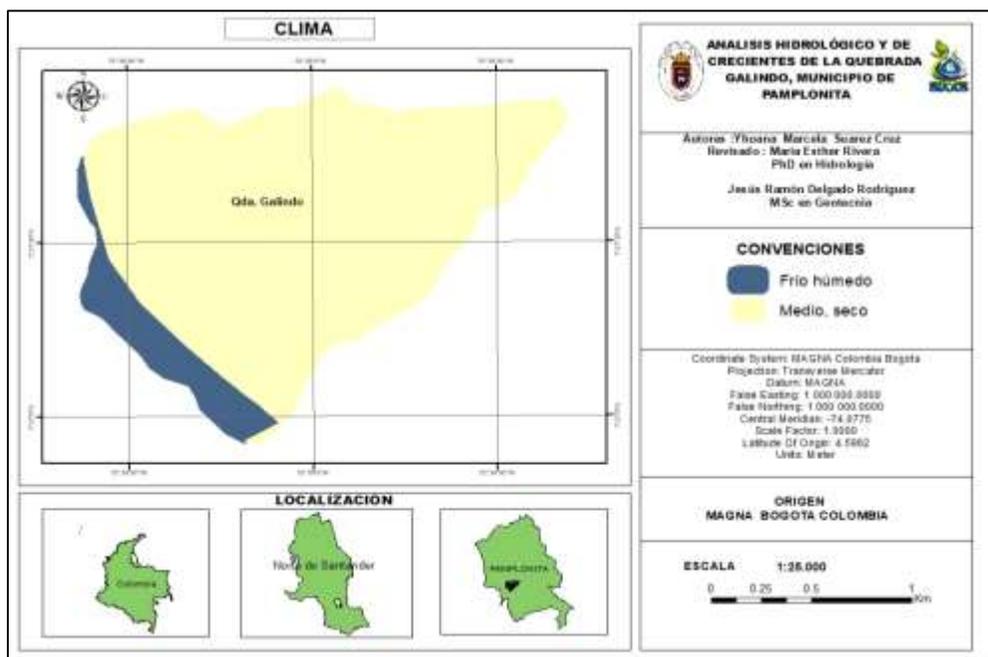
Fotografía 7. Zona de pastos limpios



Fotografía 8. Deforestación

El clima que presenta la microcuenca se evidencia en el mapa 2, esta depende de factores como la altitud y la longitud de la zona, en gran parte del área iniciando desde una altura de 1550 m.s.s.m a 2100 m.s.s.m el clima es medio -seco favorece las actividades que se realizan del sector primario como la agricultura en el cual se pueden sembrar variedad de productos que benefician a la población, en la parte alta desde la altitud 2100 m.s.n.m a 2150 m.s.n.m con un clima frio húmedo el cual juega un papel importante en la recarga hídrica de la quebrada.

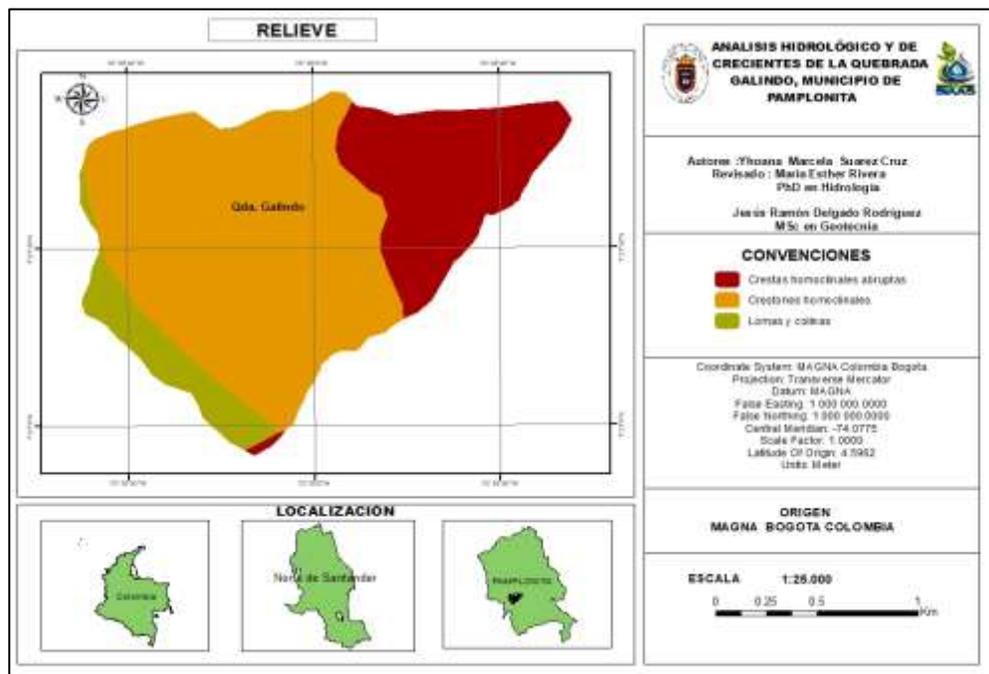
Mapa 2. Mapa de Clima de la microcuenca



Fuente: Elaborado por Suarez C. (2021) a partir de la información obtenida del IGAC

El relieve (Mapa 3) que presenta la quebrada se ve identificada por tres tipos de geformas montañosas; los crestones homoclinales ubicados en la parte media-alta, en la parte inferior se observa crestas homoclinales abruptas y solo en la parte alta se manifiestan lomas y colinas. Por ende, se puede inferir que al presentar este tipo de relieve en la parte media y baja es común encontrarse procesos de erosión en sus laderas. (Ver fotografía1,2,3,4).

Mapa 3. Mapa de relieve de la microcuenca



Fuente: Elaborado por Suarez C. (2021) a partir de la información obtenida del

IGAC



Fotografía 9. Erosión en la parte alta, parte media, parte baja, de la quebrada Galindo.

6.2 Análisis y procesamiento de la información meteorológica de la zona de estudio.

La microcuenca Galindo del municipio de Pamplonita es la unidad de análisis, teniendo como variables; Temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación, velocidad del viento y radiación solar. Cada uno de estos datos son numéricos continuos, excepto la variable de la humedad (%).

Para realizar el análisis interanual se tiene en cuenta cuales variables tienen datos faltantes ya que es importancia para el análisis de la información. De acuerdo a esto, se ingresaron al software SPSS versión prueba la variable de humedad, velocidad del viento y temperatura para realizarle las imputaciones correspondientes para completar estos datos.

Temperatura mensual (°C)

La tabla 8 corresponde a los valores mensuales de la temperatura registrada a partir del año 2002 hasta el año 2019. En el año 2002 se realizaron imputadas a los meses enero hasta agosto para completar la serie de tiempo.

Tabla 8. Serie de datos de Temperatura

	Enero	Feb	Mar	Abrl	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	23,87	21,38	19,51	21,78	18,98	18,93	26,87	20,35	21	21	21	21
2003	23	23	23	23	22	21	21	22	21	21	20	20
2004	22	23	23	22	21	21	21	21	21	21	21	21
2005	20	22	24	23	22	22	22	21	21	21	20	21
2006	21	23	23	22	22	22	21	21	21	21	21	20
2007	21	22	22	23	22	21	21	21	21	21	20	20
2008	21	22	22	23	22	22	22	21	21	21	21	21
2009	21	22	22	22	22	22	21	22	22	22	21	21
2010	22	23	23	23	23	21	21	22	21	21	20	20
2011	21	21	21	22	22	21	21	21	22	21	21	20
2012	21	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21
2013	21	22	22	22	21	21	22	22	21	21	20	20
2014	21	21	22	22	22	21	22	22	22	21	21	21
2015	21	23	23	22	22	21	22	22	22	21	20	20
2016	22	22	23	22	21	21	22	22	22	22	21	20
2017	20	21	21	22	21	21	21	21	22	21	21	21
2018	21	22	23	22	22	21	21	22	22	21	21	21
2019	22	22	22	22	22	21	22	21	21	21	21	20

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 9, se observan las medidas de resumen de la temperatura, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguidamente el promedio o la media de temperatura, que es aproximadamente de 21,67 °C registrados en los años de 2003, 2009, 2010, 2012 y 2016. En el año 2005 se presenta la mayor temperatura aproximada de 24°C y finalmente en el año 2002 se registro la menor temperatura con 18,93°C respectivamente.

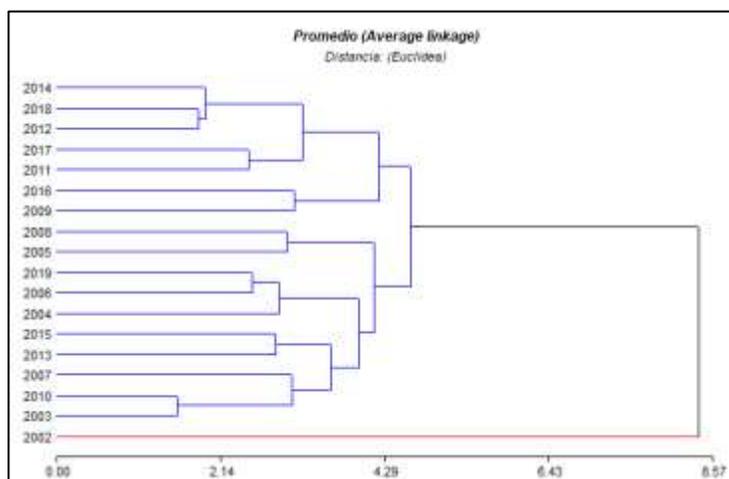
Tabla 9. Medidas de resumen de Temperatura

Medidas resumen				
Variable	n	Media	Min	Máx
2002	12	21.31	18.93	26.87
2003	12	21.67	20.00	23.00
2004	12	21.50	21.00	23.00
2005	13	31.58	30.00	34.00
2006	12	21.50	20.00	23.00
2007	12	21.25	20.00	23.00
2008	12	21.58	21.00	23.00
2009	12	21.67	21.00	22.00
2010	13	21.67	20.00	23.00
2011	13	21.17	20.00	22.00
2012	12	21.67	21.00	22.00
2013	12	21.25	20.00	22.00
2014	12	21.50	21.00	22.00
2015	13	21.58	20.00	23.00
2016	12	21.67	20.00	23.00
2017	12	21.08	20.00	22.00
2018	12	21.58	21.00	23.00
2019	12	21.42	20.00	22.00

Fuente: Suarez C. (2021).

En el grafico 2, evidencia el análisis Clúster para la temperatura, el cual permite observar las distancias euclidianas para medir la diferencia en el comportamiento de la variable agrupando los años con características similares entre sí, como se puede observar.

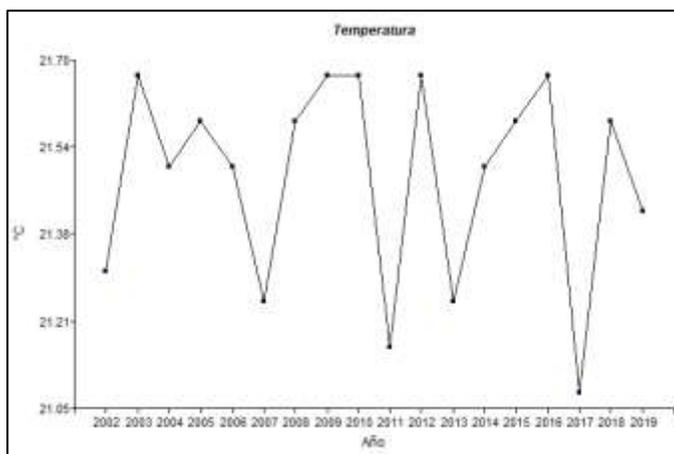
Gráfico 2. Análisis Clúster para la variable temperatura para los años comprendidos entre 2002-2019



Fuente: Suarez C. (2021).

Los años que tienen similitud son 2003 y 2010, seguido por los años 2012 y 2018 aunque están relacionados entre sí no son cercanamente similares, los demás años se observa diferencias considerables respecto a los otros, solo en el año 2002 se observa una anomalía.

Gráfico 3. Comportamiento de la temperatura.



Fuente: Suarez C. (2021).

El gráfico 3 muestra la tendencia de la temperatura para los años 2002 al 2019, se infiere que el comportamiento estimado para estos años, es significativamente variable no sigue una tendencia normal.

Velocidad del Viento Mensual

En la Tabla 10, se evidencian los datos de velocidad del viento mensuales desde el año 2002 hasta el año 2019. Los años comprendidos entre 2002 al 2006, 2008 al 2010, 2013 al 2015 y 2018 tiene la información completa en la base de datos, mientras que los años 2007, 2011, 2012, 2016, 2017, 2019 no contaban con algunas mediciones en los registros mensuales, los cuales fueron imputados.

Tabla 10 Velocidad del Viento

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	265	243	250	204	220	220	292	257	179	189	239	262
2003	242	259	211	191	254	219	259	219	191	138	151	203
2004	188	223	204	148	173	216	187	221	151	134	162	163
2005	173	165	209	187	165	170	202	182	181	116	124	142
2006	145	157	144	133	170	192	216	197	189	143	143	162
2007	178	239,82	154	158	187	244	238	218	213	146	176	146
2008	157	159	150	159	178	226	226	187	188	149	113	127
2009	150	148	133	160	178	210	238	226	230	177	165	182
2010	206	175	178	145	172	189	168	157	109	118	109	124
2011	150	127	120	117	142	197	203	201	177	144	112	77,54
2012	144	167	148	122	186	212	215	194	149,48	127	147	169
2013	176	158	160	149	168	212	226	198	185	175	137	168
2014	184	153	153	180	161	218	231	204	192	144	146	167
2015	165	112	104	126	142	170	155	161	163	132	111	155
2016	105	114	110	100,38	129	161	154,24	165	144	105	83,58	109
2017	146,95	106	117,55	117	122	136	164	147	133	126	108	121
2018	117	56,07	110	104	127	159	163	171	136	103	107	128
2019	116	107	81,08	105	130	142	141	150	115	127,46	97,15	107

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 11, se observan las medidas de resumen de velocidad del viento, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguido del promedio o la media que es aproximadamente de 235ms-1 el mayor registrada en el año 2002. De igual manera en este mismo año se presenta la mayor

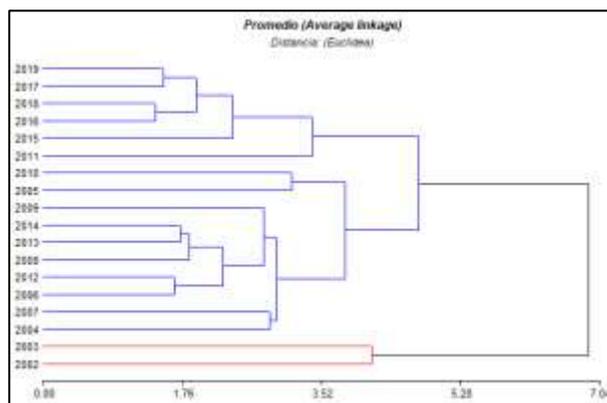
velocidad del viento aproximada de 292 ms-1 y finalmente en el año 2002 se registró la menor temperatura con 56,07ms-1 respectivamente.

Tabla 11. Medidas de resumen de la Velocidad del viento

Medidas resumen				
Variable	n	Media	Min	Máx
2002	12	235.00	179.00	292.00
2003	12	211.42	138.00	259.00
2004	12	180.83	134.00	223.00
2005	12	168.00	116.00	209.00
2006	12	165.92	133.00	216.00
2007	12	191.49	146.00	244.00
2008	12	169.25	113.00	226.00
2009	12	193.08	133.00	238.00
2010	13	154.17	109.00	206.00
2011	13	147.30	77.54	203.00
2013	13	165.04	133.00	315.00
2013	13	176.00	137.00	326.00
2014	13	177.75	144.00	331.00
2015	12	141.33	104.00	170.00
2016	12	123.35	83.58	165.00
2017	12	128.71	106.00	164.00
2018	12	123.42	56.07	171.00
2019	12	118.22	81.08	150.00

Fuente: Suarez C. (2021).

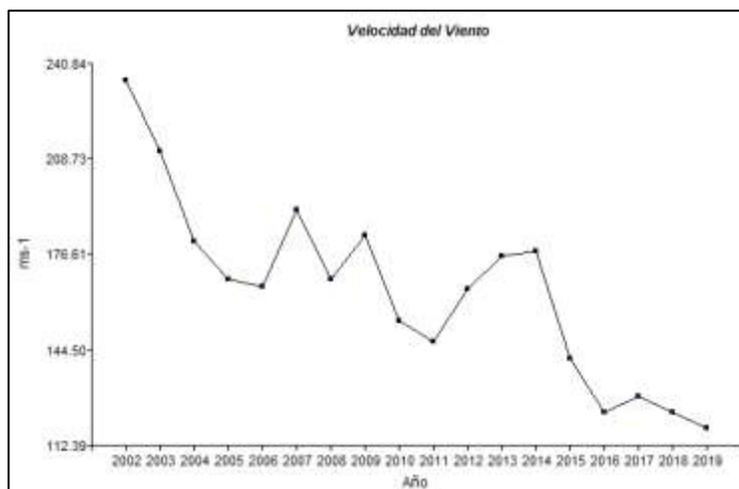
Gráfico 4. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019



Fuente: Suarez C, (2021)

De acuerdo al análisis clúster los años 2018 y 2016 presentan velocidades mensuales similares, seguidas por los años 2017 y 2019. Por otro lado; los años 2002 y 2003 presentan una similitud entre sí, pero en relación con los demás años se observa diferencias considerables respecto a los otros, puede ser causada por fenómenos meteorológicos que ocurrieron esos años.

Gráfico 5. Comportamiento de la velocidad del viento



Fuente: Suarez C. (2021).

El comportamiento de la velocidad del viento presente en el gráfico 5, refleja un decrecimiento durante todo el periodo, estas variaciones deben estar asociadas a las características de la cuenca, o de igual manera, por cambios naturales o antropológicos presente durante este tiempo.

Radiación Solar Onda Larga Mensual (w/m²)

En la Tabla 12, se evidencian los datos de Radiación solar Onda larga mensuales desde el año 2002 hasta el año 2019. Todos los años correspondientes a esta variable climática con una base de datos completa.

Tabla 12 Radiación solar Onda larga mensual por años.

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	364	369	371	383	382	379	373	374	370	368	373	359
2003	364	372	371	383	376	374	377	376	381	379	376	365
2004	361	360	375	381	381	373	376	376	38	381	378	365
2005	371	368	376	386	385	390	384	386	387	384	381	368
2006	370	369	383	387	385	384	385	38	384	389	38	376
2007	373	37	39	387	394	391	388	386	381	383	382	369
2008	368	372	368	381	390	383	385	382	382	380	378	366
2009	367	377	391	391	395	395	387	385	384	386	376	360
2010	345	376	381	400	401	396	394	390	393	387	386	369
2011	353	373	387	392	401	385	379	379	380	385	386	373
2012	368	360	396	398	393	376	379	383	383	390	368	360
2013	359	374	387	392	391	383	375	388	394	387	385	369
2014	367	381	384	399	393	385	379	383	392	395	384	371
2015	379	398	404	413	410	405	406	404	411	410	410	396
2016	383	385	395	416	416	396	399	398	396	399	397	375
2017	368	369	398	400	409	401	40	399	40	40	395	370
2018	380	386	398	417	417	405	401	398	406	412	403	361
2019	377	381	409	414	416	412	400	404	411	406	399	391

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 13, se observan las medidas de resumen de la radiación de Onda larga, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguido del promedio o la media que es aproximadamente de 403. w/m² el mayor registro en el año 2015. Así mismo, en el año 2018 se presenta la mayor radiación aproximada de 417 w/m² y finalmente en el año 2007 se registró el menor registro con 37 w/m² respectivamente.

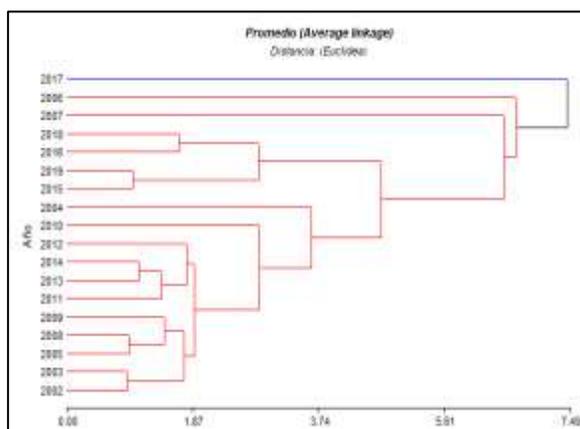
Tabla 13 Medidas de resumen de Radiación solar Onda larga

Medidas resumen				
Variable	n	Media	Min	Máx
2002	12	372.00	359.00	383.00
2003	12	374.50	364.00	383.00
2004	12	345.42	38.00	381.00
2005	12	380.50	368.00	390.00
2006	12	324.00	38.00	389.00
2007	12	325.83	37.00	394.00
2008	12	377.92	366.00	390.00
2009	12	382.83	360.00	395.00
2010	12	384.83	345.00	401.00
2011	12	381.08	353.00	401.00
2012	12	379.50	360.00	398.00
2013	12	382.00	359.00	394.00
2014	12	384.42	367.00	399.00
2015	12	403.83	379.00	413.00
2016	12	396.25	375.00	416.00
2017	12	302.42	40.00	409.00
2018	12	398.67	361.00	417.00
2019	12	401.67	377.00	416.00

Fuente: Suarez C. (2021).

El grafico 6 se muestra el clúster de la radiación solar de onda larga , analizadas por la distancia euclidiana , los años con similitud 2003 y 2002 , de igual manera , aunque no sean cercanamente similares se encuentra los años 2005 y 2008, 2015 y 2019 ; también, se observa que el 2013 y 2014 cuentan con características semejantes .Por otro parte, se observa anomalías en los años 2006, 2007, 2009 , 2011, 2014 2017 con respecto a los demás, se puede suponer que es por los patrones climatológicos que se presentan en el país.

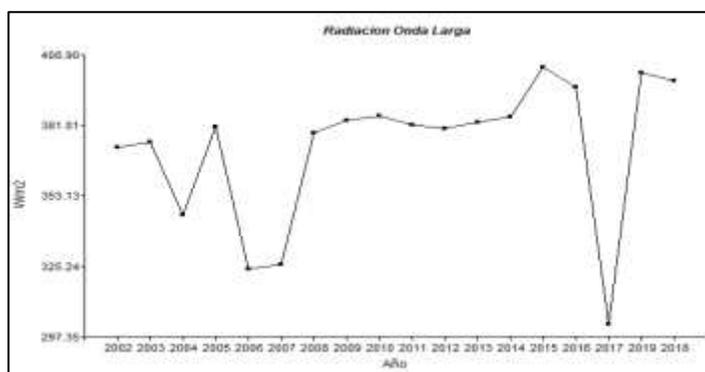
Gráfico 6. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019



Fuente: Suarez C. (2021).

De acuerdo, al gráfico 7 la radiación de onda larga presente en la zona de estudio ha tenido variaciones constantes, pero en los últimos años se observa que aumenta al pasar el tiempo, de manera que se puede derivar de los cambios o fenómenos ambientales que se están presentando en el medio.

Gráfico 7. Comportamiento R. Onda larga



Fuente: Suarez C. (2021).

Radiación Solar Onda Corta Mensual (w/m2)

En la Tabla 14, se evidencian los datos de Radiación solar Onda corta mensuales desde el año 2002 hasta el año 2019. Todos los años correspondientes a esta variable climática tiene la información completa.

Tabla 14. Radiación solar Onda Corta mensual por año

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	203	206	217	153	159	216	206	212	23	223	202	225
2003	228	231	239	194	22	206	221	226	21	194	191	201
2004	218	253	243	177	192	213	210	224	201	201	19	20
2005	193	211	242	174	193	196	211	20	209	200	183	204
2006	191	234	188	161	195	203	202	214	227	199	20	198
2007	21	238	18	205	190	187	21	194	232	20	196	197
2008	199	207	225	208	170	194	198	213	232	225	195	206
2009	212	204	174	192	170	167	194	226	244	203	214	209
2010	259	224	222	176	17	177	169	223	199	205	166	20
2011	229	19	173	185	164	216	240	257	230	202	183	205
2012	199	231	153	170	189	231	223	22	22	189	226	211
2013	214	205	198	200	200	205	229	199	190	191	180	195
2014	195	194	210	171	198	188	216	208	198	167	184	19
2015	193	194	187	167	198	198	201	212	201	195	170	178
2016	232	251	245	192	184	208	214	230	227	226	206	211
2017	229	262	191	224	196	202	214	2	215	203	213	23
2018	214	210	218	17	179	196	224	239	215	202	187	251
2019	226	246	197	202	190	187	225	229	217	204	197	197

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 15, se observan las medidas de resumen de radiación Onda Corta, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguido del promedio o la media que es aproximadamente de 218.83 w/m² el mayor registrada en el año 2016. En el año 2017 se presenta la mayor radiación aproximada de 262 w/m² y finalmente en el año 2007 se registró el menor registro con 18 w/m² respectivamente.

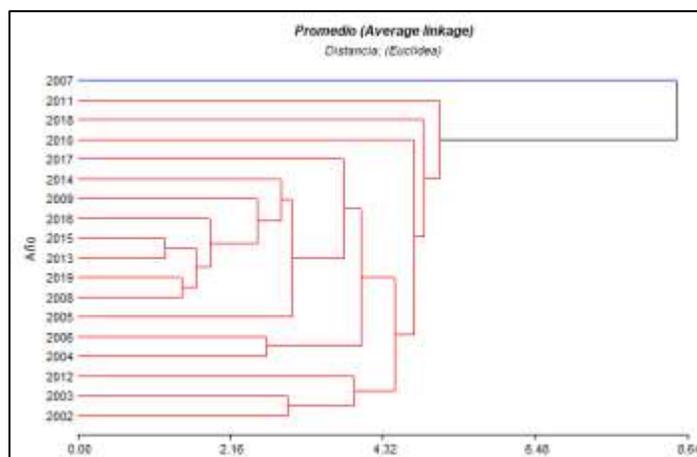
Tabla 15 Medidas de resumen de Ronda Corta

Medidas resumen				
Variable	n	Media	Min	Máx
2002	12	187.08	23.00	235.00
2003	12	197.58	21.00	239.00
2004	12	310.50	177.00	353.00
2005	12	186.33	20.00	242.00
2006	12	186.00	20.00	234.00
2007	12	158.75	18.00	238.00
2008	12	206.00	170.00	232.00
2009	12	200.75	167.00	244.00
2010	12	199.00	166.00	259.00
2011	12	191.92	19.00	257.00
2012	12	172.17	22.00	231.00
2013	12	200.50	180.00	229.00
2014	12	192.92	167.00	216.00
2015	12	191.17	167.00	212.00
2016	12	218.83	184.00	251.00
2017	12	218.17	191.00	262.00
2018	12	209.17	175.00	251.00
2019	12	209.75	187.00	246.00

Fuente: Suarez C. (2021).

En el grafico 8, se identifica de acuerdo al análisis clúster los años 2013 y 2015 presentan radiaciones bastante similares, aunque no son del todo iguales la similaridad los años 2008 y 2019 son significativos y se pueden comparar entre sí. Por otro lado, en el año 2007 tiene un comportamiento más anormal en relación a los demás años puesto que fue el que menor radiación de onda corta que registro en los dieciocho años de los cuales se tiene registro.

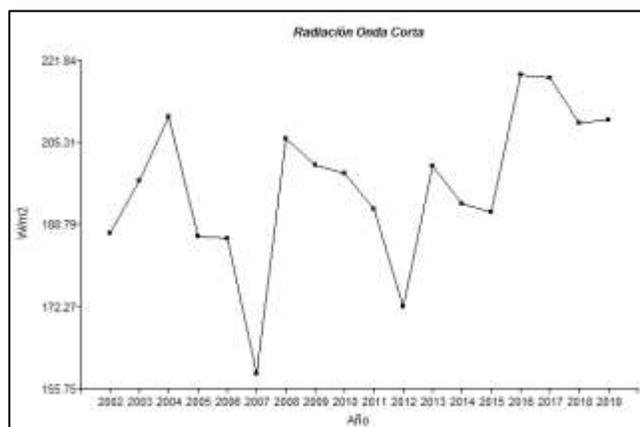
Gráfico 8. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019



Fuente: Suarez C. (2021).

La radiación de onda corta de la zona de estudio se encuentra representada en el grafico 15 mostrando un periodo de tiempo de 18 años; De los cuales, se evidencia que es una variable con fluctuaciones permanente, Pero en los últimos años se observa un aumento de manera considerada se deduce que son por los cambios climáticos (Grafico 9)

Gráfico 9. Comportamiento R. Onda Corta



Fuente: Suarez C. (2021).

Humedad Relativa (%)

En la Tabla 16, se evidencian los datos de Humedad mensuales desde el año 2002 hasta el año 2019. Los años comprendidos entre 2002 al 2019, excepto el año 2014 la base de datos está incompleta los cuales fueron imputados para conseguir mejores resultados.

Tabla 16.Humedad Relativa Mensual

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	55,24	50,37	58,54	60,89	60,83	56,71	65,62	64,47	60	58	63	61,5
2003	53	58	55	59	63	59	61	60	60	63	67,75	67
2004	60	58,25	59	59	64	62	62	61	61	63	66	64
2005	64	61	53,5	60	62	63,69	59	57	61	62	67	64
2006	51,83	58	61	60	61	61	63	60	59	63	63	64
2007	60	53	58	58	60	63,69	61	60	60	62	67	66,25
2008	63	64	58	57	59	62	58	59,5	60	63	66	65
2009	65	61	60	62,5	57,25	59,75	61	61	58	61	61	59
2010	53	52	55	58	61	63	62	58	62	62	66,25	66
2011	59	63	60	59	62	58	61,25	59	58	60	63	64,75
2012	65,5	59	58	58	60	59	59	60	57	60	66	62
2013	62	65	61	59	60	62	59	60,75	59	67,53	66	64
2014	62	61	59	58	60	63	61	59	57	62	66	62
2015	58	58	61,25	59	59	64	64	60	55,75	60	64	61
2016	58	47,39	58	63	66,25	62	57	56	57,5	61,25	67	66
2017	48,94	58	63	58,5	64	64	62	62	60,75	60	63,25	63
2018	63	61	57	58	60	63	64	62	63,42	64	66	68,31
2019	63	56	62	64	62	81,09	67,25	60	60	61	65	65
2020	61	58	60,25	58	56	60	64,04	62,74	60,18	62,53	62,3	55,42

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 17, se observan las medidas de Humedad, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguido del promedio o la media que es aproximadamente de 63,86 % el mayor registrada en el año 2019. De igual manera, en el año 2019 se presenta la mayor humedad aproximada de 81.09 % y finalmente en el año 2016 se registró el menor registro de 47.39 % respectivamente.

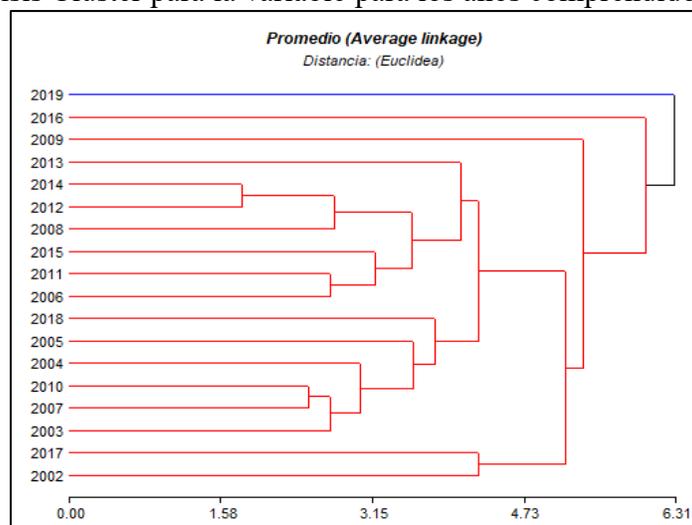
Tabla 17. Medidas de resumen de la Humedad

Variable	n	Media	Min	Max
2002	12	59.85	52.00	66.25
2003	12	60.48	53.00	67.75
2004	12	61.60	58.25	66.00
2005	12	61.18	53.50	67.00
2006	12	60.40	51.83	64.00
2007	12	60.75	53.00	67.00
2008	12	61.21	57.00	66.00
2009	12	60.54	57.25	65.00
2010	12	59.85	52.00	66.25
2011	12	60.58	58.00	64.75
2012	12	60.29	57.00	66.00
2013	12	62.11	59.00	67.53
2014	12	60.83	57.00	66.00
2015	12	60.33	55.75	64.00
2016	12	59.55	47.39	67.00
2017	12	60.62	48.94	64.00
2018	12	62.48	57.00	68.31
2019	12	63.86	56.00	81.09

Fuente: Suarez C. (2021).

El grafico 10, muestra que los años 2012 y 2014 presentan humedad mensual similares, seguidas por los años 2010 y 2007. Por otro parte, se presentaron varios años anormales como se observa en la gráfica (2003-2005, 2008-2009, 2015-2016, 2018-2019), pudiesen ser causados por los fenómenos atmosféricos que se presentaron en la región.

Gráfico 10. Análisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019

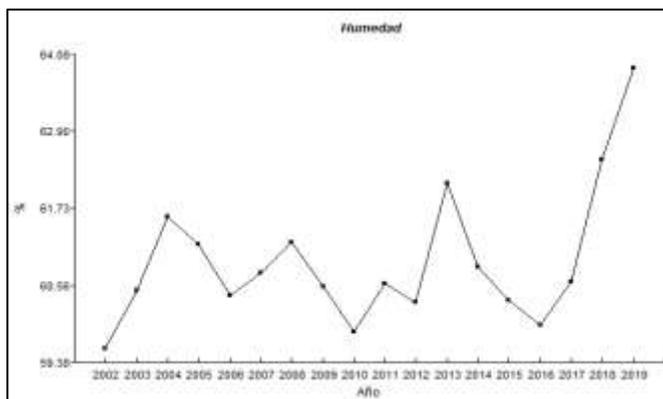


Fuente: Suarez C. (2021).

El comportamiento de la humedad se evidencia en el grafico 11, mostrando de manera particular su aumento durante el tiempo, lo cual se puede asociarse a los cambios de variables

que son inversamente y directamente proporcionales a esta, que están en aumento por variación climática.

Gráfico 11. Comportamiento de la Humedad



Fuente: Suarez C, (2021).

Precipitación Total Mensual (mm)

En la Tabla 18, se representan los datos de precipitación mensuales desde el año 2002 hasta el año 2019. Todos los años correspondientes a esta variable climática tiene la información completa.

Tabla 18. Precipitación Total Mensual por año

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	683	376	184	230	30	286	187	145	210	20	131	87
2003	372	671	138	212	166	256	254	161	223	273	246	137
2004	57	56	116	240	317	315	21	267	317	261	212	128
2005	142	123	542	180	274	222	188	141	194	275	254	836
2006	116	719	163	239	297	221	225	223	225	288	150	104
2007	556	881	143	158	228	238	202	303	238	282	151	107
2008	757	923	106	186	322	239	194	273	172	322	258	147
2009	63	118	165	214	260	203	200	171	196	176	152	636
2010	256	514	793	180	286	242	220	214	281	321	292	25
2011	136	14	105	279	351	249	20	18	193	221	26	198
2012	539	40	132	271	264	222	192	197	18	318	147	108
2013	461	115	112	20	299	261	177	170	160	144	186	952
2014	338	961	781	132	17	166	224	153	143	188	178	672

2015	462	110	954	13	109	169	211	779	149	123	177	714
2016	360	452	650	185	146	17	15	124	141	159	232	100
2017	458	766	138	146	146	146	13	194	141	202	151	58
2018	432	209	138	159	165	160	149	129	153	252	106	493
2019	526	387	905	135	169	140	109	123	157	153	115	76

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 19, se observan las medidas de precipitación, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguido del promedio o la media que es aproximadamente de 342.42 mm el mayor registrada en el año 2014. De igual manera, en el año 2014 se presenta la mayor humedad aproximada de 961 mm y finalmente en el año 2017 se registró el menor registro de 13 mm respectivamente.

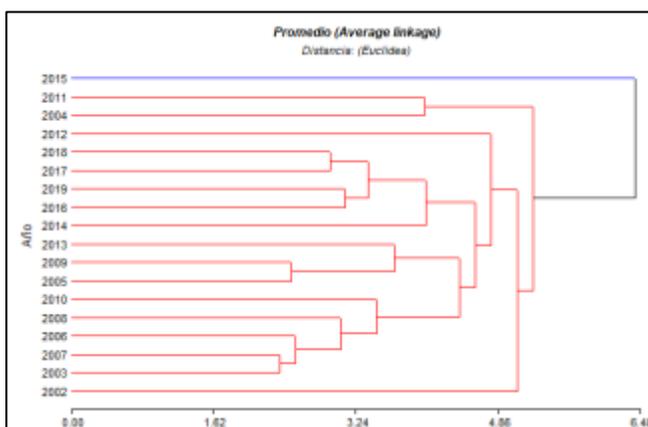
Tabla 19. Medidas de resumen de Precipitación

Medidas resumen				
Variable	n	Media	Mín	Máx
2002	12	251.25	87.00	683.00
2003	12	259.08	137.00	671.00
2004	12	152.25	21.00	317.00
2005	12	280.92	123.00	836.00
2006	12	247.50	104.00	719.00
2007	13	390.58	107.00	881.00
2008	13	324.93	106.00	833.00
2009	13	313.83	63.00	636.00
2010	13	303.00	25.00	783.00
2011	12	183.33	14.00	351.00
2012	12	234.17	18.00	539.00
2013	12	269.92	112.00	952.00
2014	12	342.42	132.00	961.00
2015	12	340.75	109.00	951.00
2016	12	215.08	15.00	650.00
2017	12	213.25	13.00	766.00
2018	13	313.08	106.00	493.00
2019	13	349.58	76.00	905.00

Fuente: Suarez C. (2021).

La Grafica 12, muestra la disimilaridad entre los comportamientos de las variables las cuales tienen con los registros completos. Los años con mayor similitud corresponden a 2003 y 2007, seguidos de 2009 y 2005. Los años con comportamiento anormal en la precipitación, corresponden al periodo 2002, 2012 y 2015 estos no se relacionan con ningún otro año lo que indica que se comportó con anomalía.

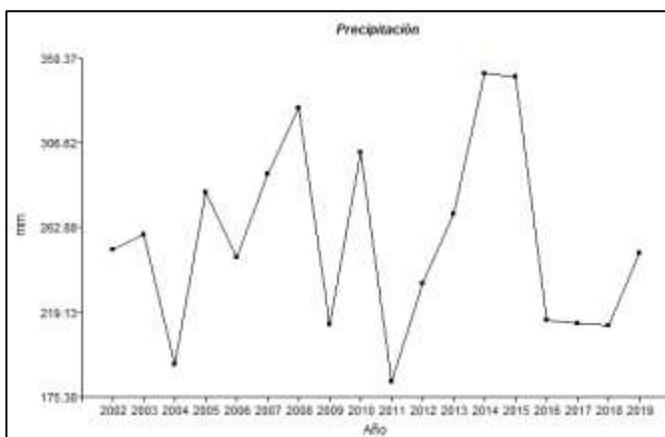
Gráfico 12. Análisis Clúster para la variable años comprendidos entre 2002-2019



Fuente: Suarez C. (2021).

El comportamiento de la precipitación de la quebrada puede estar asociada al régimen bimodal que se presenta en la región andina, Por ende; se asume que se ve refleja de esta manera, y según Arango; Dorado, Guzmán; Ruiz, J. F. En la región las lluvias son relativamente escasas (hasta 500 mm).

Gráfico 13. Comportamiento Precipitaciones



Fuente: Suarez C. (2021).

Evaporación Total Mensual (w/m²)

En la Tabla 20, se muestra los datos de evaporación mensuales desde el año 2002 hasta el año 2019. Todos los años correspondientes a esta variable climática tiene la información completa.

Tabla 20. Evaporación total mensual por año.

	Ene	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
2002	171	167	157	93	98	127	140	133	131	120	127	164
2003	188	189	169	112	120	108	134	121	106	96	105	119
2004	138	199	186	101	105	128	124	130	83	98	102	129
2005	113	137	200	96	88	104	138	133	139	125	115	160
2006	139	191	138	100	120	131	130	143	157	123	139	152
2007	173	221	153	157	116	131	150	134	149	122	132	128
2008	144	150	167	147	104	122	118	133	149	140	119	140
2009	151	148	119	134	102	102	126	157	169	132	140	159
2010	218	193	179	120	108	104	99	131	117	123	99	137
2011	169	137	110	109	69	114	141	151	153	112	113	136
2012	158	202	107	102	109	155	146	148	157	128	173	156
2013	166	156	161	135	119	139	169	151	153	155	134	149
2014	168	149	171	124	124	133	149	164	163	121	136	150
2015	170	151	155	133	159	174	168	194	188	168	129	140
2016	186	175	194	143	135	177	186	209	194	169	141	151
2017	150	184	123	156	149	167	189	206	186	169	160	175
2018	157	132	151	120	118	158	187	214	184	156	145	175
2019	167	173	136	147	150	133	157	170	156	134	129	140

Fuente: Suarez C. (2021).

En la tabla 21, se observan las medidas de evaporación, las dos primeras columnas son cada uno de los años con el n de meses correspondiente al registro, seguido del promedio o la media que es aproximadamente de 171.67 w/m² el mayor registrada en el año 2016. En el año 2007 se presenta la mayor evaporación d aproximada de 221 w/m² y finalmente en el año 2011 se registró el menor registro de 69 w/m² respectivamente.

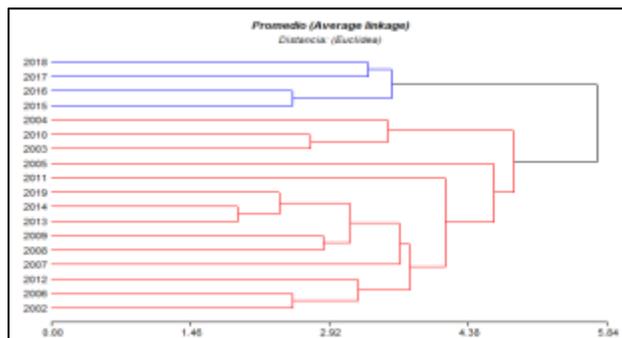
Tabla 21. Medidas de resumen de la Evaporación.

Medidas resumen				
Variable	n	Media	Mín	Máx
2002	12	135.67	93.00	171.00
2003	12	130.58	96.00	189.00
2004	12	126.92	83.00	199.00
2005	12	129.00	88.00	200.00
2006	12	138.58	100.00	191.00
2007	12	147.17	116.00	221.00
2008	12	136.08	104.00	167.00
2009	12	136.58	102.00	169.00
2010	12	135.67	99.00	218.00
2011	12	126.17	69.00	169.00
2012	12	145.08	102.00	202.00
2013	12	148.92	119.00	169.00
2014	12	146.00	121.00	171.00
2015	12	160.75	129.00	194.00
2016	12	171.67	135.00	209.00
2017	12	167.83	123.00	206.00
2018	12	158.08	118.00	214.00
2019	12	149.33	129.00	173.00

Fuente: Suarez C. (2021).

El grafico 14, evidencia que los años 2013 y 2014 presentan similitud en la evaporación que se presenta en la zona de estudio. Los años 2015-2018 presentan un comportamiento anormal junto con los años 2004, 2005, 2007 y 2011 que no se agrupan con ningún otro año.

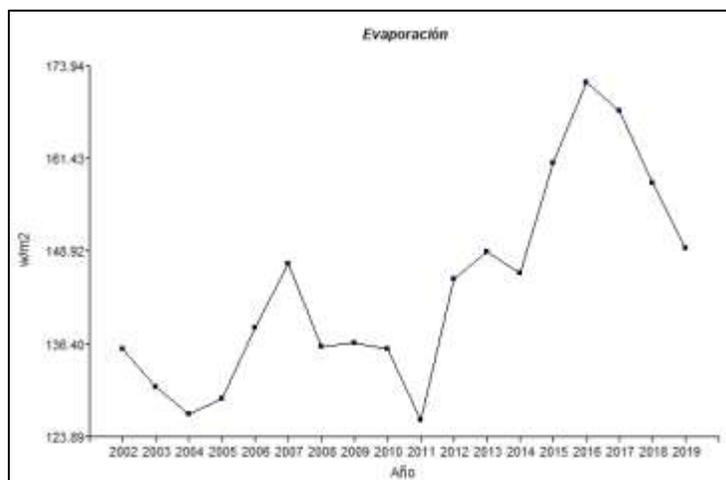
Gráfico 14. Analisis Clúster para la variable para los años comprendidos entre 2002-2019



Fuente: Suarez C. (2021).

De acuerdo, al grafico 15 la zona de estudio ha presentado variaciones significativas, como el aumento que ha tenido los últimos años, que pueden estar asociados a cambios climáticos que se están presentando en el medio.

Gráfico 15. Comportamiento Evaporación.



Fuente: Suarez C, (2021).

6. Características físico-morfométricas, y uso del suelo.

La caracterización físico-morfométricas de la microcuenca Galindo, permite identificar y conocer como está actualmente, asociando cada uno de los índices y parámetros para determinar su estado hidrológico.

Tabla 22. Parámetros físicos de la zona de estudio

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Área de la cuenca (Ac)	Km ²	2,66
Ancho de la cuenca (W)	Km	1,80
Perímetro de la cuenca (P)	Km	7,13
Longitud recta de la cuenca	Km	2,58

Fuente: Suarez C (2021)

La quebrada Galindo cuenta con un área 2.66 Km², lo que permite clasificarse como una Microcuenca Según Campo (1992) por ser menor a 25 Km², tiene un perímetro de 7,13 Km, el ancho 1,80 km y la longitud recta de 2,58 Km (Tabla 22) estos parámetros no indican nada, pero son fundamentales para el cálculo de otros parámetros de forma de la cuenca.

En la Tabla 23 se establece que la quebrada presenta una forma moderadamente achatada según Horton (1945), tiene tendencia a ocurrencia de avenidas, de igual manera el índice de Gravelius la clasifica como redonda a oval redonda y el índice de alargamiento según Pérez (2018) es poco alargada. El coeficiente de masividad indica que esta es montañosa y por acercarse a la unidad el índice de compacidad infieren que la zona en estudio tendiente a concentrar fuertes volúmenes de aguas escorrentía siendo uno de los factores detonantes ante los fenómenos de inestabilidad que se encuentran dentro de la cuenca en estudio (Gutiérrez y Parrales, 2017) y además es de orden (4).

Tabla 23. Parámetros de forma de la cuenca

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Índice de compacidad (Kc)	Adimensional	1,22
Factor forma (Kf)	Adimensional	0,40
Índice de alargamiento (Ia)	Adimensional	1,44
Coefficiente masividad (cm)	Adimensional	693,78
Relación de Bifurcación (Rb)	Adimensional	1,84
Coefficiente Orográfico (Co)	Adimensional	1,28
Coefficiente Torrencialidad (Ct)	Adimensional	28,16
Orden	----	4

Fuente: Suarez C. (2021)

De igual manera, la bifurcación es menor que 3, permitiendo clasificar la una microcuenca homogénea, así mismo a mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la Torrencialidad de la cuenca será mayor (Camino,Bo,Cionchi,Lopez,Del Rio ,Del Marco,2018) .

Tabla 24. Longitud y orden de la red Hídrica

Orden	longitud hídrica (Km)	Número de veces (Nu)	Rb
1	6.336028	75	
2	3.978838	39	1.9
3	2.531425	15	2.6
4	1.650062	15	1
Total	14,49635	144	1,84

Fuente: Suarez C. (2021)

El valor obtenido de pendiente media del cauce es de 0,38 m/m el cual se relaciona con los fenómenos de infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y con la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces (Campos, 1992), Además, según Méndez, Pacheco, Cartaya, Marcano, León (2015) tener una pendiente de este valor se espera que se presente un sistema emplazado en un sector montañoso, indicando la predominancia de procesos erosivos en la parte alta montañosa del sistema, y de transporte de sedimentos y depositación en su parte baja (Tabla 25).

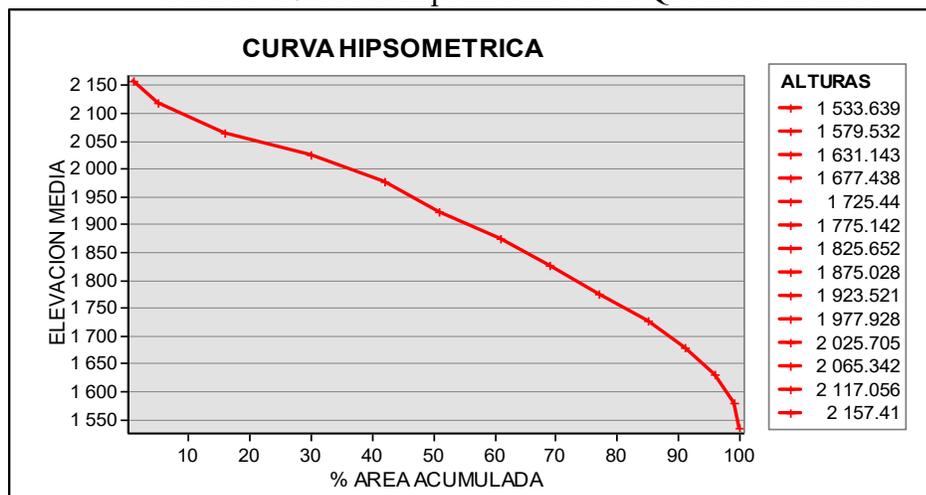
Tabla 8. Características del Relieve

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Pendiente de la cuenca	%	45
Altura Máxima	m	2157,41
Altura Mínima	m	1533,639
Altura media	m	1850

Fuente: Suarez C.(2021)

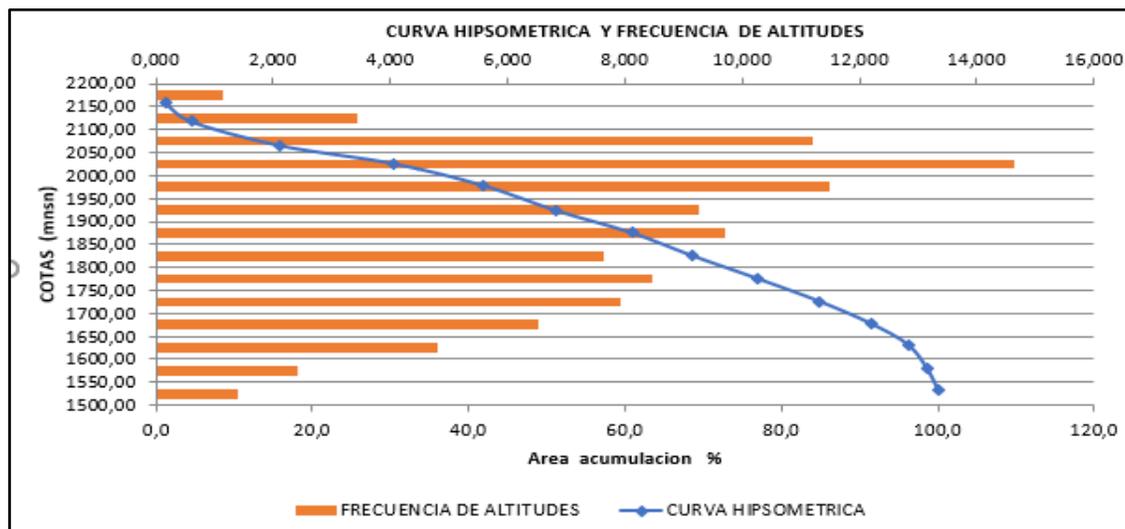
La curva hipsometría (Grafico 16) es un parámetro adimensional, esta representa la zona de estudio de la quebrada Galindo la cual refleja una de fase de juventud o de desequilibrio según Strahler (1964), es una microcuenca con alto potencial erosivo. Así mismo se evidencia en la grafico 17 que la altitud más frecuente es 2025 que equivale a un área de 14.64%.

Gráfico 16. Curva Hipsométrica de la Quebrada Galindo



Fuente: Suarez C.(2021)

Gráfico 17. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes Microcuenca Galindo



Fuente: Suarez C 2021

La microcuenca es exorreica esta nace a una altura de 2150 msnm y desemboca a 1550 msnm, tiene una longitud del cauce principal de 2,7 Km . De igual manera, es una cuenca bien drenada con un valor de 5,44 km-1; que de acuerdo Camino, Bo, Cionchi, López, Del Rio, Del Marco (2018) a mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad. Por último, presenta un tiempo de concentración de 8,41 min.

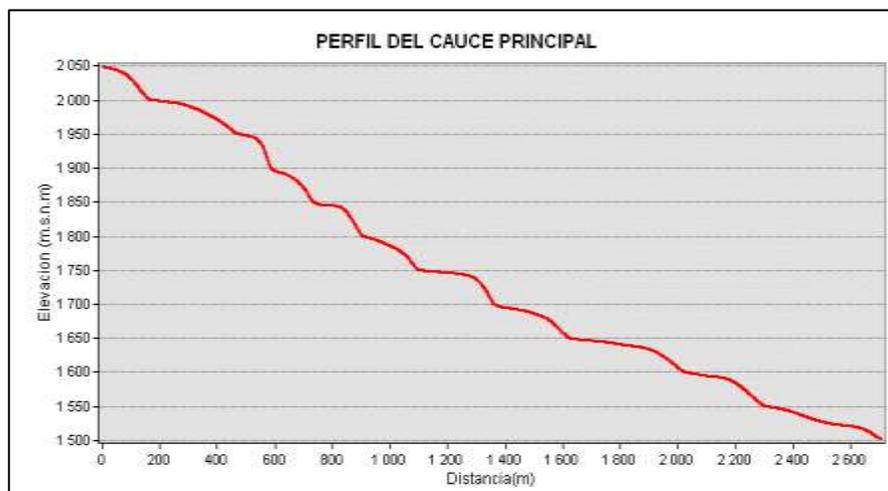
Tabla 9. Características del Sistema de Drenaje

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Longitud del cauce principal	Km	2,70
Cota de nacimiento	msnm	2150
Cota con la confluencia	msnm	1550
Densidad de drenaje	Km-1	5,44
Pendiente media del cauce	%	38
Tiempo de concentración Kirpich	(min)	8,41
Clasificación final de las aguas	Exorreica	

Fuente: Suarez C.2021

En el grafico 18 se observa la variación que presenta el perfil, según (Keesstra et al., 2005; Liu et al., 2015; Zhang et al., 2014) esto se da por la erosión y los tipos de usos del suelo que lo conforman, determinando las formas del relieve que afectarán al perfil longitudinal fluvial.

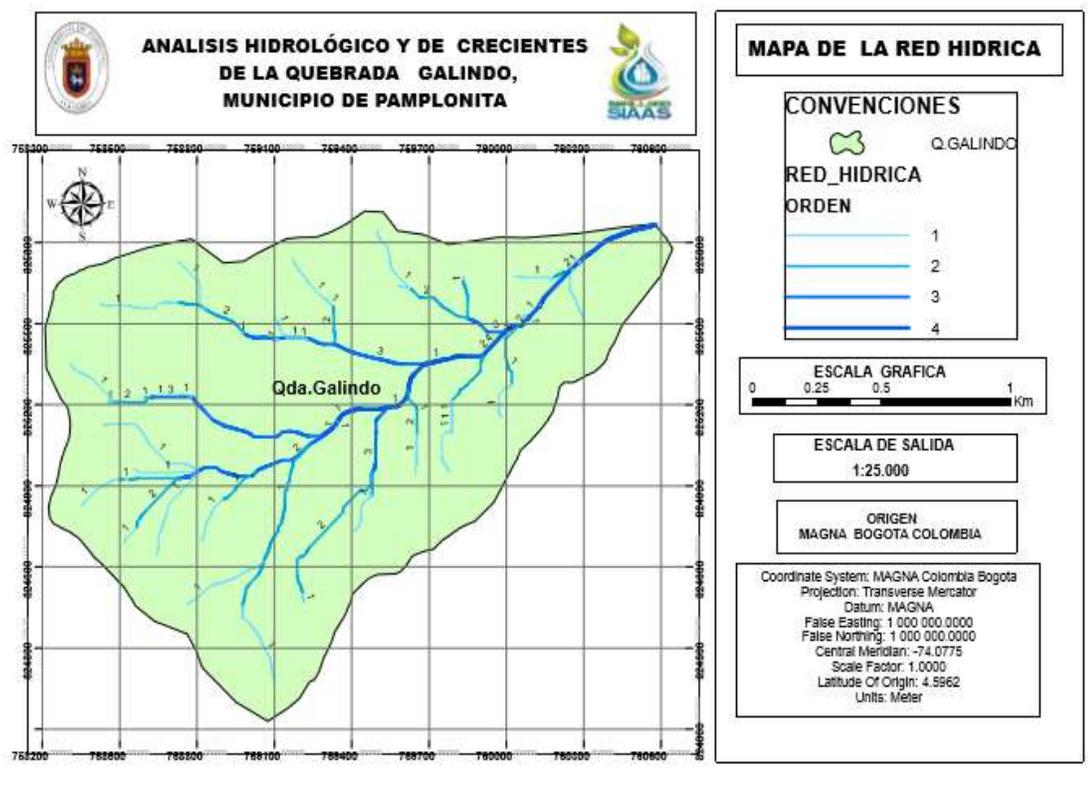
Gráfico 18. Perfil del cauce principal de la Microcuenca Galindo



Fuente: Suarez C.2021

En el Mapa 4 se observa que la microcuenca Galindo tiene un grado de ramificación o un orden en cauce principal de orden 4, según Garzón y Rodríguez (2012) indica que a mayor número de grado de ordenes mayor control estructural, mayor energía y por ende mayor erosión.

Mapa 4. Orden red hídrica Microcuenca Galindo

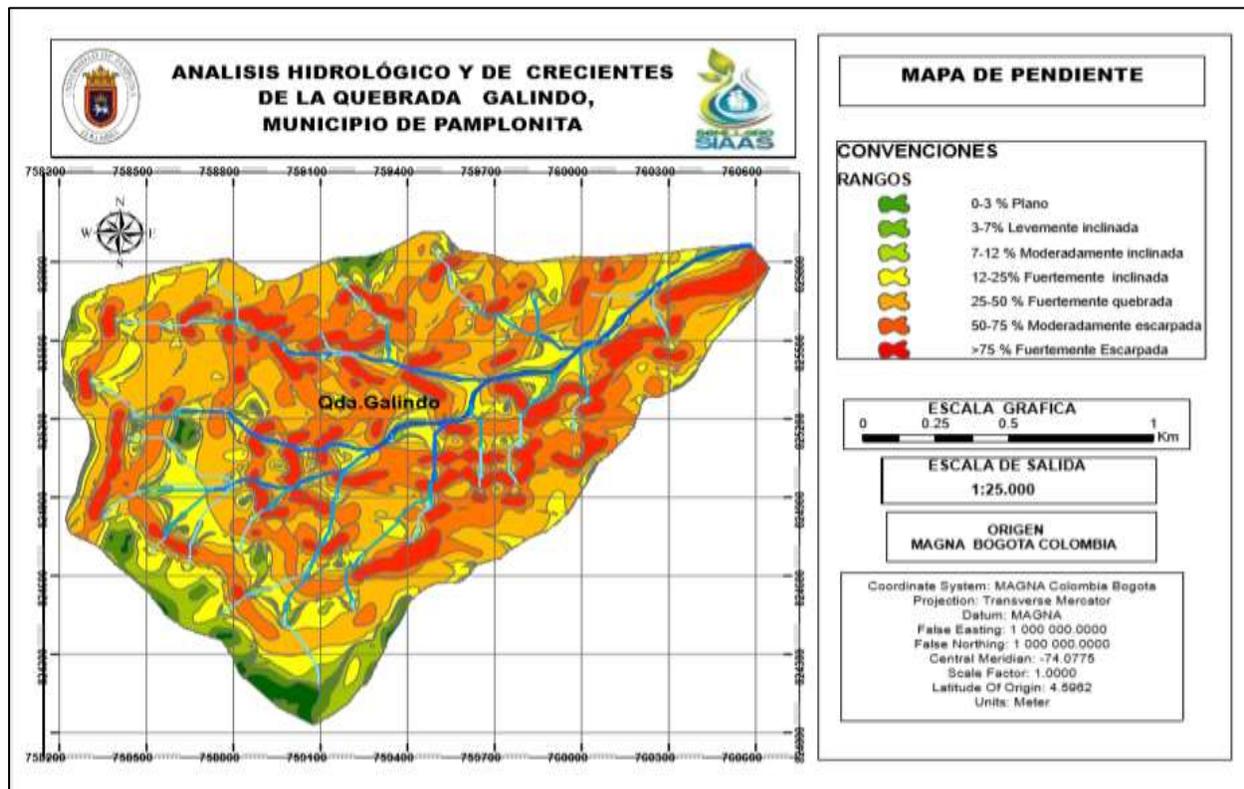


Fuente: Suarez C 2021

En el mapa 5 se observa las pendientes, el rango de mayor frecuencia es 25-50% y 50-75% que corresponden aproximadamente al 58.26 % del territorio de la microcuenca Galindo, determinado estos valores se puede inferir que la distribución de estas pendientes según la Resolución No. 2965 de 1995 imitada por el IGAC es un relieve fuertemente quebrado y Escarpado; Tierras con diferentes formas e inclinaciones con pendientes largas. Los rangos de 0-3 y 3-7 % correspondientes tierras ligeramente onduladas, se concentran en la zona sur occidente del territorio, y los rangos de 7 – 12% y 12-25% son terrenos fuertemente ondulados, ligeramente planos o redondeados y pendientes cortas. El rango con mayor pendiente superior a 75% con un 13,39 % del área

del a microcuenca constituye a un relieve muy escarpado compuesta por pendientes largas.

Mapa 5. Pendientes de la Microcuenca Galindo



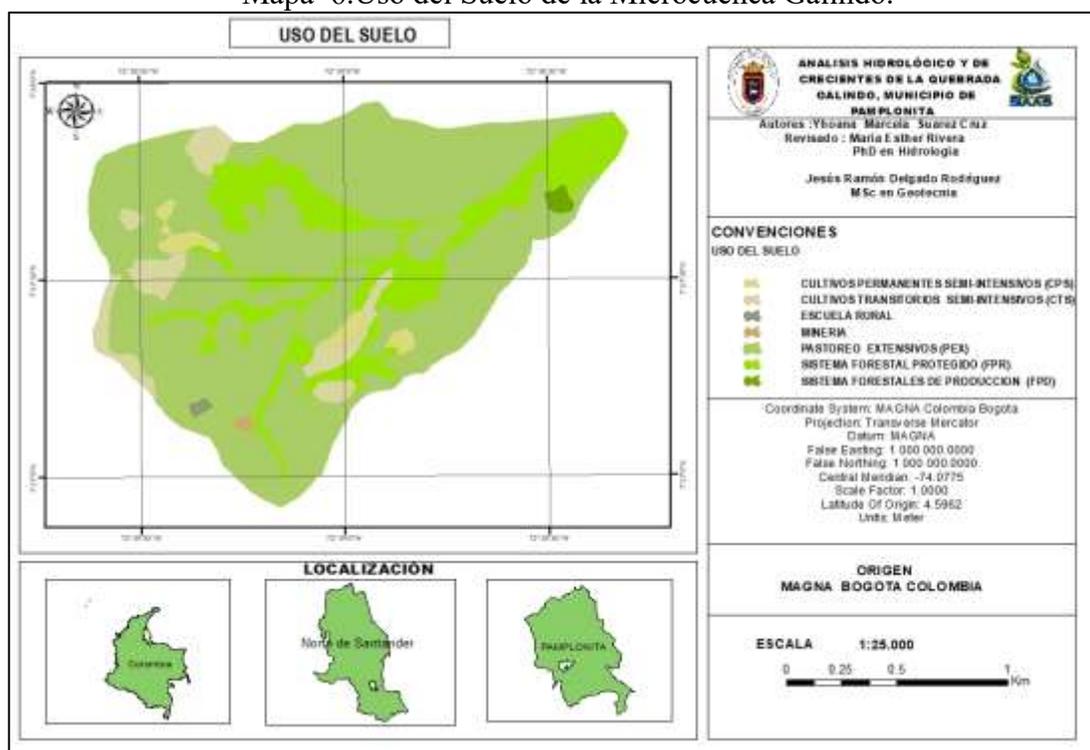
Fuente: Suarez C.(2021)

Uso Del Suelo

Según la identificación en campo, la microcuenca está constituida aproximadamente por el 64% de la superficie de pastoreo extensivo (Ver fotografía 9), espacio de amplio terreno con diferentes clases de pastos que permiten la crianza de animales como el ganado de ordeño y de ceba. El 25% es el sistema forestal protegido (Ver fotografía 10) está compuesta por árboles, arbustos y maleza que se presentan en mayor medida en el cauce principal. El 10 % del área

son cultivos permanentes semi-intensivos y transitorio semi-intensivos ocupando 6 ha y 18 ha encontrándose alrededor de sus viviendas algunos de estos son caña, café, maíz, yuca y arveja (Ver fotografía 13).y en menor medida con el 1% el sistema forestal productivo el cultivo de Pino ubicada en la parte derecha de la desembocadura de la quebrada (Ver fotografía 11); por último, está el tejido urbano (escuela rural de Llano grande) y la zona de minería ubicadas en la parte superior (Ver fotografía 14), de igual manera en el grafico 19 y el mapa 6 se observa las proporciones que anteriormente se mencionaron.

Mapa 6. Uso del Suelo de la Microcuenca Galindo.



Fuente: Suarez C (2021)



Fotografía 10: Pastoreo Extensivo



Fotografía 11. Sistema forestal protegido productivo

Fotografía 12: Sistema forestal

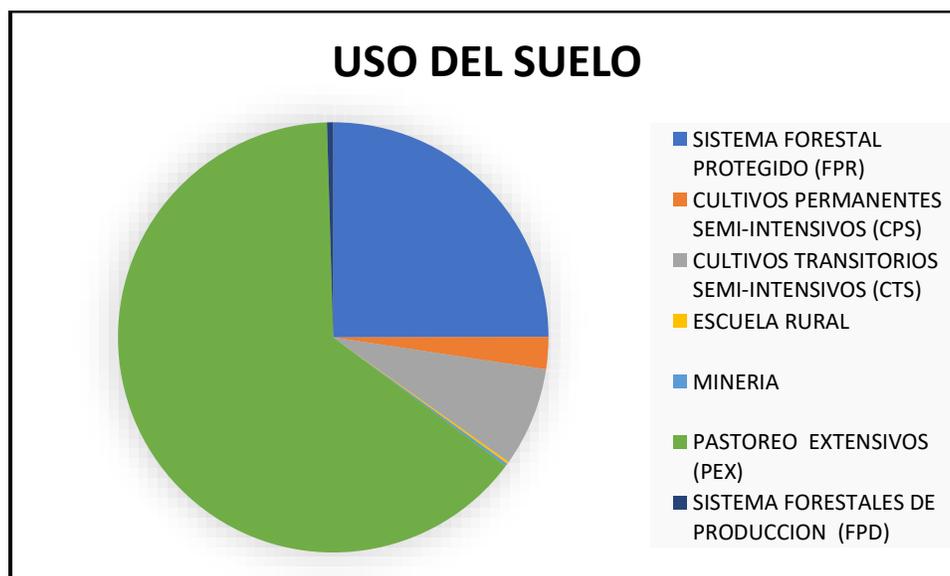


Fotografía 13. Cultivos Transitorios y Permanentes



Fotografía 14. Escuela Rural Llano Grande y Mina de Arena

Gráfico 19. Porcentaje del uso del suelo de Q. Galindo

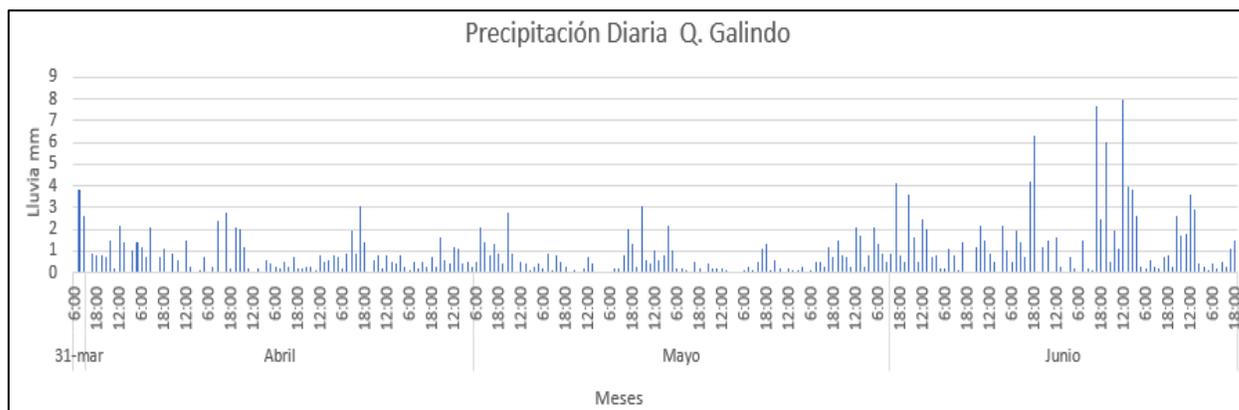


Fuente: Suarez C. (2021).

Análisis Hidrológico

Se realizó el análisis al parámetro de precipitación diaria a través de la *aplicación Windy versión 2.5* es una herramienta que permite visualizar el pronóstico del tiempo las 24 horas del día. Por ende, se realiza la toma de datos a las 6 am, 12 pm y 6 pm a partir del día 31 de marzo 2020 hasta 30 de junio de 2020.

Gráfico 20. Precipitación Diaria.



Fuente: Suarez C. (2021)

De acuerdo al gráfico 20 anterior, la distribución de las precipitaciones es asimétrica en los tres meses. La mayor variación se encuentra en el mes de junio, manifestándose precipitaciones máximas de 8 mm, según el canal del clima (2015) quien hace pronósticos, afirma que esto se da por el paso de Ondas Tropicales del Este generando inestabilidad atmosférica en gran parte de las regiones Pacífica, Andina, ocasionando lluvias moderadas a fuertes y tormentas en Guainía, Vichada, Meta, Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander. De igual manera; la predicción climática generada por el IDEAM se basa en el análisis de modelos procedentes de los centros internacionales y de la discusión nacional del Comité de Predicción Climática, aprecian que junio es el mes de transición entre la primera temporada de precipitaciones y la segunda temporada de menos lluvias del año, especialmente en la región Andina, donde típicamente se presentan disminuciones en las precipitaciones en diversos sectores.

6.4 Calculo del caudal máximo de creciente por el método racional

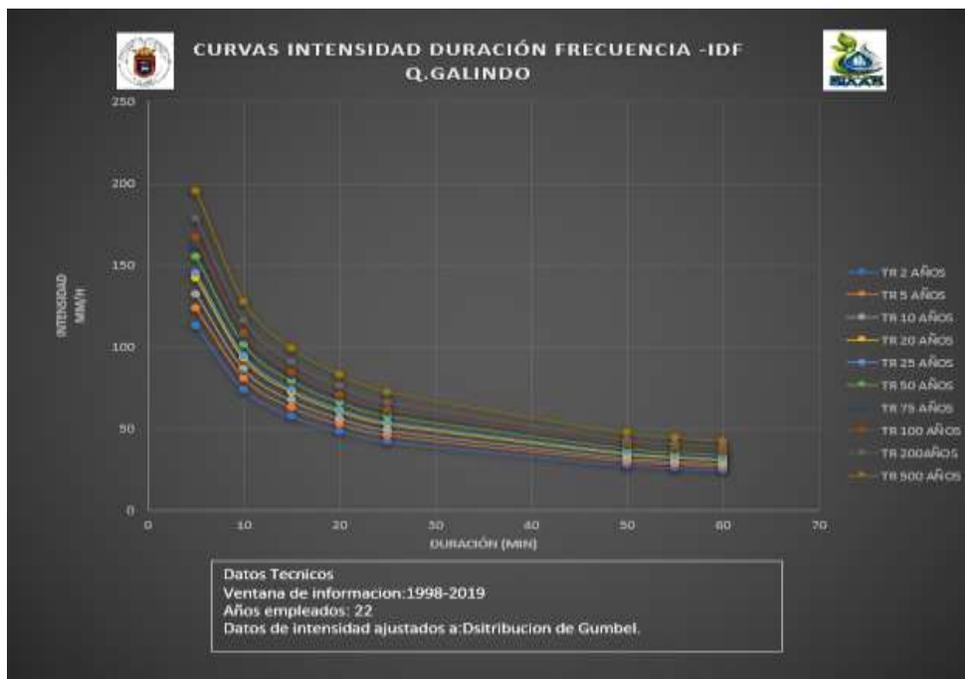
Curvas IDF

Para la elaboración de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) se tomó de la serie de datos de 1998-2019 obtenidos de la plataforma Nasa Giovanni. Se utilizó el método de Precipitación Máxima Probable, mediante el uso de regresión potencial se obtuvo el coeficiente de regresión $R^2=0.9994$ y los coeficientes a (283,92), B (0,099) y C (0,6163), obtenidas estas constantes se finaliza la construcción de estas.

Mediante la ecuación 12 se obtienen los valores de la intensidad para las distintas duraciones, se graficó los datos de intensidad obteniendo los puntos de curva asociados a

cada periodo de retorno; 5, 10, 25, 50, 60 y 100 año. De esa forma se presenta el Figura 5 la relación entre la intensidad, duración y la frecuencia del evento de precipitación.

Gráfico 21. Curvas IDF para la Microcuenca Galindo



Fuente: Suarez C. (2021)

En el grafico 21 se observa que en un periodo de retorno de 2 años, las intensidades varían desde 112,80 mm/min en 5 min, 24,39 mm/h para 1 hora (60 min) hasta de 10,37mm/h en 4 horas (240 min) , de manera que a mayor duración menor será la intensidad. Cabe aclarar que las curvas IDF generadas son representativas para el área de estudio, es decir, la microcuenca Galindo.

Gráfico 22. Precipitación Máxima Mensual



Fuente: Suarez C. (2021)

En gráfico 22, se observa las precipitaciones que se han presentado durante el lapso de tiempo de 22 años, De acuerdo a esto, en el año 2000 se registró la máxima precipitación con un valor de 86 mm, seguido en el año 2005 y el 2010 con un valor de precipitación 90 mm fecha en la que se generaron crecientes torrenciales y deslizamientos en el municipio.

Cálculo del tiempo de concentración (tc)

En la Tabla 27, se observan los resultados del cálculo del tiempo de concentración (tc) por cada uno de los métodos mencionados anteriormente, de esta manera se calculó un promedio ponderado, obteniéndose así un tiempo de concentración de 17.4 minutos.

Tabla 10. Cálculo del tiempo de concentración

MÉTODO	TC (HORAS)	TC (MIN)
KIRPICH	0,1403	8,4189
GRANDDATTI	0,4500	27,003
CALIFORNIANA	0,1403	8,4189
SCS-RANSER	0,1024	6,1459
TEMEZ	0,2190	13,144
V.T CHOW	0,1800	10,803
CLARK	0,7983	47,902
	Tc Promedio	17,4

Fuente: Suarez C ,2021

Periodo de retorno

Según Ponce (2008), como el área es pequeña, la descarga pico es también pequeña. Por lo tanto, para áreas pequeñas, con tiempo de concentración medido en minutos, no es usualmente económico el diseñar para períodos de retorno largos. Por ende, se escoge un periodo de retorno de 10 años.

Calculo coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se determinó ponderando los valores correspondientes a la cobertura encontrada con sus respectivas áreas encontradas tanto en la visita de campo e imágenes satelitales reflejadas en el mapa 6. En la Tabla 27 encontramos el Ce de acuerdo al Ras 2000 dando como resultado 0,30 y en la Tabla 28 se observa el Ce tomado de la presentación del Ing. MSc. Airthon Angel Espejo Rospigliossi es de 0,37.

Tabla 11. Coeficiente escorrentía ponderado de acuerdo Ras 2000/Res 0330 del 2017.

COBERTURA VEGETAL	AREA (Km2)	CI	CI*A
BOSQUE ABIERTO BAJO	0,6078	0,3	0,1823
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS	0,2411		0,0723
TEJIDO URBANO DISCONTINUO	0,0040	0,7	0,0028
ZONAS DE EXTRACCION MINERA (ARENA)	0,0044	0,6	0,0026
PASTOS LIMPIOS	0,4395	0,3	0,1318
PASTOS ARBOLADOS	1,3594		0,4078
PLANTACIONES FORESTALES	0,0113		0,0033
		CPROM	0,30

Fuente: Suarez C, (2021).

Tabla 12. Coeficiente escorrentía ponderado, tomado de Ing Espejo “Hidrología en cuencas pequeñas la formula racional”.

COBERTURA VEGETAL	AREA (Km2)	CI	CI*A
BOSQUE ABIERTO BAJO	0,6078	0,41	0,2492
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS	0,2411	0,36	0,0868
TEJIDO URBANO DISCONTINUO	0,0040	0,83	0,0033
ZONAS DE EXTRACCIÓN MINERA (ARENA)	0,0044	0,3	0,00132
PASTOS LIMPIOS	0,4395	0,38	0,1670
PASTOS ARBOLADOS	1,3594	0,36	0,4893
PLANTACIONES FORESTALES	0,0113	0,35	0,0039
		CPROM	0,37

Fuente: Suarez C, (2021).

Cálculo de la intensidad de la lluvia de diseño

Aplicando la ecuación 14 de Aparicio (1997), tomando los valores referentes; el Tiempo de retorno, el Tiempo la duración y las constantes (B, C y a) que se calculan mediante un análisis de regresión lineal múltiple, calculo para determinar las curvas IDF. El periodo de retorno escogido de 10 años, se obtiene lo siguiente $i = 61,36778\text{mm/hr}$

Cálculo del Caudal por Métodos Empíricos

Haciendo uso de las ecuaciones 18,19 y 20 se calculó el caudal máximo por método racional, Mac Math y Burkli-Ziegler con un periodo de retorno de 10 años y tomando el valor del Coeficiente de escorrentía, Intensidad de lluvia y el área de la cuenca, se determinan y se muestran en la Tabla 30, así:

Tabla 13. Caudales Máximos

	Q. Racional m ³ /s	Q. Mac Math m ³ /s	Q. Burkli-Ziegler m ³ /s
Ce (Res 0330/2017)	13,69322582	30,3792639	11,81088272
Ce	17,06544425	37,8607379	14,7195382

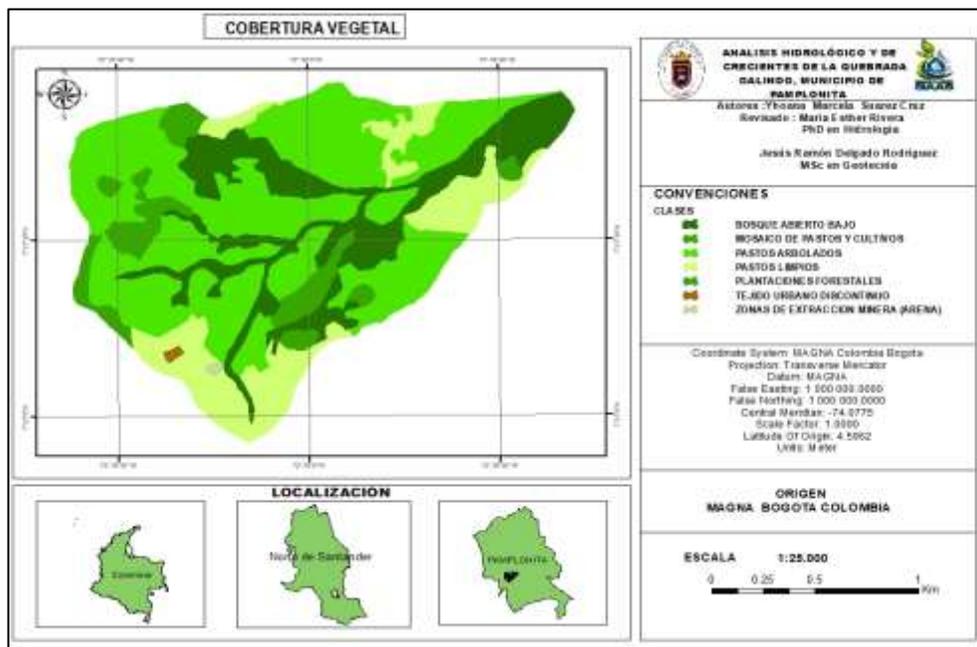
Fuente: Suarez C, (2021).

6.5 Caracterización de la cobertura vegetal y geología en la zona de estudio.

6.5.1. Cobertura vegetal de la zona de estudio

De acuerdo al mapa 7 aplicando la metodología de Corine Land Cover y las visitas de campo, la microcuenca cuenta aproximadamente el 51 % de la superficie está cubierta de pastos arbolados (ver fotografía 15.) ubicada en el noroeste de la quebrada pastos para la ganadería, el 23 % está conformada de bosques abierto bajo (Ver fotografía 16) en el cauce principal, de igual manera, se encuentra con 18 % los pastos limpios mayormente en la parte alta (Ver fotografía 17), incluyendo la escuela rural y la mina (ver fotografía 18). El área restante de la superficie es del 8% mosaico de pastos y cultivos (ver fotografía 19). De igual manera en el Grafico 22 se observa que la cobertura vegetal tiene un alto grado de deterioro por las actividades en mayor medida del hombre, esto se da por adquirir la materia prima para sus benéficos ya sean propios o comunes y del medio (anomalías climatológicas).

Mapa 7. Cobertura Vegetal de la Microcuenca Galindo



Fuente: Suarez C. (2021).



Fotografía 15. Pastos arbolados



Fotografía 16. Bosque abierto bajo



Fotografía 17. Pastos Limpios

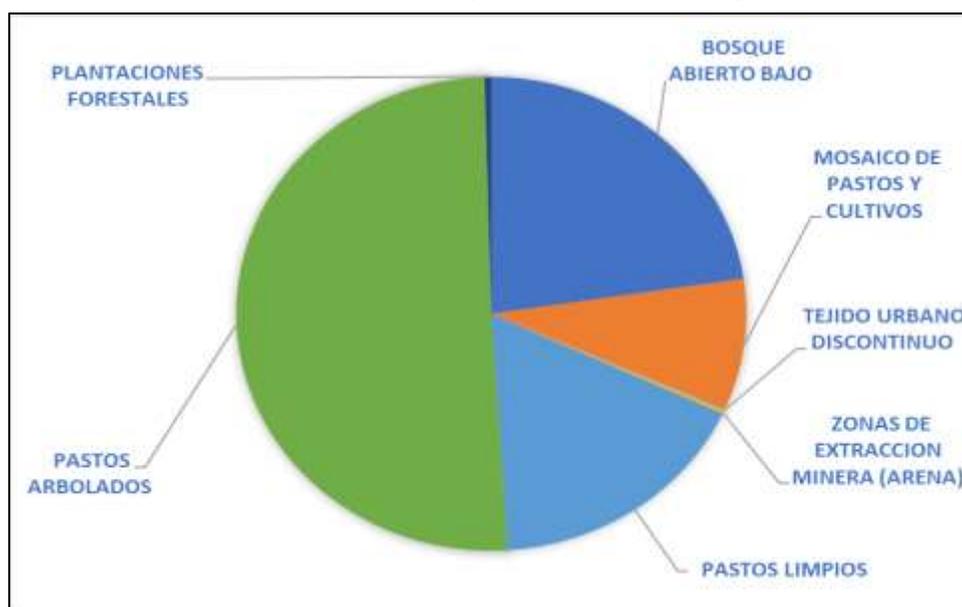


Fotografía 18. Escuela Rural y Mina



Fotografía 19. Mosaico de pastos y cultivos

Grafico 22. Porcentaje de la cobertura vegetal Q. Galindo

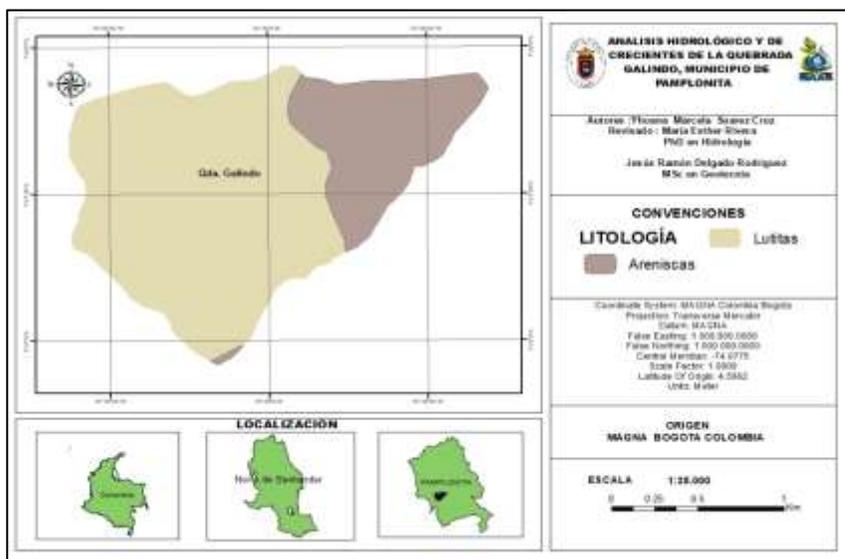


Fuente: Suarez C. (2021).

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

El mapa 8, evidencia que la microcuenca está formada por rocas lutitas con una extensión de 197,98 hect y areniscas con un área de 68,6 hect. Según Tarbuckz & Lutgens (2005) en su libro Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física; son rocas sedimentarias detríticas, la primera son compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y el limo de grano fino; y las areniscas son rocas en las que predominan los clastos de tamaño arena. Según Alonso (2010) la composición media de una lutita es de: 30% de cuarzo, 10 % de Feldespatos, 50 % de minerales de la arcilla (filosilicatos) y el restante 10% carbonatos y/u óxidos. De igual menar se evidencia en la fotografía 20.

Mapa 8.Litología de la Microcuenca Galindo



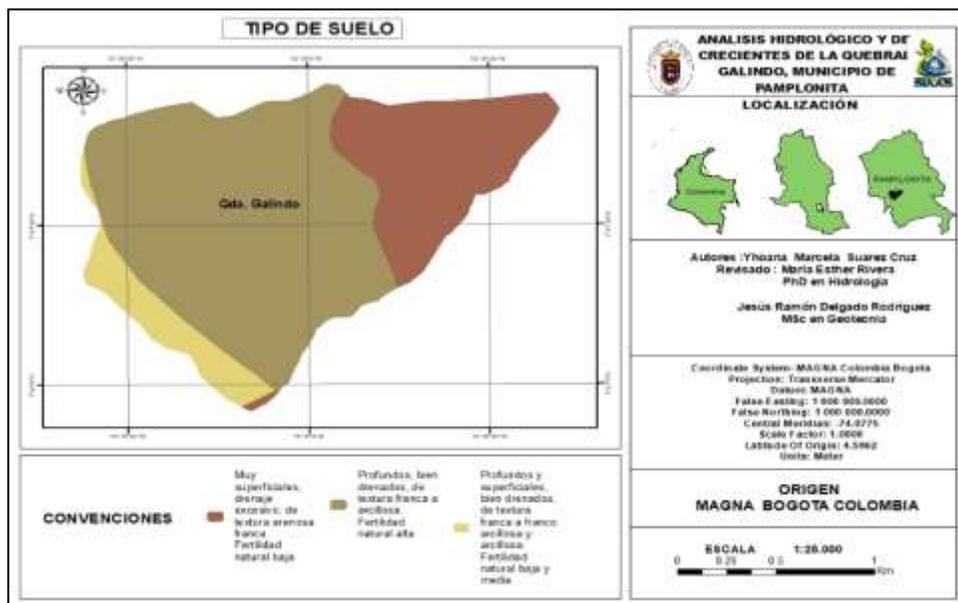
Fuente: Elaborado por Suarez C. (2021) a partir de la información obtenida del IGAC..



Fotografía 20.Rocas Arenisca

De acuerdo al mapa 9 tomado del IGAC, se observa tres tipos de suelos; franca a franco arcillosa y arcillosa, suelos profundos y superficiales, bien drenados comprendiendo un área de 0,24Km² con una fertilidad baja a media, ubicados en la parte superior. Suelo franco a arcillosa, suelos bien drenados y profundos aproximadamente tiene una de las mayores extensiones de 1,74 Km² ubicadas en la parte media de la cuenca y por suelo arenosa franca suelo con drenaje excesivo y muy superficiales con 0,68Km² ubicados en la parte baja de la cuenca tiene una fertilidad baja.

Mapa 9. Tipo de suelo de la Microcuenca Galindo



Fuente: Elaborado por Suarez C. (2021) a partir de la información obtenida del IGAC.

Conclusiones

La microcuenca Galindo está condicionada y controlado por siguientes factores: pequeña dimensión, fuertes pendientes, densidad de drenaje media, orden del cauce 4, relación de bifurcación de 1,84, alta Torrencialidad, la intensidad y duración de las lluvias, suelos profundos bien drenados. Lo cual, hace que esta tenga una respuesta hidrológica de crecidas de manera que los asentamientos humanos cerca al cauce pueden ser afectados.

Teniendo en cuenta las condiciones de la microcuenca actualmente las cuales pueden aumentar por la constante actividades primarias, que modifican y deterioran el estado natural de la zona, ocasionando que pierda del suelo o de la cobertura. Por lo que, se recomienda que las actividades antrópicas se disminuyan que permitan reducir el riesgo de este evento.

La actividad económica de minería artesanal que se presenta en la parte alta de la quebrada, no es menos importante, pues siendo una extracción pequeña sin ningún control ambiental y sin evidenciarse algún impacto a simple vista, esa puede estar ocasionando un deterioro al recurso hídrico y ocasionando la pérdida del suelo.

Recomendaciones

Por ser una microcuena menor de 200 ha el método racional es viable para calcular el caudal, pero para obtener un caudal exacto es viable utilizar instrumentos de precisión para no generar discrepancia en los resultados. Además, se requiere de un muestreo de suelos para obtener tener datos más precisos y veraces.

Al municipio de pamplonita se recomienda que ayude a promover e implementar los programas que ayuden a mejorar las condiciones medioambientales y sociales de la zona estudiada. De igual manera, es importante que el municipio o las corporaciones autónomas gestionen estaciones meteorológicas para el territorio, que beneficien a la población y a la parte investigativa para futuros proyectos..

Bibliografía

Ana Gabriela Valle Laguardia. (Abril de 2002). Estudio Hidrológico para la Microcuenca de la Quebrada Agua Amarilla, Zamorano, Honduras, C.A. 88. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1591>

Katerine Angelica Parra Igor. (2009). Analisis Critico de lo Modelos para Estimar Caudales en Cuencas sin Registro Fluviometrico y propuestas de ajuste para su Aplicacion en Cuencas del Sur de Chile. 123. Obtenido de <http://biblioteca.cehum.org/handle/123456789/745>

Mileidy Julieth Forero Quintero. (7 de febrero de 2017). Apoyo Técnico y Control de Suministro del Material en la Construcción de Estaciones Hidroclimatológicas e Hidrometeorológicas en la Cuenca del Rio Pamplonita. Obtenido de <repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1467>

(OCHA), U. N. (2018). Colombia Afectación por creciente e inundaciones por emergencia de Hidroituango. Obtenido de https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/18052018_flash_update_no_2_afectacion_por_crecientes_e_inundaciones_en_emergencia_de_hidroituango_en_bajo_cauca_vf.pdf

Aeroterra. (s.f.). Obtenido de <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion>

Alejandra Gozalez, R. B. (enero de 2020). Coursehero. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/54474832/PRECIPITACIONES-1docx/>

Ambientum. (s.f.). Obtenido de https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/las-precipitaciones-atmosfericas.asp

- Andres Fernando Berbesi Jaimes, Maria Esther Rivera Julio Isaac Maldonado Maldonado. (2018). Zonas De Inundacion Quebrada Zipacha, Pamplona Medinate el Software HEC RAS. Revista digital de Semilleros de Investigación REDSI, 6. Obtenido de revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/SEMINVE/article/view/2908
- Angel Dario Canllahui Aquise. (2013). Análisis Comparativo de Métodos de Estimación de Avenidas de diseño en el río Verde, Cabanilla, Puno. Obtenido de Repositorio Institucional, Universidad Nacional del Altiplano: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5438>
- Bateman, A. (2007). HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA. Universidad Politecnica de Cartagena , cartagena. Obtenido de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Cabrera, A. J. (s.f.). Ingenieriacivil.tutorialesaldia. Obtenido de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>
- CARLOS DÍAZ DELGADO, K. M. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. Readly, 12. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10401504.pdf>
- Carlos Eduardo Guitierrez Celis, C. A. (2004). Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua en el Municipio de Pamplonita Norte de Santander. Cúcuta. Obtenido de <http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/PROGRAMA%20DE%20USO%20EFICIENTE%20Y%20AHORRO%20DEL%20AGUA%20EN%20EL%20MUNICIPIO.pdf>
- Carlos S. Segerer, R. V. (2006). HIDROLOGIA. Obtenido de https://www.academia.edu/28273006/HIDROLOGIA_I_UNIDAD_5_LAS_PRECIPITACIONES
- Carreño, J. P. (mayo de 2018). ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO QUE IDENTIFIQUE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO (2.5, 10, 25,

50 Y 100 AÑOS) A LO LARGO DEL RÍO LEJOS CERCA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PIJAO, DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO. UINDIO, COLOMBIA.

Obtenido de

http://pijaoquindio.micolombiadigital.gov.co/sites/pijaoquindio/content/files/000169/8446_informe-hidrologia-e-hidraulica-rio-lejos-2018_v3.pdf

Castro. (s.f.). Geomorfología Dinamica y climatica. Obtenido de Universidad de Chile :

http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/3_1.html

Cortolima. (s.f.). UNIÓN TEMPORAL ESTUDIOS AMBIENTALES Y PLANIFICACIÓN

TERRITORIAL RÍO GUARINÓ. Obtenido de

https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/guarino/diagnostico/8.4.6_Pendientes.pdf

Dolores, M. (s.f.). LA HIDROSFERA EL CICLO DEL AGUA. Obtenido de

<https://slideplayer.es/slide/13527821/>

Edgar Medina, J. S. (2015). Las Rocas y el Movimiento Terrestre. Lima. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/72483360/monografia1-53141202>

Escobar, F. (s.f.). GISWED. Obtenido de Guía de Autoaprendizaje sobre Sistemas de Información

Geográfica:

https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/analisterreno/demmodule/DEM_T_Sl.htm#:~:text=La%20pendiente%20es%20una%20forma,altitud%20entre%20la%20distancia%20horizontal.

Fernanda J. Gaspari, A. M. (2013). ELEMENTOS METODOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE

CUENCAS HIDROGRÁFICAS. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/15784528.pdf>

- Floodlist. (2019). Obtenido de <http://floodlist.com/america/colombia-flooding-vigia-del-fuerte-antioquia-november-2019>
- Frizancho, A. (2018). Studocu. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-altiplano-de-puno/hidrogeologia/resumenes/periodo-de-retorno/2948643/view>
- Garnero, G. (junio de 2017). Crecientes y sequías: las fluctuaciones estacionales de agua y el origen de los grandes proyecto hídricos en las cuencas del Noroeste de Córdoba – Argentina (1880-1925). Obtenido de http://institucional.us.es/tamericanistas/uploads/TA-38/05_garnero.pdf
- Gómez-Sanz, V., Escorial García, I., & Roldán Soriano, M. (2019). Litología y propiedades hidrológicas de los suelos de la Comunidad de Madrid. Dialnet, 10.
Doi:<https://doi.org/10.31167/csecfv0i45.19513>
- Helena Cotler Ávalos, A. G. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Obtenido de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>
- INGERSIA. (s.f.). ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y DE INUNDABILIDAD. Obtenido de <https://estudioshidrologicos.es/para-que-sirven-los-estudios-hidrologicos-2/>
- Jeisson Javier Leal Rojas, M. E. (2016). CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL BOBO USANDO MIKE 11. 10. Obtenido de <http://investigacionesyproyectoshidraulicos.com/web/Material%20Cientifico/Articulos/Mas%20de%201000%20Articulos/655.pdf>
- Jessica Yorely Villamizar Rodriguez, . (2017). Analisis de Amenaza por Crecientes Subitas del Microcuenca La Viuda,Municipio de Chiyaga,Norte de Santander. Obtenido de Universidad de Pamplona .

Jorge Julian Velez Upegui, Adriana Botero Gutierrez. (2010). Estimacion del Tiempo de Concentracion y Tiempo de Regazo en la Cuenca Experimental Urbana de la Quebrada San Luis, Manizales.

UNAL, 14. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/39138>

Juan Pablo Gálvez Sierra, Davis Fernando Pimiento Rueda. (2015). Cálculo del Caudal Máximo de Creciente de la Quebrada la Artesa que desemboca en la Quebrada de Ortega, en el municipio de Güican (Boyacá), con el método racional. 26. Obtenido de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4979/1/pimientoruedadavidfernando.pdf>

Laverde P Luz Amanda., R. M. (2015). BOCHALEMA – SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA.

Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 21. Obtenido de

https://pdfs.semanticscholar.org/8841/7f5b2cc117e172f61d9f2c1beb2f7836c733.pdf?_ga=2.153173688.1211522296.1599875842-1411844325.1599875842

Luis Javier Montoya Jaramillo, S. M. (2009). EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS CASO DE APLICACIÓN A LA QUEBRADA DOÑA MARÍA. Scielo, 19. Obtenido de

<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a02.pdf>

Marco, M. A.-M.-J.-A.-J.-S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista Universitaria de Geografía, 21.

Obtenido de http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1852-42652018001100005&lng=en&nrm=iso

Margarita María Galvis Rojas, M. A. (septiembre de 2005). Researchgate. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/324039197_Amenaza_por_crecientes_subitas_en_los_rios_Upin_Caney_y_quebrada_Salinas_para_el_municipio_de_Restrepo_Meta

María Alejandra Charry Vásquez, N. A. (2016). Evaluación de la Calidad Físico-química y Biológica de la laguna de Ubaque para el diseño y Actualización de las Medidas de Manejo Ambiental. 161.

Obtenido de

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9493/EVALUACION%20DE%20la%20calidad%20f%8dsico-qu%8dmica%20y%20biol%93gica%20de%20la%20laguna%20de%20ubaque%20para%20el%20dise%91o%20y%20la%20ac.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

MARIA FERNANDA GUTIERREZ RUIZ, G. P. (2017). CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y GEOMECÁNICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL GUAMAL. 103.

Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/5333>

Mariana A. Camino - María Juliana Bó - José L. Cionchi Adriana López de Armentia Julio L. Del Río§ - Silvia. (junio de 2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje. Revista Universitaria de Geografía, 25. Obtenido de <http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/pdf/reuge/v27n1/v27n1a05.pdf>

Mexicano, Servicio Geologico. (s.f.). Gob. Obtenido de

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157537/Que-es-la-Geologia.pdf>

Michael Jeffrey Ospina García, Juan Sebastian Mancipe Gironza. (2016). Estudio Morfométrico y estimación de caudal por medio del método racional para la creciente de la quebrada Canauchita hasta la desembocadura en el rio Chirche del municipio de Otanche en el departamento de Boyacá. 83. Obtenido de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2562/3/mancipegironzajuansebastian2016.pdf>

Monsalve, J. L. (2017). Determinar las causas que originan la degradación del suelo en la vereda San Antonio, municipio de Pamplonita, Departamento Norte de Santander. Repositorio UNAD, 79.

Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/19022/60268495.pdf?Sequence=3&isallowed=y>

- Nayarin Xiomara Villamizar Basto. (2017). Análisis de Amenaza por Crecientes Súbitas en la Microcuenca El Arpero, municipio de Chitagá, Norte de Santander.
- Nelson Mauricio Lamus Peralta. (2019). Modelación y simulación Hidraulica de las Zonas De Desborde de la Quebada Tanauca,Provinvia de Pamplona,Norte de Santander.
- Oiver Edwar Calderon Pillaca. (2016). Diseño de un modelo metaheurístico para la determinación de caudales de máxima avenida en cuencas urbanas. Obtenido de Universidad Nacional De San Cristobal De Huamanga.: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1986>
- Paredes, A. M. (2006). Partivularizacion al metodd de los coeficientes de escorrentia. Obtenido de <http://www.oasification.com/archivos/Coeficientes%20de%20escorrent%C3%ada.pdf>particul
- Puelles Maza, J. C. (2015). ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTO PERÚ Y EL PORVENIR EN EL ASENTAMIENTO HUMANO LAS MERCEDES ALTO PERÚ, DISTRITO DE LA OROYA, PROVINCIA DE YAULI – JUNÍN PARA LA CONSTRUCCIÓN FUTURA DE OBRAS DE ARTE ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES PROVOCADO POR. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC, 305. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620953>
- Radio, R. (27 de Agosto de 2018). INFOVIAS. Obtenido de <https://www.destinoseguro.net/nuevositio/infovias/emergencia-en-guayabetal-por-avalancha-y-crecientes-s%C3%babitas>
- Rafael Pardo Gómez, Y. R. (2014). Clasificación de tormentas tropicales según lluvias asociadas. Scielo, 17. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n2/riha03214.pdf>
- Reglamenta la Parte XIII, T. 2.-I. (2002 –). DECRETO No..1729 DE. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Decreto_1729_de_2002.pdf/59ad8528-1179-4fd7-9075-aed67fce2b40

- Rojo, I. M. (2012). RECURSOS HIDRÁULICOS. MORFOMETRIA DE CUENCAS. Obtenido de <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- SIAC. (s.f.). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia Dirección electrónica:. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/ninoynina>
- Sinoga, J. M. (2017). Análisis de perfiles longitudinales de ríos para la detección de anomalías geomorfológicas. Aplicación a un sector de la costa septentrional del Mar de Alborán (España) . , 34. Doi:<http://dx.doi.org/10.5209/AGUC.60473>
- Tania Smith Pinzon Mancera. (2019). Modelación y simulación del arrastre y transporte de sedimentos en la cuenca media del Rio Caney, mediante HEC RAS, municipio de Restrepo- Meta. 104.
- Tapia, J. C. (2012). Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. Repositorio institucional de la Universidad nacional de la Plata. Doi:<https://doi.org/10.35537/10915/23364>
- Ticona, C. A. (2013). Caracterizacion Hidrogeomorfologica De La Cuenca del Rio Caplina.Tacna. Repositorio de la Universidad Nacional Jorge Basadre, 126. Obtenido de http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/2973/151_2013_pino_ticona_ca_fiag_geologia.pdf?Sequence=1&isallowed=y
- Tiempo, E. (2 de marzo de 2018). El Tiempo. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/alerta-en-huila-por-crecientes-subitas-en-rios-y-quebradas-189044>
- Trujillo. (s.f.). SALA DE GEOGRAFIA. Doi:http://www.nurr.ula.ve/saladegeografia/DOCUMENTOS/HIDROGRAFIA/PRACTICAS_HI DROGRAFIA/PRACTICA_FORMA_DE_LA_CUENCA/GUIA_FORMA_CUENCA/PRACTICA_FORMA_CUENCA.pdf

- Ulises Cordón Suárez, W. J. (Noviembre de 2008). Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca Bilwi Tingni, Puerto Cabezas, RAAN. CIENCIA E INTERCULTURALIDAD,, 16. Obtenido de <https://www.lamjol.info/index.php/RCI/article/download/571/396/>
- UNC, F. F. (2014). OBRAS FLUVIALES. Universidad Nacional de Córdoba. Obtenido de <http://www.dep.hidraulica.efn.uncor.edu/wp-content/uploads/2014/05/FLUVIAL.pdf>
- Urrea, C. C. (2015). Estudio Morfométrico 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. Repositorio de la Universidad distrital, 67. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/8331/1/peñaurreacristiancamilo2015.pdf>
- Villegas, N. E. (s.f.). Análisis de la cuenca hidrográfica a partir del modelo digital de elevación (mde). Meta.
- Washington Ramiro Sandoval Erazo, E. P. (10 de 2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. Revista Ciencia UNEMI, 11. Obtenido de [Dialnet-determinaciondecaudalesencuencasconpocoinformacion-5210356%20\(3\).pdf](http://dialnet-determinaciondecaudalesencuencasconpocoinformacion-5210356%20(3).pdf)
- Wendy Patricia Orozco-Centeno, J. W.-B. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada. Redalyc, 6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1695/169532839001.pdf>
- Yuri Andrea Estrada Gomez, Diego Alexis Rojas Herrera. (2013). Comparacion Entre El Método Racional y el Método del Numero de Curva para Estimar Caudales, Caso de Estudio Puente Vehicular Del Proyecto Residencial Refugio de Bassedonia I. Repositorio Universidad Catolica de Colombia, 84. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1003/6/PROYECTO%20DE%20GRADO%200ESP%20%20RH.pdf>

Zabala, J. A. (29 de 09 de 2016). Cálculo De Caudal Máximo De Creciente En Las Quebradas Honda, Horca, Negra, Molinos Que Desemboca En El Río Somondoco, Municipio De Almeida, Departamento De Boyacá. Repositorio Institucional Universidad Distrital, 55. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/4951>