

Análisis del comportamiento hidrológico de crecidas y sequias de la quebrada Batagá, Pamplonita-Norte de Santander

Angie Andrea Daza Caicedo

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Ambiental
Pamplona
2022

Análisis del comportamiento hidrológico de crecidas y sequias de la quebrada Batagá, Pamplonita-Norte de Santander

Angie Andrea Daza Caicedo

Directores

Ph.D María Esther Rivera

Mgr. Jesús Ramón Delgado

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Pamplona

2022

Nota de aceptación

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Firma del Jurado 3

Pamplona, Noviembre 2022

Dedicatoria

A mi madre Amparo Caicedo Cruz por ser el pilar fundamental, la motivación, la chispa para los ánimos, y en especial por el incondicional apoyo a lo largo de mi vida.

A mi hermano Cristian Julián Moncada Caicedo por siempre estar ahí dándome fortalezas cuando más lo necesitaba y acompañarme en cada proceso hasta hoy.

Por último, como dedicatoria especial a la memoria de mi padre Pedro Elías Daza Capacho que Dios lo tenga en su gloria, que sea donde quiera que este se sienta orgulloso de lo que he logrado hasta el momento, aunque no puedas estar físicamente presente, sé que me acompaña en este logro de muchos.

Agradecimientos

Gracias a Dios por ser mi guía y mi fortaleza mi compañero de llantos y estudio por nunca soltar mi mano y acompañarme en el camino, por ayudarme a superar mis miedos y darme una razón de quien soy y del que quiero ser en mi vida.

Así mismo, a mi madre Amparo Caicedo Cruz, y mi hermano Cristian Julian Moncada Caicedo; por ser mi inspiración y fortaleza en este proceso, me llena de felicidad ver su cara de satisfacción de ver que lo estoy logrando me hace sentir tranquila de poder cumplir uno de sus sueños de ver a su hija convertirse en la profesional que tanto soñábamos las dos.

A mis familiares y amigos que con sus frases de apoyo y superación hicieron parte de este proceso, pues hicieron sentir las cargas no tan pesadas, en especial a la psicóloga Loanna Katherine Portilla Caicedo, la nutricionista Angelica Tatiana Portilla Caicedo y a los ingenieros María Mónica Cárdenas Diaz, y Steinlly Bermúdez Mujica.

A mis tutores de tesis PhD María Esther Rivera, Mgtr. Jesús Ramón Delgado. Por ser personas con paciencia y con profesionalismo, por direccionar este trabajo de investigación con dedicación. Se hace orgullo decir que “nunca olvidamos lo que aprendemos con placer” y con ellos fue más que un placer fue una dicha que no se alcanza a describir con palabras, pues sus lecciones, tiempo, apoyo y dedicación incentivaron al cumplimiento de esta etapa y a la visualización de lo que quiero en mi vida.

Por último, pero no menos importante gracias a la universidad de Pamplona por permitirme formarme en ella, para en un futuro pronto poder contribuir a este país.

Resumen

La presente investigación estudió del comportamiento hidrológico de crecientes y sequias en la quebrada Batagá del municipio de Pamplonita, Norte de Santander. Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos se emplearon 5 etapas, inicialmente se realizó el diagnóstico de la zona por medio de visita de campo cuyo propósito era conocer los factores antrópicos y naturales actuales que inciden en el comportamiento de la microcuenca, dentro de estos factores se tuvieron en cuenta aspectos hidrológicos, uso y cobertura vegetal, litológicos, y sociales. Posteriormente se realizó el procesamiento y análisis de las variables meteorológicas de temperatura media y precipitación descargados de la plataforma NASA Giovanni para el periodo de 1998 a 2021. Seguidamente del uso de las herramientas de SIG se empleó el software libre QGIS para la caracterización fisicomorfométrica de la cuenca y elaboración de mapas, así mismo, a partir de los datos obtenidos en las etapas anteriores y la utilización de fórmulas se determinó los caudales máximos de crecientes y mínimos de sequias, de igual manera se emplearon para la elaboración de las curvas IDF y duración. Por otro lado, se realizaron la identificación de uso y cobertura vegetal con la metodología de Corine Land Cover, adicionalmente se elaboró la composición litológica de acuerdo a la plataforma del IGAC. Finalmente, se determinaron SPI y PET, de acuerdo a la clasificación de índices bioclimáticos. Se concluyo que la microcuenca presenta gran susceptibilidad a la producción de caudales con cuyas crecientes presenciadas son moderadas en altas precipitaciones de igual manera la presencia de procesos de erosión y transporte de sedimentos.

Palabras clave: SPI, PET, variabilidad climática, análisis hidrológico, caudales de sequía, caudales de crecientes.

Abstract

This research studied the hydrological behavior of floods and droughts in the Batagá stream in the municipality of Pamplonita, Norte de Santander. For the development and fulfillment of the objectives, 5 stages were used. Initially, a diagnosis of the area was made by means of a field visit whose purpose was to know the current anthropic and natural factors that affect the behavior of the micro-watershed; within these factors, hydrological, use and vegetation cover, lithological, and social aspects were taken into account. Subsequently, the processing and analysis of the meteorological variables of mean temperature and precipitation downloaded from the NASA Giovanni platform for the period from 1998 to 2021 was carried out. Following the use of GIS tools, the free QGIS software was used for the physicomorphometric characterization of the basin and the preparation of maps. Likewise, based on the data obtained in the previous stages and the use of formulas, the maximum flood flows and minimum drought flows were determined and used for the preparation of IDF curves and duration. On the other hand, the use and vegetation cover were identified using the Corine Land Cover methodology; additionally, the lithological composition was elaborated according to the IGAC platform. Finally, SPI and PET were determined, according to the classification of bioclimatic indexes. It was concluded that the micro-watershed is highly susceptible to the production of flows with moderate floods during high rainfall, as well as the presence of erosion and sediment transport processes.

Key words: SPI, PET, climate variability, hydrological analysis, drought flows, flood flows.

Tabla de contenido

Capítulo I	15
Introducción.....	15
Planteamiento del problema	17
Justificación.....	18
Objetivos.....	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos	20
Capítulo II	21
Marco referencial.....	21
Marco contextual	21
Antecedentes	22
Internacionales	22
Nacionales	26
Regionales	30
Locales	31
Marco teórico	32
Sequias	32
Creciente.....	35
Análisis hidrológico	38
Análisis meteorológico y climatológico.....	43
Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF).....	45

Escorrentía.....	46
Cobertura vegetal	47
Litología	48
Índice de aridez	48
Índice de precipitación estandarizado	48
Marco legal	49
Capítulo III	52
Metodología.....	52
Etapa 1. Diagnóstico inicial de la cuenca	52
Etapa 2. Análisis y procesamiento de la información meteorológica.....	53
Etapa 3. Determinación de características físico-morfométricas de cuenca.....	53
Etapa 4. Comportamiento hidrológico de la cuenca	54
Etapa 5. Análisis de variables como cobertura vegetal y litología de la zona.	55
Etapa 6. Cálculo de los índices de sequías y crecientes.....	55
Capítulo IV	56
Resultados y análisis.....	56
Etapa 1. Diagnóstico inicial de la cuenca	56
Etapa 2. Análisis y procesamiento de la información meteorológica.....	66
Etapa 3. Comportamiento hidrológico de la cuenca	72
Etapa 4. Comportamiento hidrológico de la cuenca	80
Etapa 5. Análisis de variables como cobertura vegetal y litología de la zona.	84

Etapa 5. Calculo del caudal máximo de creciente y caudal mínimo en sequias...	88
Conclusiones.....	95
Recomendaciones	97
Referencias	98
Anexos	107

Tabla de figuras

Figura 1 Localización de la cuenca Quebrada Batagá.	22
Figura 2. Número de personas residentes en cada casa.....	56
Figura 3 Usos de recurso hídrico.	57
Figura 4 Tipo de captaciones para el suministro.....	58
Figura 5 Sistemas de acumulación de agua.....	59
Figura 6 Cultivos predominantes a lo largo de cuenca.	60
Figura 7 Cambios en el clima de la zona de estudio.	61
Figura 8 Eventos climatológicos presentes.	62
Figura 9 (a) Frecuencia de las crecientes, (b) Intensidad de las crecientes presenciadas y (c) duración de las crecientes.....	63
Figura 10 (a) Frecuencia de las sequias, (b) intensidad de las sequias presenciadas y (c) duración de las sequias.....	64
Figura 11 Comportamiento flujo hídrico del cauce.	65
Figura 12. Mapa de relieve de la microcuenca Quebrada Batagá.	66
Figura 13 Comportamiento de la temperatura media mensual.	68
Figura 14 Comportamiento de la temperatura media anual.	68
Figura 15 Comportamiento de la precipitación mensual.	70
Figura 16 Comportamiento de la precipitación anual.	70
Figura 17 Climograma mensual de la temperatura media y precipitación.....	71
Figura 18 Climograma anual de la temperatura media y la precipitación.....	72
Figura 19 Perfil longitudinal del cauce principal.	77
Figura 20 Frecuencia altitudinal y curva hipsometrica.	78
Figura 21 Mapa de pendientes de clasificación de pendientes, microcuenca Quebrada Batagá.....	79

Figura 22 Tipo de relieve en la microcuenca quebrada Batagá.	80
Figura 23 Curva IDF de Ven Te Chow.....	82
Figura 24 Curva de duración para caudales mínimos.	83
Figura 25 Curva de duración para caudales máximos.....	83
Figura 26 Mapa de tipo de cobertura de la microcuenca Quebrada Batagá.....	84
Figura 27 (a) cultivos arbustivos, (b) pastos limpios, (C) mosaico de cultivos y pastos, (d) bosques con cultivos, (e) bosques poco densos y (f) bosques denso alto.....	85
Figura 28 Mapa de tipo de litología, microcuenca Quebrada Bataga.	87
Figura 29 Distribución del Índice de Precipitación Estandarizado mensual.....	91
Figura 30 Índice de evapotranspiración potencial mensual.	93
Figura 31 Índice de evapotranspiración potencial (PET) mensual.....	94

Tabla de tablas

Tabla 1. Parámetros físico- morfométricos.	39
Tabla 2. Variables meteorológicas.	43
Tabla 3 Coeficiente de escorrentía según Benítez et al., (1980).	47
Tabla 4 Normativa ambiental.	49
Tabla 5 Temperatura media mensual y anual.	67
Tabla 6 Precipitaciones mensuales y anuales.	69
Tabla 7 Parámetros físicos de la cuenca Quebrada Batagá.	73
Tabla 8 Parámetros morfométricos de la Quebrada Batagá.	74
Tabla 9 Características de relieve de cuenca Quebrada Batagá.	75
Tabla 10 Características de la red de drenaje Quebrada Batagá.	76
Tabla 11 Caudales máximos y mínimos.	81
Tabla 12 Índice de aridez por método de Martonne.	89
Tabla 13 Clasificación bioclimática anual según el índice de Martonne, Lang y Caldas- Lang.	90
Tabla 14 Clasificación de tipo de sequía según el SPI.	92

Tabla de anexos

Anexos 1. Encuesta aplicada para los habitantes de la microcuenca Quebrada Batagá. ...	107
Anexos 2 Parte alta de la microcuenca quebrada Batagá.....	109
Anexos 3 Afectaciones por las lluvias en la parte alta de la cuenca.	109
Anexos 4 Cultivos en la parte alta de la microcuenca.	110
Anexos 5 Comportamiento hídrico en la parte media de la microcuenca en época de verano.	110
Anexos 6 Cobertura de la parte media de la cuenca	111
Anexos 7 Comportamiento hídrico de la microcuenca en época de invierno.	112
Anexos 8 Consecuencia de las fuertes lluvias en la parte media de la microcuenca.	112
Anexos 9 Captación de acueductos rurales.....	113
Anexos 10 Litología de la microcuenca.....	113
Anexos 11 Suelo de la microcuenca.	113
Anexos 12 Comportamiento del flujo hídrico en la parte baja de la Microcuenca Quebrada Batagá en época de invierno.....	114
Anexos 13 Cobertura de la parte baja de la microcuenca.	114
Anexos 14 Efecto de las precipitaciones intensas en la parte baja de la microcuenca.....	114

Capítulo I

Introducción

En el mundo se han desarrollado investigaciones sobre el recurso hídrico, con el fin de estar alertas a los sucesos hidrológicos que pueden ocasionar un riesgo para las comunidades, ejemplo de ello, son los eventos extremos climáticos causa de la variabilidad climática y cambio climático, lo cuales marcan grandes retos para la sostenibilidad social, económica y ecológica del mundo, puesto que eventos extremos de sequía y crecientes generan impactos en los ecosistemas afectando principalmente la disponibilidad de agua para satisfacer las demandas de los entornos natural y social, tales como, flora, fauna, niveles de caudales y demanda hídrica.

En Colombia, las épocas crecientes y sequías se ven afectadas por la incidencia de los fenómenos ENSO, pues la presencia de estos en puntos extremos general afectaciones a la comunidad, ya que se producen deslizamientos, movimiento de material roco y arrastre de sedimentos o por el contrario se disminuye la cantidad del recurso hídrico para la satisfacción de la demanda básica.

La quebrada Batagá es una de las afluentes al río Pamplonita, es receptora de microcuencas de veredas aledañas a la de la zona de estudio, por ende, es abastecedora del desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias. Es por ello que se hace necesario conocer el comportamiento actual hidrológico, con el propósito de ser guía y referencia para la toma de decisiones frente a eventos de crecientes y sequías.

El objeto de esta investigación es el análisis del comportamiento hidrológico teniendo en cuenta variables meteorológicas, cobertura vegetal e índices que determinan el clima de la zona para así conocer la variación a lo largo del tiempo.

El desarrollo de investigación se realizó mediante 5 etapas, en las cuales se dio la determinación de los factores naturales y antrópicos incidentes en el recurso hídrico, comportamiento de las variables meteorológicas, caracterización ficomorfológica de la cuenca, análisis hidrológico por método matemáticos para cálculos de caudales, determinación de cobertura actual y finalmente la obtención de índices para crecientes y sequías presentadas en la zona.

Planteamiento del problema

Cada día es más evidente los efectos de la variabilidad climática y cambio climático en muchas zonas donde los eventos extremos de sequía y crecientes se presentan cada vez con mayor frecuencia, los cuales se reflejan en la variación de los niveles del agua, caudales, entre otros en una cuenca hidrográfica. Por ello, es necesario analizar los factores naturales, antrópicos, la geografía, tipología y fisiografía del lugar que inciden sobre la escasez y abundancia del recurso hídrico, el cual puede ocasionar problemas ambientales, económicos y sociales en algunas regiones bien sea a corto, mediano y largo plazo.

Particularmente, en el municipio de Pamplonita se tiene muy pocos estudios sobre esta temática, un ejemplo de ello, fue la investigación desarrollada por Suarez (2020), la cual determinó que las crecientes de la quebrada Galindo representan una amenaza para la comunidad del municipio de Pamplonita a causa de la erosión y el arrastre de sedimentos principalmente por actividades antrópicas como la ganadería, minería y agricultura. Caso contrario con la quebrada Batagá, la cual es afluente del río Pamplonita. En esta subcuenca se han venido presentando disminución e incremento de los niveles del agua de la quebrada, cuestión que ha ocasionado preocupación en la población.

En tal sentido, continuando con el estudio de las subcuencas que forman parte de este municipio, se plantean los siguientes interrogantes ¿Cuáles son las variables hidrometeorológicas que inciden en el comportamiento de las crecientes y sequías de la Quebrada Batagá? ¿Cómo es el tipo de cobertura y uso del suelo influyen en los eventos hidrológicos? ¿Cómo los episodios de sequías y crecientes influyen en los usos del recurso hídrico en la zona de estudio?

Justificación

Los eventos extremos climáticos marcan grandes retos para la sostenibilidad social, económica y ecológica del mundo, puesto que la ausencia del recurso hídrico genera impactos tales como la mortalidad en la flora y fauna del lugar, disminución del nivel de caudal de los cuerpos hídricos y disminución en la disponibilidad de agua para satisfacer las demandas del entorno natural y social, mientras que cuando se produce un exceso da paso a problemas de deslizamiento y desplazamiento de fauna y deterioro de la flora. En otras palabras, el desequilibrio ecológico producido por los fenómenos hidrológicos genera afectaciones negativas irreversibles, las cuales pueden ser procedentes de procesos de desertificación.

El resultado de una exploración previa y análisis de los factores antrópicos y naturales, tales como, el suelo, el agua, la cobertura y el clima, que da paso a la regulación y ordenamiento del cuerpo hídrico en estudio, con la ayuda de la normativa vigente de gestión integral, permite a las entidades ampliar la base de datos y brindar soluciones optimas que faciliten la toma de decisiones para la preparación y afrontamiento de dichos eventos, mejoras en el plan básico de ordenamiento territorial (PBOT), los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT), entre otros. Así mismo, con el análisis de información la población de la zona de estudio se beneficiará en la prevención de desastres, dado que les puede ser útil en la creación de soluciones y/o estrategias para el afrontamiento de los fenómenos, ya sea de ausencia o abundancia excesiva del recurso. Por otro lado, para la comunidad académica el avance de investigaciones y acumulación de nueva información va a permitir comprender los fenómenos hidro climáticos en lugares aledaños y ampliar la red de información.

El propósito de analizar el comportamiento hidrológico de las crecientes y sequias de la quebrada Batagá es ampliar la red de información de las subcuencas que conforman el municipio de Pamplonita, aportando no solo a la población del territorio sino también a la comunidad académica investigativa para futuros estudios relacionados con el tema.

Objetivos

Objetivo general

Analizar el comportamiento hidrológico de crecidas y sequías de la quebrada Bataga, Pamplonita- Norte de Santander

Objetivos específicos

Interpretar la información hidroclimática de la zona de estudio

Caracterizar física y morfométricamente la cuenca quebrada Bataga

Determinar la cobertura vegetal, usos del suelo, geología de la zona de estudio

Obtener el índice de sequía y de crecientes de la zona de estudio

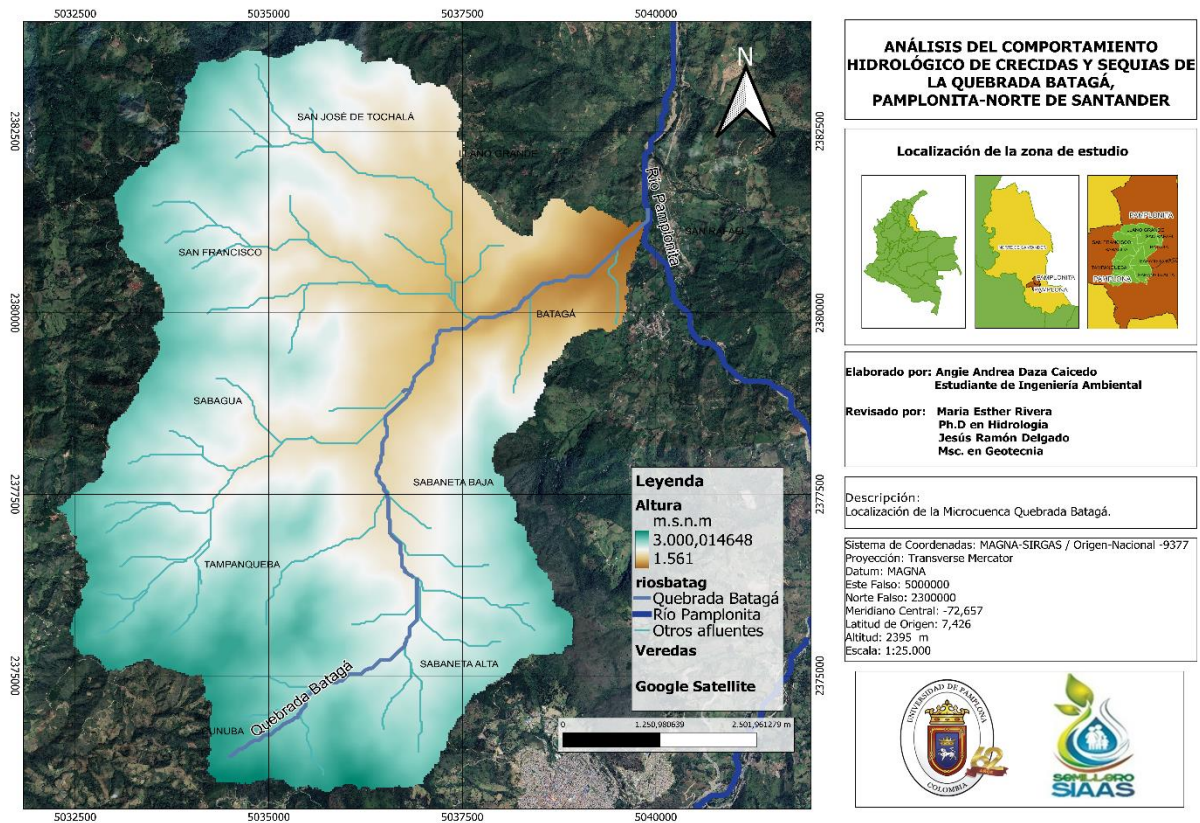
Capítulo II

Marco referencial

Marco contextual

De acuerdo a la información suministrada del portal web del municipio, Pamplonita se encuentra ubicado en la región Suroccidente del departamento de Norte de Santander, a $7^{\circ} 27' N$ y $72^{\circ} 38' O$ justo a una altitud de 1725 m.s.n.m, limitando al Norte con Bochalema y Chinácota, al Sur con Labateca y Pamplona, al oriente con Chinácota y Toledo, y al occidente con Bochalema, Cucutilla y Pamplona; cuenta con un área de 179 km² compuesta por una cabecera municipal y 22 veredas, las cuales son abastecidas por la fuente hídrica río Pamplonita y las quebradas La Tescua, Las Isabeles, Santa Ana, Corral de Piedra, Santa Helena, Pica Pica, El Hático, Batagá, Llano Grande y Cimitarigua. La principal fuente de desarrollo económico viene de las fuentes agrícolas con la producción de tubérculos, cítricos, caña de azúcar, morón, durazno y frijol; pecuaria con la crianza y comercialización de bovinos, caballar, porcino, cunícula y aves de corral; y la minería de carbón.

Como se ha nombrado en el párrafo anterior, dentro del Municipio de pamplonita se encuentra la microcuenca Quebrada Batagá como observa en la figura 1, la cual es un afluente del río Pamplonita reconocida por los sitios turístico el pozo del pato y el santuario del señor caído inaugurado en el año 2004. Se extiende entre los 1500 y 3000 m.s.n.m siendo receptora de las quebradas, san Francisco, Pedronio, Sabagua, Tampakueba, Cunuva y Sabaneta.

Figura 1*Localización de la cuenca Quebrada Batagá.*

Fuente: Daza, A. (2022) mediante software libre QGIS versión 3.26.3.

Antecedentes

Internacionales

En el mundo se han desarrollado investigaciones sobre cantidad y calidad del recurso hídrico, con el fin de estar alertas en los sucesos hidrológicos que pueden ocasionar un riesgo para las comunidades que se encuentra a nivel urbano y rural. Particularmente en este apartado se mencionarán estudios relacionados a las sequías y crecientes.

Ortega, Rendón, Morales y Olivares (2012), analizaron las aportaciones de agua que ingresan a las presas de almacenamiento ubicadas en los principales afluentes mexicanos

del río Bravo, con el fin de estudiar y caracterizar los periodos de sequías hidrológicas históricos de la cuenca. A partir de la investigación se obtuvieron aportaciones irregulares en las presas analizadas, con el número de años secos igual o superior al 60 % del periodo analizado, registrándose años secos con déficit que iban desde -3 % hasta -97 %, y periodos de sequía cuya duración variaban desde uno hasta 13 años consecutivos. Se estima que la cuenca presentó un periodo de 14 años de sequía extraordinaria severa desde 1992 a 2005.

Gerardo et al (2015), estudian de forma temporal las sequias al noroeste de Durango de las cuencas Tepehuanes y Santiago desde 1961 hasta 2014, por medio del índice de Precipitación Estandarizado (SPI) de ocho estaciones a escala trimestral, en donde la ocurrencias de las sequias meteorológicas extremas concuerdan con el registro de presencia del fenómeno ENSO, pero con menor frecuencia que las sequias suaves y severas, las cuales se pueden identificar con la ayuda del déficit de precipitación.

Paredes, Barbosa y Guevara (2015), analizan espacial y temporalmente las sequias al noroeste de Brasil para el periodo de 1901 a 2010 en una de las regiones del país que ha sido afectada por sequias causantes de alteraciones en los sectores agrícola, hidroeléctrica y abastecimiento hídrico. Para el desarrollo del estudio el Índice de Precipitación Estandarizado es clave en la medición de anomalías de la precipitación acumulada, las cuales en el dominio espacio-temporal se identifican con los análisis de componentes y conglomerados, en donde los lapsos de tiempos secos se ajustan a los cuatro patrones espaciales; y las áreas afectadas mensualmente tienen una duración de 10 meses y anualmente de 2 a 8.

Febrer , (2016) analiza las características de las sequias hidrológicas en las cinco cuencas naturalizadas de la Península Ibérica, Narcea, Segre, Gallo, Alfambra y Genil; por

medio del análisis de tendencia de caudales y precipitaciones para el periodo de tiempo de 1946 a 2005, además aplica el índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para la representación de los déficits de precipitación, el cual al compararse con el Standardized Streamflow Index (SSI) difiere en las características fisiográficas y climáticas de las cuencas.

Campos (2016), realiza el estudio de las sequias meteorológicas anuales por medio del índice de aridez, en el estado de Zacatecas, México; mediante la correlación anual de la precipitación y la evapotranspiración en el periodo de 1950 a 2014, para posteriormente definir de manera puntual las ocurrencias de las sequias en cada uno de sus grados (leves, moderadas, severas y extremas) en 16 series cronológicas.

El análisis temporal y espacial de sequía en la cuenca del río Fuerte al noroeste de México en una zona de baja presión para el periodo de 1961 a 2012 fue realizado por Castilla *et al.*, (2017), utilizando índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y el índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI) en 14 estaciones del área de estudio para escalas de 3, 6, 12 y 24 meses, mediante los datos de precipitación, y temperatura mínima y máxima para el cálculo. Los resultados mostraron que las sequías alteraron su patrón de ocurrencia y se presentan con mayor frecuencia, intensidad y duración. Se encontraron periodos de sequías extremas: de 1999 a 2004 y de 2011 en adelante. El SPEI define mejor los periodos secos y muestra una tendencia más clara del aumento en la intensidad de la sequía en los últimos años, producto de la reducción de la precipitación y el aumento de las temperaturas.

Para Meylin y Sinal (2018), el comportamiento de la sequía meteorológica en Villa Clara-Cuba para el periodo estacional 2000-2017, se llevó a cabo mediante la utilización

del índice de precipitación Estandarizado (SPI) Y EL test de Man-Kendall. Para finalizar se concluyó que la tendencia de las precipitaciones estaba asociada con el aumento de la influencia de las altas presiones con 11 periodos de sequía, 4 correspondiente en periodo lluviosos y 7 con poca lluvia.

Ilieva (2018), analiza los episodios de sequias en Bulgaria y los impactos sobre los sectores agrarios y recursos hídricos con el índice Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI), el cual su tendencia ilustra el incremento de la duración y magnitud de la sequias, es decir demuestra como a partir de la segunda mitad del siglo XX la disminución de la precipitación y el aumento de la temperatura ha producido periodos de sequía más intensos y continuos. Muestra de los anterior, son los tres episodios más intensos ocurridos entre 2000 y 2015, además de la coincidencia con los registros de la disminución de caudal en los ríos y las afectaciones en la agricultura.

Según Cieza y Mejía (2019), los métodos de índice Estandarizado de Precipitación (SPI), Run, y valores extremos fueron utilizados para el análisis de sequías hidrometeorológicas en la cuenca del Río Llave Puno – Perú, con el fin de representar la desviación estándar de la precipitación caída, identificar los periodos de la sequía y analizar los caudales mínimos, siendo ajustado las funciones de distribución Log Normal, Pearson tipo III y Gama. En conclusión, al realizar las comparaciones pertinentes durante la investigación dedujeron que las sequias meteorológicas e hidrológicas son directamente proporcionales, dado que a menor precipitación menor es el escurrimiento superficial, además de que cada uno de los métodos reflejaron presencia de eventos mínimos de sequías.

Villazón, Noris y García (2021) nuevamente implementan el análisis de la intensidad de las sequías mediante el uso de índice estandarizado de precipitación en la provincia de Holguín para la época desde 1975 a 2017 con la base de datos las estaciones meteorológicas de La Jíquima, Guaro, Pinares de Mayarí y Velasco, en las cuales se registraron periodos de sequía de nueve, siete, tres y cuatro eventos extremos en zonas llanas.

Nacionales

En Colombia, durante las últimas décadas se han venido desarrollando diferentes investigaciones enfocadas en la variabilidad climática, cambio climático, comportamiento en las escorrentías superficiales, y los efectos naturales y antrópicos sobre el recurso hídrico, dado que el comportamiento de este se ha visto modificado por altas temperaturas que disminuyen los caudales o por altas precipitaciones que generan aumento en el nivel de agua.

Ávila, Carvajal y Gutiérrez (2013), analizan la oferta hídrica mensual en la cuenca del río Cali durante la ocurrencia de eventos extremos asociados al ENOS El Niño, donde se estudian los efectos de este fenómeno en la oferta hídrica de la cuenca, mediante correlaciones de variables asociadas a ENOS (MEI, ONI, SOI, T NIÑO 3-4) con las precipitaciones mensuales y el caudal de los principales afluentes de la cuenca. De lo anterior, los conllevo a determinar que la oferta hídrica en épocas del fenómeno El Niño es de un 40%, mientras que aumenta en épocas del fenómeno la Niña su disponibilidad hasta un 25% al anterior.

Castañeda, Ortiz y Vivas (2014) realizaron el análisis hidrológico para conocer los caudales y niveles para diferentes periodos de retorno con el estudio de los parámetros

climatológicos, tales como, temperatura, precipitación, brillo solar, evaporación, y humedad relativa, que afectan las características hidrológicas del río Suaza en el departamento del Huila, identificando un comportamiento bimodal de la lluvia.

Según González, Carvajal y Loaiza (2016), las sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca se obtuvieron mediante la determinación de la intensidad, magnitud, duración y frecuencia de eventos de sequía mediante el uso del índice estandarizado de precipitación (SPI) usando el registro de 19 estaciones en el periodo comprendiendo entre 1982-2011. La región subxerofítica de la cuenca, presentó mayor frecuencia de sequías extremas fuertes y porcentaje de cobertura espacial con la ocurrencia del fenómeno El niño, ocurridos en 91 y 92. Los resultados obtenidos sirven como aproximación para la predicción y caracterización de las sequías y ofrecen insumos para generar estrategias de planificación y mitigación de los impactos. Así mismo, en el año 2020 realizaron un estudio similar en el río Cauca en el Valle alto, detectando la ocurrencia e intensidad de las sequías hidrológicas, mostrando que los eventos más intensos y de mayor magnitud ocurrieron en los años 1991-1992 y 2015-2016 presentando coincidencia de ocurrencia con el fenómeno de El niño en Colombia.

Torres (2017), calcula los índices de sequías para la determinación de la intensidad de los eventos que ocurren en el fenómeno de sequías en las cuencas de los ríos Sumapaz (Cundinamarca y Tolima) y Lebrija (Santander, Norte de Santander y César). Mediante el análisis detallado de comparaciones entre las series de índices obtenidos, evaluación de las tendencias temporales de eventos y correlación de entre series de índices de sequía e índices de fenómenos macroclimáticos, los cuales, permitieron la elaboración de curvas de

intensidad-duración-frecuencia y la caracterización de ocurrencias del fenómeno en las zonas de estudio.

Así mismo, Arroyo y Ortiz (2020), describieron y cuantificaron el grado de vulnerabilidad que se presentó en la subcuenca del río Negro por medio de la aplicación del SPI al ser uno de los más utilizados para Al presentarse episodios de sequía e inundación en Colombia, se hace necesario que se lleve a cabo un monitoreo y un control hacia la presencia de estos eventos teniendo en cuenta los impactos que generan en las diferentes regiones que componen el país, Por tal razón al realizar la implementación del cálculo del índice estandarizado de precipitación en la subzona se podrá conocer e identificar el comportamiento de los episodios de sequía e inundación, permitiendo a través de los resultados del SPI obtener mapas tendenciales de vulnerabilidad ante la sequía e inundación, esperando contribuir a las comunidades que habitan en la zona de estudio, brindándoles un contexto histórico sobre los eventos climáticos que han ocurrido en sus territorios.

Araujo y Rivera (2020), obtuvieron los índices de sequía del río Cesar, mediante la recopilación de datos hidrometeorológicos obtenidos de 20 estaciones desde 1986 - 2020. Con la necesidad de identificar y caracterizar dichos fenómenos para la subsistencia de la población y todas las obras hidráulicas y civiles del municipio, a causa del aumento de las temperaturas, la disminución de la vegetación, pérdida de especies de flora y fauna, y altos índices de evapotranspiración ocasionados por el aumento urbanísticos del departamento. Los índices SPI, SPEI e IESP fueron obtenidos, de los programas ClicMD, SPIGenerator y database SPEI, dichos resultados fueron catalogándolas de tipo meteorológico con presencia de sequía hidrológica, establecidos en los periodos de estiaje en la cuenca que

incidieron en la agricultura, el flujo del cauce y la magnitud del caudal de la cuenca. El río se encontraba en peligro ambiental, ya que se presentaron diversos y muchos periodos de estiaje dentro de un periodo significativo de años, que además se volvieron constantes, generando un cambio en el afluente.

Álvarez y Cortés (2021) estudiaron la problemática ambiental que enfrentaba el departamento del Tolima en la vereda Santa Ana sobre la presencia de sequías meteorológicas que causan afectaciones a nivel ecológico, económico y social; reflejados mediante la pérdida de vegetación, degradación de suelos, escasez de agua, y pérdidas en los cultivos de arroz, y por lo tanto disminución de la seguridad alimentaria y desempleo de los productores de la zona. Evaluaron la amenaza por sequías meteorológicas a través del cálculo del índice de aridez en un periodo de 10 años (2010 - 2019), y su influencia en los cultivos de arroz, utilizando la gestión del riesgo como herramienta fundamental para prevenir y mitigar los efectos de este fenómeno. También emplearon un enfoque mixto y alcance exploratorio y descriptivo para evaluar los efectos, obteniendo como resultado presenta un régimen bimodal con dos periodos de sequía extrema, un índice de vulnerabilidad hídrica alta, erosión moderada, susceptibilidad a procesos de salinización alta, y disminución de lluvias prolongadas. En conclusión, la vereda presentaba una alta amenaza por sequías meteorológicas en épocas secas que afectaban el desarrollo productivo del cultivo.

Gallo (2021), construye modelos de reducción a escala mediante la regresión de componentes principales para la simulación de la precipitación en Colombia durante 1981-2011 y la proyección climática entre 2011-2070, con el manejo de datos de las 16 estaciones meteorológicas en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales (IDEAM) por el grupo GRESIA de la Universidad de Antonio Nariño, para el análisis, correlación e interpolación de datos de los periodos de retorno Tr 2,5,20,50,100,500 años.

Carvajal y Ocampo (2021), evalúan la sequía en el departamento de Nariño, a causas del aumento en duración, frecuencia e intensidad por el cambio climático mediante la estimación de diferentes métodos de evapotranspiración potencial, tales como FAO-PM56 (FAO PENMAN MONTEITH), Hargreaves, Turc, Thornthwaite y Cenicafé, en donde los dos primeros después de ser correlaciones con las métricas de validación se encuentran mas ajustados a las sugerencias de la FAO. A partir de dichos métodos se determina el índice de sequía con los métodos de Índices de Precipitación Estandarizados (SPI) y el Índice de Evaporación Estandarizado (SPEI) para identificar las zonas sacas del departamento.

Regionales

A nivel regional, Hernández y Salamanca (2019), emplean el análisis multitemporal para el cambio de la cobertura vegetal para el periodo de 2000-2012 en la cuenca de Sardinata mediante el uso de procesamiento y modelación de datos hidrológicos en la herramienta SWAT y el análisis temporal variación de las coberturas del suelo que determinan la influencia de la en los caudales picos. A partir de los análisis de escorrentía el aumento de esta no ha ocasionado en la cuenca la variación excesiva de la cobertura como para la generación de caudales máximos que pueden afectarla.

Por otro lado, Jaimes (2020), evaluó y analizó la disponibilidad del recurso hídrico mediante los índices de sequía y creciente presentados en la quebrada El Rosal que afectan a la población del municipio de Pamplona, determinando la variación de los índices de

sequía y humedad con la identificación de los factores antrópicos como la agricultura u actividades pecuarias realizadas cerca de la microcuenca. Así mismo, Gonzales (2020), estudió la influencia de la variabilidad climática en el territorio pamplonés particularmente en la quebrada Monteadentro como el aumento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones y de caudales, considera indispensable el seguimiento e identificación de las causas que influyen en el comportamiento de los cuerpos hídricos, tales como, la biodiversidad las condiciones topográficas y climáticas, y los usos de la zona de estudio. En este estudio se llegó a la conclusión de la incidencia de los fenómenos ENSO de la zona de estudio está relacionada con el índice de estandarización de sequía pluviométrica, además de la sensibilidad de parámetros como la precipitación dependiente de factores como el coeficiente de esorrentía atribuidos por el tipo hidrológico de suelos de la zona.

Locales

Suarez (2021), llevó a cabo la investigación del comportamiento hidrológico de las crecientes de la quebrada Galindo, analizando las amenazas por crecientes súbitas que inciden sobre la integridad de la comunidad. Durante el estudio se evidenciaron procesos de erosión y transporte de sedimentos condicionados por actividades ganaderas, agrícolas y mineras sin un control de la cantidad del recurso hídrico, lo cual, conlleva a que se genere falta de información y posteriormente a un déficit en la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo.

Marco teórico

Sequias

Para Arumí, Jara, Salgado (2018), el Análisis hidrológico es una evaluación cualitativa y cuantitativa de las relaciones entre pluviometría de una determinada cuenca, y los registros que de ella se generarán, con el fin de determinar los recursos hídricos disponibles. Esta disponibilidad podrá ser superficial o subsuperficial. Aguas superficiales: son aquellas aguas corrientes que escurren por cauces naturales o artificiales, se caracterizan por estar a la vista del hombre. Pueden ser corrientes o detenidas.

Según UNGED (2017), la Sequía hace referencia a la escasez temporal de agua en una zona en comparación de las condiciones habituales dentro de la disponibilidad hídrica de los suelos.

Tipos de sequias

De acuerdo con la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2018), instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017), ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (Minambiente, & Mechanis, 2018), en primer lugar, se encuentra la sequía meteorológica se refiere exclusivamente a la escasez de lluvia durante un período determinado, Es la sequía que da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. El origen de la escasez de precipitaciones está relacionado con el comportamiento global del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como factores antrópicos, como la deforestación o el incremento de los gases de efecto invernadero.

Dando continuación al tema anterior, en segundo lugar, se encuentra la sequía hidrológica, asociada con los periodos de baja precipitación para el abastecimiento de aguas

superficiales o subterráneas. La frecuencia e intensidad es definida por el nivel de los ríos. Influyen factores como el clima, uso del suelo, degradación del suelo, entre otros., es por ello que puede demorarse durante meses o algún año desde el inicio de la escasez pluviométrica o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse. Posteriormente, la sequía agrícola o hidroedáfica caracterizada por la ausencia de agua destinada para los cultivos que no permite el crecimiento y desarrollo de manera adecuada. En zonas de cultivos de secano va ligada a la sequía meteorológica con un pequeño desfase temporal dependiente de la capacidad de retención de humedad del suelo edáfico. En zonas irrigadas la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica.

Por ultimo y no menos importante se encuentra la sequía socio-económica se presenta cuando las condiciones ambientales empiezan a afectar el normal desarrollo de las actividades humanas, generando pérdidas en la producción y las actividades económicas como respuesta a la anormal y prolongada deficiencia de precipitaciones. La creciente presión de la actividad humana sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes.

Parámetros de la sequia

Los eventos secos reflejan el proceso de evolución de la sequía, el cual, se ve influenciado por la variabilidad climática, la duración y por la interacción entre clima y sociedad. Cada tipo de sequía es cuantificado para poder establecer la magnitud y duración del periodo de escasas pluviométrica. Burton *et al.*, (1978) citado por Valiente (2001) se define siete parámetros con los que caracterizar la sequía meteorológica e hidrológica, cada parámetro puede definirse y ser medido de forma individual, los parámetros son:

- la magnitud, determinado por la precipitación y el caudal durante el periodo de duración de un evento seco. Se puede medir la severidad de la sequía como la diferencia de precipitación o caudal para el periodo seleccionado.
- La duración, es el tiempo durante el cual la precipitación o el caudal registrado son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese periodo.
- La frecuencia, números de casos que se producen durante un periodo de terminado, se puede medir por medio de la probabilidad empírica de la precipitación o caudal inferior a la media.
- La velocidad de implantación, tiempo transcurrido entre el momento de inicio de déficit de precipitación o caudal hasta el máximo valor.
- Espaciamiento temporal, tiempo transcurrido entre diversos periodos secos, proporciona una media de la regularidad del fenómeno.
- La extensión, es la superficie total en la que se registra el déficit hídrico.
- La dispersión espacial, medida del grado de difusión o concentración de la anomalía de caudal o de precipitaciones.

En referencia a la sequía meteorológica, puede darse en diversos momentos y en ciclo reconocibles, o de manera totalmente inesperada.

Según el IDEAM (2006) y UNGRD (2018) consideran que las sequias se identifican dentro de la clasificación la *sequía estacional*, la cual, se encuentra relaciona con el comportamiento climático en los patrones de circulación. Generalmente se presenta invariablemente cada año, durante los mismos meses, en otras palabras, es aquella que ocurre durante una estación o periodo climático puntual y que una vez terminado es sustituido por periodos de lluvia. Posteriormente *la sequía contingente* relaciona con una

baja anormal de las lluvias durante el período apto de crecimiento de los cultivos, es decir, durante la temporada de lluvias.

Hurtado (2012), considera que no solo los tipos identificados por el IDEAM Y la UNGRD identifican todos los tipos de sequías que se pueden encontrar, es por ello que agrega un tipo de sequía, la cual, se caracteriza por ser temporada de varios meses en los cuales las lluvias permanecen moderadamente por debajo de los promedios, produciendo un efecto acumulativo que en la agricultura puede reducir la productividad, sino que necesariamente los cultivos colapsen, este tipo de sequía es denominada como invisible.

Otros tipos de sequías que se pueden identificar son la sequía temporal, la cual está relacionada con la coincidencia con algún tiempo prolongado en una región, en la que la falta de agua prolongada suele ser la norma. Y la sequía impredecible, ocasionada por los fenómenos puntuales no climáticos y que puede aparecer en estaciones en las que debería haber abundancia hídrica.

Creciente

Las crecidas fluviales son fenómenos naturales, propios de la dinámica de los ríos, que contribuyen a su Buen Estado Ecológico. Se producen por un incremento, en algunas ocasiones repentino, del caudal circulante debido a precipitaciones intensas o deshielos primaverales. Es entonces cuando el agua, circula por el cauce, se sale y ocupa el espacio que les corresponde: la llanura de inundación.

Decimos, entonces, que se ha producido una inundación al quedar sumergencias, bajo el agua, las zonas terrestres que habitualmente no están cubiertas por las mismas. Sin

embargo, no todas las crecidas producen inundaciones y no todas las inundaciones proceden de crecientes fluviales.

Tipos de crecidas.

Es importante la identificación de las diferentes crecidas en el nivel del agua que se pueden encontrar a la hora de presentarse los fenómenos, los tipos de que se pueden encontrar son:

- La crecidas relámpago, llevadas a cabo en torrentes de montaña, barrancos, ramblas y rieras.
- Las crecidas largas y lentas dadas en cursos medios y bajos de ríos.
- Crecidas intermedias en ríos de tamaño medio y corto presentan mayor pendiente y, por lo tanto, la respuesta de la crecida es más rápida.

El aporte de las crecidas de los ríos general una serie de beneficios al ecosistema fluvial, tales como:

1. Movilizan y transportan los sedimentos
2. Redistribuyen nutrientes y alimentos
3. Renuevan los hábitats
4. Incrementan la fertilidad del suelo
5. Limpian regeneran y reconstruyen los cauces
6. Recargan los acuíferos
7. Mantienen deltas, estuarios y playas

Funcionamiento de una crecida.

Las causas que provocan las crecidas son debidas a la combinación de numerosos factores siendo, lo más frecuentes, las precipitaciones intensas o los deshielos rápidos de la nieve de las montañas.

Cada sistema fluvial funciona de una manera y el caudal de las crecidas depende del territorio que atraviesa, ya que la litología, la climatología y los usos del suelo, entre otros factores, determinan el caudal, la duración y el funcionamiento de cada crecida.

Características de las crecientes.

Una crecida consiste en un aumento, generalmente rápido, del nivel del agua de los ríos o quebradas como consecuencia de la lluvia intensa, lo cual conlleva un incremento de caudal. Cuando se da una crecida, si el volumen de agua recogida por el cauce del río sobrepasa la capacidad de absorción del terreno o la capacidad de contención del cauce, el agua se desborda y provoca la inundación de las riberas. Entonces, una inundación es una consecuencia de una crecida. Las crecidas y las inundaciones son procesos naturales que han ocurrido todo el tiempo en el planeta y han ocurrido todo el tiempo en el planeta y han contribuido a la formación del relieve y de tierras fértiles en las que se ha desarrollado la agricultura.

Las crecidas e inundaciones en ríos o quebradas y las inundaciones están determinadas principalmente por la fuerte lluvia y por los temporales y huracanes. A veces, la lluvia aporta tanta agua, que rebasa la capacidad de los cauces, y los ríos se derraman, afectando los terrenos donde los suelos no logran absorber toda el agua que llega hasta dicho lugar.

Cuando llueve, los bosques detienen el flujo rápido del agua, dando tiempo a que se filtre y circule a poca velocidad por los terrenos, reduciendo la posibilidad de inundación. El deterioro progresivo de las cuencas y los cauces de los ríos y quebradas, por la tala de árboles y la acumulación de basura que obstruye el libre paso del agua, contribuye a que se den las inundaciones.

Análisis hidrológico

El estudio cuantitativo de las particularidades física de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. De acuerdo con Gasparí (2012) La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.

Según (Gaspari, 2012) El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo.

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, en particular, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes.

En la siguiente tabla 1, se plantean los parámetros físico-morfométricos planteados para el análisis hidrológico de la subcuenca Batagá en el municipio de Pamplonita

Tabla 1.

Parámetros físico- morfométricos.

PARAMETRO	DEFINICION
Área (A)	Es la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km ² . Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados.
Perímetro (P)	Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.
Longitud de la cuenca (L)	Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

Ancho de la cuenca (B)	Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.
Factor de Forma de Horton (Kf)	Horton (1932) establece que es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas.
Coeficiente de compacidad (kc)	Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular.
Razón de Elongación (Re)	Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma

Parámetros de relieve	A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, (Navarrete,2004). Algunos parámetros destacan.
Curva Hipsométrica.	Permitirá caracterizar el relieve, obteniéndose a partir de las cotas de altitud registradas en los MDE 1:50,000 y complementado con la estimación de la superficie acumulada por cada cota.
Pendiente media de la cuenca.	Es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas para observar fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie.
Elevación media.	A partir de la curva hipsométrica, se determinará la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca, donde en el eje “X” del gráfico se aplicará el porcentaje.
Análisis hipsométrico.	Con el propósito de comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio propuesto por Campos (1999) que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total. En base al análisis hipsométrico, podremos determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que se encuentra la cuenca.
Orden de los cauces	El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos

	para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se une, resulta una corriente de orden dos. De manera general, 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
Relación de bifurcación (R_b)	Horton también introdujo este concepto para definir el cociente entre el número de cauces de cualquier orden (N_u) y el número de cauce de orden (u) del siguiente orden superior. 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. D. R. Coates encontró que 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.
Tiempo de concentración.	Tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida.

Análisis meteorológico y climatológico

Tabla 2.

Variables meteorológicas.

PARAMETRO	DEFINICIÓN
Clima	Es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo, en un periodo y región dados, y controlado por factores forzantes y determinantes, y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático. (IDEAM, 2005).
Precipitación	La precipitación es la caída de partículas de agua líquida o sólida que se originan en una nube, atraviesan la atmósfera y llegan al suelo. La cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado (IDEAM, 2005).
Temperatura	Es una medida del grado de calor o frío de un cuerpo o un medio los tres parámetros que describen el régimen de la temperatura en un determinado lugar son la temperatura media, la máxima media y la mínima media, en la escala media mensual multianual (IDEAM, 2005).

Humedad atmosférica	Es el porcentaje de humedad que contiene el aire con respecto al total que es capaz de contener como función de su temperatura y su presión (IDEAM, 2005).
Evaporación	Es la emisión de vapor desde una superficie líquida de agua libre, a temperatura inferior al punto de ebullición (IDEAM, 2005).
Viento	Es el aire en movimiento. Se representa por un vector que puede ser descompuesto en una componente horizontal y otra vertical. La proyección horizontal del vector viento es lo que llamamos viento, y a la componente vertical se le denomina corriente ascendente o descendente, según corresponda.
Brillo solar	Es la radiación del sol es a través de la medición de las horas de sol efectivo en el día (brillo solar o insolación), que se asocia a la cantidad de tiempo durante el cual la superficie del suelo es irradiada por la radiación solar directa (IDEAM, 2005).

Dentro de las escalas de la variabilidad climática, los fenómenos ENSO¹ en sus fases fría (“La Niña”) y cálida (“El Niño”) son determinantes en los patrones climáticos de diversas áreas de la superficie terrestre. El territorio colombiano es una de ellas, y como una clara demostración, se señala la presencia de “La Niña” 2010-2011, cuya repercusión en el clima de Colombia ha sido bastante notoria, generando emergencias asociadas a

inundaciones lentas, crecientes súbitas y deslizamientos de tierra, con las consecuentes pérdidas humanas y materiales.

Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)

De acuerdo al IDEAM representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, 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 expresada en años.

Así mismo, Témez (1978) expresa que las curvas resultan de unir los puntos representativos de la intensidad de una tormenta en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno, además de afirmar que dependerán de cada región, pudiendo encontrar una extensa bibliografía con respecto a las curvas IDF de cada región de un país.

Caudal mínimo.

Según Sandoval y Ortiz (2014), El caudal mínimo de una cuenca se lo utiliza generalmente como referencia para determinar el caudal ecológico. Se determina como la fracción entre el producto de la precipitación y el área, y la constante 10^6 .

$$Q_{min} = \frac{P * A}{10^6}$$

Siendo,

Q_{min} = Caudal mínimo de la cuenca anual (m^3/s)

P= Precipitación promedio anual de la microcuenca (mm)

A= Área de la microcuenca

Formula Bürkli-Ziegler

Se aplica, generalmente, en cuencas de extensión superior a 200 Ha. Tiene por expresión:

$$q_p = 3,9 * A * P1 * C * \left(\frac{J}{A}\right)^{0.25}$$

Qp= Caudal punta en Litros/s

A= superficie de la cuenca en hectáreas

P1= Precipitación máxima en 1 hora, en mm

C= Coeficiente de escorrentía

J= Pendiente media de la cuenca %

Escorrentía

La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Proviene de la precipitación por fundición de nieve o glaciares. En el primero, no toda la lluvia que cae produce escorrentía, porque el almacenaje en los suelos puede absorber los chaparrones ligeros.

Coeficiente de escorrentía.

Es uno de los parámetros fundamentales de la Hidrología superficial, pues representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el volumen de Escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área para visualizarlo puede ser tratarlo en términos de porcentaje de lluvia. La selección del

coeficiente teniendo en cuenta la cobertura, el tipo de suelo predominante y la pendiente, de forma tal de poder estimar su nivel de permeabilidad, la cual deberá ser determinada a partir de muestreos, inspección directa o estudios geológicos. A continuación, se encuentra la tabla n de coeficiente de escorrentía según Benítez et al. (1980) citado por Lemus & Navarro (2003)

Tabla 3

Coeficiente de escorrentía según Benítez et al., (1980).

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota: Tomado de particularización al método de los coeficientes de escorrentia.

(2014)

Cobertura vegetal

Entendida como la capa más superficial de la corteza terrestre, tiene en cuenta los tipos de elementos antrópicos y naturales para el desarrollo de actividad socio-economicas ambientales. En Colombia el IDEAM definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la

cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

Litología

Entendida como la parte de la ciencia que estudia las rocas, incluyendo el origen, edad, composición, estructura y distribución a lo largo del planeta. Cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los deslizamientos y los mapas de inventario de deslizamientos presentan densidades de número o tamaño de los movimientos que son característicos de determinadas áreas dentro de cada formación geológica.

Desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación (Abramson, 1996) diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son la roca y el suelo, pues las rocas a su vez se clasifican de acuerdo a su origen

Índice de aridez

De acuerdo al IDEAM el Índice de Aridez (IA), es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial.

Índice de precipitación estandarizado

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI; McKee 1993) es el número de desviaciones estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico. Esto indica que valores por debajo de un valor -1 indican condiciones de

déficit significativos, mientras que valores mayores que +1 indican condiciones más húmedas que lo normal.

El IPE o SPI está disponible para diferentes periodos de acumulación: 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36 o 48-meses, lo cual permite evaluar la duración de las condiciones de sequía y superávit para diferentes escalas de tiempo.

Marco legal

Tabla 4

Normativa ambiental.

Norma	Expedido por	Objeto
Ley 99 de 1993	El congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Decreto 1323 de 1997	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se contempla los sistemas de información del recurso hídrico SIRH para implementarlos en los planes de ordenamiento y manejo de una cuenca.
Ley 1450 de 2004	El congreso de Colombia	La cual establece en el parágrafo del artículo 212 la implementación de los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

Decreto 1076 de 2007	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se establecen los planes de ordenamiento de recurso hídrico.
2.2.3.3.1.4		
Decreto 1076 de 2008	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se presentan los alcances respectivos en cada una de sus fases de declaratoria de ordenamiento, diagnostico, identificación de sus potenciales del recurso hídrico y la elaboración del PORH, incluyendo los avances técnicos que se tienen con respecto a la estimación de la oferta hídrica y la modelación de la calidad del agua continental superficial.
2.2.3.3.1.8		
Resolución 751 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adopta la Guía técnica para la formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico continental superficial-PORH y se dictan otras disposiciones
Ley 373 de 1997	Congreso de Colombia	Por la cual se establece el Programa del uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 1640 de 2012	El presidente de la República de Colombia	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Artículo 3		

Resolución	865	Ministerio de	Se adopta la metodología para el cálculo del
de 2004		Ambiente y	índice de escasez para aguas superficiales.
		Desarrollo Sostenible	

Nota: Elaborada a partir de la normativa ambiental vigente.

Capítulo III

Metodología

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados de esta investigación se trabajó bajo enfoques cualitativos y cuantitativos ambientales hidrológico constante de cinco (6) etapas, partiendo de una revisión sistemática, base de datos, estudio de factores morfométricos, hidrometeorológicos, climatológicos, y geológicos; para posteriormente la representación e interpretación de los mismos con las actividades propuestas descritas a continuación:

Etapas 1. Diagnóstico inicial de la cuenca

Para determinar el estado de la microcuenca Quebrada Batagá, inicialmente se desarrolló una revisión literaria en las bases de datos académicas de la Universidad de Pamplona y la web en el general la existencia de estudios, investigaciones, tesis de grados y proyectos llevados a cabo en la zona. Así mismo, se realizaron salidas de campo para el reconocimiento del afluente al río Pamplonita y la exploración de las actividades incidentes en el comportamiento como usos y cobertura vegetal, actividades económicas, usos del agua, estado de cauce principal, entre otras. Por otro lado, para la confirmación de los aspectos anteriores, se llevó a cabo una encuesta (Anexo 1) a los habitantes y beneficiarios relacionados con el nivel de agua, condiciones, problemáticas antrópicas y naturales, variabilidad climática y variación del comportamiento en los últimos años de la zona.

La encuesta constaba de 26 preguntas en total, de las cuales 14 eran de opción múltiple y 12 abiertas; para la elaboración se tuvo en cuenta información disponibles de otras investigaciones en relación con la temática para la generación de preguntas que abarcaran posibles problemas meteorológicos, cobertura e hidráulicos por parte de la cuenca. Con

respecto a la validación se parte de la revisión por parte de los directores de los directores de la investigación, cuyo propósito consiste en tener claridad frente a las diferentes problemáticas, para posteriormente aplicarlos a los habitantes de la zona de estudio.

Etapas 2. Análisis y procesamiento de la información meteorológica

Para evaluar el comportamiento hidrológico de la microcuenca Quebrada Batagá, se descargó la información meteorológica de la interfaz web de la NASA Geovanni, en la cual se ingresaron las coordenadas de terreno (-72.6848,7.3742,-72.6258,7.4783), para el periodo de tiempo de 1998 a 2021. Se seleccionó como referente el satélite TRMM para la obtención de datos de precipitación, y el modelo M2MXASM v5.12.4 para datos de temperatura máxima, mínima y media. Posteriormente se dio el análisis e interpretación mediante graficas de la distribución de temperatura media y precipitación, para la posible identificación de fenómenos climáticos según la intensidad de las variables, los cuales se procesaron más adelante en la determinación de los índices respectivos

Etapas 3. Determinación de características físico-morfométricas de cuenca.

La caracterización física y morfométrica de la cuenca se realizó por medio de la utilización de un DEM de la zona de estudio, el cual para obtenerlo inicialmente se realizó un polígono en el software libre de Google Earth Pro y fue exportado en formato KML/KMZ, para posteriormente utilizar el software Global Mapper de 64 bits (versión prueba) en donde se realizó la elevación del terreno para la obtención de las curvas de nivel a 5 metros que dieron paso a la exportación de un archivo Geotiff. Finalmente se empleó el software libre QGIS versión 3.26.3 con las herramientas de reproyección, SAGA como fill sinks Wang & Liu (DEM sin depresiones, espacios sin datos y área de la cuenca), Strahler Order, Upslope

(Obtención de la red, dirección y acumulación de drenaje; y delimitación de la cuenca) y herramientas GDAL.

Así mismo, para la continuidad del proceso anterior se dio la creación de capas vectoriales para la obtención de parámetros de forma, relieve y drenaje tales como área (A), perímetros (P), longitud axial, ancho, red de drenaje, curvas hipsométricas, coeficiente de compacidad (K_c), Índice de forma (Horton), perfil del cauce, elevación mínima, media y máxima, entre otras características.

Etapas 4. Análisis del comportamiento hidrológico de la cuenca

Con respecto al análisis hidrológico de la cuenca se aplicó el método de Ven Te Chow para el cálculo indirecto de la curva IDF, la cual primero se obtuvo la constante de proporcionalidad (K_t) en función del periodo de retorno para el diseño de obras, en segundo lugar, la precipitación probable en función de la duración en minutos y la precipitación máxima en 24 hora (mm), posteriormente la intensidad con la relación de la desviación estándar y los factores característicos de la zona.

Con el propósito de desarrollar la curva de duración de caudales máximos y mínimos, se utilizaron los respectivos caudales de una serie de registro histórica de aproximadamente 43 años, dichos datos fueron se obtuvieron los métodos matemáticos de estimación de caudales mínimos relacionado con caudal ecológico de Sandoval y Ortiz (2014). Así mismo a los caudales máximos por la formula empírica de Bürkli Ziegler en este se hizo necesario la determinación de los coeficientes de escorrentía teniendo en cuenta el tipo de cobertura, suelo y las pendientes de la zona cuyos datos fueron obtenido en el manejo capas en el software QGIS y la clasificación del coeficiente de escorrentía de Benitez et al; (1980). Por último, se determinó la probabilidad de excedencia a partir de las ecuaciones de California

(1923), Hazen (1930), Weibull (1939), Chegodayev (1955), Blom (1958), Turkey (1962) y Gringorten (1963).

Etapas 5. Análisis de variables como cobertura vegetal y litología de la zona.

Para determinar el uso del suelo se realizaron visitas a campo para la identificación visual del tipo de cobertura y la composición litológica de la zona. Posteriormente con la ayuda de imágenes satelitales en el software libre QGIS versión 3.26.3 se digitalizó en formato Shapefile los tipos de cobertura y se llevaron al tamaño de la cuenca de estudio para seguidamente dar la clasificación de acuerdo a la metodología nacional adoptada por el IDEAM Coordination of Information on the Environment (Corine Land Cover)

La composición litológica de la cuenca se determinó mediante la descarga de suelo en formato shapefile del departamento Norte de Santander que existe en la plataforma del instituto geográfico agustín codazzi (IGAC), luego se realizó recorte al área de estudio y la clasificación de acuerdo a la metodología ya predispuesta a nivel nacional sobre material rocoso.

Etapas 6. Calculo de los índices de sequias y crecientes

Se empleó el software libre Drinc C para obtener resultados de Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y índice potencial de evapotranspiración. Seguidamente en el software Excel se realizó graficas de comportamiento, distribución, tendencia, climogramas mensuales y anuales. Además, se desarrollaron los cálculos del índice de aridez mediante los métodos Martonne, así mismo los métodos de Lang y Caldas Lang para la clasificación bioclimática de la zona; y por último la clasificación de acuerdo a los SPI estipulado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Capítulo IV

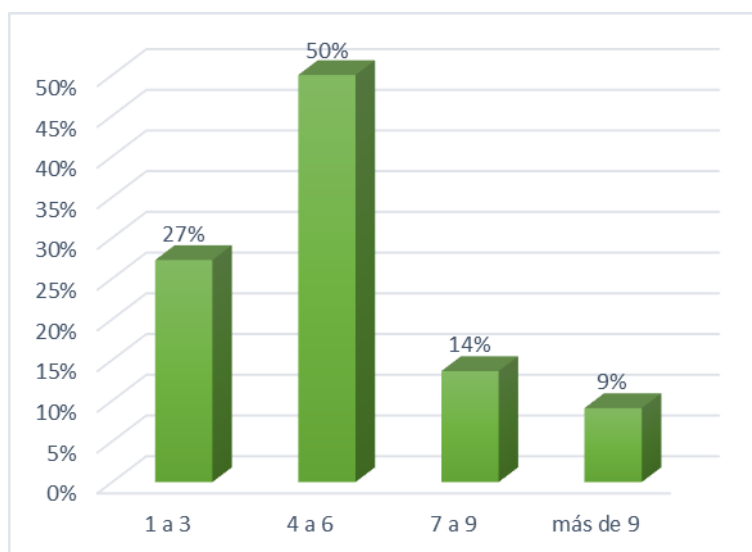
Resultados y análisis

Etapa 1. Diagnóstico inicial de la cuenca

A partir de las salidas de campo y la encuesta aplicada se realizaron 25 impresiones de las cuales 22 fueron respondidas de manera presencial en las viviendas de los encuestados. A partir de lo anterior en la figura 1 se reflejan las respuestas obtenidas (Anexo 1), de los cuales el 50% de los núcleos familiares están compuestos mayormente de 4 a 6 integrantes seguido de un 27% con hogares de 1 a 3, y por último en menor medida mayores a 7.

Figura 2.

Número de personas residentes en cada casa.



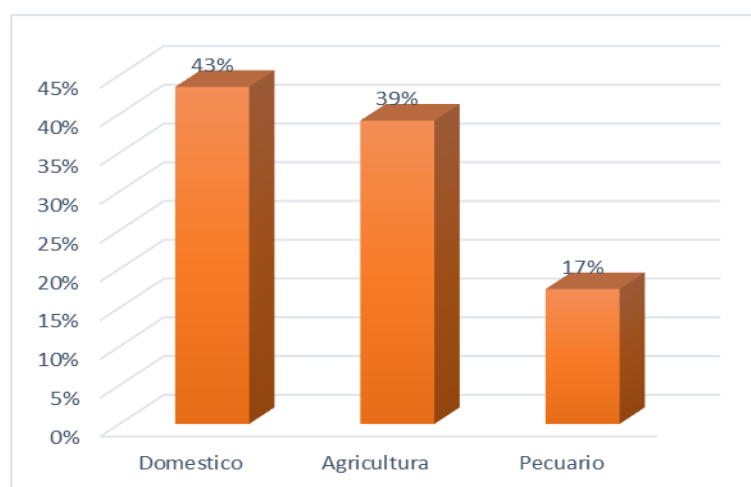
Fuente: Daza, A. (2022)

Así mismo, al encontrarse la quebrada Batagá en la zona rural y rodear el casco urbano del municipio los principales en la figura 3 se observan los usos del recurso hídrico se encuestados, se relacionan mayormente con 43% para el uso doméstico dentro de este se

encuentra el abastecimiento al casco urbano y a la vereda Batagá tanto en la parte baja como alta. En segundo lugar, la agricultura con un 39% para diversos tipos de cultivos adaptables a los microclimas por los que atraviesa el cauce y en menor porcentaje se encuentra todo lo relacionado con lo pecuario, dentro de este se incluye pastos y producción ganadera.

Figura 3

Usos de recurso hídrico.

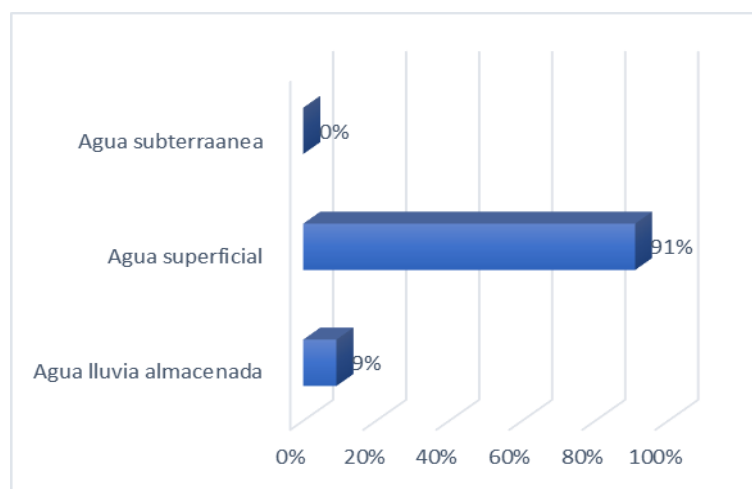


Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 4 se ilustra el manejo y uso de recurso hídrico el tipo de captación principales superficial, dado que en la zona no se ha existido la necesidad de realizarla exploración subterránea para identificación de cuerpos de agua, en lugar de ello, a favor del medio ambiente y como una forma de concientización de los últimos tiempos para contribuir al cuidado del recurso algunas casas han empleado sistemas de acumulación de aguas lluvias con el propósito de utilizarlas en actividades granjeras como por ejemplo lavado de pesebreras y corrales de los animales.

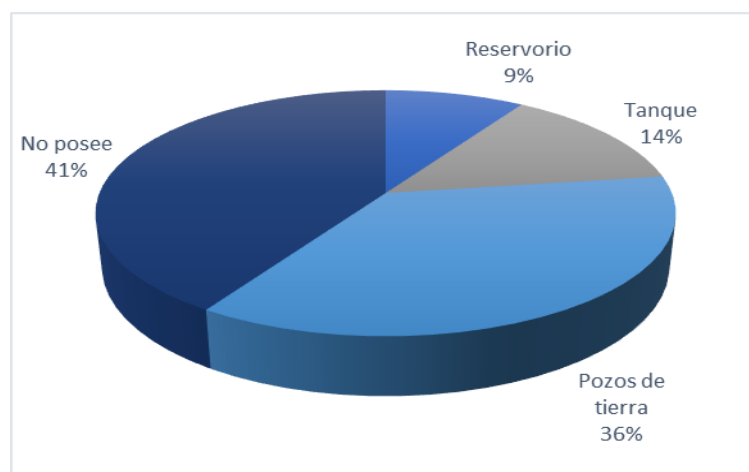
Figura 4

Tipo de captaciones para el suministro.



Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 5 se observan los sistemas de acumulación de agua en la zona mayormente no poseen, aunque otros emplean el uso de pozos naturales realizados por el mismo cauce o por la mano de obra del hombre con el propósito de almacenar agua de forma natural sin la necesidad de entrar en gastos. Los sistemas de tanque y reservorio son empleados por fincas cuyos cultivos son de gran extensión y las captaciones se encuentran a grandes distancias.

Figura 5*Sistemas de acumulación de agua.*

Fuente: Daza, A. (2022)

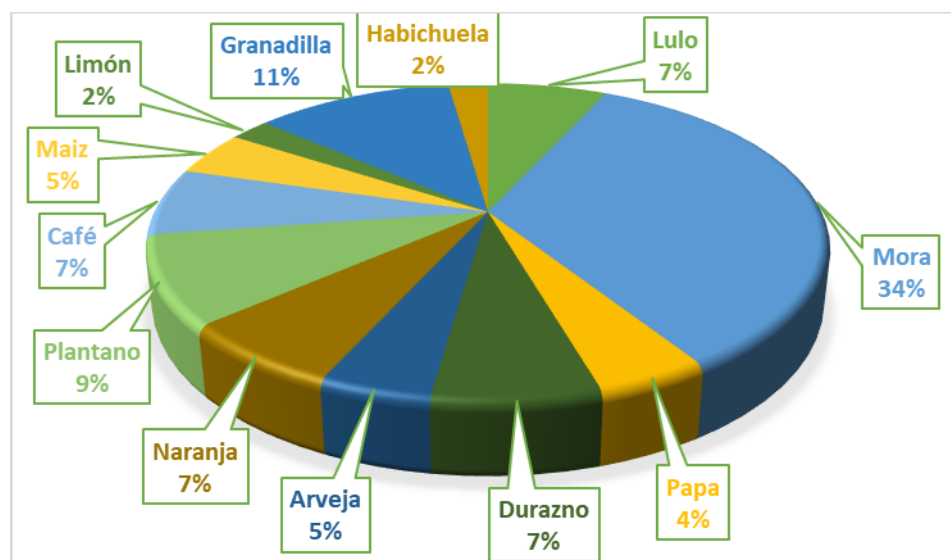
En concordancia con el suministro de abastecimiento para la zona urbana se da a partir de captaciones por gravedad entre las 4 y 8 pulgadas de agua (figura n) para el sistema de acueducto del casco urbano, puesto que la parte rural baja a pesar de encontrarse cerca del pueblo, este se encuentra en las mismas condiciones de la parte alta de solo contar con servicios de luz y sistemas individuales de acueductos veredales no potables, dado que servicios de saneamiento básico como Alcantarillado, Gas y Recolección de residuos sólidos no se llevan a cabo. Los residuos sólidos orgánicos son reutilizados y los inorgánicos son incinerados, emplean el sistema de fosa séptica para la disposición de aguas residuales domésticas, y como fuente de energía para la preparación de alimentos se emplea mayormente leña, recurso que se obtiene por los bosques de la zona.

Como anteriormente se mencionó, uno de los usos del recurso hídrico está dirigido al sector primario, el cual es la principal fuente económica del municipio. A lo largo de la cuenca los cultivos predominantes (figura 6) son la mora con un 34%, el cual su presencia

se observa desde el nacimiento de la quebrada Sabaneta afluente que da continuidad a la quebrada Batagá, en segundo lugar se encuentra plantaciones de granadilla cuyas siembras son ralas pero en gran extensión, en menor medida y como productores para el consumo diario se es posible encontrar cosechas de papa, naranja, plátano, café, maíz, limón, habichuelas, lulo y arveja. Como caso especial se tiene el cultivo de durazno dado que de este se da en dos fincas de gran extensión que se favorecen del agua y otros cuyas cosechas no se han producido por el poco tiempo que se ha transcurrido desde la siembra, y captación de agua afluentes al cauce principal.

Figura 6

Cultivos predominantes a lo largo de cuenca.



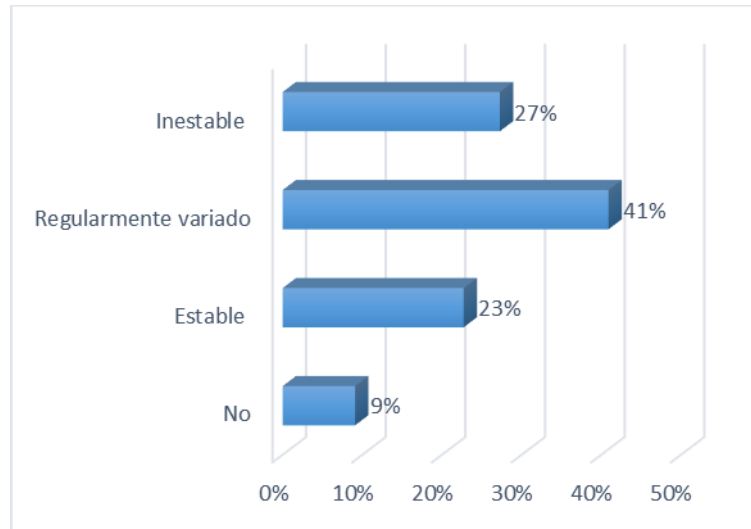
Fuente: Daza, A. (2022)

Por otro lado, de acuerdo a la figura 7 el 42% de la población encuestado creen que el clima ha variado de manera regular, es decir, se presentan épocas de sequías y lluvias de manera contralada, mientras que otro el 27% opina que en los últimos tiempos el tiempo ha presentado cambios es su duración puesto que los periodos de cada fenómeno climático

tienden a disminuir o aumentar y por lo tanto han afectado sus cultivos, y por último la otra parte de la población que clima sigue con un comportamiento estable con los periodos marcados y exactos de duración.

Figura 7

Cambios en el clima de la zona de estudio.

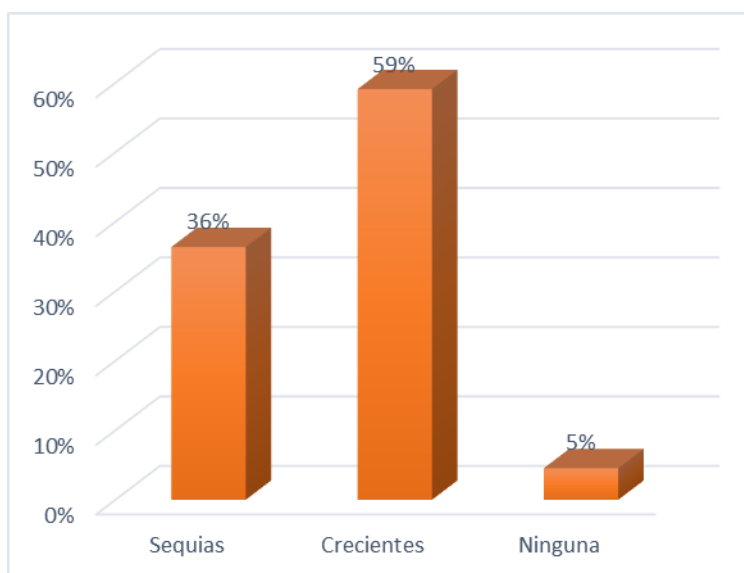


Fuente: Daza, A. (2022)

Dentro de los eventos climáticos de acuerdo a la figura 8 el 59% de las crecientes se cataloga como el fenómeno con mayor predominancia en los últimos tiempos, y como el mayor afectador a las cosechas, puesto que este genera aumento en la humedad óptima para los cultivos ocasionando que no nazcan, así mismo las plantaciones que ya se encuentran retrasan el proceso de maduración y se genera daños en la raíz. Por otro, y sin menor importancia se encuentran las sequías con un 36%, las cuales en las zonas donde se presentan poca vegetación y ausencia de agua genera que los cultivos se marchiten y se pierdan.

Figura 8

Eventos climatológicos presentes.



Fuente: Daza, A. (2022)

En relación con las crecientes de la zona la frecuencia con la que se presentan (figura 9-a) el 55% son frecuentes, el 36 % muy frecuentes con poco tiempo de diferencia entre presentarse un episodio al otro, en menor medida con un 9% su presencia se da en periodos largos. Así mismo, la mayor parte de las épocas de crecientes presentan una intensidad (figura 9-b) del 36% entre moderadas e intensas, con menor porcentaje 27% han sido muy marcadas. Con respecto a la duración (figura 9-c) el 32% presentan una duración de 3 meses, en menor medida con duraciones entre 1 y 2 meses, así mismo, mayores a los 3 meses son mucho menores que las anteriores

Figura 9

(a) Frecuencia de las crecientes, (b) Intensidad de las crecientes presenciadas y (c) duración de las crecientes.



Fuente: Daza, A. (2022)

Con respecto al comportamiento de las épocas de sequías estas no son tan frecuentes como las altas precipitaciones (figura 10-a), el 45% de estas son catalogadas como frecuentes haciendo énfasis en que los periodos en que estas suceden son marcadas, el 32% las consideran poco frecuentes y el 18% son muy frecuentes. Por otro lado, los episodios presentados (figura 10-b) son un 45% intensos, el 32% son soportables y el 14% las han presenciado de manera intensas, las duraciones (figura 10-c) se caracterizan por

presentarse entre los 2 a 3 meses, algunas con predominancia de llegar a presentarse a los 6 meses o mayor que este.

Figura 10

(a) Frecuencia de las sequías, (b) intensidad de las sequías presenciadas y (c) duración de las sequías.

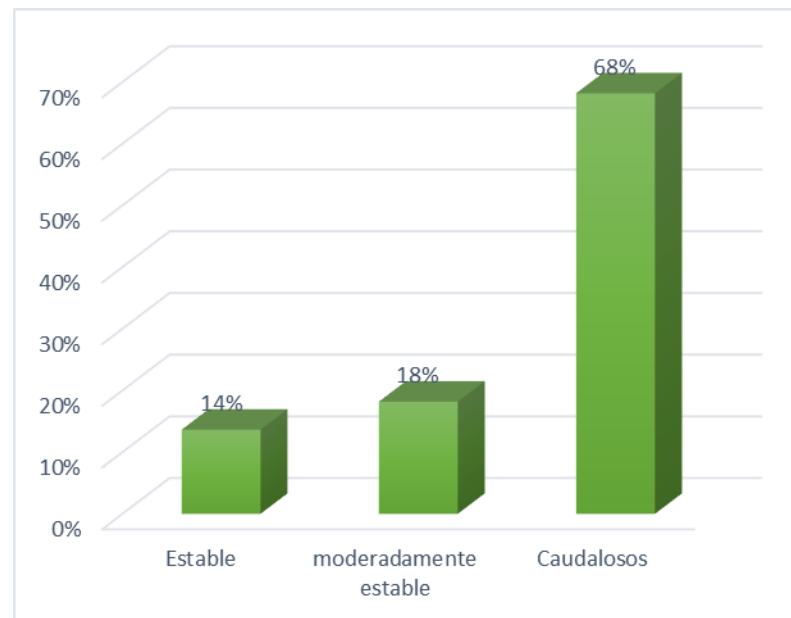


Fuente: Daza, A. (2022)

De acuerdo a la opinión de los pobladores en la figura 11 se observa que la perspectiva sobre el cauce de micro cuenca quebrada Batagá la mayor parte del tiempo a causa de las altas precipitaciones este presenta un comportamiento caudaloso, en menor medida cuando esta la presencia de veranillos este tiempo a estar estable, sin generar impactos de remoción o arrastre a lo largo de ella.

Figura 11

Comportamiento flujo hídrico del cauce.

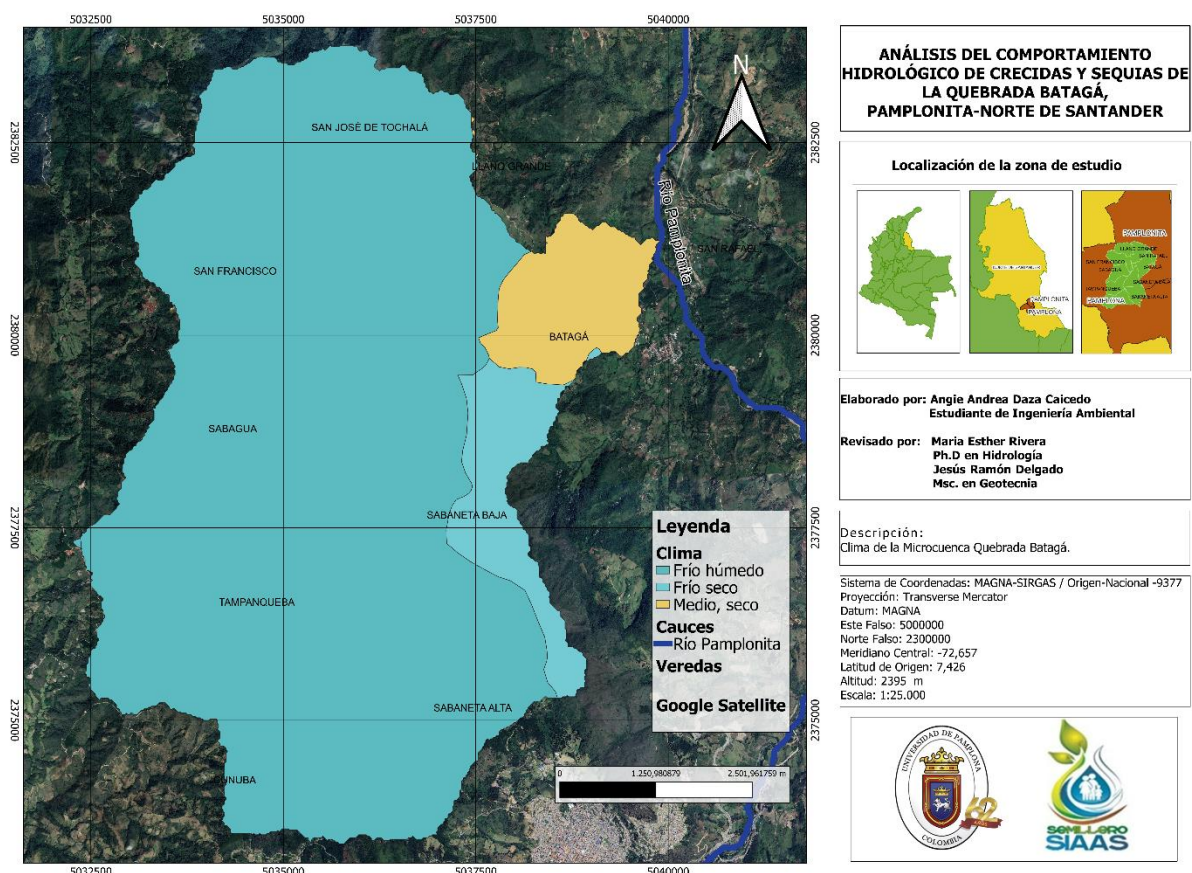


Fuente: Daza, A. (2022)

A partir de la figura 12 el clima presente en la cuenca de estudio es influenciada por factores como la altitud que va desde los 1535 a 2939 m.s.n.m, lo cual define la zona como montañosa, pues su mayor extensión es abarcada por un clima frio húmedo (84,20%) y en menor medida clima medio seco (8,14%) junto con frio seco (7,66%). De acuerdo a lo anterior, el desarrollo agrícola de la zona se ve favorecida, pues la variedad climática permite la siembra de cultivos de zonas húmedas en la parte alta y cultivos de zonas templadas en la parte baja, esta es otra forma de evidenciar la heterogeneidad agrícola junto con la producción en menor medida para sostenibilidad de los hogares y el desarrollo comercial.

Figura 12.

Mapa de clima de la microcuenca Quebrada Batagá.



Fuente: Daza, A. (2022) mediante software libre QGIS versión 3.26.3.

Etap 2. Análisis y procesamiento de la información meteorológica

Para el análisis y procesamiento de variables meteorológicas de la cuenca en estudio se tuvieron en cuenta las variables de temperatura media y precipitación, cuyos valores no presentaron datos faltantes, por ende, se empleó directamente el software Excel para la organización y distribución de las dos variables.

En la tabla 5 se encuentran los valores mensuales de temperatura media registrada desde 1998 hasta 2021 obtenidos de la plataforma Nasa Giovanni junto con los promedios anuales y mensuales.

Tabla 5

Temperatura media mensual anual.

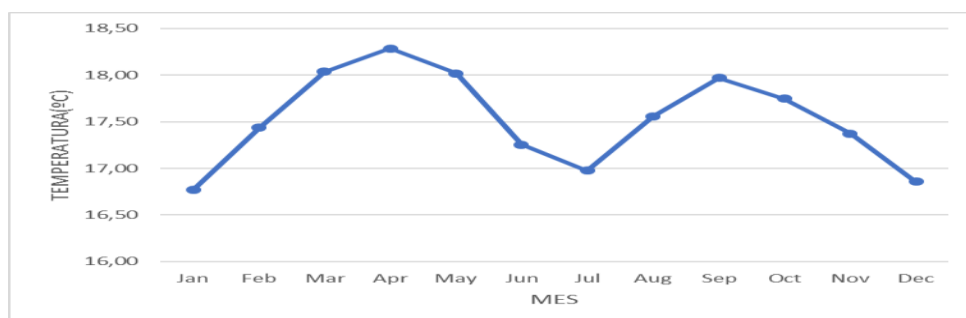
AÑO/ MES	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	PROM ANUAL
1998	18,14	19,22	20,03	20,04	18,60	17,29	17,25	17,96	18,08	17,63	17,13	16,68	18,17
1999	16,40	16,41	16,94	17,19	17,17	16,85	16,65	17,06	17,00	16,84	16,82	16,16	16,79
2000	15,44	15,63	16,56	17,38	17,41	16,28	15,61	16,06	16,78	16,62	16,37	16,08	16,35
2001	14,91	15,85	17,86	18,08	18,39	17,20	16,81	17,58	17,39	17,83	17,27	17,31	17,21
2002	16,48	17,48	17,89	17,50	17,69	16,83	16,48	17,33	18,44	17,95	17,66	17,17	17,41
2003	17,95	17,86	17,85	17,87	17,48	16,55	16,52	17,04	17,14	17,21	16,98	16,64	17,26
2004	16,22	17,01	18,27	18,66	17,47	16,51	16,17	16,72	17,93	17,84	17,60	17,10	17,29
2005	17,19	17,79	19,35	19,11	18,51	18,00	18,05	18,42	18,93	18,23	17,38	16,59	18,13
2006	16,62	17,18	17,61	18,06	17,62	16,84	16,55	17,29	17,95	18,25	18,07	16,93	17,41
2007	17,26	17,59	18,19	18,85	19,11	17,49	17,09	17,52	17,44	17,32	16,99	16,80	17,64
2008	16,58	17,26	17,76	18,24	18,01	17,80	16,92	17,52	18,35	17,57	17,15	16,23	17,45
2009	16,40	16,59	17,18	17,56	17,66	17,44	17,14	17,58	18,31	18,21	18,12	17,36	17,46
2010	17,71	19,77	20,03	19,30	18,85	17,67	17,11	17,72	17,30	17,22	16,72	16,02	17,95
2011	15,36	16,08	16,36	16,84	17,31	16,79	16,32	16,95	17,29	16,79	16,84	16,20	16,59
2012	15,71	16,62	17,03	17,31	17,30	16,99	16,92	17,74	17,92	17,33	17,28	17,11	17,10
2013	17,03	17,23	18,38	18,63	17,52	17,22	16,82	17,25	18,19	17,89	17,06	16,70	17,49
2014	16,88	17,79	18,35	18,60	18,27	17,51	16,96	17,13	17,46	17,33	16,83	16,98	17,51
2015	16,73	17,52	17,79	17,74	17,98	17,50	17,24	17,98	18,48	18,50	17,49	17,41	17,70
2016	18,56	19,14	19,99	19,47	18,15	17,18	16,92	17,65	17,95	18,66	17,75	16,56	18,17
2017	16,71	17,64	17,64	17,99	17,81	16,90	17,42	17,66	17,91	17,65	17,38	16,66	17,45
2018	16,89	17,14	17,76	17,21	17,07	16,81	16,72	17,04	17,76	17,26	17,09	16,07	17,07
2019	17,01	17,82	18,59	18,56	18,20	17,08	16,72	17,67	18,41	17,16	17,54	17,67	17,70
2020	17,54	18,04	17,84	19,21	19,55	18,23	17,87	18,70	18,70	18,93	18,37	18,07	18,42
2021	16,76	17,79	17,61	19,45	19,28	19,13	19,24	19,86	20,19	19,74	19,11	18,11	18,86
PROM MENSUAL	16,77	17,44	18,04	18,29	18,02	17,25	16,98	17,56	17,97	17,75	17,37	16,86	

Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 14 se ilustra el comportamiento de la temperatura media mensual, del cual se infiere que el rango en la zona se encuentra entre los 16°C y 19°C, así mismo se refleja que durante un (1) año se presentan dos episodios de altas temperaturas asociados con el fenómeno de El Niño y sequías siendo el mes de abril el que registra el mayor valor de temperatura (18,29°C) seguido del mes de septiembre (17,56°C), por el contrario los meses de enero (16,77°C), julio (16,98)°C y diciembre (16,56°C) son los meses cuyas temperaturas son más bajas.

Figura 13

Comportamiento de la temperatura media mensual.

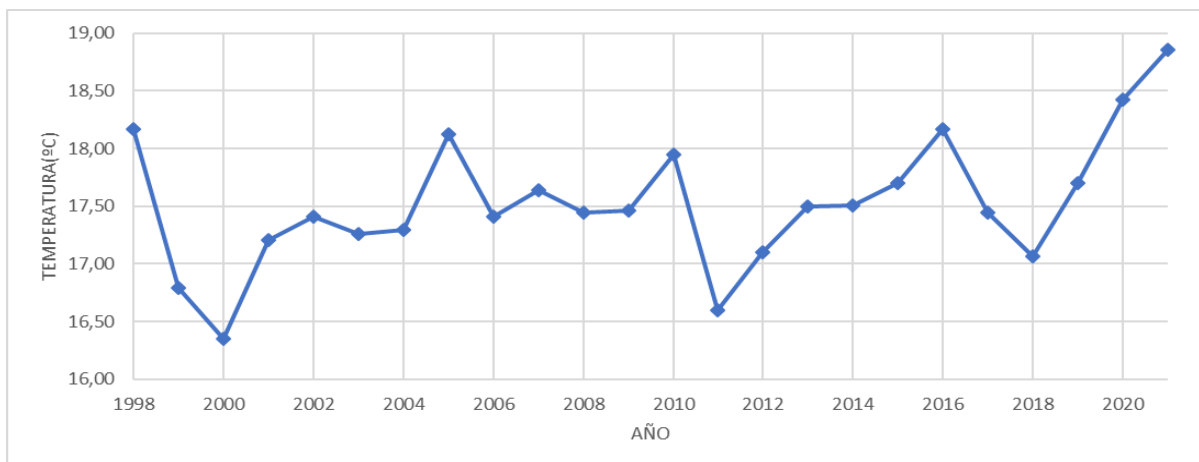


Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 15 se ilustra el comportamiento de la temperatura media anual, del cual el rango en la zona se encuentra entre los 16°C y 19°C. Con respecto a la distribución se observa una disminución de temperatura considerable desde 1998 hasta el año 2000, a partir de allí el aumento de la temperatura ha sido constante a excepción de los años 2011 y 2018 aunque cabe destacar que estos se encuentran dentro del rango establecido para la zona. Por otro lado, la variación inestable de la variable es efecto de la variabilidad climática y el cambio climático que se ha en los últimos tiempos afectando a la localidad.

Figura 14

Comportamiento de la temperatura media anual.



Fuente: Daza, A. (2022)

En la tabla 6 se encuentran los valores mensuales de precipitación registrada desde 1998 hasta 2021 en mm/mes, obtenidos de la plataforma Nasa Giovanni junto con los promedios anuales y mensuales para la distribución correspondiente.

Tabla 6

Precipitaciones mensuales y anuales.

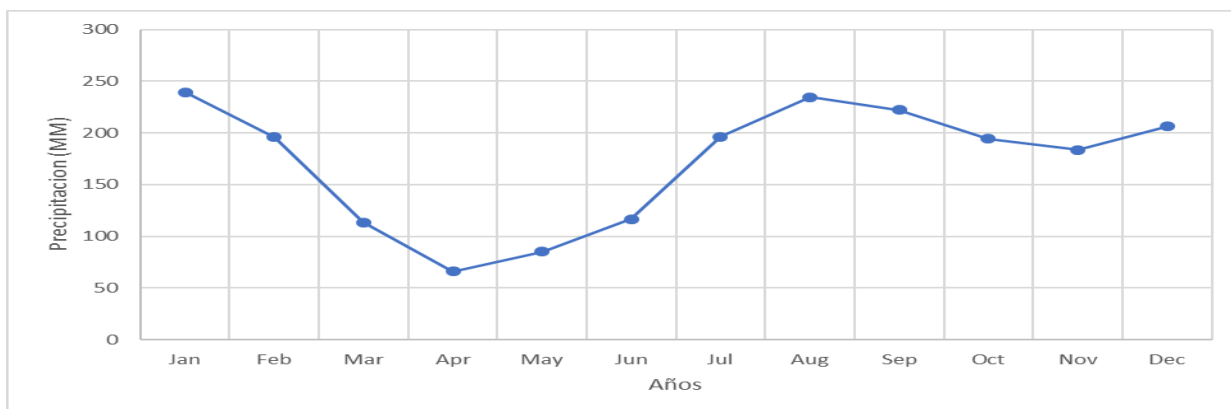
AÑO/ MES	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	ACUMULACION ANUAL
1998	285,6	273,0	180,3	55,0	136,8	101,0	241,8	265,7	285,0	238,0	210,0	215,6	2487,76
1999	296,5	239,6	156,0	118,2	183,8	96,8	251,9	180,8	271,0	190,3	238,2	304,2	2527,08
2000	236,9	227,6	124,5	122,1	116,3	161,4	198,7	239,2	216,2	228,5	166,9	294,8	2333,14
2001	286,5	179,6	104,3	22,0	46,1	97,4	142,9	199,2	205,4	193,2	175,9	242,8	1895,31
2002	198,3	130,9	86,7	68,3	37,6	184,4	229,9	297,6	286,3	186,9	145,1	209,9	2061,87
2003	272,9	245,9	137,4	37,2	67,1	138,5	212,3	166,2	255,6	254,3	160,9	223,2	2171,52
2004	261,2	212,3	127,9	57,0	56,4	115,8	240,1	317,3	315,1	208,2	267,1	317,1	2495,73
2005	274,6	254,1	83,6	142,1	122,6	54,2	179,9	274,0	221,6	188,1	140,6	194,2	2129,53
2006	288,0	150,0	103,7	115,7	71,9	163,1	239,0	297,5	220,7	224,6	223,2	225,0	2322,26
2007	282,3	150,6	107,4	55,6	88,1	143,3	158,0	228,5	238,5	202,2	303,0	238,5	2195,97
2008	322,0	258,5	146,9	75,7	92,3	105,8	185,8	321,6	239,2	194,0	272,9	172,1	2386,68
2009	176,2	152,2	63,6	63,2	118,1	165,5	214,1	260,1	202,6	199,7	171,0	195,6	1981,84
2010	320,8	291,6	252,7	25,6	51,4	79,3	180,3	286,2	242,4	220,0	214,1	281,2	2445,59
2011	221,0	255,3	197,8	135,7	141,1	105,0	278,5	350,8	249,3	203,1	179,5	192,8	2509,84
2012	317,7	146,6	107,9	53,9	40,2	132,3	270,5	264,3	222,3	192,2	196,9	182,0	2126,73
2013	144,1	186,2	95,2	46,1	115,0	112,1	202,4	299,5	261,0	176,5	170,4	159,8	1968,10
2014	188,0	177,7	67,2	33,8	96,1	78,1	132,5	172,9	166,4	224,0	152,7	142,6	1631,94
2015	123,1	177,1	71,4	46,2	109,9	95,4	131,7	109,0	168,7	211,2	77,9	149,3	1471,02
2016	159,0	232,1	99,9	36,0	45,2	65,0	185,2	146,3	172,4	148,0	124,3	140,9	1554,18
2017	201,7	151,4	58,4	45,8	76,6	138,5	146,1	145,8	145,5	128,5	194,5	141,4	1574,27
2018	251,9	105,6	49,3	43,2	20,9	137,5	159,4	165,4	160,4	149,5	129,3	152,9	1525,38
2019	152,7	114,7	75,5	52,6	38,7	90,5	134,6	168,7	140,0	108,6	123,5	157,2	1357,36
2020	243,2	199,9	115,3	66,6	87,3	117,6	199,1	237,5	226,0	198,1	186,4	208,4	2085,51
2021	237,2	192,7	110,6	66,5	82,8	117,2	194,2	233,1	219,4	192,3	182,5	205,7	2034,13

Fuente: Daza, A. (2022)

En relación con la precipitación mensual en la Figura 15 se observa que el rango de lluvia en la zona de estudio se encuentra entre los 50 y 250 mm/mes, presentándose la época con mayor intensidad durante los meses de julio (196,29 mm/mes) y octubre (194,16 mm/mes), mientras que por el contrario los meses de marzo (113,49 mm/mes) a junio (116,49 mm/mes) los de menor intensidad.

Figura 15

Comportamiento de la precipitación mensual.

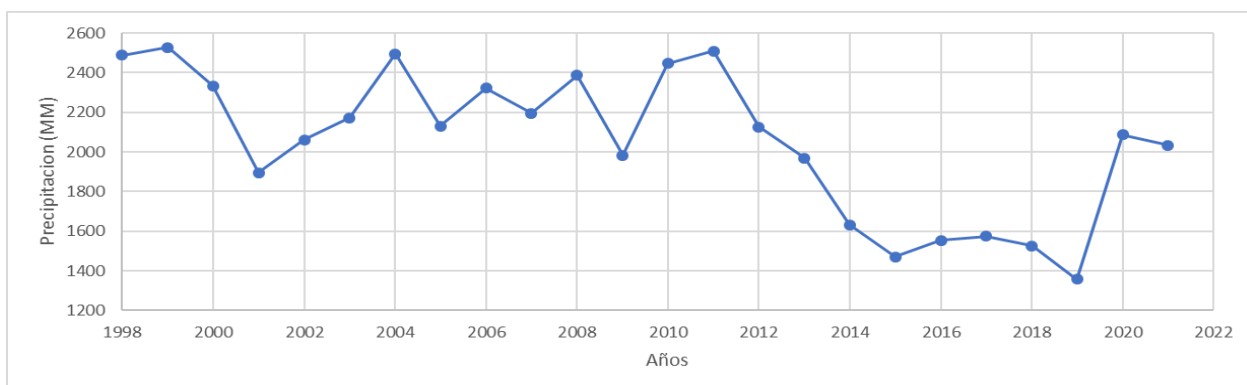


Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 16 se ilustra el comportamiento de la precipitación anual, del cual el rango en la zona de estudio se encuentra entre los 100 y 220 mm/hora. Con respecto a la distribución se infiere una baja en la intensidad desde 1998 hasta el año 2000, a partir de este último ocurre una época de constantes lluvias hasta aproximadamente el año 2013, relacionándose con los fenómenos climatológicos como La Niña, posteriormente al año se marca un periodo de ausencia de lluvia hasta el 2019 haciéndose notar un episodio de El Niño.

Figura 16

Comportamiento de la precipitación anual.

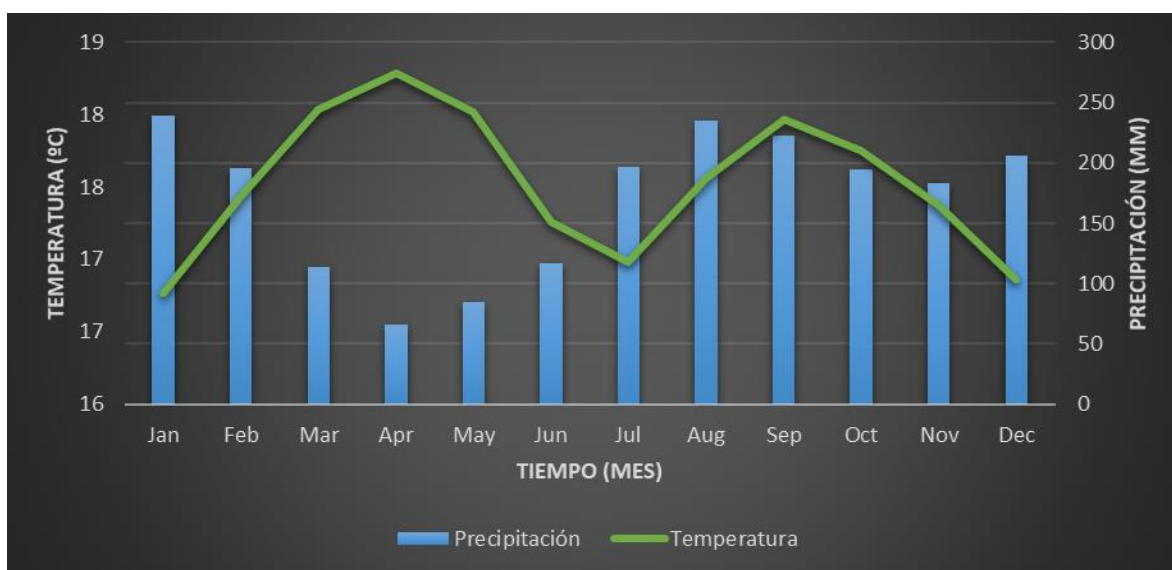


Fuente: Daza, A. (2022)

En la correlación existente de las variables meteorológicas la Figura 17 se observa el climograma mensual de la temperatura media y la precipitación, a partir de ellos se refleja una anomalía climatología en los meses de julio a noviembre, dado que se produce una tendencia similar en el comportamiento de las dos variables, mientras que durante los meses restante el comportamiento es indirectamente proporcional como consecuencia del cambio y la variabilidad climática.

Figura 17

Climograma mensual de la temperatura media y precipitación.



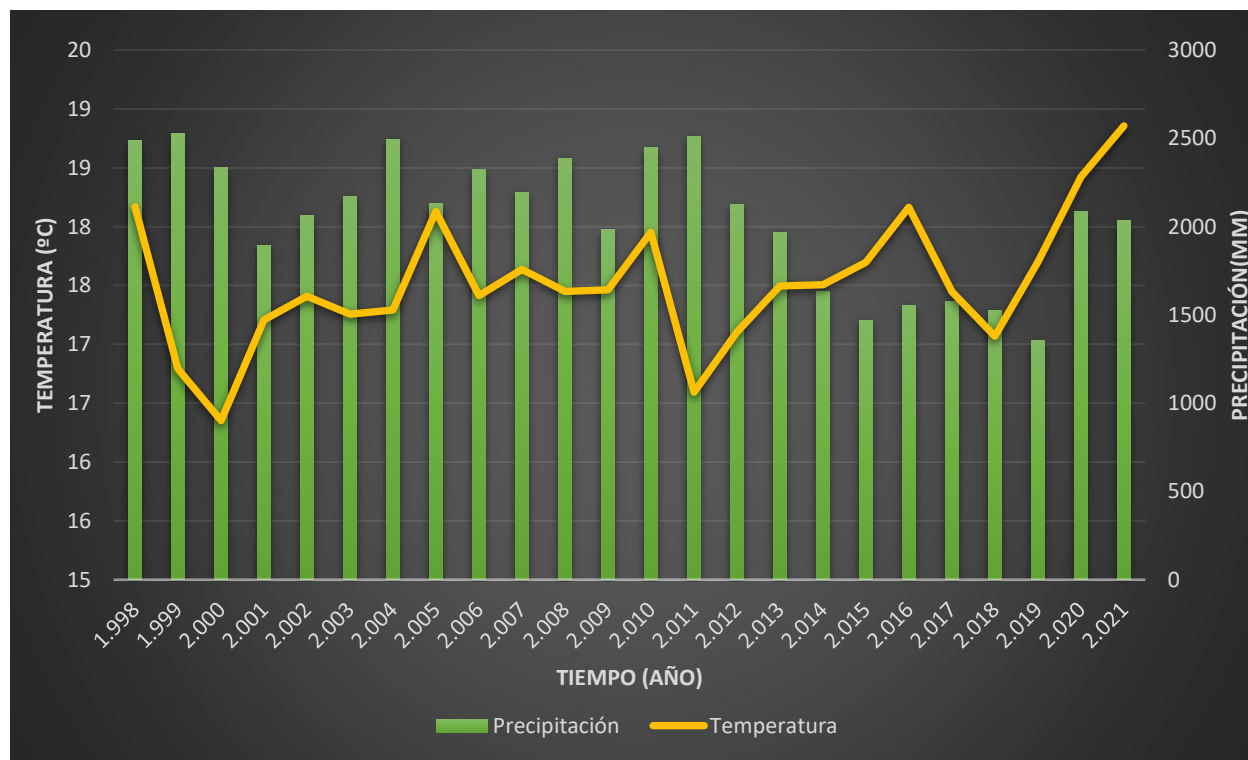
Fuente: Daza, A. (2022)

En la Figura 18 se observa el climograma anual para el periodo de 1998 a 2021, en este se observa un comportamiento heterogéneo, es decir, las variables no están estrechamente sujeto a una proporcionalidad específica, pero si se puede inferir que se dio la existencia de una época de sequía entre 2013 y 2019, puesto que las precipitaciones registradas son las más bajas en comparación con los otros años, al igual que la temperatura

presenta uno de los puntos más altos. Así mismo, la diversificación se puede relacionar con la presencia del fenómeno de variabilidad climática ENSO.

Figura 18

Climograma anual de la temperatura media y la precipitación.



Fuente: Daza, A. (2022)

Etap 3. Determinación de características físico-morfométricas de cuenca.

De acuerdo el Plan de Ordenamiento y manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) por medio de las características físico-morfométricas se da la representación de la ocurrencia del flujo de agua en el drenaje de una cuenca para determinar el régimen fluvial, y así dar paso a la interpretación y predicción de los comportamientos hidrológicos que puede ser muy útil para el aprovechamiento del recurso hídrico ante eventos climáticos de excedencia o escasez.

En la tabla 7 se muestra los parámetros físicos de la Quebrada Batagá, de la cual se puede afirmar de acuerdo a Sánchez (1992) la superficie es menor a las 10.000 hectáreas, por ende, es considerada como una microcuenca dado que su valor se encuentra en 4977,128 Ha. Por otro lado, de acuerdo al ancho promedio por presentar un valor mayor a 0,52, la cuenca presenta una forma oval redonda a redonda, la cual se puede caracterizar por presentar alta susceptibilidad a la torrencialidad, y de manejo especial especialmente en el tipo de cobertura que se encuentra en ella.

Tabla 7

Parámetros físicos de la cuenca Quebrada Batagá.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área de drenaje de la cuenca	Ac	4977,128	Ha
		49,77128	Km ²
Ancho promedio	Ap	5,286	Km
Ancho máximo de la cuenca	I	5,143	Km
Longitud axial	La	9,415	Km
Perímetro	P	38,441	Km
		38441	m

Fuente: Daza, A. (2022)

Dado continuidad con el análisis morfométrico, en la tabla 8 se encuentran los parámetros morfométricos de los cuales representan la forma en la que se encuentra según Llamas (1993), la cuenca interviene de manera importante en las características de descarga, especialmente en los eventos de avenidas máximas. En correlación con el índice de compacidad de Gravelius que representa la tendencia de concentración de los volúmenes de agua de la relación entre el perímetro y el área de la cuenca, como el valor se encuentra mayor a 1,50 se habla de una cuenca de forma oval oblonga a rectangular a oblonga, por lo que su simetría puede producir avenidas superiores a lo normal. Por otro lado, el coeficiente

de forma que representa la concentración del escurrimiento superficial y comportamiento en relación con las crecidas (Jardí, 1985; López Cadenas de Llano, 1998 y Senisterra, Rodríguez Vagaría, Gaspari y Mazzucchelli, 2013) el valor que se presenta es menor a por lo tanto se infiere de acuerdo a Sarmiento (1998) presenta susceptible a presencia de lluvias intensas y simultaneas sobre la superficie por ende a menores crecientes en el área.

Tabla 8

Parámetros morfométricos de la Quebrada Batagá.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Coefficiente de compacidad	Kc	1,58	Adimensional
Coefficiente de forma	Kf	0,56	Adimensional
Índice de alargamiento	IA	1,83	Adimensional

Fuente: Daza, A. (2022)

En la tabla 9 se encuentran los parámetros de relieve de la zona de estudio de los cuales se observa que existe una diferencia de 1394 m.s.n.m, además que la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie de acuerdo con la clasificación encontrada en la Guía Básica de para la caracterización morfométrica de cuenca hidrográficas, adoptado del Instituto Nacional de Ecología (2004) citado por López (2016), como el valor obtenido es de 45,810 m/Km² se encuentra dentro de una región montañosa cuya pendiente se encuentra entre el 50 y el 75 % característica de una forma escarpada, así mismo el coeficiente orográfico representa la acción directa de las precipitación en las escorrentías ejercerse acción directa sobre la escorrentía característico de microcuencas montañosas.

Tabla 9

Características de relieve de cuenca Quebrada Batagá.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cota mínima de la cuenca	HM	1561	m.s.n.m.
Cota máxima de la cuenca	Hm	3000	m.s.n.m.
Diferencia de elevación de la cuenca	Es	1439	m.s.n.m.
Altitud media de la cuenca	Hm	2280	m.s.n.m.
Pendiente de la cuenca	S	33,5	%
Coeficiente de masividad	Cm	45,810	m/km ²
Coeficiente orográfico	O	1,28	Adimensional

Fuente: Daza, A. (2022)

En la tabla 10 se encuentra las características de drenaje del afluente al río Pamplonita de la cual, se infiere que de acuerdo a la Guía Básica de para la caracterización morfométrica por presentar un valor menor a 3,5 Km/Km² (Jiménez, 1929) el cauce presenta un déficit en la eficiencia de drenaje, que de acuerdo Gaspari et al;(2012) es posible la existencia de áreas de acumulación de escorrentía temporal, puesto que, además de una pendiente mayor al 3% fuerte y que tiende a arrastrar grandes cantidades de sedimentos, el tiempo de concentración por medio de la fórmula de Kripich California (U. S Bureau of reclamation, 1973) es de aproximadamente 1, 05 horas, lo cual la hace una cuenca con respuestas lentas a tormentas dado que la clasificación correspondiente de acuerdo a Strahler (1964) es de orden 3.

Tabla 10*Características de la red de drenaje Quebrada Batagá.*

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Densidad de drenaje	Dd	1,099	Km/Km ²
Longitud de todos los cauces	Ltc	54,702	Km
Longitud del cauce principal	Lcp	11,544	Km
Longitud de cauces secundarios	Lcs	43,158	Km
ORDEN DE la corriente	Oc	3	Adimensional
Numero de escurrimientos	Nesc	4	Adimensional
Cota mínima del cauce	Hmc	1565	m.s.n.m.
Cota máxima del cauce	HMc	2850	m.s.n.m.
Diferencia de elevación del cauce	Ecp	1285	m.s.n.m.
Pendiente media del cauce principal	Ic	11,131	%
Tiempo de concentración (kirpih)	Tc	1,0230	HORAS
Coeficiente de torrencialidad	Ct	0,864	I/Km ²
Numero de rugosidad	nT	0,05	Adimensional

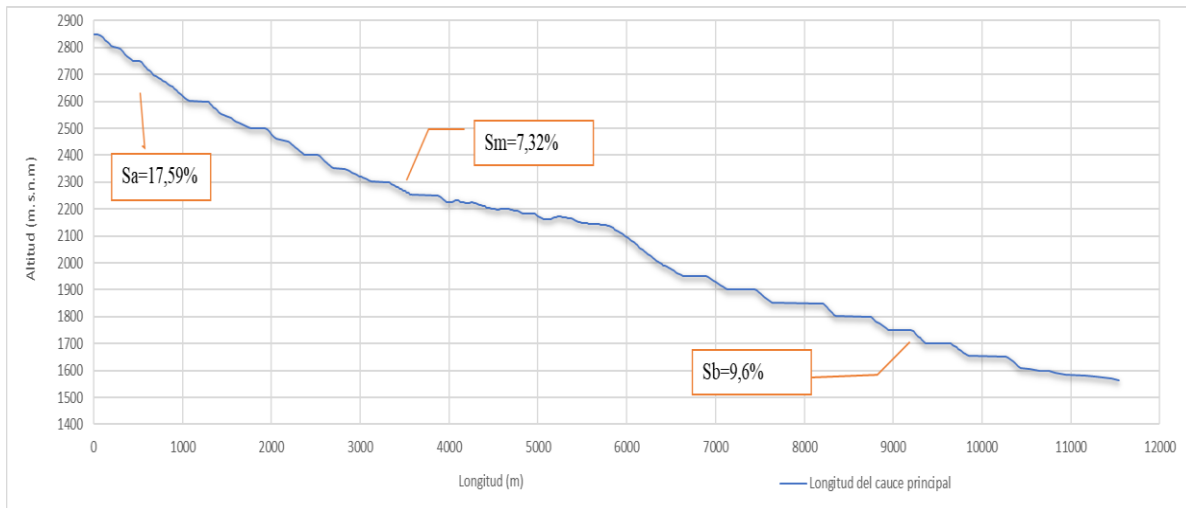
Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 19 se observa la variación de pendientes sobre el cauce principal, el cual en la parte alta (17,59%) presenta una mayor velocidad en el flujo, por ende predominancia de arrastre de sedimentos que se depositan en la parte media de la cuenca por el cambio brusco de inclinación (7,32%), en donde visiblemente no hay erosión; mientras que en la parte baja de la cuenca (9,6%) el cauce presentara una disminución en la

velocidad flujo pero el arrastre se dará como mayor intensidad por lo que la concentración de sedimentos será más alto que en las partes anteriores.

Figura 19

Perfil longitudinal del cauce principal.

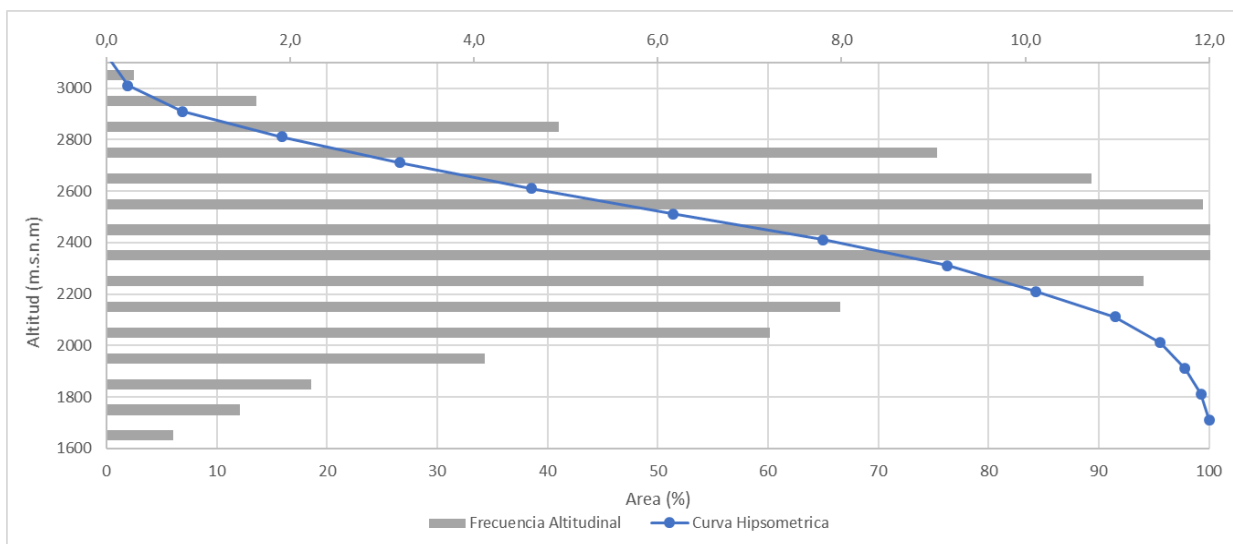


Fuente: Daza, A. (2022)

A partir de la frecuencia de altitudes figura 20 se observa una variación altitudinal simétrica entre los 1545 a los 2939 m.s.n.m que sujetos con la curva hipsométrica obtenida según los criterios propuestos por Campos (1999) citado por Cardona (2016) el modelo de curva B es el que se adapta según el ciclo de erosión establecido por Senciales y Ferre (1999) en una etapa madura característico de una fase en equilibrio.

Figura 20

Frecuencia altitudinal y curva hipsométrica.

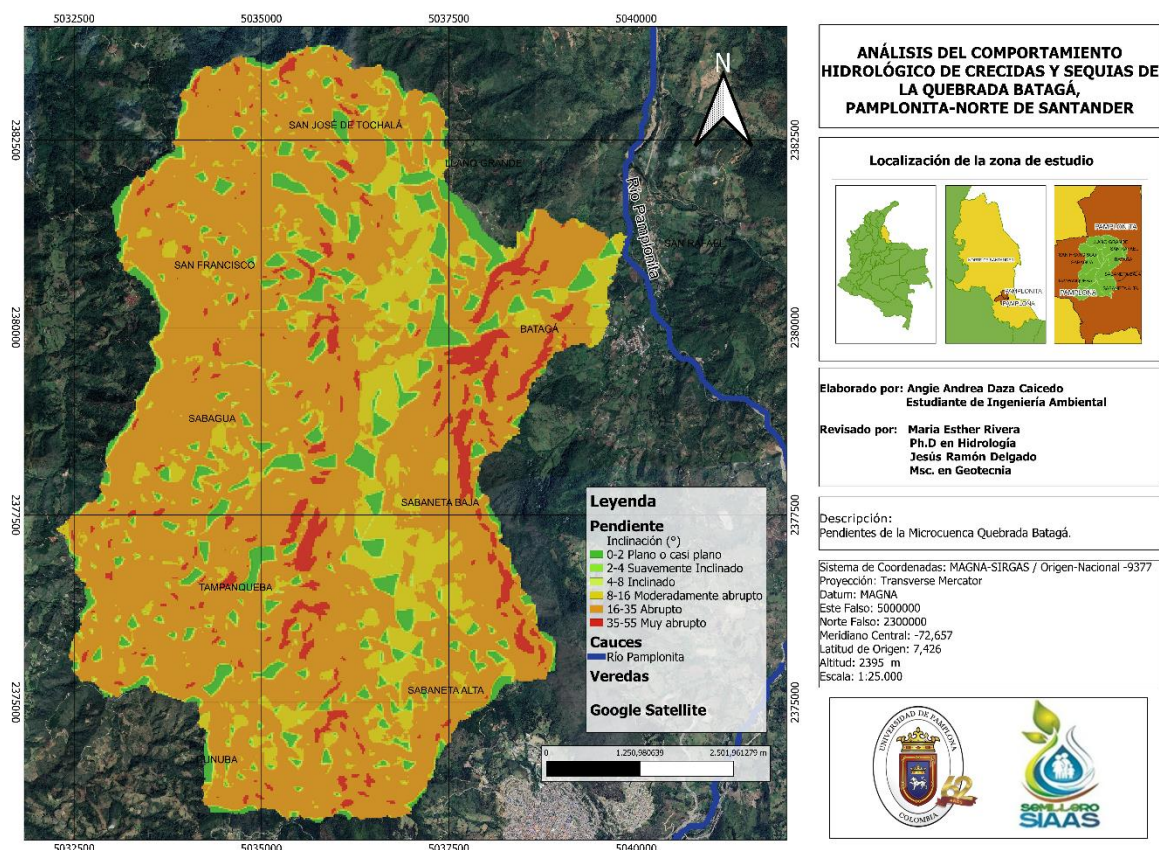


Fuente: Daza, A. (2022)

De acuerdo al mapa de pendientes figura 21, el cauce principal de la quebrada Batagá presenta inclinaciones entre los 0 y 4 grados ($^{\circ}$), lo cual indica una susceptibilidad a movimientos de masa de baja velocidad y procesos erosivos bajo condiciones fluviales, mientras la cuenca en general presenta variaciones de pendientes moderadamente abruptas, abruptas y muy abruptas, por lo que movimientos de masa, erosión, deslizamiento, afloramiento rocoso y sedimentación son predominantes.

Figura 21

Mapa de pendientes de clasificación de pendientes, microcuenca Quebrada Batagá.

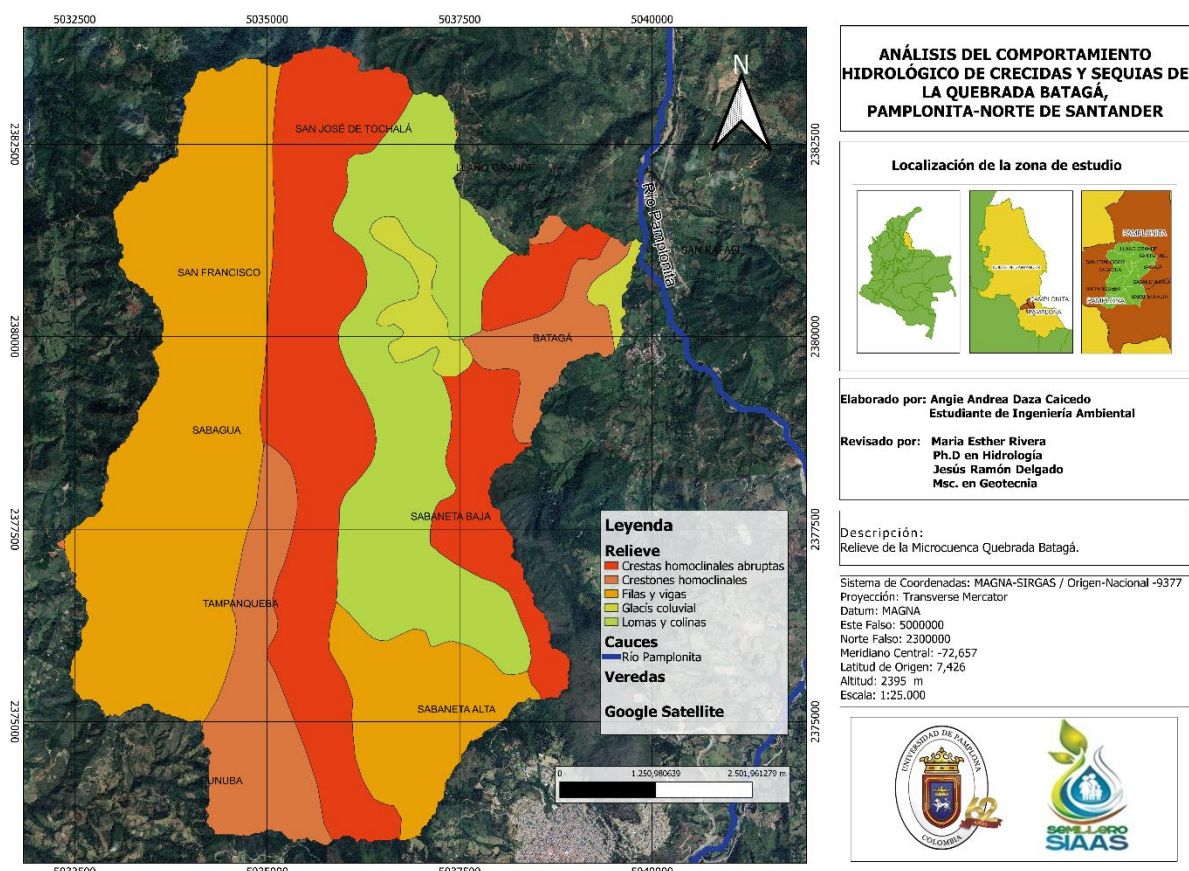


Fuente: Daza, A. (2022) mediante software libre QGIS versión 3.26.3.

En relación con el tipo de relieve que se presenta en la cuenca de estudio en la figura 22 se observa que las pendientes pronunciadas se deben a que como bien ya se nombró en los párrafos anteriores la composición montañosa, se encuentra mezclada por un 37,63% con filas y vigas consecutivos de un 28,26% crestas homoclinales abruptas, 21,13% lomas y colinas, 12,16% crestones homoclinales y en menor medida 2,8% glacis coluviales.

Figura 22

Tipo de relieve en la microcuenca quebrada Batagá.



Fuente: Daza, A. (2022) mediante software libre QGIS versión 3.26.3.

Etap 4. Análisis del comportamiento hidrológico de la cuenca

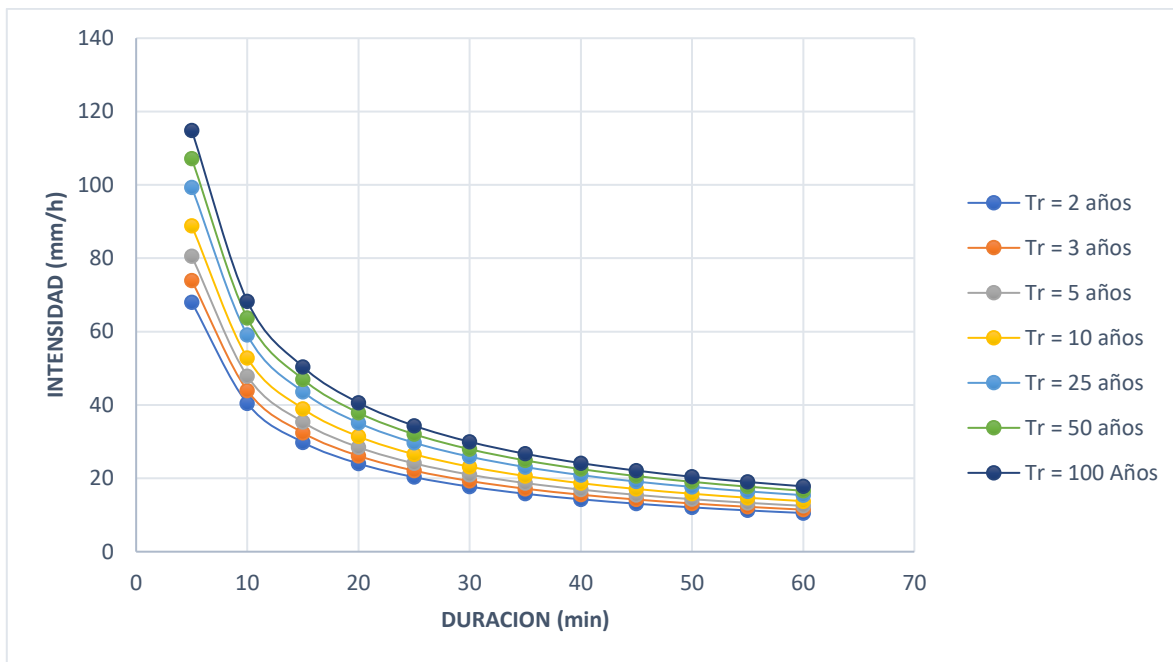
En la tabla 11 se encuentran los caudales mínimos en épocas de sequías por medio del método de Sandoval y Ortiz (2014), el cual relaciona la precipitación media con el área de estudio. Así mismo los caudales máximos por el método Búrkli-Ziegler para las temporadas de avenidas o crecientes, en este último se realizó el promedio de los coeficientes de escorrentía (0,42) teniendo en cuenta la clasificación sobre el tipo de cobertura, suelo, pendientes y la obtención de los datos de precipitación máxima en una hora de cada año.

Tabla 11*Caudales máximos y mínimos.*

Año	Metodo de Sandoval y Ortiz				Metodo de Bürkli-Ziegler				
	Precipitacion Promedio (mm)	Área de la microcuenca (Km ²)	Caudal mínimo (m ³ /s)	Caudal mínimo (L/s)	Coficiente de escorrentia	Area (Ha)	Pendiente (%)	Precipitacion máxima (mm)	Caudal Máximo (L/s)
1998	207,31	49,770	0,0103	10,32	0,42	4977,128	33,50%	29,6	21858
1999	210,59		0,0105	10,48				30,2	22301
2000	194,43		0,0097	9,68				28,5	21045
2001	157,94		0,0079	7,86				16,900	12479
2002	171,82		0,0086	8,55				17,300	12775
2003	180,96		0,0090	9,01				21,300	15729
2004	207,98		0,0104	10,35				24,500	18092
2005	177,46		0,0088	8,83				27,400	20233
2006	193,52		0,0096	9,63				29,700	21931
2007	183,00		0,0091	9,11				30,200	22301
2008	198,89		0,0099	9,90				31,900	23556
2009	165,15		0,0082	8,22				27,100	20011
2010	203,80		0,0101	10,14				28,7	21193
2011	209,15		0,0104	10,41				27,5	20307
2012	177,23		0,0088	8,82				23,500	17353
2013	164,01		0,0082	8,16				21,400	15802
2014	135,99		0,0068	6,77				22,400	16541
2015	122,59		0,0061	6,10				21,100	15581
2016	129,51		0,0064	6,45				17,3	12775
2017	131,19		0,0065	6,53				21,700	16024
2018	127,11		0,0063	6,33				18,800	13882
2019	113,11		0,0056	5,63				14,3	10560
2020	173,79		0,0086	8,65				24,300	17944
2021	169,51		0,0084	8,44				23,700	17501

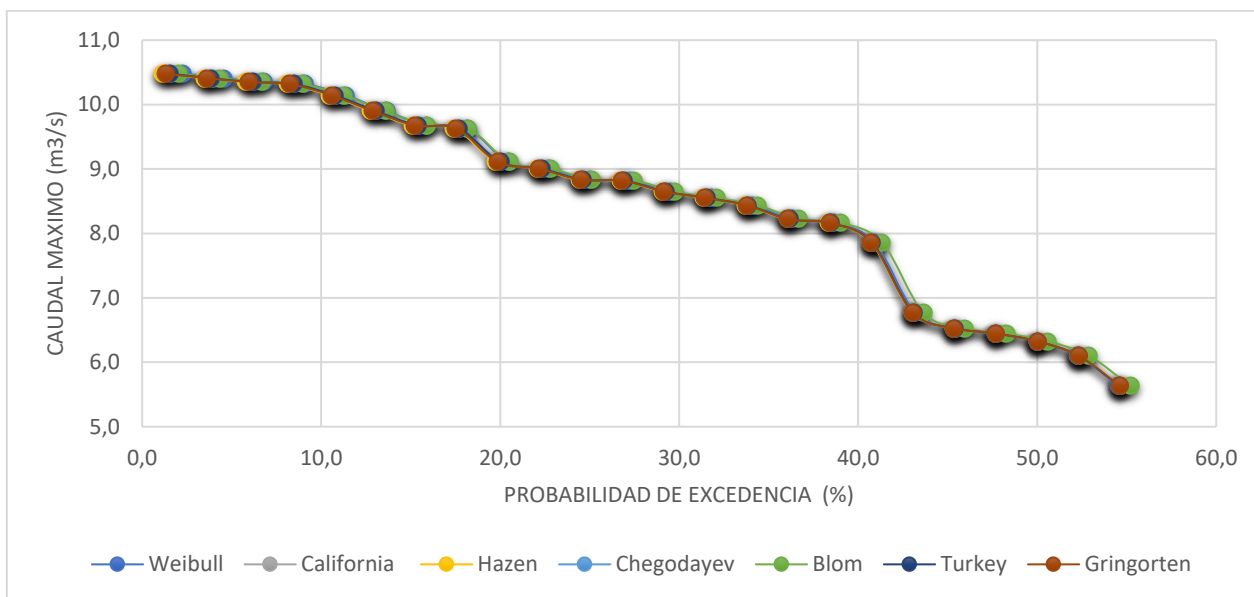
Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura n se se puede visualizar la curva IDF para el afluente al rio Pamplonita quebrada Batagá, Por medio del método de Ven Te Chow, para periodos de retorno de 2, 3,5,10,25,50,100 años, de la cual se refleja un comportamiento inversamente proporcional entre la duración y la intensidad, es decir, a medida que aumenta la intensidad menor es el periodo de duración; y un comportamiento directamente proporcional entre el periodo de retorno y la intensidad, lo que conlleva a que si el periodo aumenta la intensidad también lo hace.

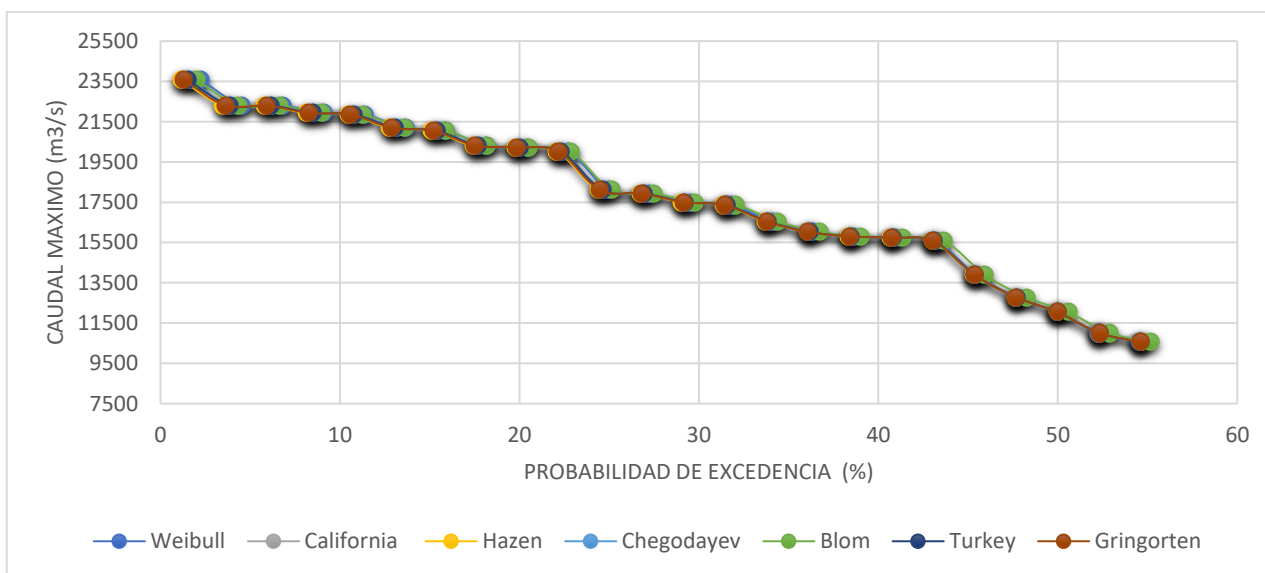
Figura 23*Curva IDF de Ven Te Chow.*

Fuente: Daza, A. (2022)

A partir de la figura 24 y figura 25 de la curva de duración para la microcuenca quebrada Batagá ubicada en el municipio de Pamplonita, se puede deducir una proporcionalidad entre las razones de excedencias de las diferentes ecuaciones empleadas y los caudales mínimos y máximos, es decir, a partir de la serie histórica se obtiene que cuanto mayor son los caudales la probabilidad de excedencia disminuye mientras que cuando esta aumenta los caudales tienden a disminuir, esto permite evidenciar que dichas variables son inversamente proporcionales, así mismo las probabilidades de excedencia no superan el 60% un ejemplo de ello es que para el caudal más bajo de 5,63 L/s su probabilidad se encuentra entre 1,299 % y 2,273%, mientras que para un caudal más alto de 23556 L/s las probabilidades no van más allá del 55%.

Figura 24*Curva de duración para caudales mínimos.*

Fuente: Daza, A. (2022)

Figura 25*Curva de duración para caudales máximos.*

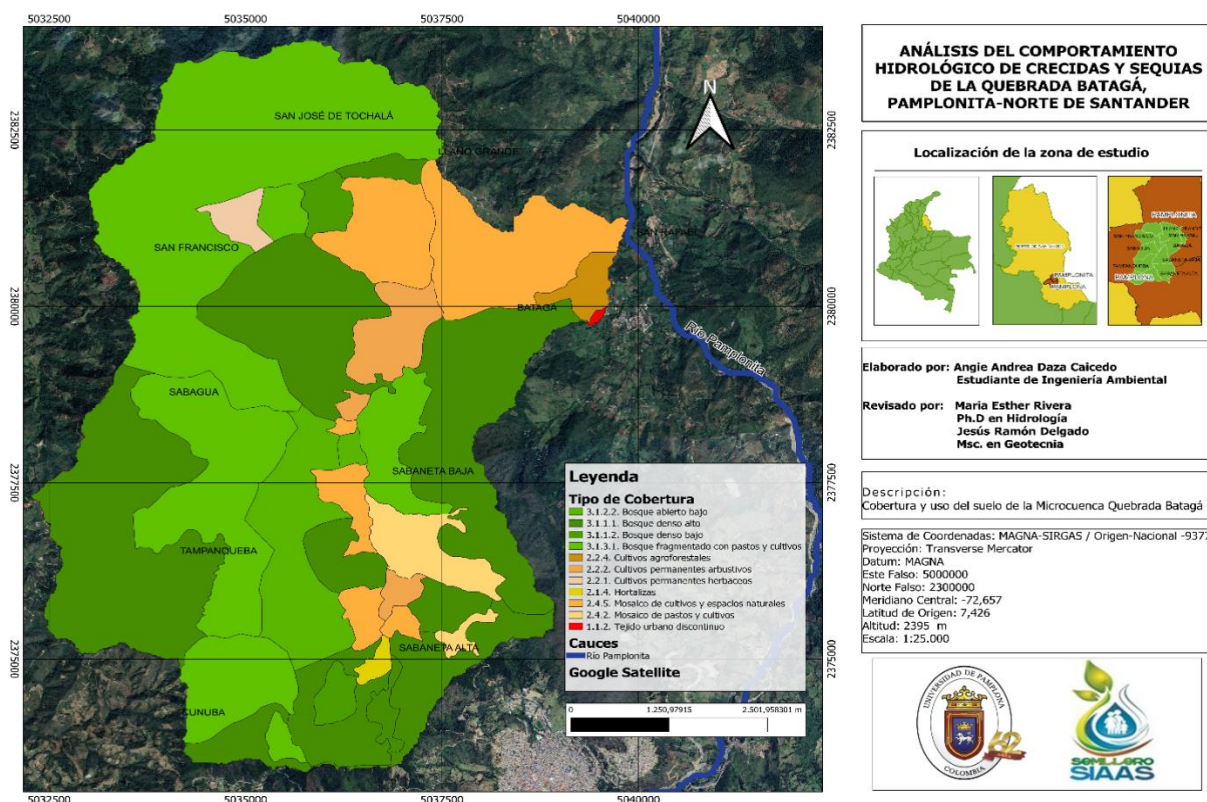
Fuente: Daza, A. (2022)

Etapa 5. Análisis de variables como cobertura vegetal y litología de la zona.

En relación con la cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca quebrada Batagá se observa en la figura 26 una diversificación de cobertura de acuerdo a la clasificación de Corine Land Cover, el 38,15% está compuesta por bosques denso altos, seguidos con un 34,15% de bosque fragmentados con pastos y cultivos, y en menor medida por bosques abiertos bajos (5,96%) y denso bajo (1,73%). Así mismo, la identificación de mosaicos de cultivos y pastos con espacios naturales (14,63%); siembras agroforestales (1,01%), permanentes herbáceos (0,91%), hortalizas (0,40%), y por último la parte de la zona urbana representado por 0,08%.

Figura 26

Mapa de tipo de cobertura de la microcuenca Quebrada Batagá.



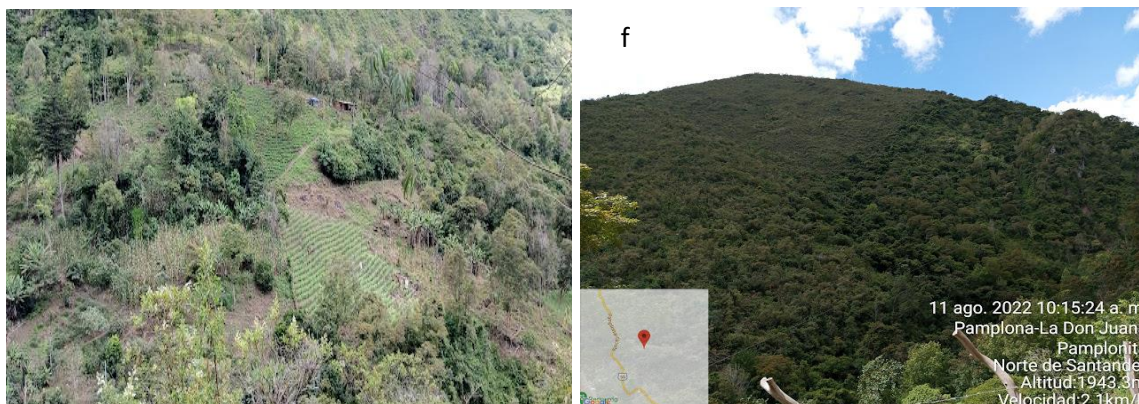
Fuente: Daza, A. (2022) mediante software libre QGIS versión 3.26.3.

Así mismo, en el mosaico 27 se encuentra los diferentes tipos de coberturas veredales que se pueden encontrar en lo alto, medio y bajo de la cuenca, principalmente se identifican zonas montañosas gran extensión de bosques densos, al igual que fragmentados por los habitantes para el desarrollo comercial agrícola y el cubrimiento de las necesidades básicas como la alimentación.

Figura 27

(a) cultivos arbustivos, (b) pastos limpios, (c) mosaico de cultivos y pastos, (d) bosques con cultivos, (e) bosques poco densos y (f) bosques denso alto.





Fuente: Daza, A. (2022)

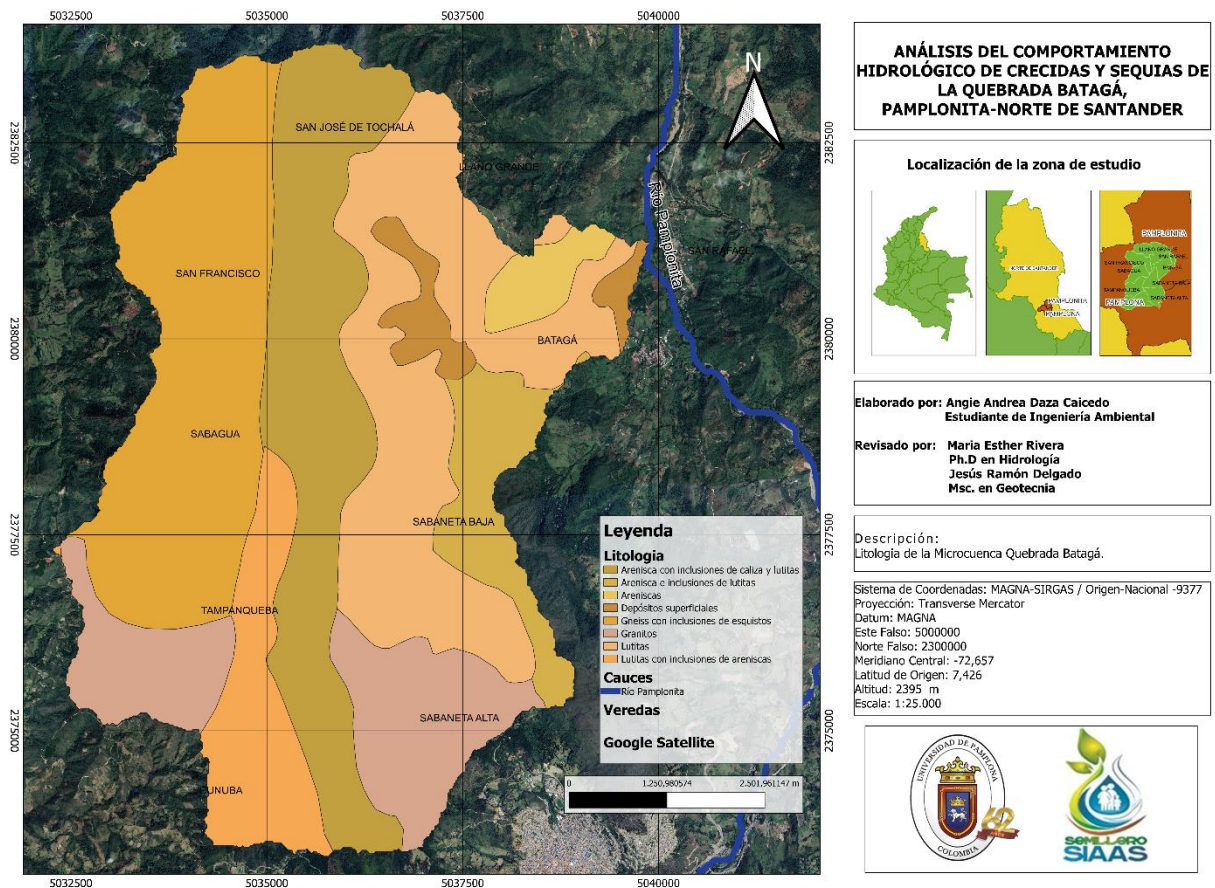
Por otra parte de acuerdo al estudio de la composición litológica de la zona en la figura 28 se observa la clasificación realizada del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se identificó que la cuenca se encuentra compuesta por lutitas (24%) característico de procesos de escurrimientos difusos ligeros pero también bien drenados de textura francos arcillosa de alta fertilidad, seguido de la composición Gneises con inclusiones de esquistos (23%), donde procesos de solifluxión, reptación y desprendimientos de roca hacen presencia a pesar de ser zonas profundas bien drenadas de textura franco arcillosa arenosa, el suelo en esta zona es de baja producción, puesto carece de fertilidad natural, en tercer lugar se encuentra la composición de rocas arenisca con inclusiones de caliza y lutitas (20%), las cuales pueden presentar desprendimientos de roca y deslizamientos debido a las profundidades moderadas y superficiales de textura franco arcillosa arenosa

Dando continuidad con la tipología litológica se encuentra dentro de la zona de estudio los granitos (14%), los cuales se caracterizan por tener profundidades moderadas de texturas franco arcillosa a franco y donde los deslizamientos en masa y reptación por sectores es predominante. Luego, menor composición las lutitas con inclusiones de areniscas (8%) con desprendimiento de roca y deslizamiento; areniscas e inclusiones de

lutitas de texturas franco arcillo arenosa con gravilla (6%), desprendimiento de roca, deslizamiento y escurrimiento difuso en grado ligero; depósitos superficiales, clásticos, gravigénicos e hidrogravigénicos, coluviales heterométricos (3%) con alta capacidad de drenaje y textura arcillosa y franco arcillosa; y por ultimo (2%) la composición pura de areniscas cuyo escurrimiento es difuso y concentrado por ser superficiales de drenaje excesivo de textura arenosa franca.

Figura 28

Mapa de tipo de litología, microcuenca Quebrada Batagá.



Fuente: Daza, A. (2022) mediante software libre QGIS versión 3.26.3.

Etapla 6. Calculo de los índices de sequias y crecientes

Las crecientes y sequias se ven influenciadas por diversos factores tanto antrópicos como naturales, para la identificación del tipo clima predominante en una época se emplea clasificación bioclimáticos que permiten la categorización y zonificación de un área en estudio, ejemplo de ello, son los índices de pluviosidad de Lang y e aridez de Martonne, que relacionan de la precipitaciones anuales y mensuales con la temperatura media. En Colombia el método Caldas-Lang se encuentra establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para determinar el clima de una cuenca hidrográfica.

En la tabla 12 se encuentra la determinación del índice de aridez según el método de Martonne, el cual permite determinar el tipo de desertificación de la zona, de acuerdo al valor obtenido por medio de la fórmula para los meses se establece que la relación directa con la distribución de temperatura y precipitación, puesto que anteriormente se dio mención de una época seca, es decir con menor humedad durante los meses de marzo y junio, destacándose el de abril como el más caluroso. Así mismo, considerando las precipitaciones constantes se considera que la mayor parte del tiempo la cuenca quebrada Batagá se caracteriza por ser perhúmeda.

Tabla 12*Índice de aridez por método de Martonne.*

Mes	Temperatura	Precipitación	Índice de Martonne	
Jan	16,77	239,22	107,23	Perhumeda
Feb	17,44	196,05	85,75	Perhumeda
Mar	18,04	113,49	48,58	Húmeda
Apr	18,29	66,01	28,00	Subhúmeda
May	18,02	85,09	36,45	Húmeda
Jun	17,25	116,49	51,29	Húmeda
Jul	16,98	196,20	87,27	Perhumeda
Aug	17,56	234,46	102,09	Perhumeda
Sep	17,97	222,11	95,29	Perhumeda
Oct	17,75	194,16	83,97	Perhumeda
Nov	17,37	183,61	80,49	Perhumeda
Dec	16,86	206,13	92,10	Perhumeda

Fuente: Daza, A. (2022)

En la tabla 13 se encuentra los índices de aridez y pluviométrica junto con la clasificación establecida en el territorio colombiano por el IDEAM, de acuerdo a Martonne la extensión de la quebrada Batagá es una zona semidesértica la mayor parte del tiempo a excepción del periodo de 2014 a 2018, pues los aumentos de temperaturas, las bajas precipitaciones y la intensidad en la evapotranspiración se produjo un clima seco. Así mismo, por otro lado, se encuentra el índice de Lang quien cataloga el área como desértica.

Teniendo en cuenta la clasificación de Caldas quien establece los pisos térmicos de acuerdo a la altitud y Lang las precipitaciones, como la cuenca en estudio se encuentra a una altura entre los 1000 y 2000 m.s.n.m, para el periodo de 1998 a 2021 el clima característico de la extensión es templado desértico.

Tabla 13

Clasificación bioclimática anual según el índice de Martonne, Lang y Caldas-Lang.

Año	Índice de Martonne		Índice de Lang		Índice de Caldas-Lang
1998	7,4	Semidesierto	11,41	Desértico	Templado desértico
1999	7,9	Semidesierto	12,54	Desértico	Templado desértico
2000	7,4	Semidesierto	11,89	Desértico	Templado desértico
2001	5,8	Semidesierto	9,18	Desértico	Templado desértico
2002	6,3	Semidesierto	9,87	Desértico	Templado desértico
2003	6,6	Semidesierto	10,49	Desértico	Templado desértico
2004	7,6	Semidesierto	12,03	Desértico	Templado desértico
2005	6,3	Semidesierto	9,79	Desértico	Templado desértico
2006	7,1	Semidesierto	11,11	Desértico	Templado desértico
2007	6,6	Semidesierto	10,38	Desértico	Templado desértico
2008	7,2	Semidesierto	11,40	Desértico	Templado desértico
2009	6,0	Semidesierto	9,46	Desértico	Templado desértico
2010	7,3	Semidesierto	11,35	Desértico	Templado desértico
2011	7,9	Semidesierto	12,60	Desértico	Templado desértico
2012	6,5	Semidesierto	10,36	Desértico	Templado desértico
2013	6,0	Semidesierto	9,37	Desértico	Templado desértico
2014	4,9	Desiertos	7,77	Desértico	Templado desértico
2015	4,4	Desiertos	6,93	Desértico	Templado desértico
2016	4,6	Desiertos	7,13	Desértico	Templado desértico
2017	4,8	Desiertos	7,52	Desértico	Templado desértico
2018	4,7	Desiertos	7,45	Desértico	Templado desértico
2019	4,1	Desiertos	6,39	Desértico	Templado desértico
2020	6,1	Semidesierto	9,43	Desértico	Templado desértico
2021	5,9	Semidesierto	8,99	Desértico	Templado desértico

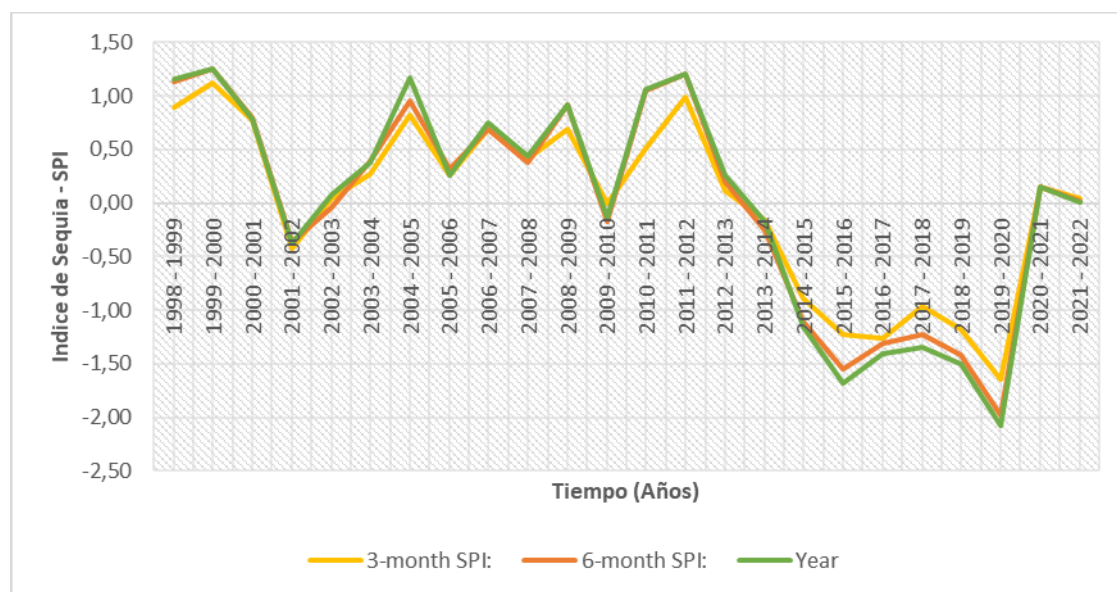
Fuente: Daza, A. (2022)

Por otro lado, en la figura 29 se encuentra la distribución del Índice de Precipitación Estandarizado mensuales para 3, 6 y 1 año reflejando los patrones a corto, mediano y largo plazo. Así mismo, a partir de la ilustración se infiere un comportamiento similar entre los tres, representando dos épocas de sequía en 2001-2002 y en 2014-2021 severas y extremas puesto el periodo entre 2018 y 2020 es el valor más bajo que representa la severidad del

episodio en la cuenca. Por otro lado, los periodos de 1998 a 2001 y 2009 a 2013 son los periodos intensos de precipitación, pero en comparación con esto se puede deducir que las épocas de verano se presentaron con mayor intensidad que las lluvias.

Figura 29

Distribución del Índice de Precipitación Estandarizado mensual.



Fuente: Daza, A. (2022)

En la tabla 14 se encuentra la clasificación de sequía según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con la utilización del Índice de Precipitación Estandarizado, del cual se infiere que durante el rango de tiempo estudiado para la microcuenca quebrada Batagá se presentaron episodios moderados, severos y extremadamente secos entre los años 2014 y 2020, mientras que en relación con épocas de lluvias sucedieron en 1998, 1999, 2004, 2010 y 2011 con un registro del valor superior a la media; los demás años se encuentran dentro de un tipo de sequía normal, por ende se afirma

que el clima no ha sido constante, otra prueba de como la variabilidad climática afecta a los cauces pequeños.

Tabla 14

Clasificación de tipo de sequía según el SPI.

Year	SPI	Tipo de sequia
1998 - 1999	1,15	Moderadamente humedo
1999 - 2000	1,25	Moderadamente humedo
2000 - 2001	0,78	Normal o aprox normal
2001 - 2002	-0,37	Normal o aprox normal
2002 - 2003	0,08	Normal o aprox normal
2003 - 2004	0,37	Normal o aprox normal
2004 - 2005	1,17	Moderadamente humedo
2005 - 2006	0,26	Normal o aprox normal
2006 - 2007	0,75	Normal o aprox normal
2007 - 2008	0,44	Normal o aprox normal
2008 - 2009	0,91	Normal o aprox normal
2009 - 2010	-0,13	Normal o aprox normal
2010 - 2011	1,05	Moderadamente humedo
2011 - 2012	1,21	Moderadamente humedo
2012 - 2013	0,26	Normal o aprox normal
2013 - 2014	-0,17	Normal o aprox normal
2014 - 2015	-1,16	Moderadamente seco
2015 - 2016	-1,68	Severamente seco
2016 - 2017	-1,41	Moderadamente seco
2017 - 2018	-1,34	Moderadamente seco
2018 - 2019	-1,50	Severamente seco
2019 - 2020	-2,07	Extremadamente seco
2020 - 2021	0,15	Normal o aprox normal
2021 - 2022	0,01	Normal o aprox normal

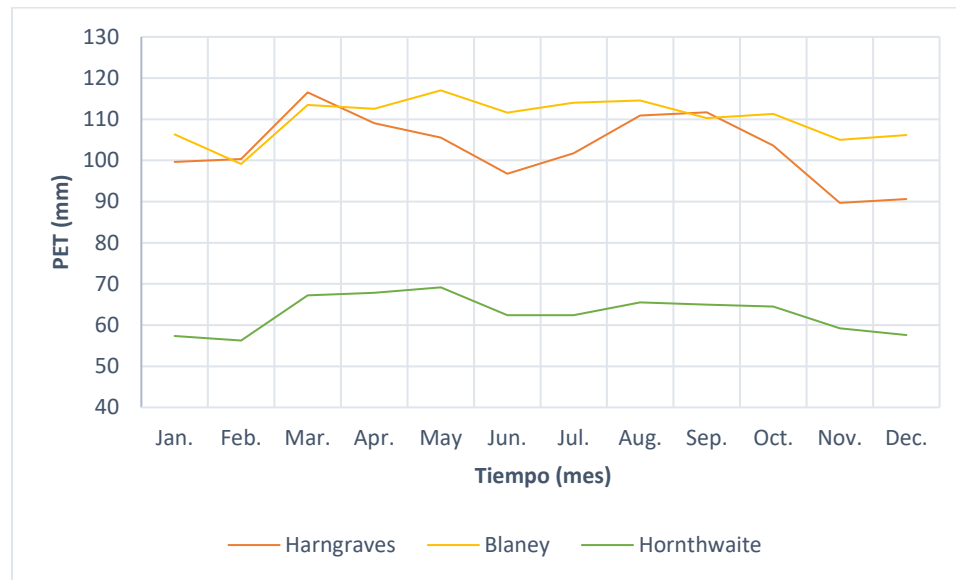
Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 30 se encuentra el comportamiento potencial de evapotranspiración mediante la comparación de los métodos de Harngraves, Blaney y Hornthwaite en el patron los cuales presentan un patrón similar, reflejando que el mes de abril es una época de

sequía, pues a partir de los datos registrados es de mayor valor, además de ello la correlación con los índices y distribución de climogramas ilustran se la coherencia entre ellos. Por otro lado, el mes época que se caracterizó por la presencia de lluvias fue reflejó en enero pues este es el de menor valor mensual.

Figura 30

Índice de evapotranspiración potencial mensual.

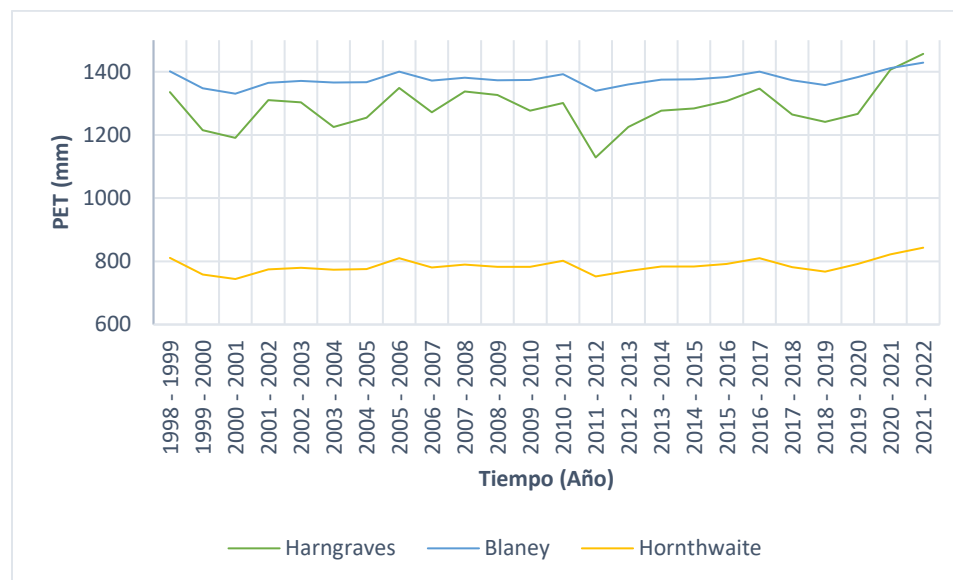


Fuente: Daza, A. (2022)

En la figura 31 se encuentra la distribución del índice de evapotranspiración potencial por los tres métodos anteriormente mencionados, de los cuales el que presenta mayor variación en la época de estudio es el Hargreaves, mientras que los otros su compartimiento es variado, pero de manera constante, es decir, no presenta cambios bruscos y lo que ocasiona dificultad para la identificación de épocas de sequías.

Figura 31

Índice de evapotranspiración potencial (PET) mensual.



Fuente: Daza, A. (2022)

Conclusiones

Las variables meteorológicas influyentes en la microcuenca de esta investigación principalmente son la temperatura y la precipitación, dado que son las que se tienden a relacionar más estrechamente con los análisis hidrometeorológicos. Así mismo, al encontrarse en una zona montañosa con pendientes pronunciadas, con climas favorables el crecimiento de bosques densos predomina en las partes altas y cultivos en la zona bajas cercas del cauce y afluentes al mismo, el cual favorece el desarrollo agrícola, el cual en varias ocasiones se ha visto afectado por la presencia de crecientes con parte del cauce.

La microcuenca quebrada Batagá se encuentra entre los 16°C y 19°C, de acuerdo a la distribución de temperatura para el periodo de 1998 a 2000, aunque se observa una variación muy marcada con respecto al tiempo, el periodo de tiempo de 2013 a 2019 son los que presentan los picos más altos de temperatura, esto es posible a los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático que se han afectado a la localidad.

A partir de la caracterización fisicomorfométrica la cuenca presenta una forma oval redonda a redonda, la cual se caracteriza por la alta susceptibilidad a la torrencialidad, además se encuentra dentro de una región montañosa cuya pendiente se encuentra entre el 50 y el 75 % característica de una forma escarpada, así mismo el coeficiente orográfico representa la acción directa de las precipitaciones en las escorrentías ejercer acción directa.

Las probabilidades de excedencia no superan el 60% un ejemplo de ello es que para el caudal más bajo de 5,63 L/s su probabilidad se encuentra entre 1,299 % y 2,273%, mientras que para un caudal más alto de 23556 L/s las probabilidades no van más allá del 55%.

La composición montañosa, se encuentra mezclada por un 37,63% con filas y vigas consecutivos de un 28,26% crestas homoclinales abruptas, 21,13% lomas y colinas, 12,16% crestones homoclinales y en menor medida 2,8% glacís coluviales.

El índice de aridez se establece una relación directa con la distribución de temperatura y precipitación, la época seca, es decir con menor humedad durante los meses de marzo y junio, destacándose el de abril como el más caluroso

La cuenca presenta un índice de aridez semidesierto, lo cual al ser relacionado con el Índice de Precipitación Estandarizado muestra que las sequías presenciadas a la largo del tiempo va desde lo moderadamente húmedo hasta lo extremadamente seco, lo cual da paso a que estas son principalmente las que han afectado a la zona, aunque se registren altas precipitaciones.

A partir de la clasificación de Caldas quien establece los pisos térmicos de acuerdo a la altitud y Lang las precipitaciones, como la cuenca en estudio se encuentra a una altura entre los 1000 y 2000 m.s.n.m, para el periodo de 1998 a 2021 el clima característico de la extensión es templado desértico.

Recomendaciones

De acuerdo a los resultados el área de estudio es considerada como microcuenca, por esta razón los métodos matemáticos resultan ser viables para cálculos indirectos de caudales máximos y mínimos; pero es necesario recalcar la medición de caudales de forma directa, método el cual en esta investigación no se pudo realizar por las constantes lluvias presentadas en los últimos meses que generaron aumento en el nivel de agua, por lo tanto, si se recolectaban datos de caudal podrían ser atípicos y no reflejar un comportamiento real, ya que el cauce se encontraba en estado caudaloso.

La extensión de las zonas para el desarrollo agrícola y la urbanización cerca de ella ha ido en aumento, por ende, son factores potenciales que influyen directamente en la escorrentía e infiltración del recurso hídrico, es decir, el drenaje en las coberturas ha disminuido.

Al municipio de Pamplonita se le recomienda que promueva e implemente programas que mejoren las condiciones medioambientales y socioeconómicas de la zona de tal manera que el ambiente no se vea gravemente afectado.

Referencias

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2012). *Morfometria* . Obtenido de https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf
- Alcaraz, F. (2013). *Bioclimatología*. Obtenido de <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema02.pdf>
- Almorox, J. (2015). *Indice de Aridez* . Obtenido de Climatología aplicada al Medio Ambiente y Agricultura : http://ocw.upm.es/pluginfile.php/675/mod_label/intro/indicessimples.pdf
- Álvarez, C., & Cortés, M. (2021). *EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR SEQUÍAS METEOROLÓGICAS Y SU INFLUENCIA EN LOS CULTIVOS DE ARROZ EN SIETE FINCAS UBICADAS EN LA VEREDA SANTA ANA, MUNICIPIO EL ESPINAL -TOLIMA*. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7103/Alvarez_Cadena_Carlos_Bernardo_2021.pdf?sequence=1
- Álvaro, Á., Carvajal, Y., & Sergio, G. (2013). *Ánalysis de la influencia de El Niño y La Niña en la oferta hidrica mensual de la cuenca del río Cali*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2014000300010
- Araujo, T., & Rivera, M. (2019). *Índices de sequía para la cuenca del Rio Cesar-Colombia* . Obtenido de <https://es.scribd.com/document/566821447/4671-18400-1-PB-1>
- Arroyo, N., & Ortiz, L. (2020). *VULNERABILIDAD DE LA CUENCA DE RÍO NEGRO FRENTE A LA SEQUÍA E INUNDACIÓN A PARTIR DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO 1901-2020*. Obtenido de

Congreso de Colombia . (1993). *por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Siste,a Nacional Ambiental SINA*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>

Congreso de Colombia . (1997). *Ley 373, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-373-1997.pdf>

Congreso de Colombia . (2004). *Por la cual se establece la implementacion de los planes de ordenamiento y maejo de una cuenca* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomca/>

Desastres y suelo . (2010). *Litología y Estructura Geológica* . Obtenido de <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte05.pdf>

El Presidente de la República de Colombia . (2012). *Decreto 1640, Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49987>

Escuela de Ingeniería y medio ambiente. . (2014). *Cálculo d ela curva de intensidad de la tormenta, curvas IDF*. Obtenido de <http://eimaformacion.com/calculo-de-la-curva-de-intensidad-de-la-tormenta-curvas-idf/>

Espejo, A. (2019). *Hidrologia en cuencas pequeñas, la formula racional* . Obtenido de http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/6._ESCORRENTIA.pdf

- Esquivel, G., Bueno, P., Velásquez, M., Sánchez, I., & Constante, V. (2015). *Análisis de seqías mediante el índice estandarizado de precipitación (SPI) en dos cuencas de la Sierra Madre Occidental*. Obtenido de Dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512478>.
- Estudios Topohidráulicos e Hidrológicos. (2010). *Analisis geomorfologico de la cuenca* . Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8417/Capitulo3.pdf>
- Febrer, M. (2016). *Análisis y caracterización de las sequias hidrológicas en cuencas naturalizadas de la Península Ibérica* . Obtenido de https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/2194/TFG_Miquel_Febrer.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fernandez, D. (2015). *Càlculo del índice de aridez como herramienta para el seguimiento de la desertificación*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7709/C%C1LCULO%20DEL%20%CDNDICE%20DE%20ARIDEZ%20COMO%20HERRAMIENTA%20PARA%20EL%20SEGUIMIENTO%20DE%20LA%20DESERTIFICACI%D3N.pdf;jsessionid=81EF56D1B7D0CA167C81902E17FBAAB0?sequence=1>
- Gallo, T. (2021). *Análisis de las precipitaciones en Colombia, pronóstico y tendencias*. Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5171/1/2021YaniraAlexandraMoralesRey.pdf>
- Gallo, T. (2021). *Análisis de las precipitaciones en Colombia, pronóstico y tendencias* . Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5171/1/2021YaniraAlexandraMoralesRey.pdf>

- González, N., Carvajal, Y., & Loaiza, W. (15 de Febrero de 2016). *Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia*. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/AnlisisdesequasmeteorolgicasparalacuencadelroDaguaValledelCaucaColombia.pdf
- Hernández, L., & Salamanca, J. (2019). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico en la cuenca Sardinara, del departamento de Norte de Santander*. . Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/225146726.pdf>
- HidroJING. (s.f.). *Selección del coeficiente de rugosidad de Manning en Cauces Naturales*. Obtenido de <https://www.hidrojing.com/como-seleccionar-el-coeficiente-de-rugosidad-de-manning-en-cauces-naturales/>
- IDEAM. (1990). *Metología Corine Land Cover*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- IDEAM. (2016). *Curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF)*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>
- Ilieva, H. (2018). *Análisis y caracterización de las sequias en Bulgaria*. Obtenido de Repositorio abierto de la Universidad de Cantabria : <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/14946>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Conceptos básicos de Cambio Climático*. Obtenido de <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Índice de Aridez-IA*. Obtenido de IDEAM: [http://www.ideam.gov.co/web/agua/ia#:~:text=El%20Índice%20de%20Aridez%20\(IA,partir%20del%20balance%20hídrico%20superficial](http://www.ideam.gov.co/web/agua/ia#:~:text=El%20Índice%20de%20Aridez%20(IA,partir%20del%20balance%20hídrico%20superficial).

- Jaimes, J. (2020). *Determinación del índice de Creciente y Sequía en la Quebrada El Rosal, Pamplona –Norte de Santander*. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/(19-DIC-2020)%20TESIS%20FINAL%20JOSÉ%20FRANCISCO%20JAIMES%20ARREDONDO.pdf
- Laura, T. (2017). *Análisis detallado de metodologías para definición de índices de sequía y planteamiento de procedimientos para la calibración de escala de gravedad de las mismas: estudio en 2 cuencas de Colombia*. . Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/61229>
- López, A., & García, F. (2018). *Propuesta de un índice climático-turístico adaptado al turismo de interior en la Península Ibérica: aplicación a la ciudad de Madrid*. Obtenido de Investigaciones geograficas : <https://www.redalyc.org/journal/176/17664421002/html/>
- López, D. (2016). *ESTUDIO MORFOMÉTRICO Y CÁLCULO DE CAUDAL DE CRECIENTE EN LA*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4126/Proyecto%20Cuenca%20C año%20Venado%20y%20Caño%20El%20Pescado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manso, D., Ventura, M., Chagas, G., & Rodrigues, A. (2015). *Características de la tendencia de evapotranspiración anual en la cuenca del Duero*. Obtenido de [https://ria.ua.pt/bitstream/10773/10530/1/Caracter%C3%ADstcas%20de%20la%20tendenci a%20de%20evapotranspiraci%C3%B3n%20anual%20en%20la%20cuenca%20del%20Due ro\).pdf](https://ria.ua.pt/bitstream/10773/10530/1/Caracter%C3%ADstcas%20de%20la%20tendenci a%20de%20evapotranspiraci%C3%B3n%20anual%20en%20la%20cuenca%20del%20Due ro).pdf)
- Marín, C. (2011). *Determinación de curvas de duración de caudal para cuencas intermitentes*. . Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14657/u442887.pdf>

- Marti, A., & López, R. (2011). *La aplicación del índice bioclimático PET al noroeste de España para la delimitación de espacios con estrés térmico*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/291343868_La_aplicacion_del_indice_bioclimatico_PET_al_noroeste_de_Espana_para_la_delimitacion_de_espacios_con_estres_termico
- Mejía, A., & Cieza, L. (2019). *Comparación de tres métodos en el análisis de sequías hidrometeorológicas en la cuenca del Río Ilave Puno – Perú*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/707/70758484003/html/>
- Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible . (1997). *Por la cual se contemplan los sistemas de información del recurso hídrico SIRH*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2004). *Resolución 864, Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales*. Obtenido de https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865_20040722.htm
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2007). *Por la cual se establecen los planes de ordenamiento de recurso hídrico* . Obtenido de <https://vlex.com.co/vid/dictan-actividad-calificacion-riesgos-50412575>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2018). *Por la cual se adopta la Guía Técnica para la formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico Continental Superficial*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/10.-Anexo-10-Resolucion-751-de-2018-Adopta-Guia-PORH.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica-POMCA: Fase de diagnóstico*. Obtenido de MinAmbiente : <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9fcf99956.pdf>

- Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Criterios para la priorización de*. Obtenido de MinAmbiente: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-31.-Criterios-para-la-priorizacion-de-cuencas-hidrograficas-objeto-de-Ordenacion-y-Manejo.pdf>
- Ochoa, P. (2009). *Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco-Catón Loja* . Obtenido de https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2218/3/UTPL_Maza_Chamba_Cristian_Vicente_1009103.pdf
- Organizacion Mundial Meteorologica . (2012). *índice normalizado de precipitacion, guia del usuario* . Obtenido de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7769
- Ortega, D., Rendón, L., Isaac, M., & Rodolfo, O. (2011). *SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO* . Obtenido de <https://revistas.chapingo.mx/inagbi/revista/articulos/r.inagbi.2011.11.016.pdf>
- Otero, M., & Barcia, S. (2018). *Manifestaciones de la sequía meteorológica en la provincia de Villa Clara (Cuba) en el período 2000-2017*. Obtenido de <https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2018-n70-manifestaciones-de-la-sequia-meteorologica-en-villa-clara-cuba-2000-2017>
- Paredes, F., Barbosa, A., & Guevara, E. (2015). *Análisis espacial y teporal de las sequías en el nordeste de Brasil* . Obtenido de Scielo : <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/340/TRABAJO%20DE%20GRADO%202016%20-%20EGLENDYS%20NOBLES%20OROZCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Portal Web Municipio de Pamplonita . (2019). Obtenido de Cucutanuestra.com:

<https://www.cucutanuestra.com/temas/geografia/municipios/region-sur/pamplonita/pamplonita.htm>

Sánchez, C., Vera, F., Luna, A., Espinoza, J., & Bustamante, A. (2017). *Metodología para la estimación de caudales mínimos*. Obtenido de Revista CUMBRES:

<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-MetodologiaParaLaEstimacionDeCaudalesMinimosDeUnaC-6550732.pdf>

Sanchez, J. (2012). *Balance Hídrico en una Cuenca* . Obtenido de

http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mdez/~edisp/inea_013083.pdf

Suarez, K., Cely, G., & Forero, P. (2016). *Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC)*

para determinación espaciotemporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá).. Obtenido de Biota Colombiana:
<https://www.redalyc.org/pdf/491/49148412001.pdf>

Suarez, M. (2021). *ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y DE CRECIENTES DE LA QUEBRADA*

GALINDO, MUNICIPIO DE PAMPLONITA. Obtenido de
<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/ANÁLISIS%20HIDROLÓGICO%20Y%20DE%20CRECIENTES%20DE%20LA%20QUEBRADA%20GALINDO%202021%20FINAL.pdf>

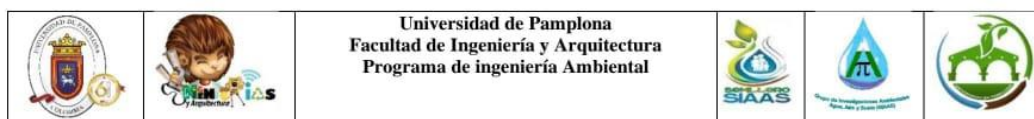
Villazón, J., Noris, P., & García, R. (2021). *Uso del índice de precipitación estandarizado para la evaluación de la intensidad de la sequía en la provincia de Holguín*. Obtenido de

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292021000400103&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Anexos

Anexos 1.

Encuesta aplicada para los habitantes de la microcuenca Quebrada Batagá.



Análisis del comportamiento hidrológico de crecidas y sequías de la quebrada Batagá, Pamplonita-Norte de Santander

La presente encuesta se encuentra dirigida a la población de la quebrada Batagá, con el propósito de recolectar datos importantes como parte de una etapa a culminar en el desarrollo del trabajo de grado con énfasis en el “**Análisis del comportamiento hidrológico de crecidas y sequías de la quebrada Batagá, Pamplonita-Norte de Santander**”, con el objeto de obtener información cualitativa actualizada del comportamiento hidrológico de la cuenca y uso del suelo de la zona. Los datos del entrevistado serán tratados con confidencialidad y la no exhibición de datos, como lo establecido en la Ley 1581, la cual establece los principios y disposiciones de los datos personales que se registran en una encuesta” (2012) de la superintendencia de industria y comercio.

Nº encuesta:	Nombre del propietario:	
Nombre de la finca:	Coordenadas:	Fecha:

Por favor responda cada una de las preguntas y marque con una x la que usted considere:

- Número de integrantes en el hogar.
De 1 a 3 _____ De 4 a 6 _____ De 7 a 9 _____ Más de 9 _____
- ¿Qué usos específicos le proporciona al recurso hídrico?
Doméstico _____ Riego _____ Agricultura _____ Ganadería _____ Todas las anteriores _____
- ¿Qué tipo de cultivo es predominante en su predio?
Lulo _____ Morón _____ Tomate de árbol _____ Papa _____ durazno _____ Frijol _____ Otro(s) _____
¿Cuál(es)? _____
- ¿Qué tipo(s) de captación utiliza para suministro de riego?
Agua lluvia almacenada _____ Agua superficial _____ Agua subterránea _____
- ¿Tiene alguno de los siguientes sistemas de acumulación de agua para riego en el predio?
Reservorio _____ Estanque _____ No posee _____ Otro(s) _____
¿Cuál(es)? _____
- ¿Conoce usted que es el fenómeno del niño y la niña?
Sí _____ No _____
Qué sabe: _____

- ¿Considera usted que las condiciones climatológicas afectan las actividades de la zona?
Sí _____ No _____
- En el caso de presentarse sequías en los últimos 20 años ¿Cuál es su frecuencia?
Muy frecuente _____ frecuente _____ poco frecuente _____ no se presentan _____
- En caso de presentarse fuertes lluvias en los últimos 20 años ¿Cuál es su frecuencia?
Muy frecuente _____ frecuente _____ poco frecuente _____ no se presentan _____
- En caso de presentar temporadas de sequías ¿Cuál ha sido su intensidad?
Poco _____ Mediano _____ Intensos _____ Muy intensos _____
- ¿Cuál es el tiempo de duración aproximado de una temporada de sequía?

Continuación Anexo 1.

- Menor a 1 mes ____ 1 mes ____ 2 meses ____ 3 meses ____ mayor a 3 meses ____
12. En caso de presentar temporadas de fuertes lluvias ¿Cuál ha sido su intensidad?
Poco ____ Mediano ____ Intensos ____ Muy intensos ____
13. ¿Cuál es el tiempo de duración aproximado de un temporada de fuertes lluvias?
Menor a 1 mes ____ 1 mes ____ 2 meses ____ 3 meses ____ mayor a 3 meses ____
14. ¿Hace cuánto fue el último evento presenciado?
Sequías ____ Creciente ____ Todas las anteriores ____ Otra ____
¿Cual?: _____
15. ¿Cuáles son las áreas que recurrentemente suelen inundarse en época de avenidas?

16. ¿Cuáles son las áreas que recurrentemente suelen afectarse en épocas de verano?

17. ¿Como ha sido el comportamiento el flujo de agua en el cauce?
Uniforme ____ Caudaloso ____ Otro ____

18. De los siguientes cauces está usted cerca
Tampaqueba ____ Cunuva ____ Sabagua ____ Pedronio ____ San Francisco ____ Llano Grande ____ Otro ____ cuál ____
19. ¿Los veranillos afectan a la reserva hídrica que abastecen a su población?
Si ____ No ____
¿Como? _____

20. ¿Qué hace usted o que medidas adopta cuando se presentan una sequía?

21. ¿Qué hace Usted cuando se presentan crecientes en el cauce por exceso de lluvias?

22. ¿Ha notado cambios en el comportamiento del clima actual?
Si ____ No ____
Describa _____

23. ¿Cómo afectan a sus cultivos las sequías y las fuertes lluvias?
Sequías _____

Fuentes lluvias:

24. ¿En los últimos años se ha producido algún cambio en los bosques o pastizales de la zona?
Si ____ No ____
¿Cuál? _____

25. ¿Cuáles son las principales afectaciones que ha producido la sequía en el sector

26. ¿Cuáles son las principales afectaciones que a producidas las fuertes lluvias en el sector

¡Gracias por su colaboración!

Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 2

Parte alta de la microcuenca quebrada Batagá.



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 3

Afectaciones por las lluvias en la parte alta de la cuenca.





Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 4

Cultivos en la parte alta de la microcuenca.

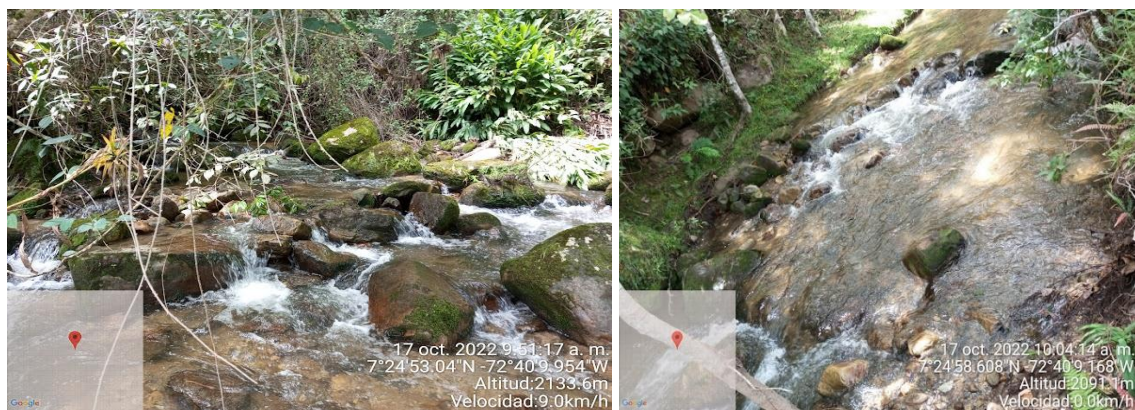


Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 5

Comportamiento hídrico en la parte media de la microcuenca en época de verano.

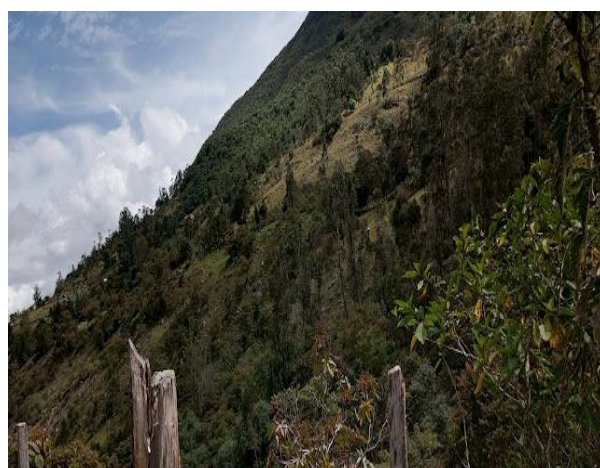




Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 6

Cobertura de la parte media de la cuenca



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 7

Comportamiento hídrico de la microcuenca en época de invierno.



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 8

Consecuencia de las fuertes lluvias en la parte media de la microcuenca.



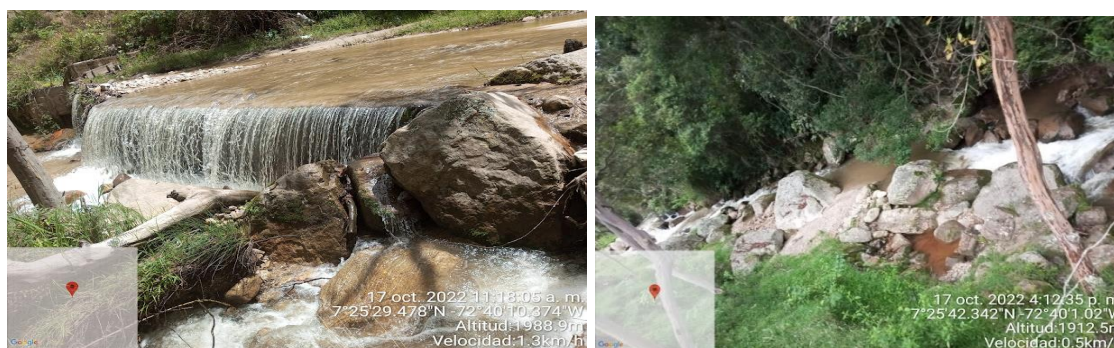
Anexos 9

Captación de acueductos rurales.



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 10 *Litología de la microcuenca.*



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 11

Suelo de la microcuenca.



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 12

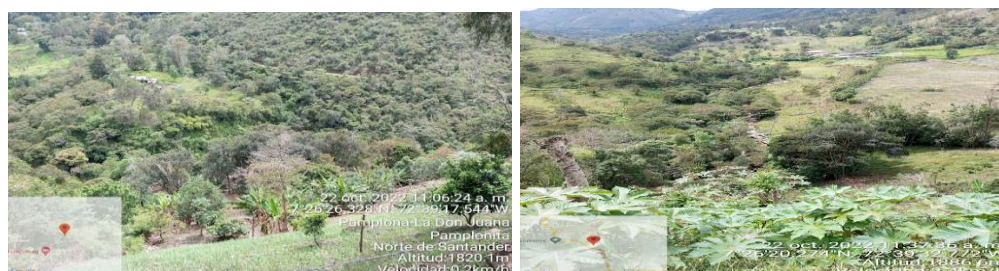
Comportamiento del flujo hídrico en la parte baja de la Microcuenca Quebrada Batagá en época de invierno.



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 13

Cobertura de la parte baja de la microcuenca.



Fuente: Daza, A. (2022)

Anexos 14 Efecto de las precipitaciones intensas en la parte baja de la microcuenca.



Fuente: Daza, A. (2022)