



**Caracterización Hidrológica de la Quebrada Volcanes y su Importancia como Cuenca
Abastecedora y Receptora del Municipio de Jardín Antioquia para el Año 2023**

Estefanía López Díaz

Daniel Felipe Espinosa Castañeda

Trabajo de investigación presentado para optar al título de Administrador Ambiental y Sanitario

Asesor

Aurelio Gómez González, Magíster (MSc) en Ingeniería Ambiental Especialista en Hidrología
Subterránea

Universidad de Antioquia

Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez

Administración Ambiental y Sanitaria

Andes, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(López & Espinosa, 2023)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

López Díaz, E., & Espinosa Castañeda, D. F. (2023). *Caracterización Hidrológica de la Quebrada Volcanes y su Importancia como Cuenca Abastecedora y Receptora del Municipio de Jardín Antioquia para el Año 2023* -[Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Andes, Colombia.



Biblioteca Seccional Suroeste (Andes)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

En términos generales los agradecimientos son sustanciales, por eso, en nuestro caso en específico existe una sobre exaltación a la hora de una dedicatoria precisa y de común acuerdo hecha para Jose Joaquín Espinosa López, a quien consideramos la columna vertebral, el combustible RP-1 y hasta el centroide de nuestras vidas; es él quien día a día desde que iniciamos este proceso nos ha acompañado por designación del universo, y sin querer nos ha brindado las fuerzas necesarias para darle cuerpo a este sueño nacido precisamente de nuestras esperanzas de darle un gran y prometedor futuro a su vida.

Agradecimientos

Agradecimientos completos a la Universidad de Antioquia por permitir formarnos como Profesionales íntegros y preparados para el mundo laboral, seguidamente a todas las personas que directa o indirectamente aportaron para la culminación de un arduo camino educativo que finaliza con la compilación de una parte de nuestros conocimientos en este trabajo.

Tabla de contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	3
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento del problema.....	17
1.1. Antecedentes	18
2. Justificación	22
3. Objetivos	24
4. Marco Normativo.....	25
5. Marco teórico	26
6. Metodología.....	32
6.1. Parámetros morfométricos de una cuenca:.....	33
6.2. Generalidades del monitoreo y toma de muestras de agua en Fuentes de agua superficial	37
6.3. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA).....	40
7. Resultados	43
7.1. Resultados de Parámetros Morfométricos cuenca principal quebrada Volcanes.....	43
7.1.1. Análisis de los Parámetros Morfométricos	45
7.2. Resultados Información Hidrometeorológica Disponible.....	51
7.2.1. Análisis de información Hidrometeorológica	53
7.3. Estimación de caudales medios y mínimos	54
7.3.1. Cálculo del Factor de Escorrentía	55
Cuenca captación.....	57

7.3.2.....	57
7.3.2.1. <i>Estimación de demanda</i>	59
Cuenca descarga.....	61
7.3.3.....	61
7.4. Cantidad y calidad de agua en la fuente hídrica Quebrada Volcanes tomados en campo: 63	
7.4.1. Aforo de la Fuente Quebrada Volcanes:	63
7.4.1.1. Aguas Arriba	64
7.4.1.2. Aguas abajo	68
7.5. Índice de calidad del agua en cuerpos de agua superficial ICA, para la quebrada Volcanes.	72
8. Discusión.....	73
9. Conclusiones	75
10. Recomendaciones.....	77
Referencias	78
Anexos.....	80

Lista de tablas

Tabla 1; Tiempo de Concentración	37
Tabla 2; Programación monitoreo agua superficial	38
Tabla 3; Parámetros Morfométricos de la Quebrada Volcanes.....	44
Tabla 4; Coeficiente de Gravelius	46
Tabla 5; Densidad de Drenaje	47
Tabla 6; Clasificación de las Pendientes	47
Tabla 7; Relación Área Cuenca por Pendiente.....	48

Tabla 8; Factor Forma (Kf)	49
Tabla 9; Sinuosidad	49
Tabla 10;Tiempo de concentración	51
Tabla 11;Información General de la Estación de Incidencia en la cuenca de Estudio.....	52
Tabla 12; Precipitación Promedio Thiessen	53
Tabla 13; Cálculo Factor de Escorrentía	56
Tabla 14; Caudal medio, mínimo cuenca captación	58
Tabla 15; Caudales mínimos medios en diferente periodo de retorno cuenca captación	58
Tabla 16; Proyección dotación 25 años cuenca captación	60
Tabla 17; Caudal medio, mínimo cuenca descarga.....	62
Tabla 18; Caudales medios en diferente periodo de retorno cuenca descarga.....	62
Tabla 19; Información parte alta_aguas arriba.....	65
Tabla 20; Sección transversal Aguas Arriba	66
Tabla 21; Datos de campo aguas arriba	67
Tabla 22; Caudal aguas arriba Quebrada Volcanes	67
Tabla 23; Resultados Laboratorio Aguas Arriba.....	68
Tabla 24; Información de la cuenca parte baja_aguas abajo.....	68
Tabla 25; Sección transversal Aguas Abajo.....	69
Tabla 26; Datos de campo aguas abajo	71
Tabla 27; Caudal aguas abajo Quebrada Volcanes	72
Tabla 28; Resultados Laboratorio Aguas Abajo	72
Tabla 29; Parámetros y ponderado ICA	73
Tabla 30;Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA	73

Lista de figuras

Ilustración 1; Base cartográfica de la Geología de Antioquia - INGEOMINAS	31
Ilustración 2; Delimitación de Cuenca ArcMap- Fuente Propia Mapa Anexo	44
Ilustración 3; Pendientes Cuenca Volcanes; Fuente Propia Mapa Anexo	48
Ilustración 4; Orden de la Cuenca Metodología Horton	50
Ilustración 5; Thiessen e Isoyetas; Fuente Propia	53
Ilustración 6; Cuenca capitación	57
Ilustración 7; Cuenca descarga.....	61
Ilustración 8; Medición sección transversal	67
Ilustración 9; Medición revoluciones micromolinete.....	67
Ilustración 10; Medición sección transversal	71
Ilustración 11; Medición revoluciones micromolinete.....	71

Tabla de Gráficas

Gráfico 1; Perfil Pendiente de Cauce Principal _ Fuente ArcGIS	49
Gráfico 2; Caudales medio en diferentes periodos de retorno cuenca captación.....	59
Gráfico 3; Caudales medio en diferentes periodos de retorno cuenca descarga	62

Siglas, acrónimos y abreviaturas

año	año
cm²	centímetro cuadrado
cm³	centímetro cúbico
CORANTIOQUIA	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EOT	Esquema de Ordenamiento Territorial
h	hora
ha	hectárea
hab	habitante
kg	kilogramo
h	kilómetro
km²	kilómetro cuadrado
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
L	litro
m	metro
m²	metro cuadrado
m³	metro cúbico
mg	miligramo
min	minuto
mm	milímetros
°	grados
PORH	Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico
s	segundo
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SIG	Sistemas de Información Geográfico
SS	Sólidos sedimentables
SST	Sólidos Suspendidos Totales
RAE	Real Academia Española de la Lengua
Q	caudal
Qmd	caudal medio diario
v	velocidad

Definiciones

Caracterización: Según la RAE, es determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga.

Cuenca: Entiéndese por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

Precipitación: Fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua se condensa y llega al suelo en forma de nieve, granizo, rocío y principalmente agua lluvia.

Isoyeta: La isoyeta o isohieta es una isolínea que une los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada.

Abiótico: uno de los tres sistemas que conforman el medio ambiente y que también se conoce como sistema físico. Este sistema está constituido por las estructuras inertes o sin vida. Se refiere a los aspectos físicos y químicos del ambiente que rodea a un organismo.

Afluente: agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o a algún proceso de tratamiento.

Agentes económicos: Empresas, familias o individuos que actúan como demandantes y/o oferentes de bienes y servicios en una economía de mercado.

Agroforestería: Es un sistema de uso de la tierra, donde los árboles crecen en asociaciones con cultivos agrícolas y/o animales, en arreglos espaciales o secuenciales en el tiempo, interactuando económica y ecológicamente. Está basada principalmente en los árboles de uso múltiple, los cuales pueden hacer una contribución significativa a las funciones productivas y de servicios de los sistemas de uso de la tierra donde ellos crecen.

Aguas residuales domésticas: desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.

Aguas residuales municipales: agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

Aguas residuales: desecho líquido provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.

Ambiente: Conjunto de factores bióticos y abióticos que actúan sobre los organismos y comunidades ecológicas, determinando su forma y desarrollo.

Análisis: fisicoquímico del agua: pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua: pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

ANDI: Asociación Nacional de Industriales.

Antrópico: también conocido como sistema socio - económico, es el sistema del medio ambiente constituido por las estructuras y condiciones asociadas al hombre y su relación con el entorno.

Aptitud de la tierra: Indica la idoneidad de una unidad de tierra para satisfacer los requerimientos de un tipo de utilización de tierra.

Arbusto: Otra forma de vida con tallos leñosos, cortos, ramificados desde la base.

Áreas protegidas: Espacios naturales concretos del medio natural que, por sus valores estéticos y culturales, han sido merecedores de una protección especial.

Asociación vegetal: comunidad vegetal con características florísticas, ecológicas y biogeográficas similares.

Asociaciones vegetales: Área de una zona de vida, con límites definidos por factores ambientales, bajo condiciones naturales inalteradas.

Autótrofo: Capaz de obtener energía mediante fotosíntesis o quimiosíntesis.

Periodo de retorno: Es una representación usada comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado.

Caudal Medio: Promedio de los consumos diarios de caudal en un periodo de un año, proyectando al horizonte de diseño

Caudal Mínimo: Caudal de agua que hay que mantener para respetar los usos comunes o por motivos sanitarios o ecológicos, si fueran precisos.

Morfometría: Se refiere al análisis cuantitativo de la forma, un concepto que abarca el tamaño y la forma

Resumen

La cuenca de la quebrada Volcanes es la principal fuente abastecedora y receptora de vertimientos del municipio de Jardín Antioquia, dicha fuente no se encuentra debidamente instrumentada por lo que carece información específica sobre sus características hidrológicas y de las condiciones del cuerpo de agua superficial.

El presente trabajo tiene por objeto definir mediante la caracterización hidrológica la oferta hídrica y su capacidad receptora para fines de aprovechamiento y dilución de contaminantes. En tal sentido, en esta tesis se incluye el trazado de las cuencas en los sitios de captación y vertimiento, así como la estimación de los parámetros morfométricos y de los caudales medios y mínimos en ambos sitios, éstos últimos calculados mediante el método de coeficientes de escorrentía y la regionalización de parámetros usando información hidrometeorológica disponible.

Seguidamente se realizaron aforos y toma de muestras de calidad del agua, con el fin de estimar los parámetros fisicoquímicos necesarios para la construcción del Índice de Calidad del agua superficial -ICA y con la proyección de la población se estimaron los requerimientos de agua hasta el año 2047. Los principales resultados muestran que la cuenca de la quebrada volcanes tiene un área de 61.65 km², el cauce principal tiene una extensión de 15,08 km, con pendientes superiores a 34.96%, su punto más alto está a 3300 msnm y el drenaje o punto más bajo de la cuenca es en la cota 1600. El caudal medio en el sitio de captación es de 468.54 L/s y en el sitio de vertimiento el caudal medio es de 2555.9 L/s, el caudal mínimo con periodo de retorno de 20 años es de aproximadamente 72.7 L/s en la captación y de 497.25 en el sitio de vertimiento y el índice de calidad del agua -ICA en ambos sitios es “Regular”. El análisis de los resultados permite concluir que por la temporada extendida de lluvia para el día de la toma de muestras aguas arriba presentó dilución, y que aguas arriba la fuente se encuentra afectada por condiciones directamente relacionadas con la sobre explotación del recurso.

Abstract

The rio Volcanes stream basin is the primary source of freshwater supply and wastewater reception in the Jardín Antioquia municipality. This source is not properly instrumented; therefore, it lacks specific information on its hydrological characteristics and the conditions of the surface water body. This work aims to define, through hydrological characterization, the water supply and its receiving capacity for the use and dilution of contaminants. In this sense, this thesis includes the layout of the basins in the collection and discharge sites, as well as the estimation of the morphometric parameters and the average and minimum flows in both sites; the latter calculated using the method of coefficients of runoff and regionalization of parameters using available hydrometeorological information. Gauges and water quality samples were then carried out to estimate the physicochemical parameters necessary for constructing the Surface Water Quality Index -ICA. With the population projection, the water requirements were estimated up to the year 2047. The main results show that the basin of the volcanic stream has an area of 61.65 km², the main channel has an extension of 15.08 km, with slopes greater than 34.96%, its highest point is at 3300 meters above sea level and the drainage or lowest point of the basin is at the elevation. 1600. The average flow at the collection site is 468.54 L/s and at the discharge site the average flow is 2555.9 L/s, the minimum flow with a return period of 20 years is approximately 72.7 L/s in the catchment and 497.25 at the discharge site and the water quality index -ICA at both sites is “Regular”. The analysis of the results allows us to conclude that due to the extended rainy season on the day of sampling, the water was diluted, and that upstream the source is affected by conditions directly related to the overexploitation of the resource.

Introducción

El agua es considerada como uno de los recursos más valiosos y fundamentales para la supervivencia humana, puesto que contribuye a una necesidad primordial para la salud. Dentro del ámbito nacional se encuentra plasmada en la constitución política de 1991 como un derecho básico, lo que conlleva a que el consumo del agua es esencial para la vida humana.

La hidrología es la ciencia que trata del agua, su ocurrencia, su circulación, distribución, sus propiedades y su relación con el ambiente y los seres vivos. La hidrología aporta los elementos técnicos y científicos que le permitirán conocer adecuadamente el ciclo del agua y realizar estudios y obras para la regulación y ordenamiento de las cuencas hidrográficas. El manejo de una cuenca hidrográfica no es otra cosa que el resultado benéfico obtenido del estudio conjunto de todos los factores que ella encierra como el suelo, el agua y la cobertura vegetal, ya que ellos están íntimamente relacionados entre sí y, por consiguiente, dependen unos de otro.

Para nuestro caso la caracterización hidrológica corresponde a una parte del instrumento de planificación para la gestión del recurso hídrico en el territorio, nos permite mirar de manera sostenible todos los recursos naturales renovables y establecer un equilibrio entre el aprovechamiento de estos recursos y la conservación de la estructura física y biótica de una cuenca, así como la prevención de su deterioro y garantizar la sostenibilidad en el largo plazo.

Teniendo en cuenta la correlación antes mencionada para el título de este trabajo “caracterización hidrológica”, es importante definir el alcance del verbo caracterizar, ya que se refiere a determinar atributos peculiares y específicos de la cuenca, teniendo en cuenta los alcances y recursos a disposición; de esta cuenca tendremos en general los siguientes componentes: características morfológicas de la cuenca, caudales mínimos medios, caudales medios, oferta, demanda y calidad del agua.

Los estudios hidrológicos son el resultado final del análisis de diferentes atributos y componentes característicos del recurso hídrico; permite conocer las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del

agua, desde su distribución y circulación hasta su interacción con los medios terrestres y atmosféricos.

En el caso específico y de competencia para el municipio de Jardín por ser municipio de sexta categoría tiene los recursos asignados y destinados para atender otras necesidades antes de contar con un estudio hidrológico completo de esta cuenca; sin embargo, dado que las afectaciones de carácter trópico y antrópico a la fuente son producto de la dinámica social, ambiental y económica del municipio, es requerida la inserción paulatina de estrategias para la recopilación de información que dé a conocer la disponibilidad y calidad del recurso hídrico de la quebrada Volcanes.

Además, se tiene la problemática puntual de la disponibilidad y calidad del recurso. Se hace aquí referencia a algunas características hidrológicas relevantes para las actividades económicas del municipio, reguladas en su mayoría por la autoridad ambiental, pero aún no se caracterizan totalmente los usos reales de la fuente, situación que denota un agotamiento paulatino de la misma; de igual manera es claro que la calidad del agua se ve supeditada a las alteraciones de las condiciones fisicoquímicas por el multiuso agroindustrial, pecuario y turístico.

Los modelos hidrológicos utilizan algunos parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje, tales como el área de drenaje, la cota superior de la cuenca, la cota superior del cauce principal, cota inferior de la cuenca, longitud del cauce principal hasta la divisoria, longitud del cauce principal, longitud axial de la cuenca, perímetro de la cuenca, ancho de la cuenca, altura media, pendiente promedio del cauce, pendiente promedio del cauce hasta la divisoria, pendiente promedio de la cuenca, índice de compacidad, factor de forma, sinuosidad, orden de la cuenca y el número de Horton, los cuales se determinan con base en la delimitación de la curva divisoria, o línea de divorcio de la cuenca hasta el punto de interés.

En un análisis hidrológico también se evalúa y analiza la información meteorológica recopilada, identificando las estaciones que tienen incidencia en el área de estudio; los datos de precipitación diaria (día pluviométrico convencional) recopilados y tomados del IDEAM son procesados en una hoja de cálculo diseñada para el presente trabajo, en el software EXCEL. El producto resultante son los valores anuales, promedios mensuales de precipitación para cada estación identificada;

seguido se realiza una validación estadística para seleccionar la estación más representativa, a la cual se le efectúa el análisis estadístico de los valores de precipitación máxima en 24 horas aplicando distribuciones de probabilidad de valores extremos, seleccionando la distribución que mejor se ajuste a los datos.

Se hizo uso de ArcMap- ArcGIS como herramienta de mapeo y el razonamiento espacial, ya que es el completo sistema para recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica e hidrológica.

En este trabajo se presenta primero el planteamiento del problema, seguido de justificación, posteriormente se establecen los objetivos a cumplir continuando con la metodología adoptada y por último previamente calculados y hallados los resultados se establecen conclusiones y se realizan recomendaciones.

1. Planteamiento del problema

En Antioquia los estudios hidrológicos son indispensables para el desarrollo de proyectos de saneamiento, construcción de edificaciones, transporte, minería, energía, agricultura, ganadería, entre otros. Como insumo para la elaboración del presente estudio, se revisaron estudios hidrológicos a nivel regional, realizados sobre la cuenca del Río Medellín, cuencas en los municipios de Caramanta, Támesis, Valparaíso entre otros, enfocados a dar claridad del estado del recurso hídrico para diferentes proyectos, En este mismo sentido se analizó un estudio hidrológico realizado por la empresa Tierras y Suelos para un Plan Parcial en la cuenca del Rionegro con el objetivo de determinar el comportamiento hidrológico del río ante un evento torrencial y la capacidad hidráulica del cauce actual.

En contexto, la importancia de un estudio hidrológico está en que permitirá conocer las propiedades fisicoquímicas, ubicación, distribución y circulación sobre la superficie de la tierra de determinada fuente hídrica; para nuestro caso, la fuente abastecedora y receptora del vertimiento del municipio de Jardín: cuenca quebrada Volcanes.

El municipio de Jardín-Antioquia capta el agua para su consumo y vierte sus aguas residuales de y sobre la misma fuente: Quebrada Volcanes; no se cuenta con información específica y de primera mano sobre sus características hidrológicas y del estado o condiciones del cuerpo de agua superficial. En términos generales se hace necesaria a la recolección y procesamiento de información cartográfica e hidrometeorológica para las acciones que se realicen en cuencas pequeñas con información escasa; se hace énfasis en información escasa porque, cuando se realizan estudios hidrológicos en cuencas pequeñas, los registros cartográficos e hidrometeorológicos son deficientes en muchos casos.

El estudio para el ordenamiento hídrico de la cuenca del río San Juan (PORH Río San Juan _ CORANTIOQUIA), no contiene al detalle información precisa de sus afluentes, cuencas o subcuencas dentro de los cuales se encuentra la quebrada Volcanes, objeto de este trabajo de grado. Cabe anotar que la quebrada Volcanes es afluente del río Claro y este a su vez tributario del río San Juan

El municipio de Jardín no cuenta con recursos asignados y/o destinados para contar con un estudio hidrológico completo de esta cuenca; sin embargo, dado que las afectaciones de carácter natural y antrópico a la fuente son producto de la dinámica social, ambiental y económica del municipio, es requerida la inserción paulatina de estrategias para la recopilación de información que dé a conocer la disponibilidad y calidad del recurso hídrico de la quebrada Volcanes.

Ahora bien, como complemento en el planteamiento del problema se tiene la problemática puntual de la disponibilidad y calidad del recurso. Se hace aquí referencia a algunas características hidrológicas relevantes para las actividades económicas del municipio, reguladas en su mayoría por la autoridad ambiental, pero aún no se caracterizan totalmente los usos reales de la fuente, situación que denota un agotamiento paulatino de la misma; de igual manera es claro que la calidad del agua se ve supeditada a las alteraciones de las condiciones fisicoquímicas por el multiuso agroindustrial, pecuario y turístico.

Es importante resaltar que la cuenca en su parte alta fue declarado distrito de manejo integrado DMI, por la autoridad ambiental competente CORANTIQUIA, siendo así obligación de los propietarios de los predios proteger las riquezas culturales y naturales que se encuentren en el predio, así como el tener en cuenta que todas las fuentes hídricas que surcan los suelos de la nación son objeto de protección ambiental, por lo que se debe cumplir con el Decreto 1449 (vigente) del 27 de junio de 1997, que en su artículo tercero define que los propietarios de predios están obligados a:

1. Mantener en cobertura boscosa dentro del predio las áreas forestales protectoras:
 - a) Los nacimientos de fuentes de aguas en una extensión por lo menos de cien (100) metros a la redonda, medidos a partir de su periferia.
 - b) Una faja no inferior a treinta (30) metros de ancho, paralela a las líneas de las mareas máximas, a cada lado de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua.
 - c) Los terrenos con pendientes superiores a 45°.

1.1. Antecedentes

Los estudios hidrológicos son el resultado final del análisis de diferentes atributos y componentes característicos del recurso hídrico; permite conocer las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del agua, desde su distribución y circulación hasta su interacción con los medios terrestres y atmosféricos.

A nivel mundial la reflexión sobre el agua, su comportamiento y en especial la oferta y demanda, ha sido fundamental durante años; por ejemplo en España se da gran importancia a la disponibilidad y aprovechamiento del recurso hídrico ya que tienen un condicionante especial para poder disponer del recurso y esto es debido a que los ríos españoles tienen grandes diferencias de caudal entre sus estaciones; en España más de las tres cuartas partes del agua consumida, se emplea para el regadío, alrededor del 14% es consumida por las ciudades y un 6% por la industria. (Gobierno de Canarias, 2014)

Casos específicos para países potencia mundiales, tenemos como ejemplo a Japón quien, desde su Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte, cuentan con un sistema en línea para publicar los datos hidrológicos en internet, datos con control de calidad y cantidad automático y también manual, para corregir valores anormales y faltantes, ajustes hechos con los datos fuera de línea que son completados con las verificaciones hechas en campo en tiempo real; esto debido a que Japón es una potencia sometida a riesgos como inundaciones estacionales, sequias y terremotos; de ahí que sea imperante el desarrollo de alertas tempranas basados en datos hidrometeorológicos actualizados y en tiempo real, además la información, datos y estudios hidrometeorológicos han sido los cimientos para tratar la degradación del medio ambiente natural y la contaminación de las aguas subterráneas en Japón, y también en la realización de obras de restauración de los ríos, con amplios asentamientos urbanos, suburbanos y rurales.

Otros países como Australia, Brasil, Francia, Alemania, Nueva Zelanda, Eslovenia, Zambia y por supuesto Estados Unidos, también cuentan con bases de datos hidrológicas organizadas en sistemas online que permiten seguimientos más precisos del comportamiento de las cuencas. Al comparar el avance tecnológico en información de las cuencas, subcuencas y cuencas de otros países con Colombia, podemos decir que nuestro Sistema de Información Geográfico SIG, requiere más intervenciones de vanguardia y unificar criterios entre las entidades administradoras del recurso

hídrico para que las orientaciones, normas, actividades, recursos y programas del Sistema Nacional Ambiental SINA rinda los frutos esperados desde su creación.

Es necesario resaltar que el agua es el componente fundamental para el desarrollo de todos los procesos biogeoquímicos necesarios para el funcionamiento de los ecosistemas, los mismos que son totalmente indispensables para todas las actividades económicas de la humanidad, empezando por la agricultura y la industria hasta la generación de energía. En realidad, todos los procesos, de alguna manera, necesitan del agua para poder desarrollarse.

-Antecedentes Regionales: Estudio hidrológico cuenca del Río Negro, Oriente Antioqueño; La cuenca del Río Negro tiene un área de 92.474 has, esta es la cuenca más densamente poblada de toda Antioquia, ya que en ella tienen asiento las cabeceras urbanas de los municipios de Rionegro, El Carmen de Viboral, La Ceja, El Retiro, San Vicente, El Santuario, Marinilla y Guarne, y parte de los municipios de El Peñol y Envigado. El estudio hidrológico se realizó con la finalidad evaluar y zonificar de riesgos por avenida torrencial, inundación, movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos específicamente en el municipio de Rionegro; se abordaron dos tareas, la primera es la zonificación de riesgo por movimientos en masa y avenidas torrenciales e inundación y la segunda es la atención de las áreas afectadas por los eventos desastrosos ocurridos por la temporada invernal.
<https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/RIONEGRO/Informe-Rionegro.pdf>

Estudio hidrológico de la cuenca del río Aburrá, 120.720,86 has, se encuentran en ordenación 15 Municipios: Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Itagüí, Envigado, La Estrella, Sabaneta, Caldas, Barbosa, Girardota, Guarne, Santo Domingo, San Vicente y Don Matías, realizado con la finalidad de dictaminar las recomendaciones para la estabilización de cauces en algunos tramos de la cuenca jurisdicción de Corantioquia, se desarrolla un diagnóstico de los problemas fluviales y procesos adversos que alteran las condiciones de estabilidad del Río Aburrá, especialmente las acciones que pongan en riesgo las comunidades asentadas en la cuenca. En esa dirección el estudio hidrológico se usó para identificar puntos críticos y se proponen obras que contribuyan a la estabilidad del cauce del río, así como la seguridad de las comunidades asentada en la zona ribereña.

El estudio hidrológico de la quebrada la Liborina es un antecedente representativo en las predicciones del comportamiento de la fuente en periodos de retorno, este análisis hidrológico predijo el desastre que tuvo eventos en el año 2015 y presenta elementos importantes a la hora de determinar las características hidrológicas de una fuente.

El Estudio Hidrológico: Cuenca del Río Bogotá y el Estudio Hidráulico: Río Aguacatal de la cuenca del Río Cali, realizado por la Corporación Autónoma Regional (CAR) en el departamento de Cundinamarca y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca respectivamente, son antecedentes nacionales de la importancia de conocer las características hidrológicas de las cuencas, teniendo asentamientos poblacionales sobre el cauce principal de la cuenca.

-Antecedentes internacionales: Se revisó un estudio hidrológico de la cuenca del río Isábena (Pirineos, España) estos datos los proporcionan un estudio pluviométrico de detalle y las medidas de caudal en el periodo abril 2020 - abril 2021. Los resultados indican una estacionalidad marcada de las crecidas, con máximos en otoño y primavera.

La Ley de las Aguas (n° 9.433/97) española se fundamenta en la concepción del dominio y de la intervención pública en el gerenciamiento de los recursos hídricos, donde la actuación del Poder Público busca permitir una gestión social del recurso a través de un gerenciamiento participativo e integrado entre los diversos sectores usuarios de la sociedad.

El sistema introducido por la Política Nacional de Recursos hídricos procura organizar este sector en el ámbito nacional, consolidando el concepto de gestión integrada y de visión sistemática del agua, definiendo papeles, funciones y competencias de cada uno de sus componentes, además de constituir directrices que buscan promover la articulación del planeamiento de los recursos hídricos con los de los sectores usuarios, Poder Público y la sociedad como un todo.

2. Justificación

Se indagó con las entidades correspondiente sobre la información de la fuente respecto a si se contaba con la información limnigráfica o limnimétrica de la quebrada, a lo que la Autoridad Ambiental CORANTIQUIA-Territorial Citará respondió que solo se cuenta con la información de las concesiones y los vertimientos registrados sobre la cuenca, pero no se tenía información de caudales medidos sobre la fuente; la administración municipal tampoco cuenta con esta información, pero aducen contar con una estación de alerta temprana con el fin de ayudar a las comunidades a prepararse para los peligros relacionados con el clima. Aunque se corroboró la existencia de la estación, esta se encuentra inactiva (evidencias en el registro fotográfico), según lo informado por la Subsecretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del municipio de Jardín. Por último, la empresa prestadora de servicios públicos en la zona urbana del municipio atiende las necesidades de esta población tanto en acueducto como en alcantarillado, INGENIERÍA TOTAL sólo tiene la información de captación de agua para consumo, pero no tienen instaladas estaciones limnigráficas y limnimétricas, y respecto al IDEAM, no se cuenta con información en el portal geográfico que denote la existencia de algunas de estas estaciones que sirva para la medición de caudales.

En un análisis hidrológico se evalúa y analiza la información meteorológica recopilada, identificando las estaciones que tienen incidencia en el área de estudio; los datos de precipitación diaria (día pluviométrico convencional) recopilados y tomados del IDEAM son procesados en una hoja de cálculo diseñada para este trabajo en el software EXCEL. El producto resultante son los valores anuales, promedios mensuales de precipitación para cada estación identificada; seguido se realiza una validación estadística para seleccionar la estación representativa, a la cual se le efectúa el análisis estadístico de los valores de precipitación máxima en 24 horas aplicando distribuciones de probabilidad de valores extremos, seleccionando la distribución que mejor se ajuste a los datos.

Los estudios hidrológicos son herramientas precisas y necesarias en la lectura del territorio, la toma de decisiones en acciones de ordenamiento territorial y en el control y preservación de los recursos naturales disponibles, precisamente por la connotación del término Hidrología como rama de las

ciencias de la tierra que estudia el agua, su comportamiento, dinámica, propiedades tanto físicas como químicas.

Para realizar el análisis hidrológico, es necesario como primera medida seleccionar las estaciones meteorológicas que convergen o inciden en la cuenca hidrográfica del área en estudio, motivo por el cual se descargó de la página del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) las series históricas multianuales de precipitación máxima multianual en 24 horas y las series de precipitación media mensual multianual. Seguidamente se seleccionan las estaciones más cercanas al proyecto en la cual se efectuó un análisis de frecuencia de lluvias calculando las probabilidades de excedencia y así encontrar los periodos de retorno para una serie multianual de precipitaciones además de determinar los polígonos de Thiessen para establecer su influencia en la cuenca.

Una propuesta analítica para la elaboración de la caracterización hidrológica consistió en estimar los caudales mínimos, para diferentes periodos de recurrencia: 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, por los métodos adecuados de acuerdo con la información existente.

Topográficamente se realizará el levantamiento altiplanimétrico de la cuenca, el levantamiento se realizará teniendo en cuenta los quiebres naturales del terreno definiendo algunas líneas de corte obtenidas por medio de la información disponible en los metadatos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Se realizaron 2 aforos en la quebrada Volcanes (aguas arriba y aguas abajo), y simultáneamente se tomaron muestras para la evaluación de las condiciones de calidad de agua de la fuente hídrica.

Los estudios hidrológicos son imprescindibles, mayoritariamente cuando en un terreno urbano o rural se precisa iniciar la construcción o modificación de cualquier tipo de infraestructura. Son de aplicación obligatoria en una gran variedad de ámbitos; algunos de los más habituales son la construcción de carreteras, estructuras ferroviarias, pistas de aeropuertos u otras instalaciones, así como en procesos de urbanización residencial o industrial. También son vitales en otras situaciones, afortunadamente no tan habituales como, por ejemplo, en investigaciones policiales que transcurran cerca de cauces hidrológicos. Y, además, como en el caso que nos ocupa, en la

agricultura, piscicultura, plantaciones forestales y hasta el desarrollo urbanístico en vivienda campestre.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Definir mediante la caracterización hidrológica de la cuenca quebrada Volcanes, del municipio de Jardín – Antioquia, la oferta hídrica de la misma, para fines de aprovechamiento y determinar su capacidad receptora, por parte del municipio.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Volcanes del municipio de Jardín, considerando submicrocuencas hasta dos puntos de control, el sitio de captación y, aguas abajo, el sitio donde se da el vertimiento de aguas residuales del municipio de Jardín.
- Realizar un estudio de precipitaciones medias en las dos submicrocuencas, consultando cuáles estaciones tienen influencia, para con ellas estimar caudales medios multianuales y caudales mínimos asociados a diferentes períodos de retorno
- Hacer un aforo en los dos sitios considerados, el de captación y el de vertimiento de aguas residuales del municipio de Jardín, y compararlo con los resultados de estimativo de caudales medios
- Hacer análisis de oferta hídrica en el punto de captación para compararla con la demanda del acueducto, considerado el caudal mínimo asociado a un período de retorno de 20 años, y otro análisis en el sitio de vertimientos para ver la capacidad receptiva de la fuente.

- Establecer las características físico - químicas de la quebrada Volcanes, como una información básica de identificación de la calidad del agua, para que sea tomada en cuenta tanto para el uso como fuente de abastecimiento (sitio de captación) como para fuente receptora del vertimiento de aguas residuales en el segundo sitio.

4. Marco Normativo

Normativa	Artículo	Descripción
Constitución Política de 1991	79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
	80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
	95	La calidad de colombiano enaltece a todos los miembros de la comunidad nacional. Todos están en el deber de engrandecerla y dignificarla. El ejercicio de los derechos y libertades reconocidos en esta Constitución implica responsabilidades.
Decreto 1076 del 2015	-	Esta versión incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición.
Decreto 2811 / 1974: “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.”	80	Sin perjuicio de los derechos privados adquiridos con arreglo a la ley, las aguas son de dominio público, inalienables e imprescriptibles.
	86	Toda persona tiene derecho a utilizar las aguas de dominio público para satisfacer sus necesidades elementales, las de su familia y las de sus animales, siempre que con ello no cause perjuicios a terceros. El uso deberá hacerse sin establecer derivaciones, ni emplear máquina ni aparato, ni detener o desviar el curso de las aguas, ni deteriorar el cauce o las márgenes de la corriente, ni alterar o contaminar aguas que en forma que se imposibilite su aprovechamiento por terceros.
	134	Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano, y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Para dichos fines deberá: a.- Realizar la clasificación de las aguas y fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas. A esta clasificación se someterá toda utilización de aguas (...) e.- Determinar, previo análisis físico, químico y biológico, los casos en que debe prohibirse, condicionarse o permitirse el

		vertimiento de residuos, basuras, desechos y desperdicios en una fuente receptora;
	138	Se fijarán zonas en que quede prohibido descargar, sin tratamiento previo y en cantidades y concentraciones que sobrepasen los niveles admisibles, aguas negras o residuales de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas, superficiales o subterráneas, interiores o marinas.
Decreto 3930 de 2010	–	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	--	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0330 de 2017 adopta el RAS. Y la Resolución 799 de 2021	--	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.

Fuente: Elaboración Propia

5. Marco teórico

Hoy en la Tierra el agua existe en un espacio llamado esfera que se extiende desde 1 km más arriba de la atmósfera hasta 1 km por debajo de la litosfera o corteza terrestre, el agua circula en una hidrosfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, el ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos corren en forma continua; el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera, el vapor de agua se transporta y se eleva a la atmósfera hasta que se condense y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos, el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo superficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación; el agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea donde emerge un manantial o se desliza hacia ríos para formar la

escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa.

Para la adquisición de información relacionada en la caracterización hidrológica de la quebrada Volcanes, fue necesario recurrir a información tanto de primera mano como de segunda, es decir, la consecución de datos pertenecientes a terceros que pudiesen ser de aporte y referencia para el desarrollo de este trabajo de grado, todo dentro de los fines netamente académicos que permite el libre desarrollo de nuestro sistema educativo.

Dentro de la información secundaria disponible, la autoridad ambiental CORANTIOQUIA, misma que hace presencia en nuestra zona de estudio, suministró la siguiente información sobre la oferta, uso, demanda y aprovechamiento de los recursos naturales, que se relacionen con la quebrada Volcanes y que definen como una unidad territorial de acuerdo con la naturaleza de su ejercicio estatal:

- Concesiones de aguas; con relación a este tipo de trámite ambiental, en la cuenca quebrada Volcanes/Bonita hay un total de 90 expedientes vigentes, de los cuales, 24 corresponden a expedientes estratégicos (personería jurídica, caudal otorgado mayor o igual a 2 L/s, etc.), 2 fueron direccionados para archivo, 10 pasaron a Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH), 5 tienen el ciclo completo de control y seguimiento en el año 2023, 18 están pendiente de actuación jurídica(por desistimiento, actuación de informe técnico, etc.), 2 presentan información para analizar de manera individual (PUEAA) y 29 requieren control y seguimiento dentro de la unidad territorial. Así mismo, se debe considerar que, al interior del área de esta unidad territorial, se está presentando el uso del recurso hídrico tanto superficial y/o subterráneo por parte de los habitantes de esta cuenca sin el lleno de los requisitos aplicables en la normatividad ambiental vigente.
- Permiso de estudio; la cuenca quebrada Volcanes/Bonita, se identificó 1 expediente el cual se encuentra activo, en la fase de actuación jurídica por parte del Grupo de Licencias Ambientales y Trámites Especiales (GLATE)

- Licencias ambientales; se identificaron para la quebrada Volcanes/Bonita, los expedientes que se encuentran activos, tanto las actuaciones técnicas como jurídicas, las realiza Grupo de Licencias Ambientales y Tramites Especiales (GLATE)
- Aprovechamiento forestal; con relación al trámite de aprovechamiento forestal, se identificaron al interior de la quebrada Volcanes/Bonita, 15 expedientes relacionados con temas forestales: De igual manera, es posible que existan otros aprovechamientos forestales que no están amparados bajo algún permiso o autorización, debido a que se evidencia dentro de la comunidad desconocimiento frente a que se requiere permiso u autorización por parte de la autoridad ambiental, para realizar intervenciones al recurso flora.
- Permiso de vertimientos a este tipo de trámite hay un total de 61 expedientes, de los cuales, 3 se encuentran en proceso de archivo por parte de la jurídica, 32 corresponden a usuarios estratégicos (personería jurídica, caudales iguales o mayores a 2 L/s, etc.) y 26 requieren control y seguimiento dentro de la unidad territorial. Así mismo, es importante considerar la posibilidad de que en la actualidad se efectúan vertimientos que no han sido identificados por la corporación debido a las dinámicas territoriales y organizacionales.
- Ocupaciones de cauce; con referencia al trámite de ocupación de cauce se identificó para la quebrada Volcanes, los siguientes expedientes: 3, a estos expedientes se les realiza control y seguimiento de manera individual.

También se consultó el ente territorial administración municipal de Jardín y su Esquema de Ordenamiento Territorial, y conforme con el EOT del municipio de Jardín (Acuerdo 016 del 07 de diciembre de 2018, los usos del suelo en la Quebrada Volcanes son los siguientes:

- Uso forestal protector: se destina a la conservación, protección y restauración de bosques naturales, con énfasis en la preservación de la biodiversidad y los recursos hídricos. Se permite la educación ambiental, la investigación científica, la producción de especies forestales nativas, el ecoturismo sostenible y la conservación de bienes arqueológicos.

-
- Uso agropecuario sostenible: se enfoca en actividades agrícolas y pecuarias sostenibles, promoviendo la agroecología y sistemas agroforestales. Se busca mitigar impactos ambientales y mantener la productividad del suelo.
 - Uso de actividad múltiple: combina actividades urbanas y rurales en áreas suburbanas. Se permite la vivienda, comercio, servicios y actividades agroecológicas de bajo impacto.
 - Uso mixto en suelo suburbano del Resguardo indígena de Cristianía: se orienta hacia actividades urbanas y rurales con predominio de las últimas. Se permite la vivienda indígena, comercio, servicios y actividades recreativas.
 - Uso de vivienda campestre y/o parcelaciones: busca evitar la suburbanización y subdivisión del suelo rural. Se permite la vivienda campestre, agricultura sostenible y actividades recreativas.
 - Uso dotacional: se enfoca en la concentración de servicios básicos rurales y apoyo a la agricultura en veredas. Se permiten equipamientos de salud y educación, comercio y servicios.
 - Uso de ecoturismo: se centra en actividades turísticas en entornos naturales. Se permite el turismo escénico, avistamiento de aves, recreación pasiva y actividades de conexión espiritual con la biodiversidad. En resumen, estos usos del suelo buscan equilibrar el desarrollo urbano y rural, promover la sostenibilidad y conservación de recursos naturales, y fomentar actividades compatibles con la protección del medio ambiente. En el EOT de Jardín se encuentran en detalle los mapas de usos del suelo que se identifican en la quebrada Volcanes

La cuenca principal con Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCA, corresponde a la del río San Juan que se encuentra en la provincia hidrogeológica Andina-Vertiente Atlántica, la cual en el área de influencia está constituida por rocas metamórficas del Paleozoico, rocas ígneas intrusivas ácidas, ígneas extrusivas básicas y sedimentarias del Mesozoico y por rocas

volcánicas y sedimentarias del Cenozoico, ocupando principalmente áreas locales con productividad baja a moderada. Los acuíferos presentes en esta provincia están definidos como libres y confinados a semiconfinados.

Para el caso particular de la cuenca del río San Juan se encuentra en lo que hidrogeológicamente se considera basamento, la zona hace parte macizos de rocas cristalinas (ígneo-metamórficos), con influencia de sistemas de fallas que afectan la continuidad de las unidades regionales. Sin embargo, al ser una zona altamente tectonizada se pueden constituir acuíferos de naturaleza local que presentan porosidad secundaria por fracturamiento. En general, las rocas presentan un comportamiento como acuífugas. Teniendo en cuenta que la geología controla la presencia y distribución del agua en las rocas, se caracterizaron las unidades hidrogeológicas con base en un modelo geológico, así mismo se consideró la presencia de fallas regionales y locales que dan lugar a fracturamiento de rocas consideradas acuífugas (impermeables), generando entonces áreas de fracturamiento y diaclasamiento.

La unidad geológica que controla esta cuenca es la denominada Formación Combia (Tmc), que se caracteriza por ser un miembro volcánico, compuesto esencialmente por flujos de lava y rocas piroclásticas, con composiciones homogéneas básicas que se intercalan permanentemente con aglomerados volcánicos y tobas dispuestos en estratos gruesos, que pueden superar un metro de espesor.

Los suelos residuales de esta formación son espesos pues conforman perfiles de meteorización con gran tamaño. Los suelos derivados de esta Formación cubren la mayoría del área del municipio y a su vez están cubiertos por cenizas volcánicas. Son de color amarillo ocre claro, arcillo-limosos, cohesivos, poco permeables, expansivos, fácilmente excavables y susceptibles a la erosión superficial por aguas de escorrentía. Los principales procesos erosivos que existen en El Municipio están asociados a estos suelos residuales. El perfil de meteorización en esta unidad varía entre un horizonte IV con roca alterada en grado medio a bajo, con espesores variables en superficie (hasta 25 m), y un horizonte VI con colores pardos rojizos y espesores entre 1 y 5 m, con altos grados de meteorización. Este último horizonte se observa en las principales vías del municipio y en las áreas que presentan movimientos en masa y desgarres, mientras que el horizonte IV se presenta en

afloramientos en laderas visibles a grandes distancias, y en cauces de quebradas como La Salada y Volcanes en inmediaciones de la zona urbana.

Respecto a los depósitos de origen fluvial más importantes que se encuentra en El Municipio, es el que conforma la terraza en la que se asienta el centro urbano, el cual es un depósito fluvio-glaciario (Qfg) compuesto por rocas y suelos transportados en condiciones de alta viscosidad y generados por eventos climáticos post-glaciales antiguos.

Por lo mencionado, la formación geológica Combia es la que caracteriza el sustrato rocoso y, por ende, según sus condiciones litológicas, permite el tránsito y almacenamiento del recurso hídrico en la cuenca

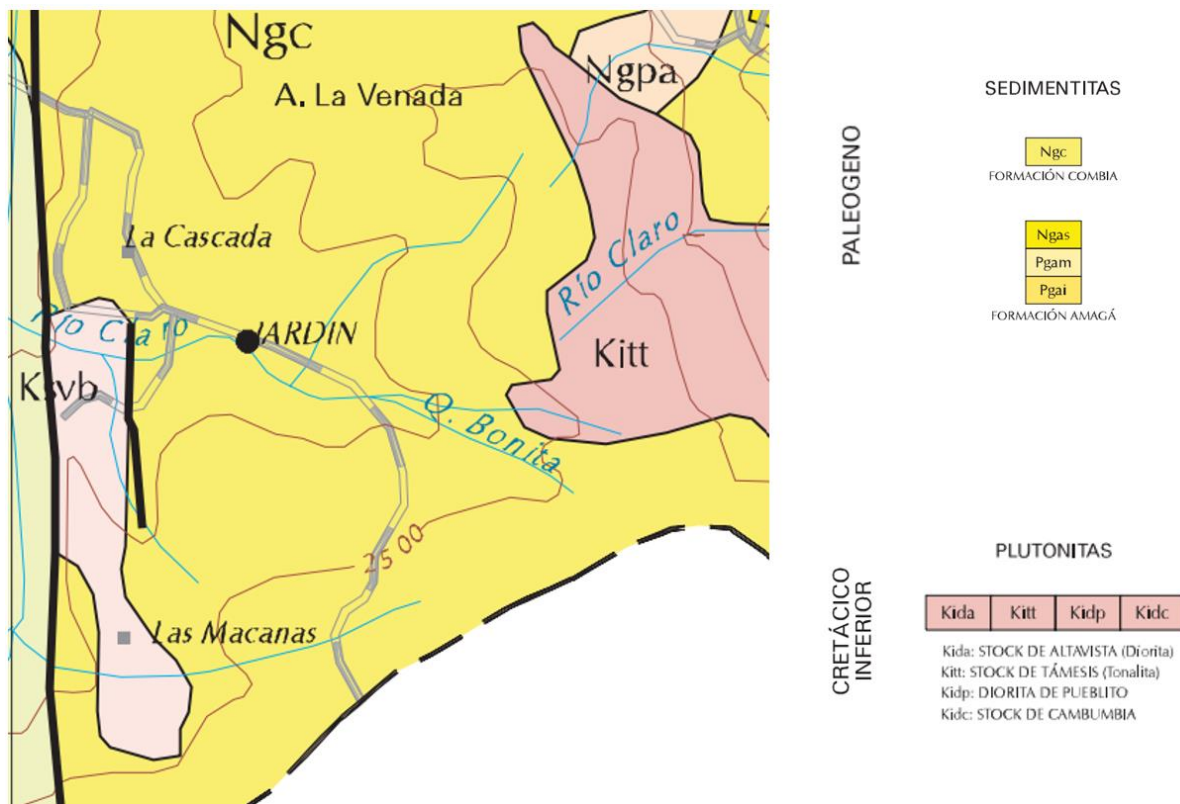


Ilustración 1; Base cartográfica de la Geología de Antioquia - INGEOMINAS

La Estimación de la precipitación media sobre la cuenca quebrada Volcanes se determina mediante el método Thiessen que ArcGIS tiene dentro de sus módulos. Este permite realizar el cálculo y

generación de los polígonos de Thiessen: se grafican usando una red irregular de triángulos o TIN por sus siglas en inglés; y se generan mediatrices perpendiculares a cada lado del triángulo, formando los polígonos de Thiessen.

El caudal en un río se calcula utilizando las mediciones de velocidad y profundidad, la línea de marcación se extiende usando intervalos regulares a lo largo de la línea, después se mide la profundidad con una barra calibrada o una cuerda con contrapeso hasta el lecho del río y por último se mide la velocidad utilizando un correntómetro

Según el tipo de corriente existen diferentes tipos de aforos. En lo que a aforos se refiere, el tipo de corriente depende exclusivamente de la altura de la lámina de agua y de las velocidades superficiales. Para garantizar la seguridad del personal técnico, solo se puede ingresar al cauce cuando las profundidades son menores a 60 , y las velocidades superficiales del flujo no superan 1 m/s; como es nuestro caso. Por eso se selección Aforo por vadeo: Este método permite realizar la medición de velocidades y obtener la geometría de la sección. Se emplea para corrientes de profundidad menor a 60 cm, con fondo fijo y resistente. Además, el flujo debe presentar velocidades superficiales menores a 1 m/s, que permita el ingreso de los técnicos y de los equipos sin generar riesgos para los mismos. Para este tipo de aforos, es necesario ingresar al cuerpo de agua teniendo un eje de referencia en la abscisa, y una cuerda que marque las verticales, sobre las cuales se realizarán las mediciones.

6. Metodología

La metodología a desarrollar parte de una revisión bibliográfica de los métodos propuestos en los documentos técnicos, manuales, decretos y resoluciones legales nacionales; a continuación, se presenta el procedimiento realizado para el desarrollo del estudio:

- ✓ Previamente al desarrollo del documento, se realiza una visita de campo a la zona en estudio, para verificar e inspeccionar la zona; así como identificar las estructuras hidráulicas con influencia en el lugar.
- ✓ Se realiza una revisión de los estudios anteriormente realizados y se recopila toda la información necesaria para la estimación de los parámetros para calcular el caudal.

- ✓ Con la estimación de los parámetros, caracterización del área de drenaje y con la información topográfica, se determinan los criterios necesarios, tales como, pendiente, coeficiente de escorrentía, etc.; que permitan obtener los caudales para diferentes periodos de retorno.

Siguiendo el marco de ejecución, en el análisis hidrológico se evalúa y analiza la información meteorológica recopilada, identificando las estaciones que tienen incidencia en el área de estudio; los datos de precipitación anual, recopilados y tomados del IDEAM, estos son procesados en una hoja de cálculo diseñada en EXCEL. El producto resultante son los valores anuales, promedios mensuales de precipitación para cada estación identificada; seguido se realiza una validación estadística para seleccionar la estación representativa, a la cual se le efectúa el análisis estadístico de los valores de precipitación promedio anual, aplicando distribuciones de probabilidad de valores extremos, seleccionando la distribución que mejor se ajuste a los datos.

La información básica necesaria para la elaboración de la caracterización hidrológica se clasifica en: primaria y secundaria; la primera corresponde a la información recolectada en campo. La segunda corresponde a la información existente, ya sea suministrada por una entidad o investigada por los estudiantes. A continuación, se describe cada tipo de información disponible para el trabajo: información primaria: datos de calidad y cantidad tomados en campo por los estudiantes, información secundaria: IDEAM, IGAC, CENICAFE, CORANTIOQUIA

Cabe resaltar que estratégicamente para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de grado, sobre oferta y demanda del recurso hídrico disponible para el municipio de Jardín desde la quebrada Volcanes se obtuvieron los parámetros morfométricos generales, pero a su vez se hizo un separación de la cuenca, entre lo que puede considerarse la cuenca aguas arriba del punto de captación (cuenca captación) y aguas arribas del punto de salida de cuenca (cuenca descarga).

6.1. Parámetros morfométricos de una cuenca:

Los modelos hidrológicos utilizan algunos parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje, tales como el área de drenaje, la cota superior de la cuenca, la cota superior del cauce principal, cota inferior de la cuenca, longitud del cauce principal hasta la divisoria, longitud del cauce principal, longitud axial de la cuenca, perímetro de la cuenca, ancho de la cuenca, altura

media, pendiente promedio del cauce, pendiente promedio del cauce hasta la divisoria, pendiente promedio de la cuenca, índice de compacidad, factor de forma, sinuosidad, orden de la cuenca y el número de Horton, los cuales se determinan con base en la delimitación de la curva divisoria de la cuenca hasta el punto de interés.

Se hizo uso de ArcMap - ArcGIS como herramienta de mapeo y razonamiento espacial, la cual es el completo sistema para recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica e hidrológica.

Se hizo uso de Excel como herramienta eficaz para obtener información con significado a partir de grandes cantidades de datos y cualquier tipo de dato.

A continuación, se describen cada uno de estos parámetros y el procedimiento que fue utilizado para su determinación.

- Área de la cuenca (A): Superficie total de drenaje definida por la divisoria de aguas. De gran importancia porque existe una relación directamente proporcional entre este parámetro y la magnitud del caudal de respuesta de la cuenca.
- Cota superior de la cuenca (msnm): Es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca
- Cota superior del cauce (msnm): Es la cota más alta a la que se encuentra el cauce principal
- Cota inferior de la cuenca (msnm): Es la elevación en el punto de salida de la cuenca.
- Longitud del cauce principal hasta la divisoria (Lcd): Se toma, entonces desde el punto más distante (no necesariamente desde el más alto) al punto de referencia o control
- Longitud del cauce principal (L): Distancia horizontal entre el nacimiento del cauce principal (el más distante) y el punto de referencia o control.
- Longitud axial (Lax): Longitud de una línea recta que va desde el punto más distante hasta el punto de control o referencia.
- Perímetro de la cuenca (P): Longitud total de la línea de divisoria de aguas que define la cuenca.

- Ancho de la cuenca (W): Definida como la relación entre el área de la cuenca y su longitud axial.

$$W = \frac{A}{Lax}$$

Donde:

W: Ancho de la cuenca

A: Área de la cuenca (km²)

Lax: Longitud axial de la cuenca (km)

- Altura media de la cuenca (m.s.n.m): Se calcula midiendo el área entre los contornos de las diferentes altitudes características consecutivas de la cuenca.
- Coeficiente o índice de compacidad o de Gravelius (K): Definido como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área a la de la cuenca.

$$K = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K: Coeficiente o índice de compacidad o de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

- Densidad de drenaje. (DΩ) Definida como la relación entre la longitud total de los cauces de la cuenca y la superficie total de drenaje. Se puede expresar como:

$$D\Omega = \frac{\sum Li}{A}$$

Donde:

DΩ: Densidad de drenaje (km/km²)

Li: Longitud de los cauces de cada orden (km)

A: Área de la cuenca (km²)

- Pendiente promedio de la cuenca. (Sc) Para el cálculo de la pendiente promedio de la cuenca se obtiene a partir de la elaboración de un mapa de pendientes de la cuenca, utilizando un sistema geográfico de información (SIG).

- Pendiente promedio de la corriente principal (S_{cp}): Para el cálculo de la pendiente promedio del cauce principal se relaciona el desnivel de la cuenca con la longitud del cauce principal, mediante la siguiente relación.

$$S_{cp} = \frac{(Cota\ máxima - Cota\ mínima)}{Longitud\ del\ cauce\ principal}$$

- Pendiente promedio de la corriente principal hasta la divisoria (S_{cd}): Es la relación entre la diferencia de cotas del punto más lejano y del punto de referencia o control, y la longitud del cauce principal desde la divisoria hasta el punto de referencia o control.

$$S_{cd} = \frac{(Cota\ máxima - Cota\ mínima)}{Longitud\ del\ cauce\ principal\ hasta\ la\ divisoria}$$

- Factor de forma (K_f). Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

L: Longitud de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

- Sinuosidad topográfica: Representa cuanto el trazado del río se aparta de una línea recta, de la longitud axial. Se mide la sinuosidad topográfica por la relación entre la longitud del cauce principal desde la divisoria y la longitud axial.

$$Sin = \frac{L_{cp}}{L_{ax}}$$

Donde:

L_{cp}: longitud del cauce principal

L_{ax}: longitud axial.

- Orden de la cuenca: Para la determinación de este parámetro se siguió la definición de Horton de orden de cauce, que dice que los canales de primer orden son aquellos que no poseen

tributarios. Cuando se unen canales de igual orden, forman un canal de orden inmediatamente superior.

- Tiempo de Concentración [TC]:Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración empleamos 6 ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica

Tabla 1; Tiempo de Concentración

<i>Autor/entidad/ecuación</i>	<i>Descripción</i>	<i>Autor/entidad/ecuación</i>	<i>Descripción</i>
$T_c = 0.273 * \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64}$ Ven Te Chow	Donde: Tc: Tiempo de concentración (h). L: Longitud del cauce principal (km). S: Pendiente del cauce principal (m/m)	$T_c = 0.28 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$ U.S Corps of Engineers	Donde: Tc: Tiempo de concentración (h) L: Longitud del cauce principal (km) S: Pendiente promedio del canal (m/m)
$T_c = 0.06628 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$ Kirpich	Donde: Tc: Tiempo de concentración (h). L: Longitud del cauce principal (km). S: Pendiente del cauce principal (m/m).	$T_c = 0.683 * \left(\frac{LA^{0.40}}{DS^{0.25}}\right)$ Williams	Donde: Tc: Tiempo de concentración (h) A: Área de drenaje (km ²) L: Longitud del cauce principal hasta la divisoria (km) D: Diámetro de una cuenca circular con área “A” en kilómetros (km) S: Pendiente total del cauce principal (%)
$T_c = 0.30 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$ Témez	Donde: Tc: Tiempo de concentración (h). L: Longitud del cauce principal (km). S: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente dividido L (%).	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.50L}{25.3\sqrt{LS}}$ Giandiotti (1990)	Donde: Tc: Tiempo de concentración (h) A: Área de drenaje (km ²) L: Longitud del cauce principal (km). S: Pendiente promedio del canal (m/m).

6.2.Generalidades del monitoreo y toma de muestras de agua en Fuentes de agua superficial

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilita la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general. Las metodologías para monitoreo y toma de muestras establecidas por esta entidad, fueron nuestro punto de partida para el desarrollo de las actividades a realizar en campo y demás necesarias para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo.

Para el monitoreo de la fuente superficial, se tomó como referencia lo establecido en el instructivo de toma y preservación de muestras en agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM. Las etapas a seguidas durante el monitoreo se muestran en la tabla 2 Programación monitoreo agua superficial, y fueron: planeación, alistamiento, reconocimiento del punto y actividades relacionadas, muestreo de agua superficial (el cual puede ser puntual o integrado) dependiendo las condiciones de campo, embalaje, transporte y entrega al laboratorio

Tabla 2; Programación monitoreo agua superficial

	<i>Actividades pre-campo</i>	<i>Responsable</i>	<i>Registro</i>
<i>Planeación</i>	Verificar que el laboratorio contratado y los equipos alquilados cumplan con las debidas certificaciones establecidas para el muestro	Estefanía López	Certificación IDEAM del Laboratorio
	Establecer fecha y verificar posibles condiciones climáticas con las predicciones del IDEAM.	Estefanía López	N.A
	Informar al asesor y a las personas pertinentes del lugar donde se realizar las actividades como prevención ante cualquier eventualidad	Estefanía López	N.A
<i>Alistamiento</i>	Diligenciar la lista de chequeo y la información de la cadena de custodia; esto permite: Verificar la disponibilidad, estado actual y limpieza de los materiales, constatar el tipo y la cantidad necesaria de envases, el debido rotulado de los recipientes (análisis a realizar y preservación). Luego de lo anterior realizar embalaje, sellado hermético y preparación para el transporte junto con los controles de calidad (blancos, testigos, adicionados, etc.). Resolver cualquier novedad e incluso si los recipientes se encuentran incompletos	Daniel E Estefanía L	Formato_ Lista de Chequeo
	Con ayuda de los instructivos de los equipos de medición, realizar verificación de los que van a ser utilizados durante el muestreo (Usar los elementos necesarios; las soluciones patrón y buffer que se indique, las cuales deben sacarse de la nevera y estabilizarse con la temperatura ambiente	Daniel E Estefanía L	Formato_ Calibración

	antes de su uso). Revisar que los equipos se encuentren en óptimas condiciones para ser operados		
	Al llegar al punto de monitoreo, constatar que se tienen los materiales y equipos de monitoreo, también la cantidad y tipo de envases necesarios para el muestreo utilizando la cadena de custodia y la lista de chequeo, distribuir las actividades acordes a las capacidades y funciones de los integrantes de la comisión	Daniel E Estefanía L	Formato_ Lista de Chequeo
	Actividades en el punto de monitoreo	Responsable	Registro
Reconocimiento Del Punto	Durante el reconocimiento, identificar potenciales peligros; de ser necesario realizar limpieza y demarcar el sitio que se va a intervenir o a tomar la muestra	Daniel E Estefanía L	Formato_ Aforo Fuente
	Teniendo en cuenta lo anterior, Identifique el tipo de muestra que se requiere colectar; si la corriente tiene una longitud transversal menor a tres (3) metros, optar por un muestreo puntual y medición de variables in situ directamente en la fuente hídrica.	Daniel E Estefanía L	Formato_ Aforo Fuente
	Si, por el contrario, la longitud transversal de la fuente hídrica es mayor a 3 metros, realizar la recolección de mínimo 3 muestras puntuales en la sección transversal ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$) para su posterior integración. Éstas deben ser tomadas con un margen de segundos o minutos entre cada una.		
	Muestreo integrado de la matriz agua: Para fuentes de agua lólicas (ríos, quebradas, arroyos). Manipular todos los recipientes con guantes de látex y evitar tocar con los dedos u otro objeto los bordes y la superficie interna de los mismos.	Daniel E Estefanía L	Formato_ Aforo Fuente
Muestreo de Agua Superficiales	Llenado especial: Identificar los recipientes que requieren de llenado especial, llenarlos directamente en la fuente hídrica.		
	<ul style="list-style-type: none"> - Recipiente Microbiológico: Utilizar únicamente recipientes estériles. De preferencia tomar la muestra directamente a $\frac{1}{2}$ de la sección transversal de la corriente. Sostener la botella desde la base, sumergiendo completamente la botella tapada en el cuerpo de agua; destapar sólo una vez y mientras aún está sumergida, girar un poco a contracorriente para dejar ingresar la muestra en su interior. Llenar hasta aproximadamente un 90% de su volumen total, dejando un espacio de aire de aproximadamente el 10%. Tapar herméticamente y refrigerar inmediatamente. - Botella Grasas y Aceites: Colocar la botella abierta a contracorriente, dejar ingresar muestra al recipiente solamente de la superficie de la lámina de agua (o sobrenadante). Dejar un espacio de aire, de aproximadamente el 10% del volumen total, preservar a pH 		
	Llenado general: Abrir la llave del recipiente integrador y purgar su interior dejando pasar la matriz recolectada por mínimo 5 segundos. Proceder a servir los envases utilizando agitación constante, en el siguiente orden: a. Llenar los recipientes de las variables sin preservante (en orden muestra, réplica, adicionado).		

Medición de caudales con micromolinete: El micromolinete se utiliza para medir caudales en corrientes medio grandes de quebradas y ríos, se miden los caudales con el micromolinete en diferentes momentos de tal forma que se tomen valores a varios niveles de la corriente, este equipo cuenta con una hélice que se mueve registrando un número determinado de revoluciones, las que se convierten posteriormente en velocidad de flujo.

Formato_
Aforo fuente

El proveedor [alquilado] del equipo suministra el certificado de calibración y la ecuación que se debe usar, basado en las unidades de revoluciones dadas por este: La fórmula entregada por el proveedor en nuestro caso es la siguiente:

$$n \leq 0.66 \rightarrow v = 0.252 * n + 0.013$$

$$0.66 \leq n \leq 9.81 \rightarrow v = 0.2543 * n + 0.007$$

Fuente con base: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales <http://www.ideam.gov.co/web/agua/protocolos-procedimientos-y-metodologias> _Elaboración Propia

6.3. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables.

Para el caso específico del presente indicador, el índice de calidad del agua en corrientes superficiales corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas y que evalúan la calidad del agua en las corrientes superficiales.

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de interpretación permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala ó muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente). La comparación temporal de la calidad del agua calificada mediante las cinco categorías y colores simplifica la interpretación, la identificación de tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades los valores del indicador pueden ser especializados en mapas, asociándolos al punto que identifica la ubicación de las estaciones de monitoreo.

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco o seis variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales; la fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{NJT} = \sum_{i=1}^N W_i I_{IKJT}$$

Donde:

ICA - Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

W - Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I - I Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n - Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Para el cálculo del valor del índice de calidad del agua de la quebrada Volcanes usaremos

Oxígeno disuelto (OD): Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

Sólidos suspendidos totales (SST): La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST)$$

Si SST ≤ 4.5, Entonces I_{SST} = 1

Si SST ≥ 320, Entonces I_{SST} = 0

Demanda química de oxígeno (DQO): Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

Si DQO ≤ 20, entonces I_{DQO} = 0.91

Si 20 < DQO ≤ 25, entonces I_{DQO} = 0.71

Si 25 < DQO ≤ 40, entonces I_{DQO} = 0.51

Si 40 < DQO ≤ 80, entonces I_{DQO} = 0.26

Si DQO > 80, entonces I_{DQO} = 0.125

Conductividad eléctrica (C.E.): Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:

$$I_{C.E} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \text{LOG}_{10} C.E)}$$

pH: Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Si pH < 4, entonces I_{pH} = 0.1

*Si 4 ≤ pH < 7, entonces I_{pH} = 0.02628419e^(pH*0.520025)*

Si 7 < pH ≤ 8, entonces I_{pH} = 1

*Si 8 < pH < 11, entonces I_{pH} = 1 * e^[(pH-8)-0.5187742]*

Si pH > 11, entonces I_{pH} = 0,1

Además de los parámetros insitu y llevados al laboratorio ya mencionados, también se midieron otros parámetros de gran relevancia como:

- **Coliformes totales:** El Porcentaje de Saturación es la cantidad de Oxígeno Disuelto en la muestra de agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura
- **E-Coli:** El análisis bacteriológico es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación de agua, el ensayo se basa en que todas las aguas contaminadas por aguas residuales son potencialmente peligrosas, por tanto, en control sanitario se realiza para determinar la presencia de contaminación fecal. La determinación de la presencia del grupo coliforme se constituye en un indicio de polución, así como la eficiencia y la purificación y potabilidad del agua (Roldán, 2003).
- **Grasas y Aceites:** Las grasas y aceites son compuestos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo.
- **DBO:** La demanda biológica de oxígeno, también denominada demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Se expresa en mg O₂/litro. El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos y es aplicable en aguas superficiales continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica (Wikipedia, 2007).
- **Temperatura:** la temperatura está determinada por la cantidad de energía calórica ondas del infrarrojo que es absorbida por un cuerpo de agua, es el promedio de la velocidad media del movimiento de átomos, iones o moléculas en una sustancia o combinación de sustancias en un momento determinado. La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además afecta la temperatura del agua

7. Resultados

7.1.Resultados de Parámetros Morfométricos cuenca principal quebrada Volcanes

Siguiendo la definición de Parámetros Morfométricos, se obtienen los siguientes resultados de la Cuenca Quebrada Volcanes, como se observa en la ilustración 2

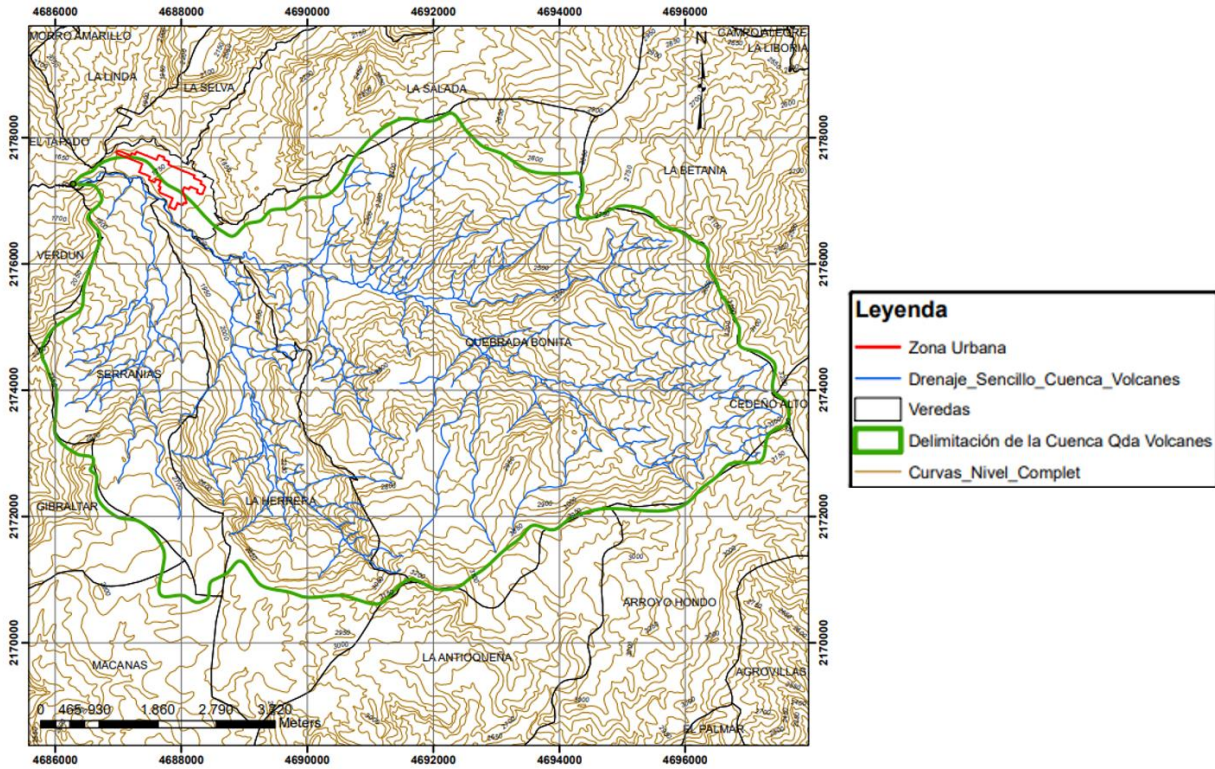


Ilustración 2; Delimitación de Cuenca ArcMap- Fuente Propia Mapa Anexo

En la tabla 3 se presentan los parámetros morfométricos de la cuenca en estudio Quebrada Volcanes:

Tabla 3; Parámetros Morfométricos de la Quebrada Volcanes

Parámetro	ID	UND Medida	Valor
Área de la cuenca	A	km ²	61.65
Cota superior cuenca	-	m.s.n.m	3300
Cota superior del cauce	-	m.s.n.m	3260
Cota inferior cuenca/cauce	-	m.s.n.m	1600
Longitud cauce principal hasta la divisoria	Lcd	m	75.17
Longitud cauce principal	Lcp	m	15080
Longitud Axial	Lax	m	7098.32
Perímetro de la cuenca	P	km	34.08
Longitud de la cuenca	L	km	11.96
Ancho de la cuenca	W	km	8.69
Altura media de la cuenca	-	m.s.n.m	2459
Coefficiente de Gravelius	K	-	1.22
∑Longitud de los cauces de cada orden	Li	km	84.44
Densidad del Drenaje	DΩ	km/km ²	1.37

Pendiente Promedio de la cuenca	Sc	%	34.96
Pendiente promedio de la corriente principal	Scp	%	0.110
Pend. Prom. de la corriente hasta la divisoria	Scd	%	22.083
Factor Forma	Kf	-	0.194
Sinuosidad topográfica	Sin	Índice de Sinuosidad	2.124
Orden de la Cuenca	-	-	Superior
Tiempo de Concentración	Tc	horas	3.36

Fuente: Elaboración Propia

7.1.1. Análisis de los Parámetros Morfométricos

- Área de la cuenca: [61.65 km²]: De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015. y según lo determinado por el Ministerio de Ambiente en Colombia y considerando el tamaño se puede decir que una microcuenca es aquella cuenca cuya área de drenaje es menor a 500 km²”, definición que se deduce de la definición de Nivel subsiguiente presente en la norma nacional sobre ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.





- Cota Superior: [3300 m.s.n.m]: En la delimitación de las áreas de paramos en la jurisdicción de Corantioquia DMI Cuchilla Jardín-Támesis, se encuentra especificado que en la Subcuenca Rio Claro, que corresponde al nivel superior de la cuenca en estudio Quebrada Volcanes, se hallan alturas que conformada básicamente bosques densos o denominados altoandinos y vegetación heliófila de tipo arbustiva caracterizada por presentar poca altura ocupando la parte más alta de este ecosistema, también señala sistemas de bosques primarios y secundarios y algunas áreas reforestadas, las especies más comunes son siete cueros, nigüito, ciprés, pomos, pinos, helechos y pastos.

- Cota superior del cauce: [3260 m.s.n.m]: Es donde inicia el cauce principal según lo calculado mediante el SIG utilizado ArcGIS ArcMap

- Longitud del cauce principal hasta la divisoria (Lcd) [75.17m]: Esta longitud interesa para la estimación del tiempo de concentración. Es el recorrido horizontal máximo de una gota de agua dentro de la cuenca

- Coefficiente o índice de compacidad o de Gravelius (K): [1.22]: El coeficiente de Gravelius define la forma de la cuenca. Estas formas están estandarizadas como se relacionan en la siguiente tabla 4, coeficiente de Gravelius

Tabla 4; Coeficiente de Gravelius

Clase de Forma	Índice de Compacidad	Forma de Cuenca	Ilustración
Clase I	1.0 A 1.25	Redonda- Ovalo Redonda	
Clase II	1.26 A 1.50	Ovalo redonda – Ovalo oblonga	
Clase III	1.51-1.75	Ovalo oblonga – rectangular oblonga	
Clase IV	>1.76	Alargada- lobulada	

Fuente: Elaboración Propia

Como se evidencia en la anterior tabla se encuentra que la Cuenca Quebrada Volcanes es de Clase III Ovalo oblonga – rectangular oblonga

- Densidad de Drenaje $D\Omega$: [1,37 km/km²]: Valores bajos de $D\Omega$ generalmente están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables con poca vegetación y de relieve montañoso. Sin tener en cuenta otros factores del medio físico, cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando

el agua en menos tiempo. En general, una mayor densidad de escorrentía indica mayor estructuración de la red o bien mayor potencial erosivo

Tabla 5; Densidad de Drenaje

Densidad de Drenaje (km/km ²)	Categoría
<1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
>3	Muy Alta

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos evidenciar según el cálculo realizado en la Cuenca Qda. Volcanes, su densidad, es moderada y corresponde a la estructura de una red hídrica con pendientes moderadas con presencia de vegetación premontana.

- Pendiente media de cuenca (PM) [34.96%]. La pendiente es la inclinación de la superficie del suelo con respecto a la horizontal. La diferencia de elevación entre dos puntos se expresa como porcentaje; según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, se determinan la siguiente clasificación

Tabla 6; Clasificación de las Pendientes

	Clase	Rango en %
-	<i>A nivel</i>	0-1
I	<i>Plana</i>	0-3
II	<i>Ligeramente Plana</i>	1-3
III	<i>Ligeramente inclinada</i> <i>Moderadamente inclinada</i>	3-7
IV	<i>Fuertemente inclinada</i>	12-25
V	<i>Ligeramente escarpada o ligeramente empinada</i>	25-50
VI	<i>Moderadamente escarpada o fuertemente empinada</i>	50-75
VII	<i>Fuertemente escarpada o fuertemente empinada</i>	>75

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la anterior tabla, la clasificación de las pendientes en la Cuenca Qda. Volcanes, predominan las ligeramente escarpadas o ligeramente empinada; pero se puede apreciar en el mapa anexo de pendientes que se presentan todas las clasificaciones dentro de la cuenca.

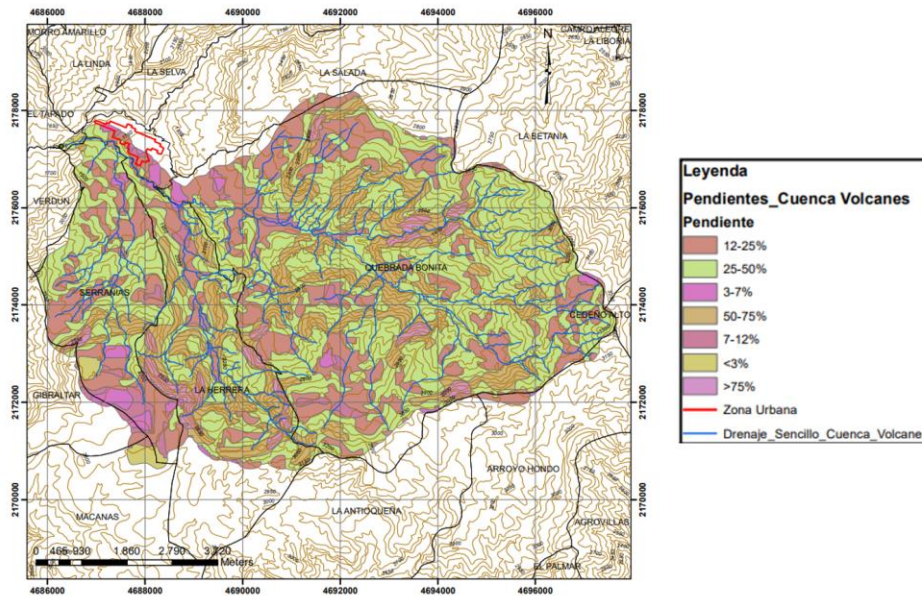


Ilustración 3; Pendientes Cuenca Volcanes; Fuente Propia Mapa Anexo

Además de los datos mencionados, en ArcGIS se puede obtener las áreas totales correspondientes a la clase de pendiente respecto al rango, en la cuenca quebrada Volcanes se obtienen las siguientes coberturas del área de la cuenca por pendiente:

Tabla 7; Relación Área Cuenca por Pendiente

	Clase	Pendiente %	Área - Pendiente km ²
I	A nivel	<3%	51
II	Plana	3-7%	128
III	Ligeramente Plana	7-12%	126
IV	Ligeramente inclinada	12-25%	1471
V	Moderadamente inclinada	25-50%	3147
VI	Fuertemente inclinada	50-75%	1032
VII	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	>75%	188

Fuente: Elaboración Propia

- Pendiente promedio de la corriente principal [22.083,24%]: Con relación a la clasificación dada por el IGAC se usa la misma clasificación para las pendientes de la corriente de la tabla 5, como se evidencia en la siguiente grafica calculada con ArcGIS.

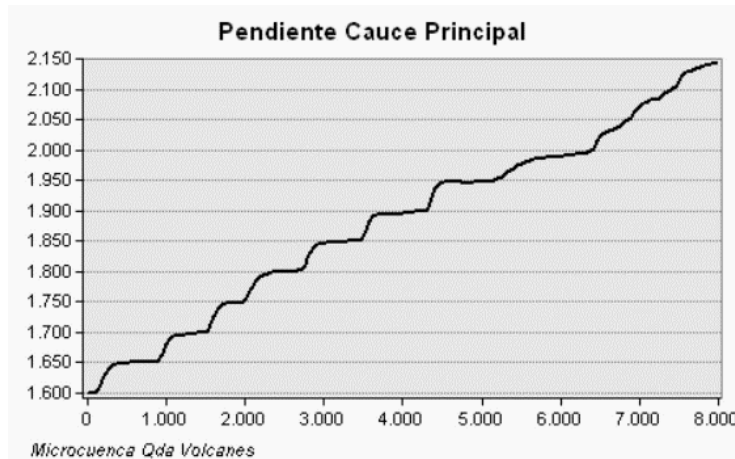


Gráfico 1; Perfil Pendiente de Cauce Principal _ Fuente ArcGIS

- Factor Forma (Kf): [0.194]: Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o las lentas y sostenidas, según que si factor de forma tienda hacia valores extremos o pequeños, tiende a ser achatada, con probabilidades a ocurrencia de avenidas. Como se observa en la tabla 8 la forma de la cuenca tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas por tener un valor menor a 1.

Tabla 8; Factor Forma (Kf)

K_f	Características
<1	Tendiente a ser alargada, baja susceptibilidades a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

Fuente: Elaboración Propia

- Sinuosidad: (2.124): Se tiene la clasificación planteada por Schumm, mediante la cual es clasificado el alineamiento de acuerdo con la relación entre longitud del cauce principal y la longitud de la cuenca que da cuenta del trazado y el patrón de alineamiento del cauce. Como se muestra en la siguiente tabla: sinuosidad, se determina que tiende a trenzamientos de canal.

Tabla 9; Sinuosidad

Tipo de Canal	Sinuosidad	Caracterización
Canal rectilíneo	1-1.2	Se caracteriza por desarrollarse en áreas de fuertes pendientes, muy baja sinuosidad
Canal transicional	1.2-1.5	Baja Sinuosidad

<i>Canal regular</i>	1.5-1.7	Cambios direccionales importantes Sinuosidad media
<i>Canal irregular</i>	1.7-2.1	Cambios direccionales importantes con bahías
<i>Canal tortuoso</i>	>2.1	Tendiente a trenzamiento de canal

Fuente: Elaboración Propia

-El orden cuenca [Superior]: 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 unen resulta una corriente de orden dos y 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.

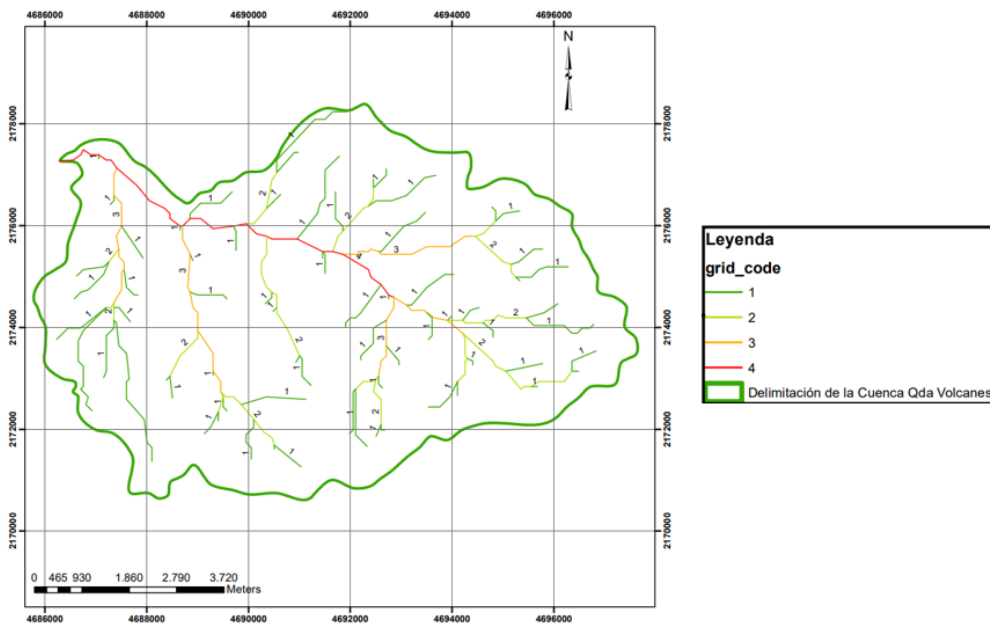


Ilustración 4; Orden de la Cuenca Metodología Horton

-Tiempo de concentración [Tc 2.15h]: Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración empleamos 6 ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica

Tabla 10;Tiempo de concentración

<i>Autor/entidad/ecuación</i>		<i>Valor en Horas</i>	<i>Valor en Minutos</i>
$T_c = 0.273 * \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64}$	Tc Ven Te Chow	3.14	188.43
$T_c = 0.006628 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$	Tc Kirpich	1.25	75.14
$T_c = 0.30 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	Tc Temez	3.59	215.25
$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.50L}{25.3\sqrt{LS}}$	Tc Giandiotti	1.66	99.45
$T_c = 0.28 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	US Corps of Engineers	3.35	200.90
$T_c = 0.683 * \left(\frac{LA^{0.40}}{DS^{0.25}}\right)$		2.39	143.3

Fuente: Elaboración Propia

Una vez aplicadas las ecuaciones descritas en la metodología para el cálculo del tiempo de concentración, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla: tiempo de concentración, así mismo en esta tabla se muestra el valor definitivo con el cual se efectuaron los cálculos.

Del análisis de resultados se tiene que los tiempos de concentración presentan en su mayoría un orden de magnitud muy similar. Se descarta el valor arrojado por el método de Kirpich puesto que se encuentra por fuera del orden de magnitud de los valores, adicionalmente, los métodos Giandiotti (1990) y Williams muestra un orden de magnitud que se acerca a los otros métodos, sin embargo, se decidió descartarlos, dado que los métodos de Chow, Temez, y U.S Corps of Engineers tienen un valor de tiempo de concentración en un rango muy similar. Adicionalmente, dado que es una zona de alta montaña, la escorrentía en la cuenca es de alta velocidad, por tal motivo los tiempos de concentración serán cortos, lo que indica que los valores escogidos son acordes a las condiciones orográficas de la zona de análisis. Se considera como tiempo de concentración definitivo el promedio de los valores que presenten el mismo orden de magnitud: 2.15 horas 129.26 min.

7.2.Resultados Información Hidrometeorológica Disponible

La precipitación corresponde a la cantidad de agua que cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre y es medida en milímetros de agua o litros caídos por unidad de superficie (m²); con ayuda

del catálogo de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM Departamento de Antioquia, se detectaron seis estaciones en el área de estudio (Campamento [26190120] Santa Barbara [26190100] Miguel Valencia [26195010] Jardín El [26195030] Palestina [26140160] Caramanta [26170180]), dos de ellas pluviométricas correspondientes a las estaciones Jardín El [26195030] Y Santa Barbara [26195010], una vez trazados los polígonos de Thiessen y las isoyetas, se detectó que la estación pluviométrica Jardín y Santa Barbara tienen 100% de incidencia en la cuenca en estudio y por tanto estas estaciones servirá para la caracterización de la lluvia. En los anexos se puede observar la ubicación de las estaciones utilizadas para el presente análisis; y en la siguiente figura se puede corroborar como la estación calculada, es la que contiene la información más precisa para nuestro análisis.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

Σ=área total de la cuenca,

Ai: área de cada polígono

Pi: Precipitación

Tabla 11; Información General de la Estación de Incidencia en la cuenca de Estudio.

Código: 26190100				
Tipo: Pluviométrica				
Nombre Estación: Santa Barbara [26190100]				
Coordenadas: Latitud: 5,563972 Longitud: -75,900083 - Elevación 1594				
Longitud de Registro	Información que Posee	Precipitación Máxima 24 Horas (M)	# de días con Lluvia (N)	Precipitación Media Multianual (PT)
Años		mm	Días	mm
29	M, N, PT	87.64	143	2434.48
Código: 26195030				
Tipo: Pluviométrica				
Nombre Estación: JARDIN EL [26195030]				
Coordenadas: Latitud_5,5877222220 - Longitud_-75,8005555560 – Elevación: 2161 msnm				
Longitud de Registro	Información que Posee	Precipitación Máxima 24 Horas (M)	# de días con Lluvia (N)	Precipitación Media Multianual (PT)
Años		mm	Días	mm
20	M, N, PT	83.23	177	2627.43

Fuente: Elaboración Propia

En la región Andina, Los núcleos de mayor cantidad de días con lluvia se ubican en Antioquia, los departamentos del Eje Cafetero y hacia el sur de Santander. En estos núcleos pueden registrarse, en promedio, hasta 250 días con lluvia por año. En las estribaciones de las cordilleras, el número de días lluviosos oscila entre 150 y 200, en promedio al año.

Tabla 12; Precipitación Promedio Thiessen

Id	Estación	PP_Anual	Área Polígono	área*PP
26195030	El Jardín	2627.43	58.38	153389.55
26190100	Santa Barbara	2434.48	3.36	8179.86
			PP-Promedio	2620.75

Fuente: Elaboración Propia

7.2.1. Análisis de información Hidrometeorológica

El método de Thiessen establece que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano. Por medio de este procedimiento el área de estudio es subdividida en subáreas (polígonos) utilizando los pluviómetros como centro de dichos polígonos. Los pesos relativos de cada pluviómetro se determinan de las correspondientes áreas de aplicación en una red de polígonos de Thiessen, cuyas fronteras están formadas por polígonos adyacentes.

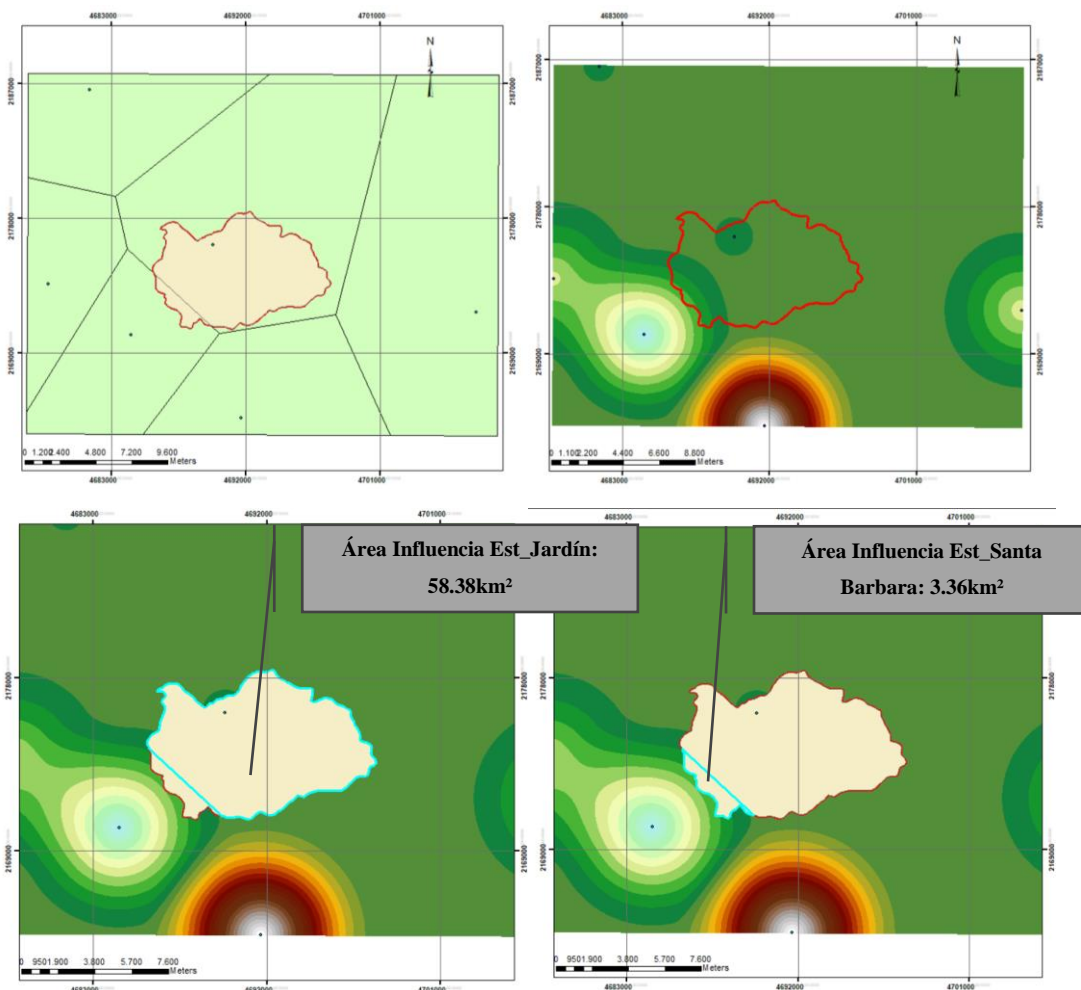


Ilustración 5; Thiessen e Isoyetas; Fuente Propia

Como se evidencia en las ilustraciones anteriores en los métodos utilizados para seleccionar la estación que mejor represente con sus datos las precipitaciones sobre la cuenca se determina que las estaciones Jardín El [26195030] Y Santa Barbara [26195010]] son las que mejor representa y entrega los datos fehacientes para dar continuidad a nuestro análisis hidrológico; es necesario aclarar que no se realiza el cálculo por medio de la metodología isoyetas debido a la escasa información meteorológica disponible para la estación que representa más del 90% de la cuenca.

Ante la falta de información sobre la verdadera distribución de probabilidad de la precipitación promedio sobre un área, usualmente se extienden estimativos de precipitación puntual para desarrollar unas profundidades promedio de precipitación sobre un área. Un proceso de promediar produce curvas de profundidad-área que relacionan la precipitación promedio sobre el área con medidas puntuales.

7.3. Estimación de caudales medios y mínimos

Si se asume que, en cada cuenca, la vida animal y vegetal tiene que estar adaptada a las condiciones naturales del sitio. El caudal mínimo medio propuesto corresponde aproximadamente al 97% de probabilidad de ocurrencia de los caudales en la cuenca. El caudal mínimo medio de una cuenca se utiliza generalmente como referencia para determinar el caudal ecológico o la oferta disponible, del recurso

Como antes se había mencionado; para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de grado sobre oferta y demanda del recurso hídrico disponible para el abastecimiento de un sistema de acueducto para el municipio de Jardín en la quebrada Volcanes, estratégicamente se obtuvieron los parámetros morfométricos de la cuenca completa, pero a su vez se hizo un balance hídrico entre lo que puede considerarse la cuenca aguas arriba del punto de captación (cuenca captación) y aguas arribas del punto de salida de la cuenca (cuenca descarga) para determinar la oferta y demanda en estos dos puntos estratégicos para abastecimiento de agua para consumo humano y vertimientos de aguas residuales, también usados como puntos de referencia para los trabajos de campo en calidad y cantidad (apartado 7.4)

7.3.1. Cálculo del Factor de Escorrentía

La evapotranspiración es uno de los componentes más importantes del balance hídrico, se define como la suma de la evaporación desde la tierra (superficies de agua, suelo) y la transpiración de las plantas y los seres vivos. En otras palabras, la evapotranspiración representa la cantidad de agua saliente del volumen de control (la cuenca o parcela) hacia la atmósfera en forma de vapor de agua gracias a una combinación de la evaporación física y de la transpiración biológica.

La dinámica de la evapotranspiración está condicionada por tres factores fundamentales: disponibilidad de agua, disponibilidad de energía para el cambio de estado del agua y condiciones aerodinámicas propicias para asimilación y transporte de vapor de agua.

En el largo plazo la disponibilidad de agua en una zona es determinada por la precipitación dicha variable es responsable del suministro de agua a los acuíferos por infiltración manteniendo el flujo base de las corrientes, además el suministro de agua en la zona vadosa va directamente a las plantas, y junto con el agua interceptada por las mismas conforma el volumen disponible para la evapotranspiración.

La radiación neta estimada a partir del balance energético global se ve afectada por factores astronómicos y por condiciones físicas y climáticas. Factores como la nubosidad, la posición geográfica y el albedo de las superficies (asociadas a los usos del suelo) determinan la cantidad de radiación incidente sobre la superficie.

Las condiciones aerodinámicas propicias para la evaporación son influenciadas por la velocidad del viento, la cantidad de vapor de agua en el aire, la resistencia aerodinámica de la superficie y por el tipo y cantidad de vegetación presentes.

Para el cálculo de la Evapotranspiración media multianual existen varios métodos empíricos, la mayoría de ellos basados en fórmulas que han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. A partir del estudio realizado por Barco y Cuartas (1998) se demostró que los métodos más confiables para estimar la evapotranspiración en Colombia se basan en las ecuaciones

propuestas por Cenicafé y Turc. El presente documento tiene por objeto presentar de manera resumida las principales ecuaciones utilizadas para estimar la evapotranspiración de largo plazo en Colombia. Dichas metodologías representan un insumo de gran importancia para el cálculo de la oferta hídrica (caudales medios) en cuencas poco instrumentadas.

Temperatura media Multianual en Colombia la temperatura superficial del aire está fuertemente condicionada por la altura sobre el nivel del mar. El método de regionalización propuesto por Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1998) es una buena manera de estimar la temperatura media multianual en cualquier lugar del país. Dicha regionalización fue elaborada para las diferentes regiones del país tomando como información básica los registros de temperatura media mensual del aire en superficie de 1002 estaciones. Los resultados obtenidos permitieron obtener la relación para la región andina:

El método de Turc nos calcula la ETR (Evapotranspiración real) su formulación está basada en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples como la temperatura y la precipitación de la cuenca, en la siguiente tabla se evidencia el calculo de la ETR en mm/año, P es la precipitación media en la cuenca (mm/año) y T la temperatura promedio anual en °C. Para $P/L > 0,316$, donde L (L es una función que depende de la temperatura) se expresa como: [Julián David Rojo Hernández. I.C. MSc. Recursos Hidráulicos.]

Tabla 13; Cálculo Factor de Escorrentía

Precipitación media	mm/año	2620.75
H/Altura Media	msnm	2459.00
Temperatura Media Multianual	°C	14.42
Región Andina:		
$T_{MEDIA} = 29.42 - 0.0061H$		
L	-	810.43
$L = 300 + 25T + 0,05T^3$		
ETR [TURC]	mm/año	777.65
$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$		
Coefficiente de Escorrentía - Ce -	mm/año	1843.10
Factor de Escorrentía	-	0.7

7.3.2. Cuenca captación

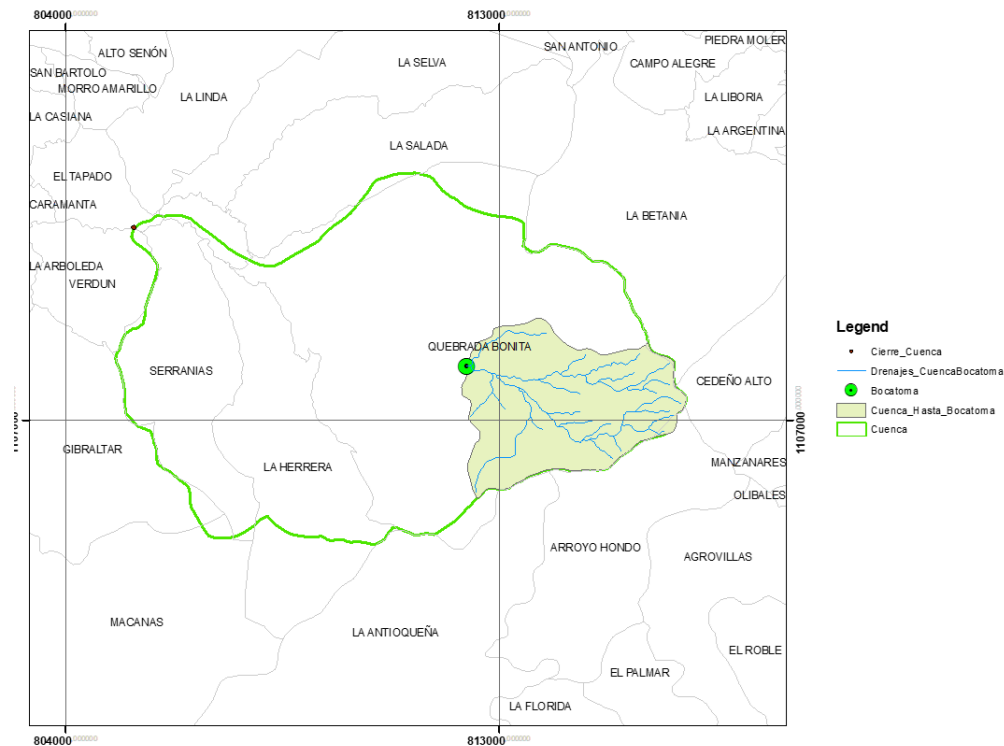


Ilustración 6; Cuenca captación

Se calcula la oferta hídrica tomando la información de la Estación meteorológica El Jardín dado que es la que representa el 100% del área de la “subcuenca” delimitada para efectos de practicidad en la finalidad y cálculo de oferta mediante la determinación de los caudales: medio, mínimo, y en sus periodos de retornos.

- Cálculo de oferta: Parámetros morfométricos relevantes y requeridos en los cálculos para la “cuenca de captación”

- Área (km²) = 11.25
- Longitud (m) = 14.59
- Pendiente % = 18.27
- Altura (m) = 1100 (Punto más alto – punto más bajo)
- Precipitación(mm/año) = 2627.43

$$Q_{med} = ppm * 0.7 * \text{área}$$

La determinación de los caudales medios para esta quebrada se realizó estimando el porcentaje de pérdidas. Con base en éste se definió el factor de escorrentía que al multiplicarse por la precipitación media multianual permite evaluar la escorrentía promedia. La escorrentía promedia multiplicada por el área de drenaje de la cuenca determina el caudal medio multianual en el sitio de interés.

El porcentaje de pérdidas se tomó de 50% (0.5) teniendo en cuenta que éste fue el valor estimado por Integral en el Proyecto del Acueducto de Concordia en 1985, y el mismo valor se obtuvo para la cuenca del río Medellín en el Estudio de Zonas de Recarga y Acuíferos en el Valle de Aburrá, realizado por la Universidad de Antioquia en el año 2002.

Tabla 14; Caudal medio, mínimo cuenca captación

Factor de escorrentía	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal medio (L/s)
0.7	0.656	656
Desv. Estandar	Q min medio	
70.84 **	262.382	

Fuente: Elaboración Propia

** Según estudios de Integral S.A. (ref1) para cuencas similares y con las mismas características morfométricas y de precipitación, la relación entre el caudal medio mínimo y el medio multianual fue de aproximadamente 0.4 y el coeficiente de evaluación de los caudales mínimos (relación entre la desviación típica y la media de la serie de eventos analizados) de la serie de caudales mínimos, fue de 0,27.

En la siguiente tabla: caudales mínimos en diferentes periodos de retorno, se calculan para la delimitación de la cuenca captación

Tabla 15; Caudales mínimos medios en diferente periodo de retorno cuenca captación

Quebrada Volcanes _ cuenca captación
 $y = -68.17\ln(x) + 271.59$
 $R^2 = 0.999$

T. de retorno	NORMAL	GUMBEL
años	Q mín. (L/s)	Q mín. (L/s)
2.33	204.0	218.7
5	149.6	159.5
10	113.3	111.3
20	83.3	65.1

25	74.6	50.4
50	49.5	5.2
100	26.8	0

Fuente: Elaboración Propia

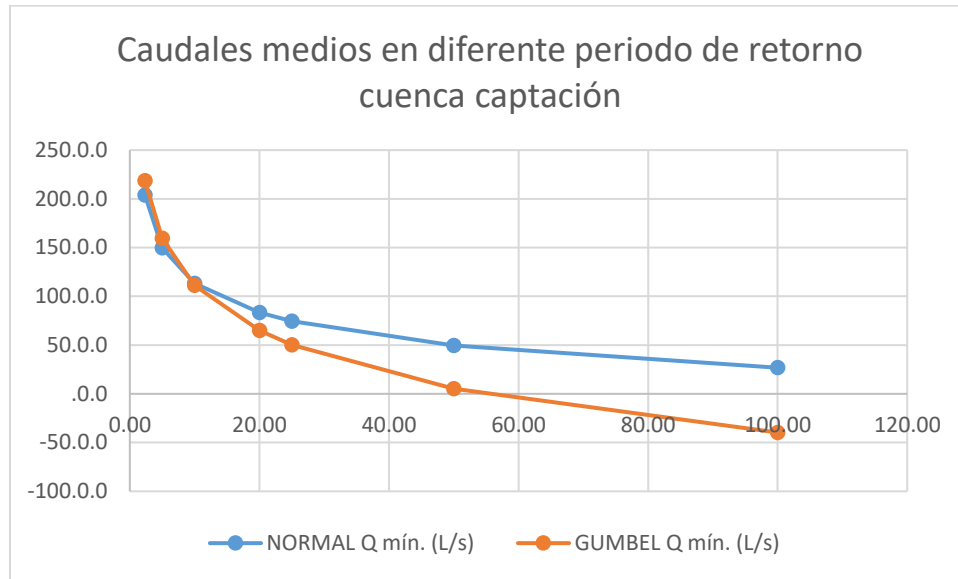


Gráfico 2; Caudales medio en diferentes periodos de retorno cuenca captación

7.3.2.1. Estimación de demanda

Se determinó la demanda de usos doméstico tomando información de población del DANE. Es importante mencionar que en la cuenca existen otros usos que demanda agua como son en su mayoría piscícola, agrícola, pecuario entre otros. Además, se da claridad que la población que se proyecta es la urbana y flotante que abastece el acueducto operado por Ingeniería Total

Cálculo de dotación RAS 2017

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%p}$$

$$Q_{md} = \frac{Población * D_{bruta}}{86400}$$

%perdida	Población	Dotación Neta	>12500 Habitantes
25% (RAS 2017)	15531 Hab	1000-2000 msnm 130	K1 = 1.2 - K2 =1.5

Tabla 16; Proyección dotación 25 años cuenca captación

Año	Población	Población	Población flotante	Población total (pt)	Dotación Bruta	Qmd L//Hab*día
2023	2023	15531	2000	17531	173.30	42.20
2024	2024	15717	2040	17757	173.30	42.74
2025	2025	15906	2081	17987	173.30	43.29
2026	2026	16097	2122	18219	173.30	43.85
2027	2027	16290	2165	18455	173.30	44.42
2028	2028	16485	2208	18694	173.30	44.99
2029	2029	16683	2252	18936	173.30	45.58
2030	2030	16884	2297	19181	173.30	46.17
2031	2031	17086	2343	19429	173.30	46.77
2032	2032	17291	2390	19681	173.30	47.37
2033	2033	17499	2438	19937	173.30	47.99
2034	2034	17709	2487	20195	173.30	48.61
2035	2035	17921	2536	20458	173.30	49.24
2036	2036	18136	2587	20723	173.30	49.88
2037	2037	18354	2639	20993	173.30	50.53
2038	2038	18574	2692	21266	173.30	51.19
2039	2039	18797	2746	21543	173.30	51.85
2040	2040	19023	2800	21823	173.30	52.53
2041	2041	19251	2856	22107	173.30	53.21
2042	2042	19482	2914	22395	173.30	53.90
2043	2043	19716	2972	22687	173.30	54.61
2044	2044	19952	3031	22984	173.30	55.32
2045	2045	20192	3092	23284	173.30	56.04
2046	2046	20434	3154	23588	173.30	56.77
2047	2047	20679	3217	23896	173.30	57.52

**Población: Hab / QMDpt: L/hab*día Fuente: Elaboración Propia, Fuente Información: DANE

7.3.3. Cuenca descarga

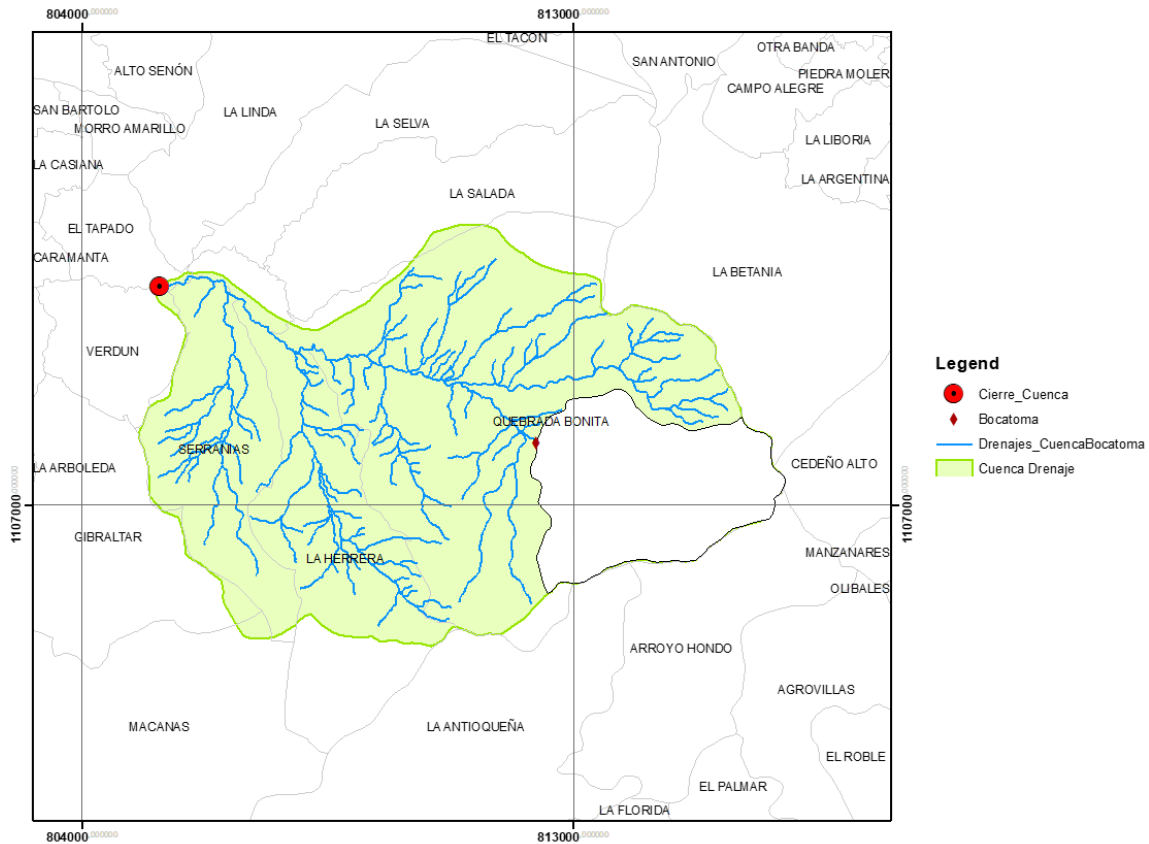


Ilustración 7; Cuenca descarga

Se calcula la oferta hídrica tomando la información el promedio de las Estaciones meteorológica El Jardín y Santa Barbara dado que son las que representan el 100% del área de la “subcuenca” delimitada para efectos de practicidad en la finalidad y cálculo determinación de caudales: medio, mínimo, y en sus periodos de retornos.

- Área (km²) = 61.51
- Longitud (m)= 15.08
- Pendiente % = 12
- Altura (m) = 1100 (Punto más alto – punto más bajo)
- Precipitación (mm/año) = 2620.75

$$Q_{med} = ppm * 0.7 * \text{área}$$

Tabla 17; Caudal medio, mínimo cuenca descarga

Factor de escorrentía	Caudal medio (m³/s)	Caudal medio (L/s)
0.7	3.324	3323.9
Desv. Estandar	Q min medio	
358.98 **	1329.548 **	

** Según estudios de Integral S.A. (ref1) para cuencas similares y con las mismas características morfológicas y de precipitación, la relación entre el caudal medio mínimo y el medio multianual fue de aproximadamente 0.4 y el coeficiente de evaluación de los caudales mínimos (relación entre la desviación típica y la media de la serie de eventos analizados) de la serie de caudales mínimos, fue de 0,27.

Tabla 18; Caudales medios en diferente periodo de retorno cuenca descarga

Quebrada Volcanes _ cuenca captación
 $y = -227.8\ln(x) + 1196.1$
 $R^2 = 0.9989$

T. de retorno	NORMAL	GUMBEL
años	Q mín. (L/s)	Q mín. (L/s)
2.33	934.1	1.002.5
5	681.8	727.9
10	513.7	504.3
20	374.2	289.8
25	334.0	221.7
50	217.5	12.1
100	112.4	0.0

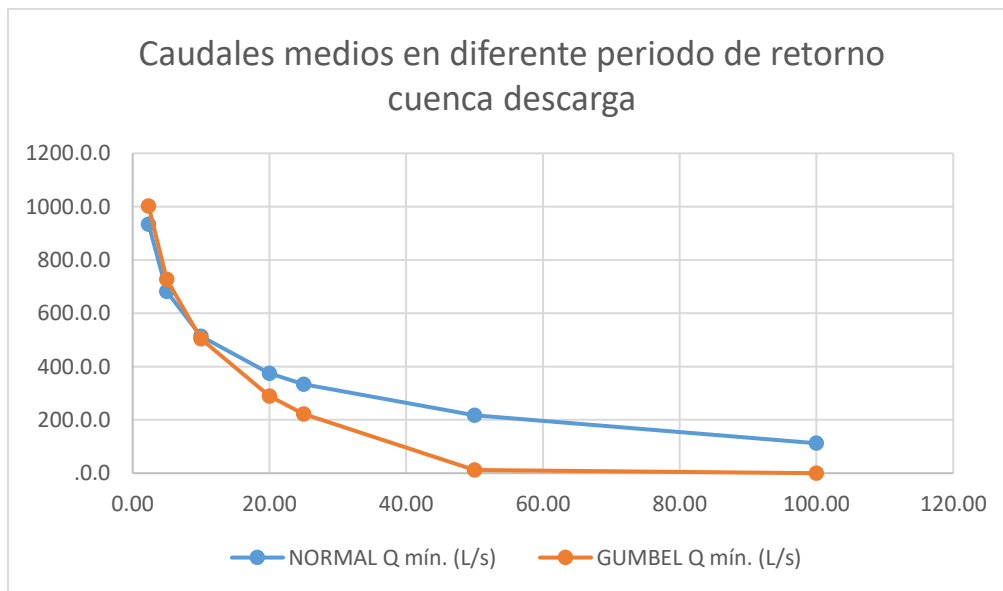


Gráfico 3; Caudales medio en diferentes periodos de retorno cuenca descarga

7.4. Cantidad y calidad de agua en la fuente hídrica Quebrada Volcanes tomados en campo:

7.4.1. Aforo de la Fuente Quebrada Volcanes:

La definición simplificada de aforar se puede precisar como la cuantificación del escurrimiento de un cauce, ya sea en canales abiertos o cerrados, con información tomada en campo mediante la implementación de los conocimientos adquiridos en el transcurso del desarrollo de las actividades académicas.

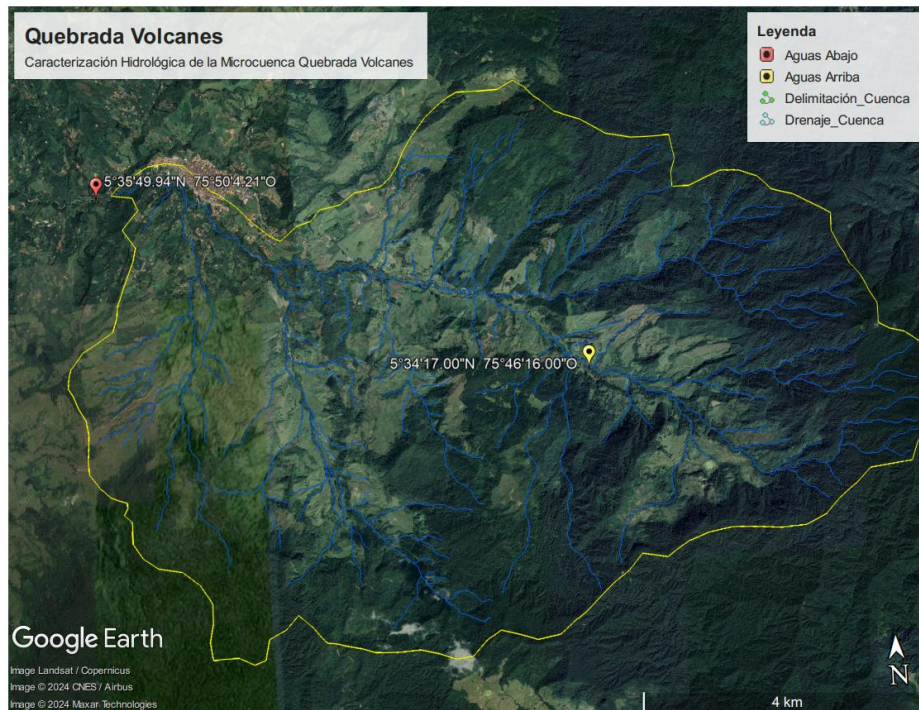
La siguiente información es una compilación de las herramientas para la medición, monitoreo y muestreo sobre cuerpos de agua superficial, aplicados aguas arriba y aguas abajo del cauce natural de la Quebrada Volcanes. En la siguiente imagen se presentan los puntos de trabajo identificados como los indicados para determinar las características de calidad y cantidad de agua en la cuenca

La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA, que es la que tiene incidencia sobre los aspectos ambientales del Suroeste Antioqueño, realizó en 1997 un diagnóstico ambiental de la región, en donde presentan la problemática ambiental del recurso agua concentrada en los siguientes aspectos: Contaminación por agroquímicos y desechos producidos por el beneficio del café, contaminación por aguas residuales domésticas y desechos de mataderos, alteración del régimen hídrico por desaparición de coberturas vegetales.

En general puede decirse que la región no tiene limitaciones de oferta de agua para consumo humano, pero en términos de calidad y regularidad del recurso, debe tener especial cuidado, porque las actividades económicas de la región dependen en gran medida del recurso agua.

El caudal medido en el punto descrito y georreferenciado (aguas abajo) se describe en las siguientes tablas, además se presenta el perfil de la sección transversal tomado en campo. Para determinar el área de la sección transversal se toma la distancia horizontal extendiendo una cinta métrica común de margen a margen, de tal manera que el aforador, donde considere necesario (en este caso cada 20cm), ubique la vertical directamente leyendo de la cinta (es la progresiva de esa vertical): Por

convención, y para uniformizar criterios, se afora desde la margen izquierda hacia la margen derecha. Se las identifica en terreno mirando hacia aguas abajo.



Google Earth. [Mapa de Google Earth Pro]. Recuperado el 10 de noviembre, 2023, de https://earth.google.com/web/@4.00000000,-72.00000000,11001220.87856475a,0d,35y,-0.0000h,0.0000r,0.0000r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419

Imagen 1; Identificación de los puntos de trabajo

7.4.1.1. Aguas Arriba

El termino caudal se puede definir como la cantidad de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado, el caudal medido en el punto descrito y georreferenciado (aguas arriba) se describe en las siguientes tablas; quebrada volcanes parte alta_aguas arriba y parte baja_aguas abajo, además se presenta el perfil de la sección transversal tomado en campo.

Para determinar el área de la sección transversal se determinan la distancia horizontal extendiendo una cinta métrica común de margen a margen, de tal manera que el aforador, donde considere necesario (en este caso cada 20cm), ubique la vertical directamente leyendo de la cinta (es la progresiva de esa vertical): Por convención, y para uniformizar criterios, se afora desde la margen izquierda hacia la margen derecha. Se las identifica en terreno mirando hacia aguas abajo.

Tabla 19; Información parte alta_aguas arriba

Quebrada Volcanes Parte Alta _ Aguas Arriba

Descripción del punto: Sistema lótico, con cobertura vegetal en ambos márgenes, se identifica la cobertura de vegetación secundaria, la cual también cumple importantes funciones ecosistémicas para la conservación del recurso hídrico y para la biodiversidad; dentro sus patrones de drenaje se diferencian un contorneado, principalmente por la presencia de rocas metamórficas plegadas, algunas de las desviaciones de las corrientes se deben a la presencia de diques y venas de origen magmático (entre las rocas metamórficas) que representan zonas resistentes a la erosión, respecto a cobertura vegetal se evidencia el manejo integrado de arvenses con criterios de sostenibilidad sobre los recursos suelo y agua a partir de una combinación conveniente y oportuna de los diferentes métodos de manejo de las mismas (prácticas de cultivo, manual, mecánico, químico y biológico), para aprovechar las ventajas de cada uno, lo que permite evidenciar "coberturas nobles" que protegen el suelo de la erosión, sin competencia económica significativa para el cultivo.

Sus características organolépticas son: incoloro y sin sabor, la fuente se evidencia sin intervenciones, además de que su conformación geomorfológica compuesta de resaltos oxigena constantemente su cauce, el lecho rocoso no se observa con capas de moho que caracteriza la presencia de materia orgánica, se evidencian macroinvertebrados que caracterizan a una buena calidad de agua

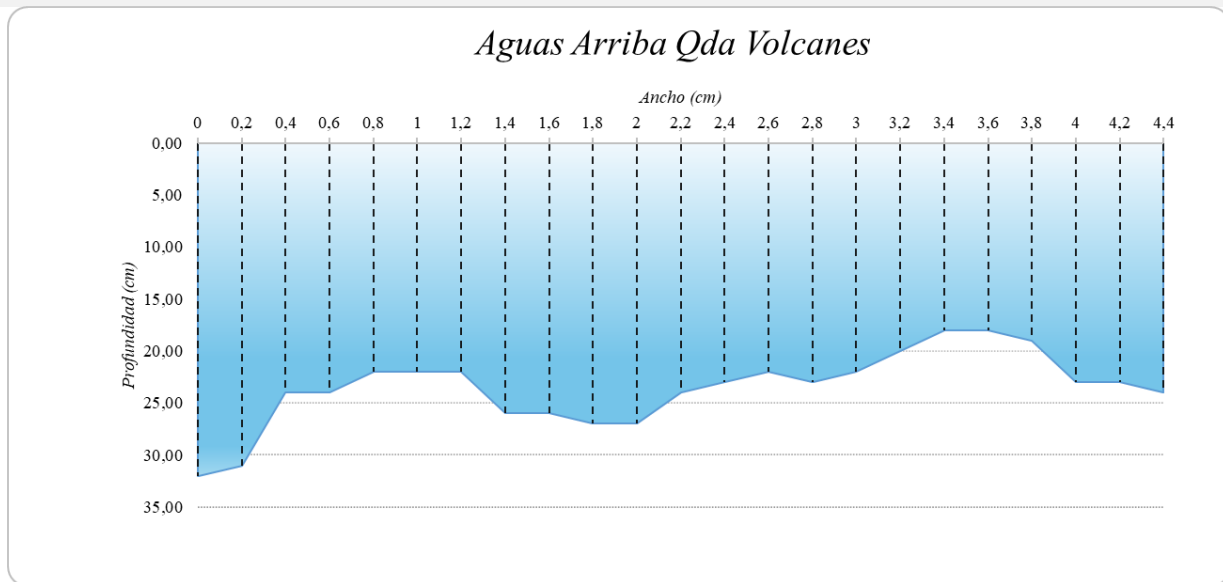


Imagen 2; Quebrada Volcanes Aguas Arriba

Coordenadas		Municipio
5°34'17.00''	75°46'16.00''	Jardín Antioquia

Tabla 20; Sección transversal Aguas Arriba

Aguas Arriba			
ABS	Distancia Desde Cero (cm)	Profundidad (cm)	Sección Trasversal (m)
1	0	32	0,063
2	20	31	0,055
3	40	24	0,048
4	60	24	0,046
5	80	22	0,044
6	100	22	0,044
7	120	22	0,048
8	140	26	0,052
9	160	26	0,053
10	180	27	0,054
11	200	27	0,051
12	220	24	0,047
13	240	23	0,045
14	260	22	0,045
15	280	23	0,045
16	300	22	0,042
17	320	20	0,038
18	340	18	0,036
19	360	18	0,037
20	380	19	0,042
21	400	23	0,046
22	420	23	0,047
23	440	24	-



Gráfica 1; Sección transversal Aguas Arriba



Ilustración 8; Medición sección transversal



Ilustración 9; Medición revoluciones micromolinet

En la siguiente tabla se adjuntan los datos tomados en campo respecto a la medición de revoluciones, velocidades y cálculo de caudales por secciones; para aguas arriba se realizó la medición de las velocidades solo al 60% de la altura total de la profundidad, ya que no superaban en la mayoría de los casos los 30 centímetros.

Tabla 21; Datos de campo aguas arriba

ID	Abs (m)	Profundidad (m)			Tiempo seg	No. Revoluciones		Velocidad (m/s)	Caudal Q m3/seg
		h Total	0.6h	Área Sec		0.6h	n	0.6h	
1	0.9	0.24	0.14	0.24	60	85	1.4	0.11	0.03
2	1.8	0.26	0.16	0.67	60	350	5.8	0.45	0.11
3	2.6	0.23	0.14	0.81	60	370	6.2	0.48	0.12
4	3.5	0.2	0.12	0.82	60	325	5.4	0.42	0.08
5	4.4	0.23	0.14	0.67	60	350	5.8	0.45	0.06
								1.92	0.40

El caudal total aforado aguas arriba es de 0.35 metros cúbicos por segundo, en litros son 399,2 L/s

Tabla 22; Caudal aguas arriba Quebrada Volcanes

	m ³ /s	L/s
Q total	0,40	399,2

Respecto a calidad del agua, se midieron parámetros sugeridos por el IDEAM para cuerpos de agua superficial, estos parámetros permiten dar un diagnóstico de la fuente respecto a su confrontación con los valores obtenidos aguas abajo, análisis que se realiza después de compilar esta información; los resultados obtenidos son los reportados por el laboratorio acreditado por el IDEAM OMNIAMBIENTE y fueron los siguientes:

Tabla 23; Resultados Laboratorio Aguas Arriba

Parámetro	Unidades	Fecha de análisis	Valores Obtenidos
Coliformes totales	UFC /100 ml	17-10-2023	90*10 ³
E-Coli	UFC /100 ml	17-10-2023	36*10 ³
DBO₅	mg/l	19-10-2023	< 5.0 ± ND
DQO	mg O ₂ /l	19-10-2023	52.8 ± ND
Grasas y Aceites	mg/l grasas y aceites	18-10-2023	<10.0 ± ND
Solidos Suspendidos Totales	mg SST/l	25-10-2023	< 10.0 ± ND

Aguas Arriba	OD	%SAT	Cond	Temp.	pH
Margen Izquierda	7.42	97.1	71.5	15.9	6.97
Margen derecha	7.4	97.5	69.6	16.3	6.73
Centro	7.34	96.4	70.9	16.4	6.84
Integrada	7.42	97.4	73.3	16.1	7.13

7.4.1.2. Aguas abajo

Tabla 24; Información de la cuenca parte baja_aguas abajo

Quebrada Volcanes Parte baja Aguas abajo

Descripción del punto: Sistema lótico, con cobertura vegetal monocultivo en ambos márgenes, esta fuente en la parte baja antes de su desembocadura en Quebrada Linda, los retiros respetados no son los requeridos por la legislación, organolépticamente tiene color y olor, sobre las orillas hay presencia de moho y materia orgánica en descomposición, se evidencian vertimientos de viviendas ubicadas sobre el margen derecho aguas debajo de la fuente, tiene un lecho rocoso considerable y una pendiente que favorece la presencia de resaltos sobre el cauce natural, aportando a la oxigenación de la fuente.

El lecho rocoso en su mayoría está compuesto por basalto, que es una roca dura, generalmente de grano fino. Es de color oscuro (verde, gris o negro) con una textura brillante, es más pesado que la mayoría de las rocas, con ausencia de cobertura vegetal sobre el margen derecho aguas abajo, predios usados en la parte más baja cerca a la desembocadura para el pastero y ganadería, sobre el margen izquierdo aguas abajo la cobertura vegetal se limita a arbustos medios-bajos que posteriormente son remplazados por el monocultivo del café. Este factor es un dato importante para las temporadas bajas, donde el proceso de evapotranspiración en la fuente es el regulador de humedad para conservar caudales mínimos y mantener la dinámica hídrica y ecológica de la fuente en las temporadas donde el recurso está por debajo del mínimo y puede verse afectado el caudal ecológico.



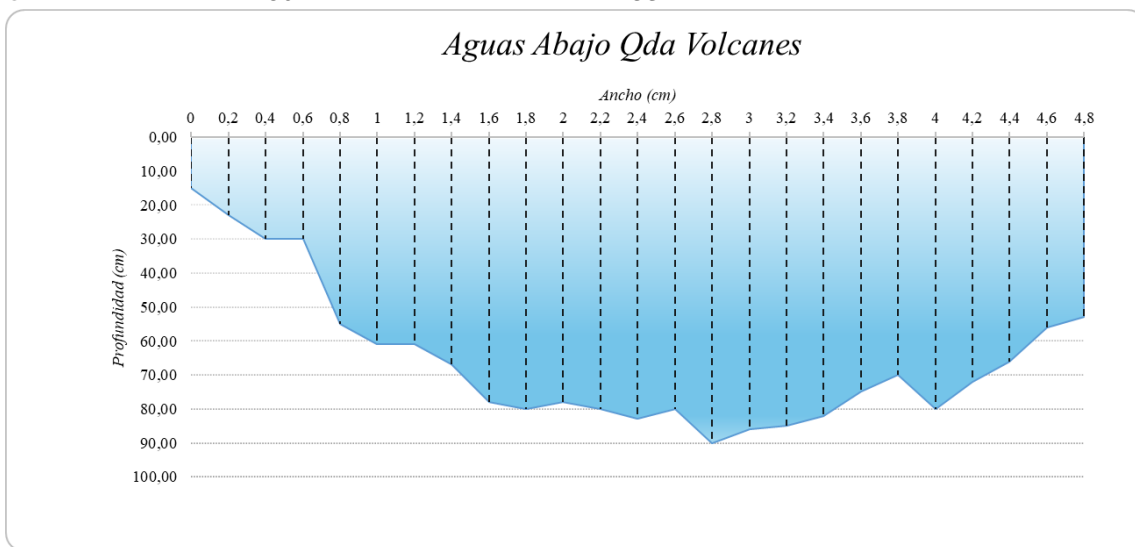
Imagen 3; Quebrada Volcanes Aguas Abajo

Coordenadas		Municipio
5°34'17.00''	75°46'16.00''	Jardín Antioquia

Tabla 25; Sección transversal Aguas Abajo

ABS	Distancia Desde Cero (cm)	Aguas Abajo	
		Profundidad (cm)	Sección Trasversal (m)
1	0	15	0,038
2	20	23	0,053

3	40	30	0,06
4	60	30	0,085
5	80	55	0,116
6	100	61	0,122
7	120	61	0,128
8	140	67	0,145
9	160	78	0,158
10	180	80	0,158
11	200	78	0,158
12	220	80	0,163
13	240	83	0,163
14	260	80	0,17
15	280	90	0,176
16	300	86	0,171
17	320	85	0,167
18	340	82	0,157
19	360	75	0,145
20	380	70	0,15
21	400	80	0,152
22	420	72	0,138
23	440	66	0,122
24	460	56	0,109
25	480	53	-



Gráfica 2; Sección transversal Aguas Abajo



Ilustración 10; Medición sección trasversal



Ilustración 11; Medición revoluciones micromolinet

En la siguiente tabla se adjuntan los datos tomados en campo respecto a la medición de revoluciones, velocidades y cálculo de caudales por secciones; para aguas arriba se realizó la medición de las velocidades solo al 60% de la altura total de la profundidad, ya que no superaban en la mayoría de los casos los 30 centímetros.

Tabla 26; Datos de campo aguas abajo

I D	Abs (m)	Profundidad (m)				Tiem seg	No. Revoluciones				Velocida d (m/s)	Cau dal
		h Total	0.2h	0.8h	Área Sec		0.2h	n	0.8h	n	V_media	m3/s
1	0.40	0.30	0.06	-	0.24	40	33.00	0.83	--	-	0.07	0.02
2	1.40	0.67	0.13	1,12	0.67	40	210.00	5.25	355.00	8.88	0.55	0.37
3	2.40	0.83	0.17	1,92	0.81	40	399.00	9.98	343.00	8.58	0.72	0.59
4	3.40	0.82	0.16	2,72	0.82	40	280.00	7.00	349.00	8.73	0.61	0.50
5	4.40	0.66	0.13	3,52	0.67	40	320.00	8.00	251.00	6.28	0.56	0.37
											0.57	1.84

El caudal total aforado aguas abajo es de 1.84 m³/s

Tabla 27; Caudal aguas abajo Quebrada Volcanes

	m³/s	L/s
Q total	1.84	1840.42

Respecto a calidad del agua los resultados obtenidos son los reportados por el laboratorio acreditado por el IDEAM OMNIAMBIENTE fueron los siguientes:

Tabla 28; Resultados Laboratorio Aguas Abajo

Parámetro	Unidades	Fecha de análisis	Valores Obtenidos
Coliformes totales	UFC /100 ml	17-10-2023	120*10 ³
E-Coli	UFC /100 ml	17-10-2023	20*10 ³
DBO	mg/l	19-10-2023	< 5.0 ± ND
DQO	mg O ₂ /l	19-10-2023	113.7 ± ND
Grasas y Aceites	Mg grasas y aceites	18-10-2023	21.6 ± ND
Solidos Suspendedos Totales	Mg SST/l	25-10-2023	< 10.0 ± ND

Aguas Abajo	OD	%SAT	Cond	Temp.	pH
Margen Izquierda	7.45	97.6	63.2	18.7	6.92
Margen derecha	7.5	97.7	63.3	18.8	6.73
Centro	7.63	97.7	63.3	18.7	6.85
Integrada	7.55	97.8	63.2	18.8	6.67

7.5. Índice de calidad del agua en cuerpos de agua superficial ICA, para la quebrada Volcanes.

Para el cálculo del índice de calidad de agua se usaron las ecuaciones descritas en la metodología para cada uno de los 5 parámetros utilizados.

Para el cálculo del índice de calidad del agua se usó la herramienta Excel y para determinar el valor final que se debía obtener para cotejar con calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA que se presentan en la tabla 22

Tabla 29; Parámetros y ponderado ICA

Aguas Abajo	OD	Cond	pH	SST	DQO Totales
Integrada	7.42	73.3	7.13	<10	113.7
Indicador	0.0742	0.82652403	1.07142613	1.02	0.125
Aguas Arriba	OD	Cond	pH	SST	DQO Totales
Integrada	7.55	63.2	6.67	<10	52.8
Indicador	0.0755	0.85777993	0.84347846	1.02	0.26

Al aplicar la formula se obtiene el siguiente valor

ICA Abajo	0.62343003
ICA Arriba	0.61135168

Tabla 30; Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Categorías de Valores que puede tomar el indicador	Calificación de la Calidad del Agua	Señal de Alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	azul

, Para los monitoreos realizados aguas arriba y aguas abajo la Quebradas Volcanes, el ICA estuvo en la categoría de 0,51 – 0,70. Esto indica una calificación regular para ambos puntos de la fuente.

8. Discusión

Se propone para la discusión las actividades económicas desarrolladas dentro de la cuenca Quebrada Volcanes que generan presión sobre los recursos naturales, pues se realiza aprovechamiento forestal y remoción de coberturas para la implementación de actividades de cultivos de café, gulupa, aguacate, lulo, tomate, entre otros, realizando intervención en las fajas de protección de los cuerpos de agua, cuya vegetación presta servicios ecosistémicos de protección frente a la disminución de la oferta hídrica, estabilización de las orillas, hábitats y alimento para

las especies de fauna y flora, para la calidad del recurso hídrico, pues actúa como filtro frente a la entrada de sedimentos y sustancias químicas en el cauce, donde se realizan prácticas de fertilización y control fitosanitario, con productos que pueden contaminar el nacimiento de agua.

Otro punto importante en discusión es tener en cuenta que el día que se realizaron los trabajos de campo mientras se realizaba el aforo aguas arriba se evidenció que en la parte media de la cuenca se presentaban precipitaciones por lo cual se espera que los resultados reflejen una interferencia puntual en las condiciones normales, por lo tanto el equipo de trabajo realizó la investigación respecto algún registro que se haya realizado ese día de las precipitaciones, y se encontró que el grupo PIRAGUA liderado por la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia, tiene registro de las precipitaciones en aumento que se presentaron incluso 15 días antes de los trabajos en campo; la siguiente gráfica muestra las precipitaciones en aumento en el mes de octubre, es un reporte tomado de <https://piragua.corantioquia.gov.co/geoportal/red-automatica>





9. Conclusiones

- ✓ Según la caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada volcanes del municipio de Jardín, y considerando con los resultados en las submicrocuencas hasta dos puntos de control: cuenca captación y cuenca descarga, el municipio de Jardín presenta buenas proyecciones en disponibilidad del recurso hídrico, tanto como para consumo como para disposición de sus aguas residuales, ya que su caudal mínimo en periodo de retorno de 100 años se estima para la cuenca de captación podría ser de 26,8 L/s y para la cuenca de descarga un caudal mínimo promedio calculado de 994.4 L/s
- ✓ Se pudo determinar que existen dos estaciones de referencia para la cuenca quebrada volcanes las cuales cubren el 100% de la cuenca y denotan una importante información para la caracterización hidrológica de la cuenca, es necesario resaltar que la estación con el nombre de El Jardín representa un poco más del 90% del área de la cuenca total, pero funciona en un ciento por ciento como referente para la subcuenca delimitada como cuenca captación y así determinar un dato importante de disponibilidad el recurso.

-
- ✓ Se realizaron los trabajos en campo para determinar caudales instantáneos en un tiempo real, es necesario mencionar que al momento del aforo se presentaron condiciones atípicas que debieron ser análisis para obtener los datos correctos, como por ejemplo que los caudales medidos tienen semejanza, relación y respaldo con los caudales medios calculados tanto aguas arriba como aguas abajo.
 - ✓ Se logra determinar que la cuenca Quebradas Volcanes tiene un área de 60.43 km^2 , que la cota superior de la cuenca es la 3300 m.s.n.s y una Pendiente Promedio de la cuenca de 34.36%; estos como valores representativos respecto a la conformación de la cuenca.
 - ✓ Se estima que la Cuenca Quebrada Volcanes en su cuenca de captación, en sus momentos de temporada de sequías puede llegar a tener un caudal mínimo de $0.46 \text{ m}^3/\text{s}$, que confrontado con el aforo realizado se encuentra en un rango aproximado con $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - ✓ La cuenca Quebrada Volcanes tiene un caudal de $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ en su parte alta y antes de desembocar cuenta con un caudal de $4.04 \text{ m}^3/\text{s}$ al momento de realizar el monitoreo.
 - ✓ El índice de calidad del agua de la Quebrada Volcanes es regular en los dos puntos monitoreados, aguas arriba y aguas abajo. considerando que aguas arriba la contaminación es atribuible a la contaminación por actividades agropecuarias, viviendas sin pozos sépticos también debido a sus procesos de uso constante y sobreexplotación de los recursos, por sus actividades turísticas, comerciales e industriales, y en la parte de abajo hay influencia directa de las descargas doméstica del alcantarillado urbano
 - ✓ Los análisis básicos según la resolución número 2115 del 2007, comparten características regulares con los resultados de laboratorio obtenidos en el análisis de calidad del agua realizado.
 - ✓ Los análisis arrojados usados para calcular el IRCA, y que arrojaron resultados regulares tanto aguas arriba como aguas abajo pueden haberse visto enmarcados en la lluvias que se presentaron y por eso algunas características no permitieron por disolución evidenciar la influencia del vertimiento y los vertimientos de la zona urbana en la parte bajo de la cuenca antes de su desembocadura
 - ✓ Es importante mencionar que unas de las actividades que más aporta para las altas concentraciones de DBO Y DQO puede corresponder a la actividad principal sobre la cuenca que es la piscicultura y sobreexplotación industrial de esta como auge turístico el Municipio.

10. Recomendaciones

- ✓ Es recomendable que el municipio de Jardín de importancia a una red de monitoreo de caudales, precipitaciones y/o a las condiciones hidrometeorológicas que tenga la cuenca volcanes
- ✓ Realizar acciones que minimicen el consumo de agua, reduzcan el desperdicio y optimicen la cantidad del recurso utilizado para las diferentes actividades
- ✓ Propiciar estrategias de reúso y recirculación del recurso hídrico que permitan optimizarlo, así como la instalación de dispositivos de bajo consumo.
- ✓ Realizar una adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos, evitando quemas y/o disposición en fuentes hídricas y/o suelos.
- ✓ Los propietarios de predios en la cuenca Q. Volcanes, deberán implementar actividades ecológicas en sus predios de manera que se diversifique su unidad productiva, con estrategias como actividades silvoagrícolas, silvopastoriles, asociación de cultivos, entre otros, con lo que estaría orientada a cumplir con el principio de la función ecológica de la propiedad privada, conforme lo establece el artículo 58 de la Constitución Política de Colombia
- ✓ Recomendar al municipio de Jardín para que en todos los procesos de planificación local (licencias de construcción, certificaciones, etc.), se tenga en cuenta lo establecido en la Resolución 9328 de 2007 sobre densidades en el suelo rural, que busca salvaguardarlo para la producción agropecuaria.
- ✓ Enfocar acciones de restauración ecológica hacia las áreas de protección como las fajas de retiro, las áreas priorizadas por biodiversidad y las áreas protegidas.

Referencias

ALCALDIA DE JARDÍN. (2016). Alcaldía de Jardín. Obtenido de Alcaldía de Jardín:
<https://www.eljardin-antioquia.gov.co/normatividad/decreto-n-alc1002801013-del-15-de-enero-de-2024>

CHOW, Ven Te., MAIDMENT, David R. y MAYS, Larry W. (1994). Hidrología Aplicada. Colombia: Mc Graw-Hill S.A.

CHOW, Ven Te. (1994). Hidráulica de canales abiertos. Colombia: Mc Graw Hill.

CORANTIOQUIA. (2015). Mapgis. Obtenido de Mapgis:
http://sirena.corantioquia.gov.co/MAPGISV5_WEB/mapa.jsp?aplicacion=1

I.G.A.C., (2007). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomos I, II y III. Departamento de Antioquia.

SMITH, Ricardo y VÉLEZ, María Victoria. (1997). Hidrología de Antioquia. Medellín: Secretaría de Obras Públicas del departamento de Antioquia.

VARGAS, Rodrigo. (1998). Curvas Sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Magíster en Ingeniería Civil Universidad de los Andes. Santa Fe de Bogotá.

LEGARDA, Lucio y VIVEROS, Miguel (1996) La importancia de la hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. Revista de Ciencias Agrícolas - Primer y segundo semestre.

ADIDISON, H (1969) Tratado de Hidráulica aplicado 3 ed Barcelona 1969

INVÍAS (Instituto Nacional de Vías). Manual de drenaje para carreteras. Bogotá, 2009.

EPM. Revista Hidrometeorológica Vol 1. Departamento de Hidrometría e Instrumentación, Empresas Públicas de Medellín. 2005

Vargas M., Rodrigo, y Díaz-Granados O., Mario (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Universidad de Los Andes. XIII Seminario de Hidráulica e Hidrología. Cali.

Corantioquia; Universidad Pontificia Bolivariana. (s.f.). Capítulo X Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico para el Río San Juan y sus Principales Tributarios. Capítulo X, Corantioquia; Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.

http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR_CV_1506-146_2015_PROSPECTIVA_RSANJUAN.pdf

Jaramillo, A. (2018). El Clima de la Caficultura en Colombia. FNC- Cenicafe. Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe - Sede Planalto, km 4 vía Chinchiná - Manizales (Caldas), Colombia. Teléfono (57) 6 8500707

Análisis de situación de salud-Actualización 2021, secretaria Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia, Subsecretaria Planeación para la Atención en Salud 2022

<https://dssa.gov.co/images/asis/fichas/2022/Jardin.pdf>

RECURSOS HIDRÁULICOS (2024,29,05). Julián David Rojo Hernández,

<http://julianrojo.weebly.com/>

Hidrología Básica ii (Ccali diciembre 1985), Universidad del Valle_Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas.

Anexos

Uno: Memorias de Calculo - Excel

Dos: Mapa delimitación de la cuenca

Tres: Mapa Pendientes de la cuenca

Cuatro: Mapa Elevación de la cuenca

Cinco: Escáner formatos de campo

Seis: Registro fotográfico

Ocho: Acreditación y Resultados de Laboratorio