# CÁLCULO DEL CAUDAL DE CRECIENTE EN LA QUEBRADA CANOAS HASTA SU DESEMBOCADURA EN LA QUEBRADA TAPIAS, MUNICIPIO DE CUITIVA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

**LAURA XIMENA CLAVIJO PIERNAGORDA**
**CRISTIAN CAMILO PÉREZ VARÓN**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
**FACULTAD TECNOLÓGICA**
**TRABAJO DE GRADO**
**BOGOTÁ D.C.**
**2016**

# CÁLCULO DEL CAUDAL DE CRECIENTE EN LA QUEBRADA CANOAS HASTA SU DESEMBOCADURA EN LA QUEBRADA TAPIAS, MUNICIPIO DE CUITIVA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

**LAURA XIMENA CLAVIJO PIERNAGORDA**
**CRISTIAN CAMILO PÉREZ VARÓN**

Tesis Experimental.

Ing. Fernando González.

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
**FACULTAD TECNOLÓGICA**
**TRABAJO DE GRADO**
**BOGOTÁ D.C.**
**2016**

Tesis experimental, Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, para optar por el grado académico de Tecnólogo en Construcciones Civiles.

_____

Firma del presidente del jurado.

_____

Firma del jurado.

_____

Firma del jurado.

Bogotá D.C. Febrero de 2016.

**CONTENIDO**


1 INTRDUCCION ..... 12
2 MARCO DE REFERENCIA ..... 18
2.1 MARCO DE ANTECEDENTES ..... 18
2.2 MARCO CONCEPTUAL ..... 19
2.2.1 Definición ..... 20
2.2.2 Características físicas ..... 20
2.2.3 Partes ..... 21
2.2.4 Elementos ..... 21
2.2.5 Clasificación según su salida ..... 22
2.2.6 Clasificación de los cuerpos de agua ..... 23
2.3 ANALISIS MORFOMÉTRICO ..... 23
2.3.1 Área ..... 24
2.3.2 Perímetro ..... 24
2.3.3 Longitud máxima de la cuenca ..... 24
2.3.4 Factor Forma (kf) ..... 25
2.3.5 Coeficiente de compacidad (Kc) ..... 25
2.3.6 Índice de alargamiento (Ia) ..... 26
2.3.7 Índice de asimetría (Ias) ..... 26
2.3.8 Elevación media de la cuenca (Em) ..... 26
2.3.9 Elevación mediana de la cuenca ..... 27
2.3.10 Curva hipsométrica ..... 27
2.3.11 Coeficiente de masividad ..... 28
2.3.12 Índice de sinuosidad (S) ..... 28
2.3.13 Pendientes ..... 29
2.3.14 Densidad de drenaje (Dd) ..... 29
2.3.15 Orden de la cuenca ..... 30
2.4 CÁLCULO DEL CAUDAL ..... 31
2.4.1 Método Racional ..... 31
2.4.2 Método Racional Modificado ..... 32
2.5 MARCO GEOGRÁFICO ..... 35
2.5.1 Límites del municipio: ..... 35
2.5.2 Extensión ..... 35
2.5.3 Clima ..... 35
2.5.4 Climograma ..... 36
2.5.5 Ubicación ..... 37
3 DISEÑO METODOLóGICO ..... 39
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN ..... 39
3.2 POBLACIÓN ..... 39
3.3 MUESTRA ..... 39
3.4 VARIABLES ..... 39
3.5 PLAN DE ANÁLISIS ..... 40
3.5.1 Análisis morfométrico de la micro-cuenca ..... 40

3.5.2 Morfometría del relieve ..... 44
3.5.3 Pendientes. ..... 48
3.5.4 Morfometría de la red de drenaje ..... 55
3.6 CALCULO DEL CAUDAL QUEBRADA CANOAS ..... 57
3.6.1 Método Racional de cálculo de caudal para Q. Canoas ..... 57
3.6.2 Método Racional Modificado del cálculo de caudal para Q. Canoas ..... 59
3.7 RESUMEN DE RESULTADOS ..... 61
4 ANALISIS DE RESULTADOS ..... 62
5 CONCLUSIONES ..... 64
6 BIBLIOGRAFÍA ..... 66

## LISTADO DE TABLAS


TABLA 1. CLASES DE TAMAÑO DE CUENCAS ..... 24
TABLA 2. CLASES DE VALORES DE LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL ..... 25
TABLA 3. CLASES DE VALORES DE FORMA ..... 25
TABLA 4. CLASES DE VALORES DE COMPACIDAD ..... 25
TABLA 5. CLASES DE VALORES DE ALARGAMIENTO ..... 26
TABLA 6. ÍNDICE DE ASIMETRÍA ..... 26
TABLA 7. CLASES DE VALORES DE ELEVACIÓN MEDIA ..... 27
TABLA 8. CLASES DE VALORES DE MASIVIDAD ..... 28
TABLA 9. CLASES DE DENSIDAD DE DRENAJE ..... 30
TABLA 10. CLASES DE ORDEN DE CORRIENTE ..... 30
TABLA 11. COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA MÉTODO RACIONAL ..... 31
TABLA 12. DATOS GENERALES ..... 40
TABLA 13. PARÁMETROS DE ESTUDIO ..... 41
TABLA 14.INFORMACIÓN CURVA HIPSOMÉTRICA. ..... 45
TABLA 15. UNIDADES DE SUELOS, PENDIENTES SIMPLES Y PENDIENTES COMPLEJAS. ..... 49
TABLA 16. TABLA DE PENDIENTES POR PUNTOS DE INTERSECCIÓN ..... 50
TABLA 17. FRECUENCIAS DE LAS PENDIENTES OBTENIDAS. ..... 51
TABLA 18. PENDIENTE CORRIENTE PRINCIPAL ..... 53
TABLA 19. PENDIENTE MEDIA S1 ..... 53
TABLA 20. PENDIENTE MEDIA PONDERADA S2 ..... 53
TABLA 21. PENDIENTE EQUIVALENTE CONSTANTE ..... 53
TABLA 22. DATOS RECTÁNGULO EQUIVALENTE ..... 54
TABLA 23. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN. ..... 57
TABLA 24. INTENSIDAD RESPECTO AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ..... 58
TABLA 25. RESULTADOS CAUDALES MÉTODO RACIONAL ..... 58
TABLA 26. RESULTADOS CAUDALES MÉTODO RACIONAL MODIFICADO ..... 60
TABLA 27. RESUMEN DE RESULTADOS. ..... 61

## LISTADO DE IMÁGENES

IMAGEN 1. CUENCA HIDROGRÁFICA ..... 20
IMAGEN 2. ORDEN DE UNA CUENCA ..... 30
IMAGEN 3. LOCALIZACIÓN MUNICIPIO DE CUITIVA..... 37
IMAGEN 4. UBICACIÓN MUNICIPIO DE CUITIVA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ..... 37
IMAGEN 5. MAPA USO DE SUELO..... 38
IMAGEN 6. ÁREA MAYOR – ÁREA MENOR ..... 44
IMAGEN 7. CUADRICULA ASOCIADA A UN VECTOR CUENCA DE QUEBRADA CANOAS. ..... 48
IMAGEN 8. DIAGRAMA DE ORDEN DE CORRIENTE ..... 56

## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. MODELO CURVA HIPSOMÉTRICA. ..... 28
FIGURA 2. CURVAS IDF (INTENSIDAD, DURACIÓN, FRECUENCIA) ..... 34
FIGURA 3. CLIMOGRAMA DE PRECIPITACIÓN ..... 36
FIGURA 4. CURVA HIPSOMÉTRICA ..... 46
FIGURA 5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMÉTRICAS ..... 47
FIGURA 6. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES. ..... 52
FIGURA 7. RECTÁNGULO EQUIVALENTE ..... 54

## LISTADO DE ANEXOS

Planos AutoCAD (4)

- Anexo 1: Plano Planta Quebrada Canoas.
- Anexo 2: Plano Perfiles cauce principal y brazos.
- Anexo 3: Plano Áreas Vertientes
- Anexo 4: Plano Orden de la Cuenca.

Tablas y gráficos en Excel:

- Documento en Excel con lo mencionado. (tablas, cálculos y gráficos)

Cartografías

- Imagen formato PDF, Plancha 192-I-A escala 1:25000 (Boyacá)
- Imagen formato PDF, Plancha 192-I-C escala 1:25000 (Boyacá)

## RESUMEN

Gran parte de la ingeniería se centra en el estudio físico de los diferentes materiales que componen la tierra, además, de evaluar cuál es su comportamiento frente a diversas acciones del ser humano que por naturaleza está centrado en la expansión y la evolución. Ahora bien un elemento fundamental en la interacción del hombre y la naturaleza es el agua, recurso hídrico que fluye naturalmente por grandes y diversas zonas del planeta, es por ello que la Hidráulica como parte de la ingeniería, y como rama de la física que estudia del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos, además, de su comportamiento.

En conjunto con esta rama trabaja la hidrología, cuya finalidad es el estudio físico, químico y mecánico de las masas de agua presentes en el planeta. Esta rama de las ciencias de la tierra analiza la distribución y circulación del recurso hídrico a lo largo de la superficie terrestre, lo que lleva a que se genere una evaluación de las precipitaciones, escorrentías y demás factores de estos cuerpos.

Los resultados obtenidos mediante los métodos matemáticos cuantitativos dispuestos en este apartado evidencian a grandes rasgos las características de la quebrada Canoas, inscrita en una cuenca que dada su área está clasificada como un sector, es decir, una sección pequeña de la red y zona a la que pertenece (Chicamocha), aunque sea una zona de influencia pequeña es necesario su estudio y evaluación dada la importancia del recurso, y la situaciones de sequía que sufre el departamento y el país en general. La forma de esta quebrada, tiende a ser ovalada y moderadamente achatada, lo que indica que tiende a concentrar volúmenes significativos de aguas de escurrimiento y es susceptible a presentar crecidas. Su pendiente medianamente pronunciada refleja una alta velocidad de flujo intermedia.

El estudio hidrológico pretende obtener los registros e información relacionada con los diferentes elementos que constituyen la red hidráulica, dados los afectos más representativos que influencian el comportamiento del entorno, dado que todo el elemento está inmerso en un ambiente al que condiciona y afecta directamente, y a su vez también se pueden establecer los rasgos de dichas condiciones, y si estos afectan positiva o negativamente su hábitat, a fin de proveer la información requerida y necesaria para estudios posteriores o posibles intervenciones para la quebrada Canoas, y la red en general.



## ABSTRACT

Much of the engineering focuses on the physical study of the different materials that make up the earth also assess what their behavior in various actions of human nature that is focused on the expansion and evolution. But a key element in the interaction of man and nature is water, water resources flowing naturally by large and diverse areas of the planet, is why the hydraulics as part of engineering, and as a branch of physics that studies the study of mechanical properties of the fluids also their behavior.

In conjunction with this branch works hydrology, aimed at the physical, chemical and mechanical study of water masses present on the planet. This branch of earth science analyzes the distribution and circulation of water resources along the Earth's surface, leading to an assessment of rainfall, runoff and other factors of these bodies is generated.

The results obtained by the quantitative mathematical methods provided in this section show broadly the features of the Canoe broken, registered in a basin that given its area is classified as a sector, ie, a small section of the network and zone to belonging (Chicamocha), even a small area of influence study and evaluation given the importance of the resource, and the situations of drought in the department and the country in general is necessary. The form of this stream tends to be moderately flattened oval, indicating that tends to concentrate significant volumes of water runoff and flooding is likely to present. Its slope is quite steep so has a high flow rate

The hydrological study aims to obtain records and related information with the various components of the hydraulic system, given the most representative feelings that influence the behavior of the environment, since the entire element is immersed in an environment that conditions and directly affect, and in turn they can also be set traits such conditions, and if they positively or negatively affect their habitat, in order to provide the required and necessary information for further study and possible interventions for Canoas broken, and the network in general.

# 1 INTRODUCCIóN

La evaluación de cualquier cuerpo refleja la importancia del mismo, de tal forma que se puedan establecer características de forma y análisis del mismo; los cuerpos hídricos presentan una importancia particular, dado que están sujetos a cambios constantes y son fuente de uno de los recursos más valiosos, para la naturaleza como para el ser humano, es por ello que se hace necesaria una evaluación detallada de este tipo de elementos.

Ahora bien, en el caso particular el estudio de las características físicas y morfométricas de una cuenca son parámetros que representan un alcance significativo en la ampliación de la información hídrica de una región y por ende de un país; el conocimiento del comportamiento hidrológico de una cuenca permite generar una clasificación y estimar el desarrollo de la misma a lo largo del tiempo y sujeta a los cambios del entorno y las posibles alteraciones de la misma.

La Hidráulica por su parte, es una rama perteneciente a la ingeniería encargada de los estudios de las propiedades mecánicas de los diferentes fluidos presentes en la naturaleza, por otra parte y como se mencionaba anteriormente, además, de presentar y evaluar cuantitativamente las características físicas de un cuerpo hídrico, la Hidrología como ciencia aplicada también es la encargada de la distribución y manejo de los recursos hídricos del planeta tierra, tomando en cuenta lo anterior y analizando la importancia individual de cada una de estas ciencias, es importante resaltar que trabajando en conjunto dichas ramas logran proveer una gama amplia de información, además de proporcionar, procedimientos, métodos y parámetros que facilitan la obtención de información, que a su vez evidencian rasgos claros de clasificación de los recursos hídricos.

La ejecución del estudio aplicado toma como bases teóricas componentes varios, de razón cualitativa y cuantitativa presentes en documentos de análisis, ensayos y publicaciones relacionadas entre los cuales se encuentran obras de autores importantes en el campo de la hidrología colombiana como los ingenieros German Monsalve, Gustavo Silva Medina entre otros, cada uno de ellos presentando información notable para la buena ejecución del análisis aplicado.

En relevancia a la información proporcionada y obtenida, es importante resaltar que un estudio morfométrico representa una gran utilidad puesto que no solo nos permite conocer las características físicas de una cuenca, sino que a la vez tomando como base teórica los datos obtenidos, se pueden hacer juicios comparativos con otras zonas de estudio y así, conseguir relaciones y valores hidrológicos para lugares en los cuales se presenten complicaciones o su estudio sea difícil, sujeto a diversas circunstancias, de índole social, ambiental, económico, e incluso de seguridad.

La problemática principal recae en el hecho que el agua como recurso natural indispensable para el desarrollo integral de los seres humanos es un elemento crucial en el avance de nuestra especie. La demanda de este líquido es alta y la oferta que provee en diversas regiones no es la suficiente para cubrirla, sin embargo Colombia cuenta con una oferta hídrica alta; La oferta hídrica del país es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica.[1], ahora bien, al estar dentro de la lista de los países con mayor oferta hídrica del mundo 57000m3/hab/año,[2] dicho crecimiento y Permanencia de este recurso se da gracias a los constantes episodios lluviosos que alimentan ríos, lagos, lagunas, riachuelos entre otros, además, a la existencia de páramos que junto con la diferencia de alturas que genera a su vez una variación grata de pisos térmicos, pero también al recurrente cambio climático que genera precipitaciones varias y que se presenta a lo largo del año en diversas zonas del país.

El constante cambio en los niveles de los cuerpos de agua a razón de las lluvias y episodios invernales que son frecuentes y poco predecibles, generan en algunas zonas del país inconvenientes sujetos a inundaciones y mal manejo de las crecidas, además de inconvenientes por invasión de espacios que por naturaleza pertenecen al cauce del rio o a la cuenca, es por ello que se ve la necesidad de establecer un estudio que permita conocer características para posteriormente y presentar un control sobre este recurso, dado que los inconvenientes por el mal manejo puede ocasiones desastres a nivel ecológico, social y económico que traerían problemáticas mayores al país, dando alcance a lo mencionado se presenta la necesidad de un estudio que permita evaluar los factores de riesgo que puedan existir y las características propias del cuerpo de agua, mediante razonamientos lógicos fundamentados en prácticas matemáticas establecidas.

El estudio morfométrico de la cuenca y sus componentes provee un análisis informativo y cuantitativo de sus características físicas lo que llevara a generar un bosquejo que permitirá hacer una evaluación comparativa de la cuenca en mención vs cuencas aledañas o de características similares que como finalidad permitan generar una interpretación del comportamiento sujeto a los aspectos singulares que le son propias a la región y al entorno, además de variaciones que puedan ser calculadas y proyectadas.

Es necesario traer a colación la importancia que suscita el estudio morfométrico y su utilidad a la hora de establecer parámetros que permitan desarrollar criterios para el reconocimiento físico de los diversos cuerpos de agua, dado que con los datos obtenidos se pueden generar características para cuencas similares facilitando el

[1] IDEAM, Instituto de Meteorologíay estudios ambientales de Colombia – Estudio Nacional del Agua, ENA. Bogotá, Colombia, 2011 – Articulo, “Colombia: uno de los más ricos en recursos hídricos”- Periodico el Universal, Colprensa, 8 de Junio de 2011.

[2] M.Sc MALDONADO M Julio Isaac *, Ing. Profesor Asistente; Ing. Adriana Cristina Martínez G. y Ing. Franky F. Matajira S- Revista ambientalagua, aire y suelo- elaboración curvas idf estaciones: cinera villa olga y santa isabel - municipio de cúcuta –Colombia- issn 1900 - 9178 volumen 2 número 2 – 2007

estudio y análisis de las mismas, además, de la obtención de datos y valores con aspectos hidrológicos en zonas de características similares, pero que de alguna forma el acceso a estas presenta una dificultad media o alta, por otro lado es de vital importancia conocer a cabalidad las propiedades y aspectos de la fuentes hídricas que posee nuestro país.

El conocimiento del lugar de estudio es importante, dado que se tiene una idea amplia y clara de la zona a trabajar, además, de su estado actual, complicaciones y demás aspectos que ayudaran a llevar a cabo un análisis positivo y con resultados satisfactorios, para el caso en particular, el lugar de estudio se encuentra ubicado en el municipio de cuitiva en el departamento de Boyacá.

El departamento de Boyacá ubicado en el altiplano, cuya definición describe la compleja topografía de la cual dispone, estructuras geográficas que van desde las montañas, valles estrechos hasta amplias llanuras es un lugar con un clima variado, una variación tal que ha llegado a ser denominado como un archipiélago climático, según la gobernación de Boyacá, la característica en mención genera que el departamento cuente con diversos fenómenos entre ellos precipitaciones, vientos, sequias, fríos; siendo el departamento una región de microclimas, “es frecuente encontrar dos lugares vecinos, aparentemente de una misma zona geográfica, en donde los factores naturales hacen parte de ellos, dos sitios de diferentes características climáticas”[3], dichas diferencias amplían y particularizan a la vez la estrategia del estudio de las diversas fuentes hídricas del departamento y por ende de sus municipios.

Boyacá es un Departamento rico en agua, sus tierras están surcadas por numerosos ríos que constituyen un gran potencial eléctrico para el Departamento y el país ejemplo de ello es la represa de Chivor ubicada en la provincia de Neira que tiene 22 kilómetros de longitud y cubre 1200 hectáreas, con un volumen de 815 millones de metros cúbicos de agua. Su construcción se inició en el año 1969 y finalizó en 1976 «con una inversión total de diez mil millones de pesos financiados por empresas nacionales, empréstitos concedidos por el Banco Interamericano de Reconstrucción y Fomento, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y algunos créditos de proveedores y bancos comerciales».

Los ríos que corren por el territorio boyacense conforman cinco cuencas hidrográficas que llevan sus aguas a cinco ríos importantes como son: el Magdalena, el Suárez, el Chicamocha, el Arauca, el Meta y además por las sub-cuencas de los ríos Guavio, Cravo Sur, Lengupá, Upía, Cusiana y Pauto.[4]

[3] GOBERNACION DE BOYACA – BOYACA, “Hidrografia Boyacense”, (En línea) (17 de agosto 2015) disponible en: (http://www.boyaca.gov.co/mi-boyac%C3%A1/hidrografia-boyacense, actualizado el Jueves, 21 Junio 2012 15:38)

[4] ACEVEDO, Latorre Eduardo, Panorama Geoeconomico del Departamento de Boyacá, en anales de economía y estadística, tercera época, N°7, Oct-Dic 1952, p.24.

El departamento de Boyacá está bañado por cinco grandes cuencas: Cuenca del rio magdalena, Cuenca del Río Suárez, Cuenca del Río Suárez, Cuenca del Río Arauca, Cuenca del Río Meta.

- Cuenca del rio magdalena: Ubicada al occidente del Departamento. El río Magdalena recorre tierras de Boyacá en una longitud de 72 kilómetros y a él llegan las aguas de los ríos Ermitaño, Minero (que delante de Muzo toma el nombre de Carare), el Negro y otros que antes de desembocar en el río Magdalena rinden sus aguas al río Suárez.

- Cuenca del Río Suárez: El río Suárez fue llamado Saravita en tiempo anterior a la llegada de los españoles a territorio boyacense; nace en la laguna de Fúquene en límites de Boyacá y Cundinamarca; recorre la región occidental, atraviesa el municipio de San Miguel de Sema, el valle de Chiquinquirá en donde recibe el río del mismo nombre, el municipio de Saboyá, una vasta zona de la Provincia de Ricaurte como Moniquirá, San José de Pare, Santa Ana y entra al Departamento de Santander. Entre sus afluentes se pueden nombrar el Chiquinquirá, el Moniquirá, el Pómeca y el Lenguaruco.

- Cuenca del Río Chicamocha: El río Chicamocha nace al sur de Tunja, toma los nombres de Chulo, Jordán, Grande, Sogamoso a medida que avanza en su recorrido; atraviesa el altiplano de Tunja, Tuta, Paipa, Duitama y entra a Sogamoso. Al pasar por Paz de Río, el valle se estrecha e inicia el cañón del Chicamocha. Sirve de límites con Santander. Entre sus afluentes principales figuran el Sotaquirá, el Tuta, el Pesca, el Chiquito, el Buzbanzá y el Monguí, entre otros.

  Durante su recorrido el río Chicamocha recibe las aguas de tipo doméstico (contaminadas) de los municipios de Tunja, Oicatá, Tuta, Paipa, Duitama, Sogamoso, Santa Rosa de Viterbo, Tibasosa, Firavitoba, Iza, Cúitiva, Tota, Pesca, Nobsa, Monguí, Mongua, Gámeza, Floresta, Busbanzá, Corrales, Tasco, Betéitiva, Cerinza, Paz de Río, Socha, Socotá y Boavita.

  El río Chicamocha recorre la zona industrial de Boyacá y recibe la contaminación que producen Acerías Paz del Río, Termo Paipa, sobrantes de las aguas termales de las piscinas de Paipa, del complejo industrial de Maguncia, Metalúrgica Boyacá, Zona industrial de Sogamoso y curtiembres.

- Cuenca del Río Arauca: Recoge las aguas de los ríos que irrigan la zona Nororiental del Departamento como el Orozco, el Cobaría que atraviesa la reserva de los indios Tunebos o U'was, el Cobugón y el Bojabá.

- Cuenca del Río Meta: El río Meta no pasa por Boyacá pero recibe las aguas de las sub- cuencas de los ríos Guavio, Cravo Sur, Lengupá, Upía y el Cusiana con todos sus afluentes. Las cuencas de los ríos Arauca y Meta hacen parte de la gran cuenca del Orinoco.

- Sub-cuenca del río Guavio: El río Guavio en la primera parte de su curso se llama Gachetá, marca límites entre los Departamentos de Boyacá y Cundinamarca hasta su desembocadura en el Upía; tiene como afluentes principales los ríos Chivor y Garagoa.
- Sub-cuenca del río Cravo Sur: El río Cravo Sur nace en el páramo de Pisba y desemboca en el río Meta; entre sus afluentes están los ríos Nogón, Siamá y Tocaría.
- Sub-cuenca del río Lengupá: El río Lengupá resulta de la confluencia de los ríos Fuche y Mueche; desemboca en el río Upía frente a la Inspección de Policía de El Secreto (Casanare).
- Sub-cuenca del río Upía: El río Upía nace en el lago de Tota y desemboca en el río Meta; en la primera parte de su recorrido toma el nombre de Desagüadero; entre sus afluentes están los ríos Olarte, Guavio y Lengupá.
- Sub-cuenca del río Cusiana: El río Cusiana nace en el Cerro Negro y desemboca en el río Meta; entre sus afluentes están los ríos Charte, Chitanema, Palo Solo, Salinero y Unete.
- Sub-cuenca del río Pauto: El río Pauto nace en el páramo de Pisba con el nombre de Quebrada Cañaverales y va a desembocar al río Meta.

Además de los ríos nombrados, el territorio boyacense posee gran número de quebradas y riachuelos que rinden sus aguas a otros ríos que finalmente desembocan en las cuencas y sub-cuencas del Departamento.[5]

Por consiguiente, una de las necesidades más apremiantes en la actualidad radica en la recuperación de los cuerpos de agua y la evaluación de estos con el entorno, dado que las frecuentes problemáticas sociales se han presentado por razones de carácter climático, en donde las inundaciones y demás desastres a razón del mal manejo de los cuerpos de agua y la cercanía de zonas urbanas a estos han generado que se presenten inconvenientes para el ecosistema.

Es por ello que se hace apremiante el hecho de generar un estudio morfométrico que por su parte permite analizar y comparar hidrológica y geológicamente una cuenca, que por la naturaleza misma del flujo de esta tendrá un efecto mayor en la corriente aguas debajo de algún cuerpo de agua de mayor tamaño (rio). El departamento de Boyacá es uno de los más diversos y con mayor riqueza hídrica dada su topografía, que varía entre montañas y valles, por esta región circulan cuerpos de agua de constante flujo como el rio chicamocha, además de aguas tranquilas como la laguna de tota que alimentan diversos cultivos.

La importancia del conocimiento de las características que hacen parte de esta malla hídrica que a su vez está compuesta por diferentes redes de diferentes estructuras hidrográficas (ríos de tamaños apreciables, algunos de menor tamaño, quebradas, entre otros), para el caso en particular se evaluaran las características morfométricas que intervienen en el análisis de la cuenca, que por su parte permitirá

[5] Wikipedia la enciclopedia libre, Hidrografía de Boyacá, consultado el 18 agosto 2015, disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Byaca.

definir mediante el método racional los caudales a los que se vea sujeta la quebrada San Bartolo, para así estimar el caudal de creciente que este tendrá sujeto a las descargas de las escorrentías presentes en dicho territorio, con el fin de asociar como influye dicha Quebrada en el comportamiento hídrico de la región.

Dado el estudio anterior se podrá brindar información verídica y cuantificable sobre el estado de la quebrada y su influencia en la zona de tal forma que se puedan accionar planes de contingencia, mejoramiento o proyecciones de trabajo cuando Sea necesario, datos sujetos a evaluaciones racionales que generaran un informe amplio que contribuirá a la bibliografía del semillero y por ende a la información global sobre los cuerpos de agua de Colombia.

El objetivo general que presenta esta investigación es, estimar las características morfométricas de la cuenca y el caudal máximo de escorrentía superficial, de la quebrada canoas hasta su desembocadura en tapias municipio de Cuitiva, Departamento de Boyacá.

Como objetivos específicos para esta monografía se tienen: Generar el estudio morfométrico de la cuenca para establecer los coeficientes de forma, área, perímetro, pendiente de cauce y pendiente de la cuenca; Aplicar la curva de caudales que permite establecer el caudal de creciente de la quebrada; Realizar los cálculos mediante el método racional para evaluación hidrológica; Determinar la influencia que tiene esta cuenca dentro de la zona en que se encuentra ubicada generando los datos guía que brinden información sobre el comportamiento hídrico en la cuenca.

# 2 MARCO DE REFERENCIA

## 2.1 MARCO DE ANTECEDENTES

El estudio de las características morfométricas de una cuenca, fue iniciado originalmente por el padre de la hidrología moderna en los Estados Unidos: Robert Ermer Horton, a través de sus dos artículos de referencia internacional “Drainage basin characteristics” (1932) y “Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology”” (1945).

Los estudios morfo métricos fueron transformados de diferentes análisis puramente cualitativos y deductivos, a estudios científicos, cuantitativos y rigurosos capaces de suministrar datos hidrológicos fáciles de estimar.En el año 1952, Arthur Newell strahler, modificó y mejoró el sistema para el análisis de la red de drenaje propuesto originalmente por Horton (1945), donde se clasifican los órdenes de los cauces de acuerdo a su jerarquía y potencia de sus afluentes; convirtiéndose desde entonces en el sistema de clasificación más usado a nivel mundial, para ordenar las redes de drenajes en cuencas hidrográficas y constituyéndose a su vez en un tema de estudio obligado para los cursos de hidrología básica y geomorfología fluvial, donde aborde el estudio de la morfométria de cuencas. De esta manera Horton y Strahler, se convirtieron en dos de los grandes investigadores de la morfométria de cuencas.[6]

ESTUDIO MORFOMÉTRICO DE LA QUEBRADA EL GUAMO CON DESEMBOCADURA EN EL RÍO SINÚ DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, UNIVERSIDAD DISTRITAL, 2014.

Este trabajo tiene como estudio el análisis de una cuenca, en donde se realiza todo el análisis morfológico de esta cuenca. Aportando análisis estadísticos de acuerdo a la topografía del terreno y orientación de los afluentes, determinando los índices de forma, curvas representativas y áreas.

Dicho trabajo se desarrolló por medio de las planchas topográficas en donde se puede encontrar la escorrentía del relieve y la formación de las quebradas. Mediante estos planos se obtuvieron datos numéricos los cuales permitieron determinar factores particulares de la quebrada El Guamo tales como su clasificación, el área de drenaje, índices y factores, distribución de ríos y afluentes, elevación media pendiente y rectángulo equivalente.[7]

[6] Tomado de Pagina web: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf, Morfología de cuencas, Prof. Alejandro Delgadillo, Prof. Ada Moreno Barrios

[7] Página web: http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2126/1/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf, ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DEL RIO AZUL, AFLUENTE DEL RIO CALIMA, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA, monografía, Moreno Grande Fredy, Esquivel Jimenez Jeisson.

ESTUDIO MORFOMÉTRICO DEL LAGO GUATAVITA (COLOMBIA), CARLOS ALBERTO RIVERA RONDÓN, ANGELA MARÍA ZAPATA & JHON CHARLES DONATO RONDÓN, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA 2010

El objeto de este documento es el estudio del lago Guatavita a partir del desarrollo de un mapa batimétrico ubicando varios puntos a escala 1:10000. A partir de estos puntos se extendieron líneas guías sobre las cuales se midió la profundidad mediante un sonar con error de 1m. A partir de estas mediciones los datos se ubicaron por medio del método de interpolación.

Los resultados de las diferentes características morfológicos del lago tales como curva hipsométrica se obtuvieron, a partir, del área superficial y de cada sección que se calculó con el procedimiento descrito anteriormente, con el fin de analizar las implicaciones de la morfología sobre su funcionamiento y discutir algunas hipótesis que existen sobre el origen del lago (concentración de amonio. Estos resultados indican un papel muy importante de la profundidad sobre las características físicas y químicas del lago que a su vez determinan la dinámica de las comunidades biológicas y una baja productividad Fito planctónica)[8]

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

Una cuenca hidrográfica es una concavidad de la Tierra, una depresión del terreno, un recinto natural ocupado por un océano, un mar, un lago o avenado por un río principal y sus afluentes. En todos los casos la cuenca tiene origen estructural y el agua siempre está presente. Según sus características, las cuencas son exorreicas si drenan a mares y océanos; endorreicas si drenan a lagos y lagunas; arreicas si sus aguas se evaporan o se filtran en el terreno.

Las cuencas mayores son las de los océanos. Las cuencas marítimas son menores. La del mar Caribe, por ejemplo, está delimitada por litorales continentales y por una cadena de islas que conforman un espacio ovoide. Cuenca lagunar es la del lago Maracaibo. Cuencas hidrográficas notables son las de los ríos Ganges, Yangtse en Asia; Níger, Congo y Nilo en África; Mississipi en Norteamérica; Amazonas, Orinoco, Paraná en Suramérica.

Las cuencas, en todas sus formas y tamaños, son recintos de vida. En esas hondonadas se da la interdependencia de seres y cosas en su forma más directa y elemental. Allí interactúan, en forma permanente, agua, flora y fauna incluida la especie zoológica más activa, la humana. Las cuencas son, por eso, escenarios idóneos para la gestión integral sobre territorio y población.

[8] En Pagina Web: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2010000300010, Acta Biologica Colombia, ESTUDIO MORFOMÉTRICO DEL LAGO GUATAVITA (COLOMBIA), Rivera Rondon. Carlos, Zapata. Angela, Donato Rondon. Jhon.

Ellas ofrecen la base indispensable y concreta para el ordenamiento territorial del país y el piso donde se instala, de manera natural, la administración político-administrativa de la nación.

En Colombia las cuencas hidrográficas dan asiento a seis regiones geográficas principales, Amazonia, Orinoquia, Cuenca Marabina, Espacio Caribe, Espacio Andino y Espacio Pacífico. La primera entidad territorial en los municipios es la cuenca hidrográfica. Abordarlas, cualquiera sea su tamaño, requiere enfoque sistémico y propósito sustentable. Colombia, según opinan algunos ordenadores del territorio, debiera ser estudiada, ordenada planificada, sustentada, sobretodo administrada, a partir de sus cuencas hidrográficas.

### 2.2.1 Definición

Una cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales (Ver imagen 1), 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 bien directamente en el mar.
La cuenca hidrográfica se define como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple.

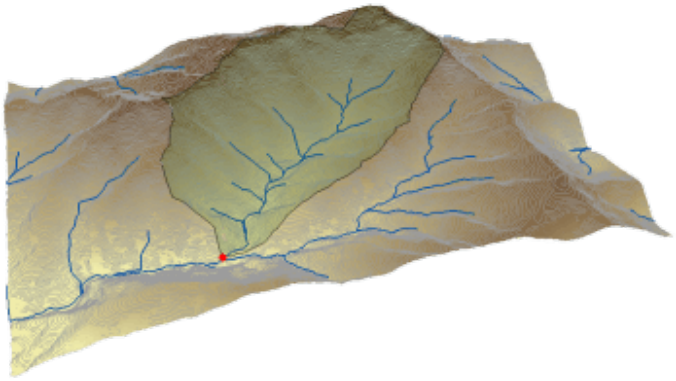


IMAGEN 1. CUENCA HIDROGRÁFICA

### 2.2.2 Características físicas

Esas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la capa vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos proporcionan la más

conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

- Área de drenaje
  Es el área palana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica.
- Forma de la cuenca
  Se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya a la sección de la corriente en estudio.

### 2.2.3 Partes

- Cuenca alta, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente
- Cuenca media, la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.
- Cuenca baja, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección

  En las partes altas, la topografía normalmente es empinada y generalmente están cubiertas de bosque. Tanto en la parte alta como en la parte media se encuentran la gran mayoría de las nacientes y de los ríos; las partes bajas, a menudo tienen más importancia para la agricultura y los asentamientos humanos, porque ahí se encuentran las áreas más planas, así se presenta la cuenca como un verdadero sistema, ya que está formada por un conjunto de elementos que se interrelacionan, los más importantes son: el agua, el bosque, el suelo y los estratos geológicos.

### 2.2.4 Elementos

- Divisoria
  La divisoria es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. Es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.

- El río principal
  El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje. La mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde

la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su naciente y su desembocadura.

En el curso de un río se distinguen tres partes:

- Curso superior, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce.
- Curso medio, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle.
- Curso inferior, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.

- Afluentes
  Los afluentes son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

- El relieve de la cuenca
  El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.

- Las obras humanas
  Algunas obras construidas por el ser humano, también denominadas intervenciones antropogénicas, que se observan en la cuenca suelen ser viviendas, ciudades, campos de cultivo, obras para riego, energía y vías de comunicación. El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos o desnudándola de vegetación y trayendo inundaciones en las partes bajas.

### 2.2.5 Clasificación según su salida

- Exorreicas: tiene la cualidad de verter sus aguas en una tercera entidad, en una desembocadura, como el mar o el océano.

- Endorreicas: es un área en la que el agua no tiene salida superficialmente, por ríos, hacia el mar, en donde la lluvia o precipitación que caiga permanece allí, abandonando el sistema únicamente por infiltración o evaporación, lo cual contribuye a la concentración de sales. En las cuencas endorreicas en las que la evaporación es mayor que la alimentación, los lagos salados han

desaparecido y se forman salares. Las cuencas endorreicas también son denominados sistemas de drenaje interno.

- Arreicas: es una zona que carece de corrientes fluviales, las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

- Criptorreica: Región continental de drenaje subterráneo carente de una red de drenaje definida.

### 2.2.6 Clasificación de los cuerpos de agua

Con base en la consistencia de la escorrentía, los cursos de agua se pueden dividir en:

- Perennes: Son corrientes con agua todo el tiempo. EL nivel del agua subterráneo mantiene una alimentación continua y no desciende nunca debajo del lecho del rio.

- Intermitentes: Son corrientes que escurren en estaciones de lluvia y se secan durante el verano. El nivel de agua subterráneo se conserva por encima del nivel del lecho del rio solo en la estación lluviosa, en verano el escurrimiento cesa, u ocurre solamente durante o inmediatamente después de las tormentas.

- Efímeros: Existen apenas durante o inmediatamente después de los periodos de precipitación, y solo transportan escurrimiento superficial.

## 2.3 ANALISIS MORFOMÉTRICO

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación. Para este tipo de estudio no solamente interesa el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas

### 2.3.1 Área

Es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc. El área de la cuenca se define como la proyección horizontal de la superficie de la misma y se puede medir directamente del mapa topográfico. Desde el punto de vista hidrológico es más importante esta proyección horizontal que la superficie real de la cuenca. Las gotas de lluvia caen verticalmente y no ortogonales a la ladera, igualmente el crecimiento de los árboles es vertical, etc.; Los rangos de área y su clasificación se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

| CLASES DE TAMAÑO DE CUENCAS ($km^2$) | |
|---|---|
| **Rangos de áreas** | **Nombre** |
| 1 - 5 | Unidad |
| 5 - 20 | Sector |
| 20 - 100 | Microcuenca |
| 100 - 300 | Subcuenca |
| > 300 | Cuencas |

TABLA 1. CLASES DE TAMAÑO DE CUENCAS

### 2.3.2 Perímetro

El perímetro es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca.

### 2.3.3 Longitud máxima de la cuenca

La longitud máxima o recorrido principal de la cuenca es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca. Este parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos. Se obtiene a partir del mapa digitalizado de la red de drenaje. Véase tabla 2.

| Clases de valores de longitud del cauce principal | |
|---|---|
| **Rangos de longitud** | **Clases de longitud del cauce** |
| 6.9-10.9 | Corto |
| 11-15 | Mediano |
| 15.1-19.1 | Largo |

TABLA 2. CLASES DE VALORES DE LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

### 2.3.4 Factor Forma (kf)

El factor de forma, kf. Fue definido por Horton, como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud. Las clases de forma se evidencian en la tabla 3, a continuación:

$$Kf = A/L^2$$

| Clases de valores de forma | |
|---|---|
| **Rangos de $K_f$** | **Clases de forma** |
| .01-.18 | Muy poco achatada |
| .18-.36 | Ligeramente achatada |
| .36-.54 | Moderadamente achatada |

TABLA 3. CLASES DE VALORES DE FORMA

### 2.3.5 Coeficiente de compacidad (Kc)

Igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Kc se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parte aguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia. (Ver tabla 3).

$$Kc = 0.282*(P/\sqrt{A})$$

| Tabla 4. Clases de valores de compacidad. | |
|---|---|
| **Rangos de $K_c$** | **Clases de compacidad** |
| – 1.25 | Redonda a oval redonda |
| 1.25 – 1.50 | De oval redonda a oval oblonga |
| 1.50 – 1.75 | De oval oblonga a rectangular oblonga |

TABLA 4. CLASES DE VALORES DE COMPACIDAD

### 2.3.6 Índice de alargamiento (Ia)

Este índice propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se lo calcula de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$Ia = L / l$$

Cuando Ia toma valores mucho mayores a la unidad, se trata seguramente de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto, lo anterior descrito en la siguiente tabla:

| Clases de valores de alargamiento | |
|---|---|
| **Rangos de I** | **Clases de alargamiento** |
| 0.0-1.4 | Poco alargada |
| 1.5-2.8 | Moderadamente alargada |
| 2.9-4.2 | Muy alargada |

TABLA 5. CLASES DE VALORES DE ALARGAMIENTO

### 2.3.7 Índice de asimetría (Ias)

Resulta del cociente entre el área de las vertientes (mayor y menor), las cuales están separadas por el cauce principal, si es igual a uno indica que el canal principal es central, en consecuencia si el resultado es mayor que uno el canal no es centrado, véase tabla 6.

$$Ias = A / a$$

| Índice de Asimetría | |
|---|---|
| **Rangos de Ias** | **Tipo de Simetría** |
| =1 | Canal centrado |
| >1 | Canal no centrado |

TABLA 6. ÍNDICE DE ASIMETRÍA

### 2.3.8 Elevación media de la cuenca (Em)

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes. Constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región, el cual, da una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas de ella (Ver tabla 7). Para poder determinar la elevación media de una cuenca existen diferentes métodos, entre los cuales están:

| Clases de valores de elevación media | |
|---|---|
| **Rangos de elevación** | **Clases de elevación** |
| 1782.3-2072.2 | Baja |
| 2072.4-2362.2 | Moderada |
| 2362.4-2652.2 | Alta |

TABLA 7. CLASES DE VALORES DE ELEVACIÓN MEDIA

Método Área – elevación: Para estimar la elevación por este método, es necesario disponer de un mapa con curvas de nivel cuya separación altitudinal sea idéntica de nivel a nivel. Este método inicia con la medición del área de las diferentes franjas de terreno, delimitada por las curvas de nivel consecutivas.

$$Em = (Ai * ei) / A$$

Método por cuadricula: Para estimar la elevación por este método, es necesario disponer de un mapa con curvas de nivel. En este método se inicia haciendo una cuadricula que deje aproximadamente 100 intersecciones en el área de la cuenca, luego se halla cada una de las alturas de los puntos se hace su sumatoria y se promedia.

$$Em = \sum E / n$$

### 2.3.9 Elevación mediana de la cuenca

Es el valor de la elevación cuando el área de la cuenca dada en porcentaje (%) se dividen dos partes iguales (50%).

### 2.3.10 Curva hipsométrica

Sugerida por Langbein et al. (1947), proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas, bien en $Km^2$ o en tanto por cien de la superficie total de la cuenca. (Figura 1)

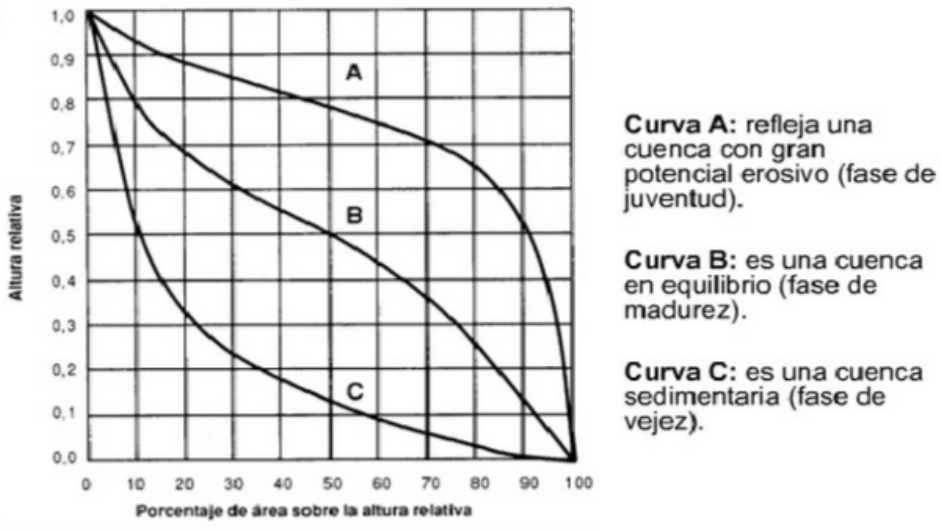



FIGURA 1. MODELO CURVA HIPSOMÉTRICA.

### 2.3.11 Coeficiente de masividad

Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca, dada en metros (m) y su superficie, dada en Kilómetros cuadrados ($Km^2$). véase tabla 8:

$$Km = Em / A$$

| Clases de valores de masividad | |
|---|---|
| **Rangos de $K_m$** | **Clases de masividad** |
| 0-35 | Muy Montañosa |
| 35-70 | Montañosa |
| 70-105 | Moderadamente montañosa |

TABLA 8. CLASES DE VALORES DE MASIVIDAD

### 2.3.12 Índice de sinuosidad (S)

Es el índice que representa cuanto el trazado del río se aparta de una línea recta. Se mide por la relación entre la distancia que separa los dos puntos de inicio y fin y la distancia suavizada entre ellos. Un cauce en línea recta tiene una sinuosidad de 1.0, mientras que se describen los ríos como meándricos cuando la sinuosidad es mayor de 1.5.

$$S = L / Ls$$

### 2.3.13 Pendientes

Tiene una gran importancia porque, indirectamente, a través de la velocidad del flujo de agua, influye en el tiempo de respuesta de la cuenca. Existen varios métodos para calcular las pendientes entre los cuales tenemos dos de gran utilización:

- Método de los valores extremos (Sm): consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce.

$$Sm = H/L$$

- Método de compensación de áreas: Es la pendiente que se halla cuando en el perfil las dos áreas (de arriba y abajo o corte y terraplén) sean aproximadamente iguales.

$$Ac \approx At$$

### 2.3.14 Densidad de drenaje (Dd)

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión.

Pero también, como indican Gregory and Walling la densidad de drenaje provee una liga entre los atributos de forma de la cuenca y los procesos que operan a lo largo del curso de la corriente. Más precisamente, la densidad de drenaje refleja controles topográficos, litológicos, podológicos y vegetacionales, además de incorporar la influencia del hombre. La densidad de drenaje se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 $km/km^2$ o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que para un valor alto de Dd corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes.

En períodos de estiaje se esperan valores más bajos del caudal en cuencas de alta densidad de drenaje y de fuertes pendientes, mientras que en cuencas planas y de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad del régimen de caudales, debido al

drenaje subsuperficial y al aporte subterráneo. La siguiente tabla muestra las clases de densidad de drenaje:

| Clases de densidad de drenaje | |
|---|---|
| **Rangos de densidad** | **Clases** |
| .1-1.8 | Baja |
| 1.9-3.6 | Moderada |
| 3.7-5.6 | Alta |

TABLA 9. CLASES DE DENSIDAD DE DRENAJE

### 2.3.15 Orden de la cuenca

Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente.(Ver imagen 2 – ver tabla 10).

| Clases de orden de corriente | |
|---|---|
| **Rangos de ordenes** | **Clases de orden** |
| 1-2 | Bajo |
| 2.1-4 | Medio |
| 4.1-6 | Alto |

TABLA 10. CLASES DE ORDEN DE CORRIENTE

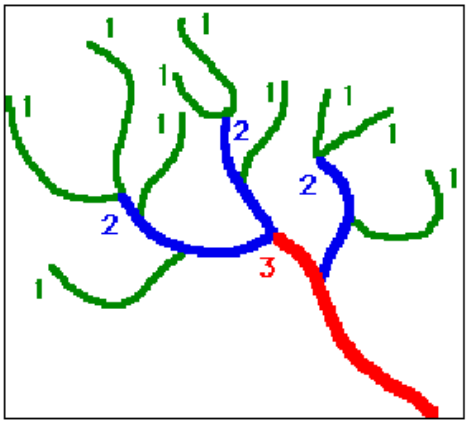



IMAGEN 2. ORDEN DE UNA CUENCA

Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida. Asimismo, un mayor orden indica en general la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua (en determinados tipos de relieve).

## 2.4 CÁLCULO DEL CAUDAL

### 2.4.1 Método Racional

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente c (coef. escorrentía) (Ver tabla 11) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, A< 10 $KM^2$

La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = 0{,}278\ CIA$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m3 /s)
C: Coeficiente de escorrentía
I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A: Área de la cuenca (Km2).

| COBERTURA VEGETAL | TIPO DE SUELO | PENDIENTE DEL TERRENO | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PRONUNCIADA | ALTA | MEDIA | SUAVE | DESPRECIABLE |
| | | > 50% | > 20% | > 5% | > 1% | < 1% |
| Sin vegetación | Impermeable | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 |
| | Semipermeable | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 |
| | Permeable | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| Cultivos | Impermeable | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 |
| | Semipermeable | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| | Permeable | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| Pastos, vegetación ligera | Impermeable | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 |
| | Semipermeable | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| | Permeable | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 |
| Hierba, grama | Impermeable | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| | Semipermeable | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| | Permeable | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 |
| Bosques, densa vegetación | Impermeable | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| | Semipermeable | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 |
| | Permeable | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 |

TABLA 11. COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA MÉTODO RACIONAL

El valor del coeficiente de escorrentía se establecerá de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas. En virtud a ello, los coeficientes de escorrentía variarán según dichas características.

### 2.4.2 Método Racional Modificado

Es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km2 y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:

$$Q = CIAK$$

Donde:
Q: Descarga máxima de diseño (m3 /s)
C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I.
I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A: Área de la cuenca (Km2)
K: Coeficiente de Uniformidad

Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general, son los siguientes:

A) Tiempo de Concentración (Tc)

$$Tc = 0.02 * Lm^{0.77} * S_1{}^{-0.385}$$

Donde:
Lm= Longitud máxima del cauce mayor (m)
S= Pendiente media del cauce mayor (m/m)

B) Coeficiente de Uniformidad

$$K = 1 - (T_C{}^{1.25} / T_C{}^{1.25} + 14)$$

Donde:
Tc= Tiempo de concentración (horas)

C) Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor ($K_A$)

$$K_A = |1 - (\log_{10} A/15)|$$

Donde:
A: Área de la cuenca (Km2)

D) Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A P_d$$

Donde:
$K_A$: Factor reductor
$P_d$: Precipitación máxima diaria (mm)

E) Intensidad de Precipitación (I): véase Figura 2

$$I = (P/24) * (11) (28^{0.1} - T_C^{0.1} / 28^{0.1} - 1)$$

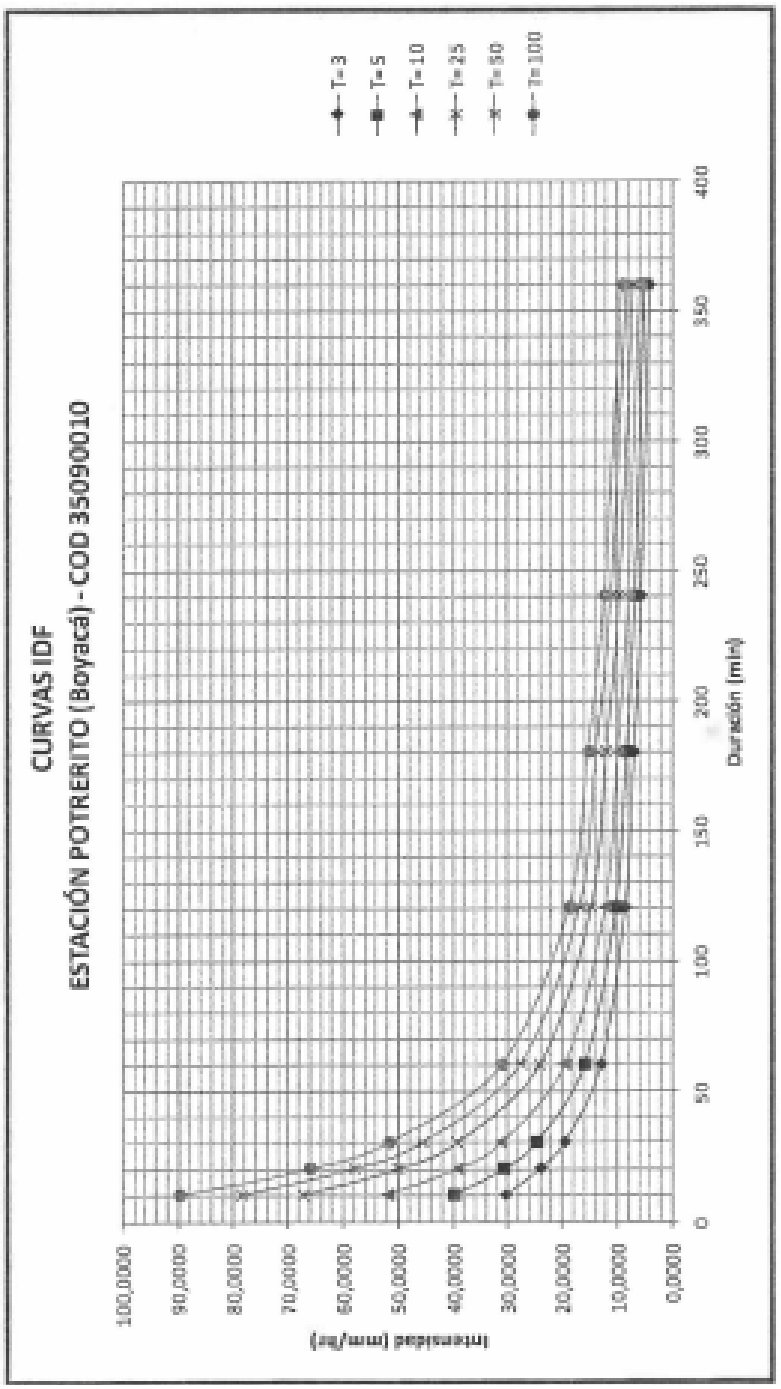
Donde:
P: Precipitación máxima corregida (mm)
Tc: Tiempo de concentración (horas)

F) Coeficiente de Escorrentía ( C )

$$C = (P_d - P_O) * (P_D + 23 * P_O) / (P_d + 11 P_O)^2$$

Donde:
Pd: Precipitación máxima diaria (mm)
Po: Umbral de escorrentía = (5000/CN) − 50 □ □ □ □
CN: Número de curva

FIGURA 2. CURVAS IDF (INTENSIDAD, DURACIÓN, FRECUENCIA)



## 2.5 MARCO GEOGRÁFICO

El Municipio de Cuítiva se ubica en el Departamento de Boyacá, se encuentra localizado aproximadamente a 233 kilómetros de la ciudad de Bogotá y a 20 kilómetros de Sogamoso, se localiza a 5° 27’ 45” latitud Este, posee altitudes que van desde los 2.727 hasta los 3.200 metros sobre el nivel medio del mar, con una temperatura promedio de 13oC. Ver Mapas Territorialmente el departamento de Boyacá se encuentra agrupado por doce (12) provincias, Cuítiva se ubica dentro de la provincia de Sugamuxi, específicamente en la zona agroecológica once (11). El municipio es eminentemente rural con un 88%, dividido en once (11) veredas Arbolocos, Lagunitas, Cordoncillos, La Vega, Amarillos, Balcones, Boquerón, Macías, Tapias, Caracoles y Buitreros, en las cuales residen aproximadamente 1.716 habitantes. Los sectores de las veredas, están constituidos básicamente como entidad territorial que demarca el límite veredal. El municipio de Cuítiva cuenta con algunos ecosistemas estratégicos, como la laguna de Tota, complementados con actividades productivas agropecuarias y bosques que hacen de éste un territorio privilegiado.

Los recursos del municipio no son explotados sustancialmente, en razón a que no se ha desarrollado el potencial turístico y productivo y a pesar de su localización posee los recursos necesarios para lograr un crecimiento sostenible.

### 2.5.1 Límites del municipio:

Por el norte con el Municipio de Iza, por el Oriente con el Municipio de Sogamoso, por el Occidente con el Municipio de Aquitania y por el Sur con el Municipio de Tota.

### 2.5.2 Extensión

Extensión total: 43 Km2
Extensión área urbana: 3.6 Km2
Extensión área rural: 39.4 Km2

### 2.5.3 Clima

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2750
Temperatura media: 13º C
Distancia de referencia: 85

Clima: Cuitiva es un poco frio, Se presentan lluvias y con persistencia caen lloviznas y veranos prolongados con temperatura que va desde los 5 ºC en las madrugadas a los 18 ºC del medio día.

Permanentemente se deben soportar vientos húmedos y moderados por la laguna de Tota. Según datos obtenidos en las estaciones del túnel y la Vega, por el instituto Nacional de Estudios Ambientales, el valor promedio del recorrido de los vientos 454.2Km., el valor promedio anual de la precipitación pluvial es de 60.75mm, el valor promedio anual del brillo solar es de 157.3 horas por mes el porcentaje de humedad relativa es de 81% y el valor promedio de evaporación es de 103.08mm.

Cuitiva es un municipio muy afortunado pues cuenta con un regalo muy grande como es el lago de Tota de donde sale agua para este Municipio y para muchos otros más.

### 2.5.4 Climograma

El departamento de Boyacá presenta precipitaciones durante todo el año, hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. La locación es clasificada como Cfb por Köppen-Geiger La temperatura media anual en Boyacá se encuentra a 15.2 °C.

El departamento presenta precipitaciones de alrededor de 992 mm, El mes más seco es enero, con 24 mm. 125 mm, mientras que la caída media en octubre. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año..[9] (Ver Figura 3)

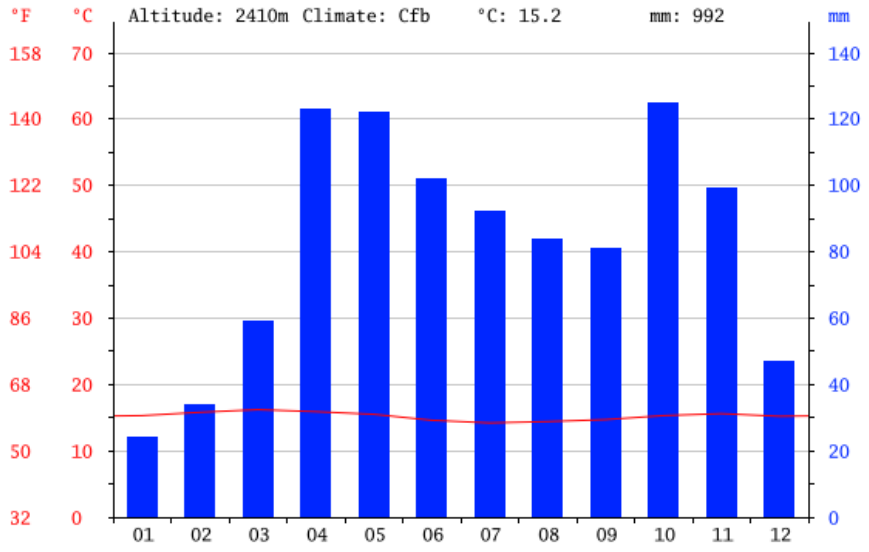



FIGURA 3. CLIMOGRAMA DE PRECIPITACIÓN

[9] Tomado de Pagina web: http://es.climate-data.org/location/44450/, CLIMATE DATA ORG, Clima Boyacá, Alcaldía de Boyacá, estudios climáticos de Boyacá, UPTC

### 2.5.5 Ubicación

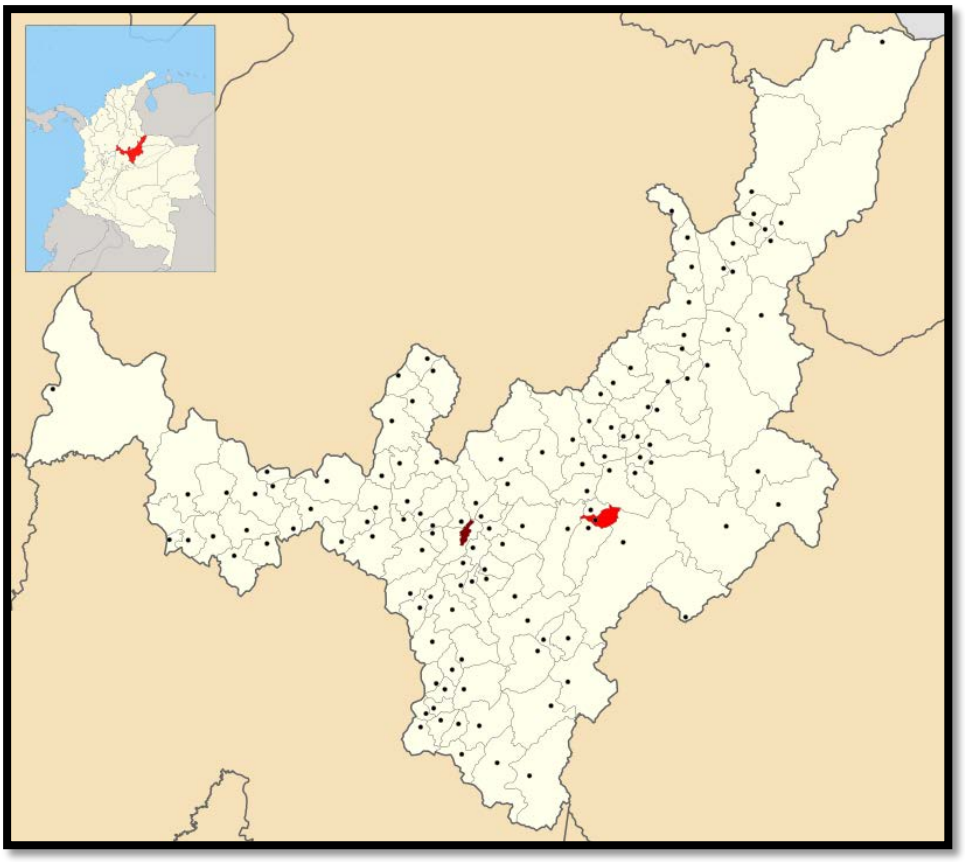


IMAGEN 3. LOCALIZACIÓN MUNICIPIO DE CUITIVA.




IMAGEN 4. UBICACIÓN MUNICIPIO DE CUITIVA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

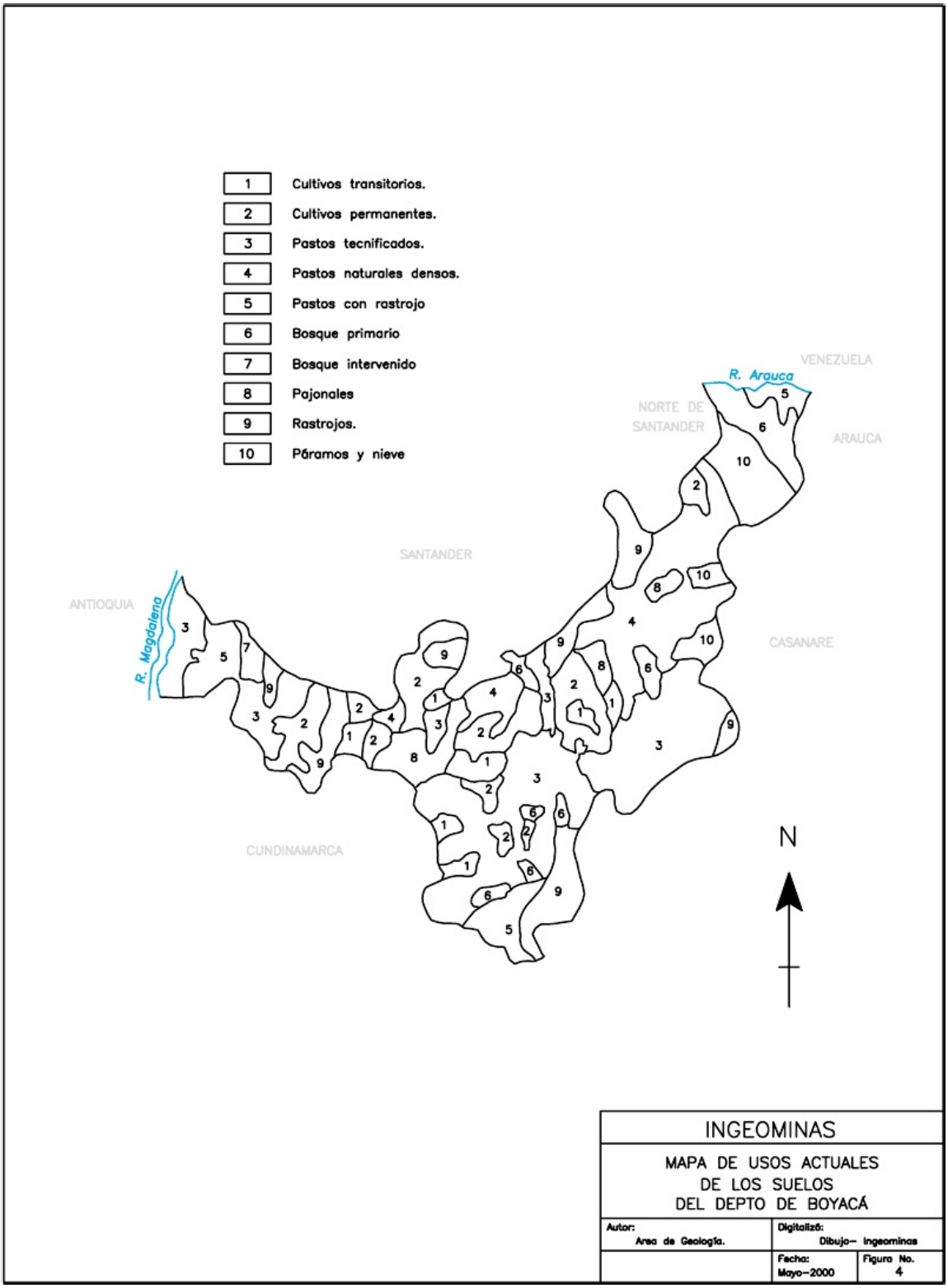



IMAGEN 5. MAPA USO DE SUELO

# 3 DISEÑO METODOLóGICO

Para conocer y definir las principales características y aspectos que definen la Quebrada Canoas, y la cuenca que la alberga se hará uso de modelos matemáticos establecidos que permitan obtener valores de referencia que a su vez den muestra de su comportamiento y la influencia que dichas características puedan presentar en el ecosistema y en el entorno.

## 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el caso de un estudio morfométrico, el tipo de investigación que se realiza es de carácter aplicada, dado que está sujeta a valores cuantificables de fórmulas y modelos establecidos, que buscan dar respuesta a los interrogantes expuestos en este apartado, este tipo de investigación contempla el uso de patrones matemáticos dados mediante los cuales se efectuaran los cálculos correspondientes que darán por resultado una cuantía acerca de las condiciones físicas (morfología) de la Canoas.

## 3.2 POBLACIÓN

Cuerpos de agua en movimiento: Ríos, riachuelos y quebradas que componen la gran corriente del Chicamocha en su paso e interacción con el departamento de Boyacá y su ecosistema correspondiente.

## 3.3 MUESTRA

Toda la información topográfica y meteorológica hábil de la Quebrada Canoas y la respectiva cuenca que la encierra.

## 3.4 VARIABLES

Características físicas y morfológicas de una cuenca, tales como: área, perímetro, longitud, factor de forma, Coeficiente de compacidad, Índice de alargamiento, Índice de asimetría, Elevación media de la cuenca, Elevación mediana de la cuenca, Curva hipsométrica, Coeficiente de masividad, Índice de sinuosidad, pendientes, Densidad de drenaje y orden de la cuenca; Y factores de análisis de la quebrada tales como: Caudal, coeficiente de uniformidad, coeficiente de simultaneidad, precipitación máxima, intensidad de precipitación y coeficiente de escorrentía.

## 3.5 PLAN DE ANÁLISIS

### 3.5.1 Análisis morfométrico de la micro-cuenca

Morfometría del área de captación

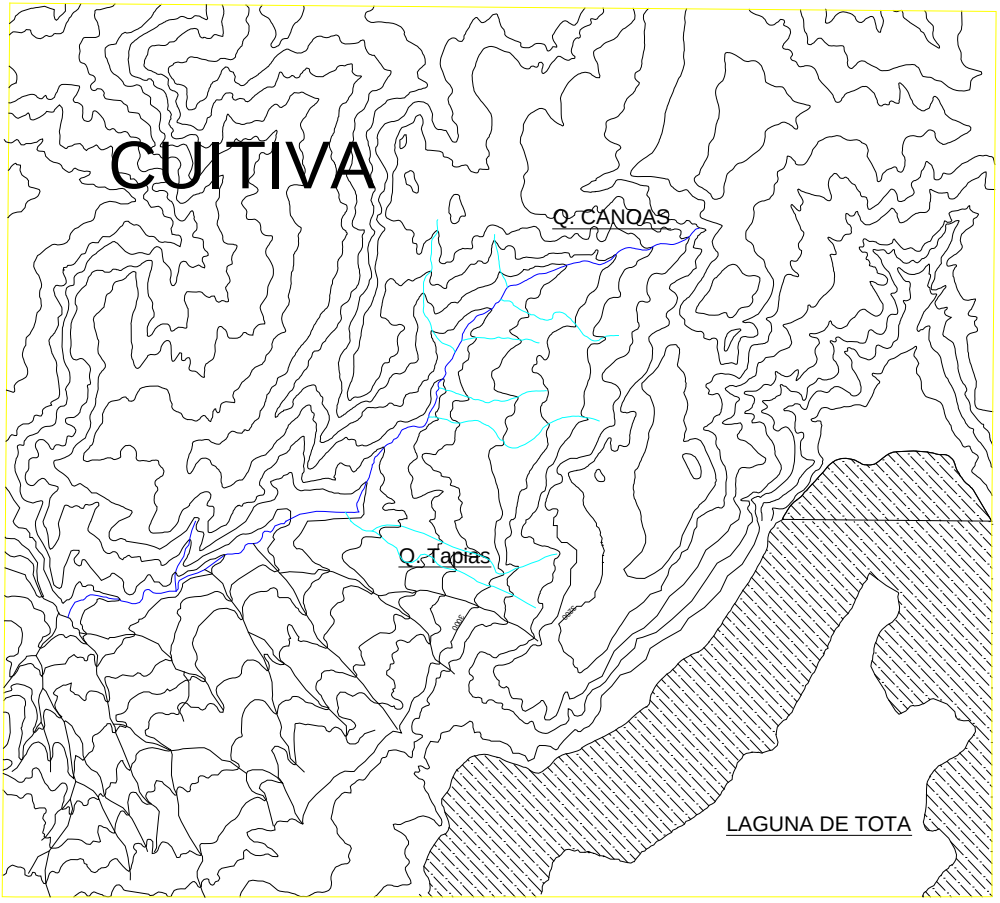



IMAGEN 5. TOPOGRAFÍA CUITIVA - QUEBRADA CANOAS

| DATOS GENERALES | |
|---|---|
| **DEPARTAMENTO** | Canoas |
| **MUNICIPIO** | Boyacá |
| **QUEBRADA** | Cuitiva |
| **PERTENECIENTE A** | Cuenca Rio Chicamocha |
| **CONECTA CON** | Quebrada Tapias |

TABLA 12. DATOS GENERALES

- Tabla de símbolos:

| PARÁMETROS DE ESTUDIO. | | |
|---|---|---|
| **Símbolo** | **Descripción** | **Literal Asociado** |
| **B** | Ancho promedio | d) |
| **Ac** | Área cuenca | a) |
| **A** | Área vertiente mayor | ----- |
| **a** | Área vertiente menor | ----- |
| **Kc** | Coeficiente de compacidad | f) |
| **Km** | Coeficiente de masividad | m) |
| **Dd** | Densidad de drenaje | s) |
| **Em** | Elevación media de la cuenca | j) |
| **Eme** | Elevación mediana de la cuenca | k) |
| **I** | Extensión media de la escorrentía superficial | ---- |
| **Kf** | Factor Forma | e) |
| **Ia** | Índice de alargamiento | g) |
| **Ias** | Índice de asimetría | h) |
| **Sn** | Índice de sinuosidad | n) |
| **Lcp** | Longitud cauce principal | ---- |
| **Lc** | Longitud cuenca | ---- |
| **Lm** | Longitud máxima | c) |
| **L+** | Longitud total de las corrientes | s) |
| **Ll** | Longitud total de las curvas de nivel | --- |
| **S3** | Pendiente equivalente constante | q) |
| **S1** | Pendiente media | q) |
| **S2** | Pendiente media ponderada | q) |
| **S** | Pendientes de la hoya | p) |
| **P** | Perímetro | b) |
| **Tc** | Tiempo de concentración | i) |
| | | |
| | | |

TABLA 13. PARÁMETROS DE ESTUDIO

a) **Área cuenca (Ac):** El área para la cuenca fue medida directamente desde el plano topográfico versión digital, (medida tomada desde autoCAD), para lo cual el dato obtenido fue de: **9.3036 Km2**, lo que la clasifica a la cuenca como un sector, el cual contempla áreas en un rango de 5 a 20 km2. (Ver tabla 1)
b) **Perímetro (P):** El perímetro para la cuenca fue medido directamente desde el plano topográfico versión digital, (medida tomada desde autoCAD); El perímetro que encierra a este sector (dicho nombre dada la clasificación

anteriormente mencionada respecto al área hallada), es de **13.6457 Km**, se toma como perímetro la línea divisoria de aguas establecida bajo los parámetros correspondientes, sujetos al sentido que tomarían las aguas de escorrentía y de descarga hacia un cuerpo de agua de mayor tamaño; Si bien el perímetro es una medida o parámetro que no indica nada por si solo se convierte en un insumo fundamental para el cálculo de los parámetros que establecen las características de forma de la cuenca.

c) **Longitud máxima de la cuenca (Lm):** La longitud máxima del objeto de estudio (unidad de la quebrada) es igual a **4.1867 Km** (medida tomada desde AutoCAD), tomando como referencia la longitud del cauce principal y su posible cauce en toda la unidad, el valor obtenido refleja una longitud muy corta, tanto así, que no logra entrar en la clasificación dispuesta (ver tabla 2), la longitud en mención se encuentra fuera de los parámetros de clasificación anteriormente establecidos, lo que supone menores tiempos de desplazamiento de las crecidas y como consecuencia de esto, menor atenuación y concentración de los mismos, dado esto no se percibe una retorno significativo, por lo que los tiempos de subida y las duraciones totales de estas serán evidentemente mucho menores.

d) **Ancho promedio (B):**

$$B = \frac{A}{Lm} \implies B = \frac{9.3036\ \text{Km2}}{4.1867\ \text{Km}} \implies B = \mathbf{2.2222\ Km}$$

El resultado obtenido es **2.222 Km** y teniendo en cuenta que la longitud máxima de la unidad (Quebrada) es de **4.1867 Km** se puede considerar que la unidad tiende a relación de X/X respecto a su extensión y su ancho.

e) **Factor Forma (kf):**

$$Kf = \frac{A}{L^2} \implies Kf = \frac{9.3036\ \text{Km2}}{(4.1867\ \text{Km})^2} \implies Kf = \mathbf{0.5308}$$

El factor forma calculado y posteriormente hallado por la relación entre el ancho promedio y la longitud de la cuenca es de **0.5308** (valor adimensional), lo que indica según la clasificación según Horton que la cuenca tiende a ser moderadamente achatada (Ver tabla 3.), y esto indica que tiene cierta susceptibilidad a presentar crecidas, en tal caso si se llegan a presentar lluvias intensas en simultánea en toda o en gran parte de la región, esto afectaría directamente la acumulación de aguas de su superficie, dada la forma establecida.

f) **Coeficiente de compacidad (Kc):**

$$Kc = 0.282 * (\frac{P}{\sqrt{A}}) \Longrightarrow Kc = 0.282 * (\frac{13.6457\ Km}{\sqrt{9.3036\ km^2}})$$

$$Kc = \mathbf{1.2615}$$

El coeficiente calculado arrojó un valor de **1.2615** (valor adimensional), lo que indica que la cuenca posee una de oval redonda a oval oblonga (Ver tabla 4), esto expresa la celeridad en la acumulación de aguas en la desembocadura dado el comportamiento mismo respecto a la forma que acumula aguas desde los bordes y parte superior y las desplaza rápidamente hacia la boca del ovalo o desembocadura de la unidad, (tiempo de concentración menor) y un comportamiento torrencial menor.

g) **Índice de alargamiento (Ia):**

$$Ia = \frac{L}{B} \Longrightarrow Ia = \frac{4.1867\ Km}{2.2222\ Km} \Longrightarrow Ia = \mathbf{1.8840}$$

El cálculo de este índice para la cuenca arrojó un valor de **1.8840** (valor adimensional), hallado mediante la fórmula descrita. Con dicho valor se constata y define finalmente que la cuenca es moderadamente alargada, según la clasificación y los rangos para valores de alargamiento, (ver tabla 5.), dicha forma tiende a ser más redondeada, lo que indica que las confluencias relacionan ángulos moderadamente agudos con el río principal al que conectan.

h) **Índice de asimetría (Ias):**

El índice de asimetría refleja la relación entre el área menor y el área mayor que componen las vertientes, tomando como parámetro la separación del cauce principal, para este caso la quebrada Canoas. Dicha división se puede observar en la figura XX.

$$Ias = \frac{A}{a} \Longrightarrow Ias = \frac{5.9585Km2}{3.3451Km2} \Longrightarrow Ias = 1.7813$$

El establecer la relación aritmética entre las áreas de las vertientes medidas desde AutoCAD el resultado obtenido evidencia que el canal principal no está completamente centrado, puesto que el valor obtenido **1.7813** (valor adimensional) es mayor a 1(ver tabla 6.), sin embargo, el valor hallado es un valor cercano a la unidad lo cual indicaría que posee tendencia a dividir la cuenca a la mitad, mostrando así una homogeneidad entre las vertientes.

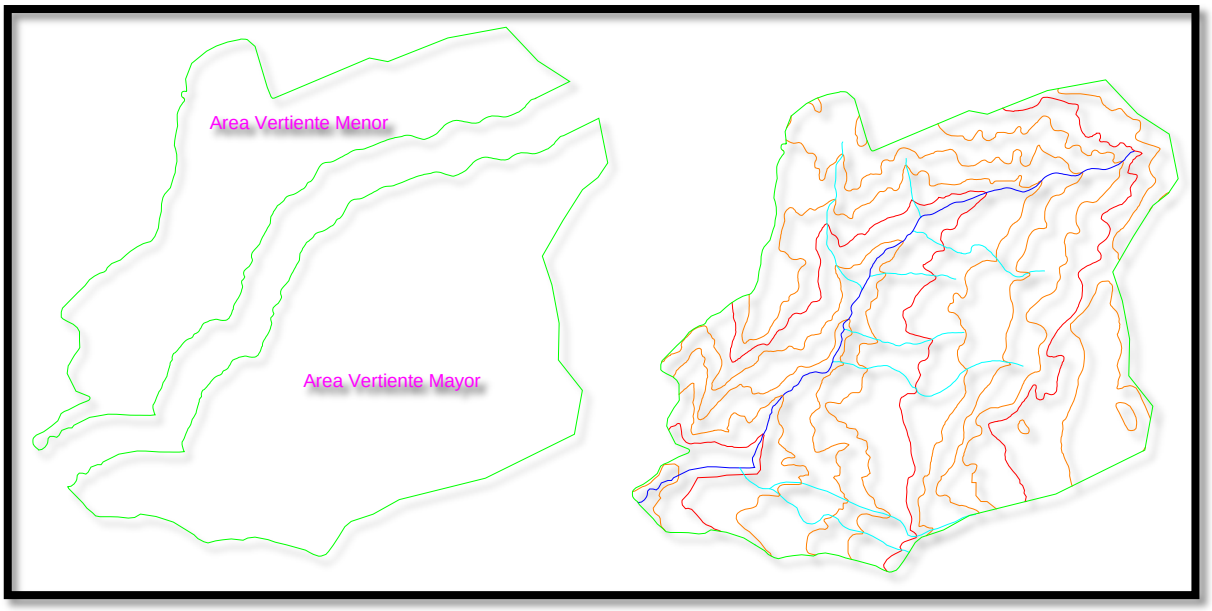



IMAGEN 6. ÁREA MAYOR – ÁREA MENOR

i) **Tiempo de concentración (TC):**

Según Kirpich

$$Tc = 0.02 * Lm^{0.77} * S_1{}^{-0.385}$$

$$Tc = 0.02 * 4.1867\ \text{Km}^{0.77} * S_1{}^{-0.385}$$

$$Tc = 1.3912$$

El tiempo promedio que tarda una gota de agua (partícula) caída desde el punto de la cuenca más alejado (según el recorrido de drenaje) al desagüe, dicho tiempo para la Quebrada Canoas es de 1h 23' 30" que teniendo en cuenta el tamaño de captación y en general del sector que alberga la Quebrada Canoas es bajo, debido a sus elevadas pendientes y la forma del sector.

### 3.5.2 Morfometría del relieve

**j) Elevación media de la cuenca (Em):**

- **<u>Método Área – elevación</u>:** La altitud media (digitalmente) hallada fue de 0.1363, es decir la elevación de la cuenca es alta.

k) **Elevación mediana de la cuenca:** Al trazar la curva hipsométrica con los datos respectivos se halló el valor correspondiente a la línea media **50** en el eje X para lo cual se obtuvo un valor de **3057.765 m**; dato que se encuentra registrado en la gráfica de curva hipsométrica correspondiente, ilustrada a continuación.

**l) Curva hipsométrica:**

| INFORMACIÓN CURVA HIPSOMÉTRICA | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nº** | **CURVAS DE NIVEL** | | **ELEVACION PROMEDIO (EI)** | **ÁREA ENTRE CURVAS (AI) (KM2)** | **% ÁREA TOTAL** | **%ÁREA TOTAL CURVA INFERIOR** | **EI * AI** |
| **1** | 2750 | 2800 | 2775 | 0.1220 | 1.526 | 100.000 | 338.412 |
| **2** | 2800 | 2850 | 2825 | 0.3980 | 4.981 | 98.474 | 1124.258 |
| **3** | 2850 | 2900 | 2875 | 0.6811 | 8.526 | 93.492 | 1958.294 |
| **4** | 2900 | 2950 | 2925 | 0.7603 | 9.517 | 84.967 | 2223.928 |
| **5** | 2950 | 3000 | 2975 | 1.2711 | 15.910 | 75.450 | 3781.515 |
| **6** | 3000 | 3050 | 3025 | 1.1987 | 15.004 | 59.541 | 3626.192 |
| **7** | 3050 | 3100 | 3075 | 0.9678 | 12.113 | 44.537 | 2975.835 |
| **8** | 3100 | 3150 | 3125 | 0.9779 | 12.240 | 32.424 | 3055.889 |
| **9** | 3150 | 3200 | 3175 | 0.6467 | 8.094 | 20.184 | 2053.203 |
| **10** | 3200 | 3250 | 3225 | 0.6145 | 7.692 | 12.090 | 1981.794 |
| **11** | 3250 | 3300 | 3275 | 0.3514 | 4.398 | 4.398 | 1150.853 |
| **TOTAL** | | | ----- | **7.9894** | **100.000** | **0.000** | **24270.175** |

TABLA 14.INFORMACIÓN CURVA HIPSOMÉTRICA.

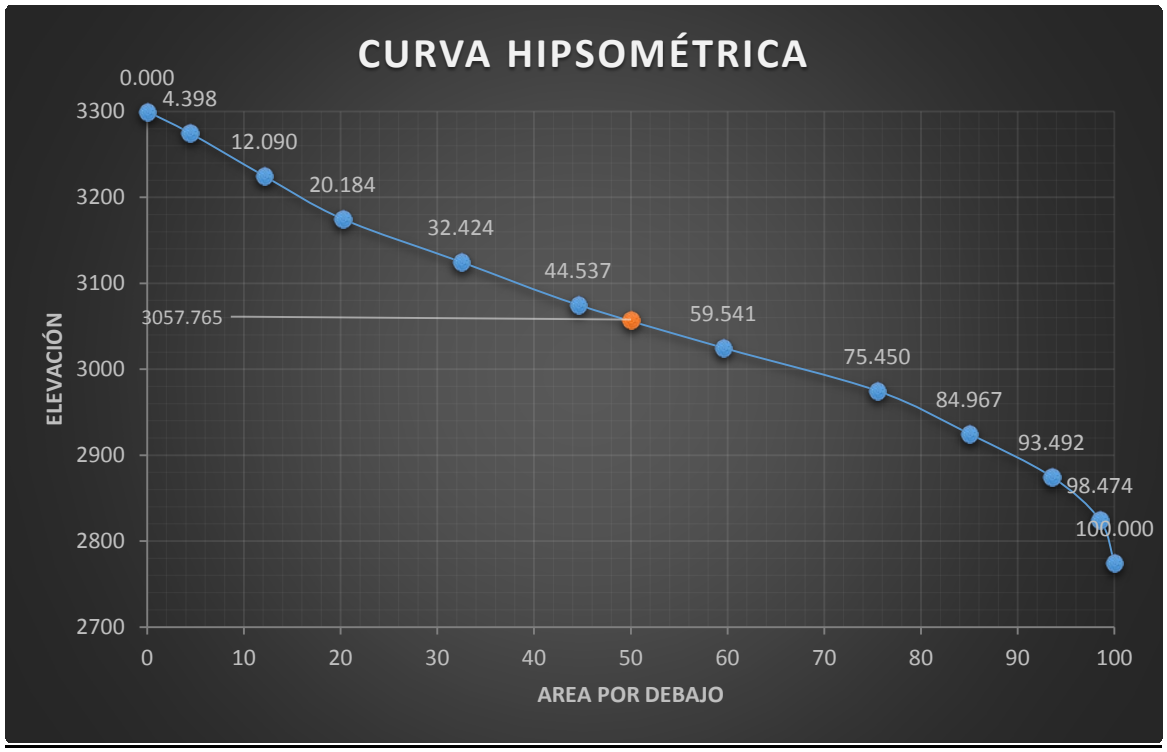



FIGURA 4. CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva hipsométrica representa el porcentaje de área acumulada igualada o excedida para una cota determinada. Para su construcción se grafican los valores menores de las cotas de cada intervalo con su correspondiente área acumulada a excepción de los valores máximos y mínimos de cota hallados, además de conocer las equidistancias entre las curvas de nivel,

La curva hipsométrica basada en los cálculos obtenidos sujetos a la información y datos de la cuenca de estudio, arroja un comportamiento curvo de una posición intermedia según las curvas de madurez, (ver Figura 2), dicha curva es característico de una cuenca en fase en equilibrio, lo que indica que es una cuenca en fase de madurez.

m) **Coeficiente de masividad (Km):**

$$Km = \frac{Em}{A} \Longrightarrow Km = \frac{0.1363\ m}{9.3036\ Km2} \Longrightarrow Km = 0.0147\ m/Km2$$

El coeficiente de masividad de la Unidad es de 0.0147 m/Km$^2$ lo que indica que la cuenca presenta un significativo desnivel de terreno y es muy montañosa, dada la clasificación según los valores de masividad, (ver tabla 8).

n) **Índice de sinuosidad (S):**

$$Sn = \frac{L}{Ls} \Longrightarrow Sn = \frac{4.1867\ Km}{3.6662\ Km} \Longrightarrow Sn = 1.1420$$

Este parámetro da una medida de la velocidad de la escorrentía del agua a lo largo de la corriente. Un valor de S menor o igual a 1,25 indica una baja sinuosidad. Se define, entonces, como un rio con lineamiento recto.[10]

Al establecer la relación entre la longitud real del cauce en la longitud en línea recta de este, se obtuvo como resultado: **1.1420** (valor adimensional), observando así que la unidad es ligeramente meándrica es decir sus lazos u ondulaciones presentan poca regularidad, sin embargo, el cauce posee una tendencia ovalada circular lo que a su vez refleja un recorrido en línea semi-recta, todo lo anterior puede ser explicado dado que dicha cuenta está asociada a fallas características que lo definen y manejan.

**o) Histograma de frecuencias altimétricas:**

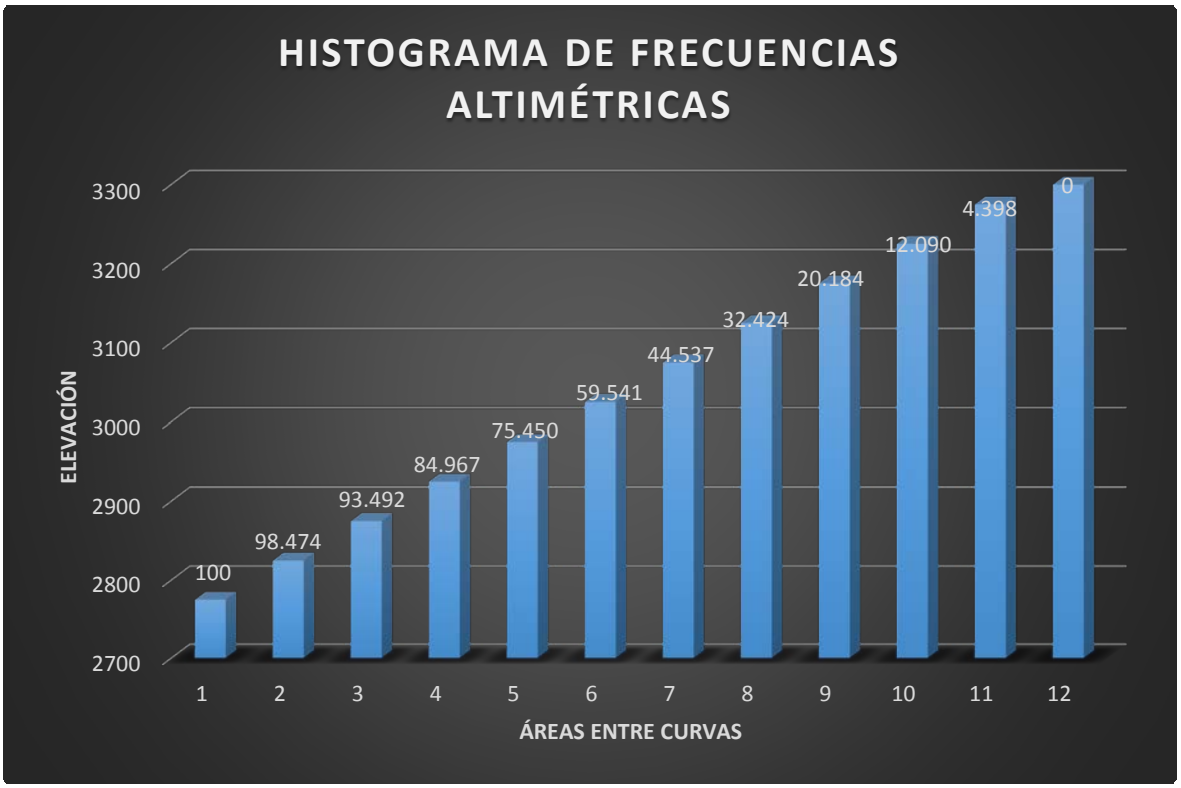



FIGURA 5. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMÉTRICAS

[10] SAENZ M. GERMAN. Hidrología en la Ingeniería, escuela colombiana de ingenieros, Cuencas hidrográficas. P-40

### 3.5.3 Pendientes.

a) Pendiente de la hoya hidrográfica:

El método empleado para determinar la pendiente de la cuenca fue el de las cuadriculas asociadas a un vector, sobre la digitalización de la cuenca se trazó una cuadricula, con la cual se obtuvieron 58 puntos de intersección, que cumplen con el mínimo de 50 puntos requeridos por este método.

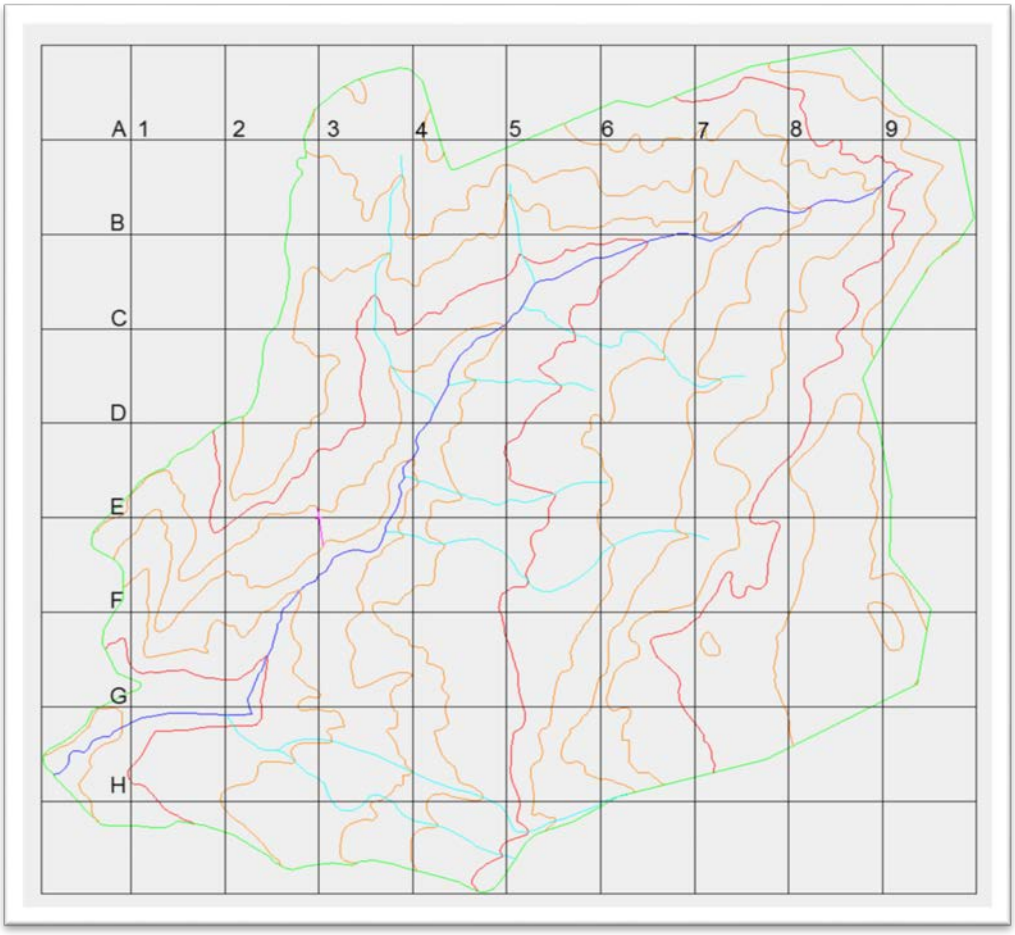



IMAGEN 7. CUADRICULA ASOCIADA A UN VECTOR CUENCA DE QUEBRADA CANOAS.

- Método de cuadrículas asociadas a un vector: El resultado obtenido mediante este método es de 22% (Ver tabla 16), que basados en los rangos de pendientes propuestos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC indica que el terreno es ligeramente escarpado (pues se encuentra dentro del rango GRADIENTE % 25 – 50) lo que indica que la velocidad de escorrentía es moderadamente alta. (Ver tabla 15)

| Clase | Pendiente Simple % | Denominación | Pendiente Compleja % | Denominación |
|---|---|---|---|---|
| A | 0 - 1 | A nivel o a nivel y casi a nivel | 0 – 3 | A nivel o a nivel y casi a nivel |
| B | 1 - 5 | Suaves o muy suaves y suaves | 3 – 8 | Onduladas o suavemente onduladas y onduladas |
| C | 5 – 10 | Fuertes o fuertes y muy fuertes | 8 – 16 | Quebradas o suavemente quebradas y quebradas |
| D | 10-20 | Moderadamente escarpadas | 16 – 30 | Onduladas |
| E | 20-45 | Escarpadas | 30 – 65 | Escarpadas |
| F | > 45 | Muy escarpadas | > 65 | Muy escarpadas |

TABLA 15. UNIDADES DE SUELOS, PENDIENTES SIMPLES Y PENDIENTES COMPLEJAS.[11]

| PENDIENTE DE LA CUENCA | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Método de las cuadrículas | | | | | |
| PUNTO | COTA PUNTO | PENDIENTE PARCIAL | | PENDIENTE PROMEDIO | |
| | | DECIMAL | PORCENTAJE | DECIMAL | PORCENTAJE |
| A3 | 3111.946 | 0.167 | 16.74% | 0.215 | 21.53% |
| A4 | 3106.105 | 0.128 | 12.80% | | |
| A6 | 3153.387 | 0.057 | 5.72% | | |
| A7 | 3147.482 | 0.245 | 24.47% | | |
| A8 | 3154.792 | 0.501 | 50.13% | | |
| A9 | 3219.227 | 0.256 | 25.60% | | |
| B3 | 3067.168 | 0.111 | 11.08% | | |
| B4 | 3102.700 | 0.148 | 14.84% | | |
| B5 | 3039.208 | 0.257 | 25.71% | | |
| B6 | 3029.064 | 0.670 | 67.02% | | |
| B7 | 3033.188 | 0.259 | 25.90% | | |
| B8 | 3094.895 | 0.310 | 30.96% | | |
| B9 | 3179.382 | 0.343 | 34.30% | | |
| C3 | 3030.325 | 0.189 | 18.88% | | |
| C4 | 2998.268 | 0.293 | 29.25% | | |
| C5 | 2951.672 | 0.166 | 16.59% | | |
| C6 | 2969.533 | 0.153 | 15.33% | | |
| C7 | 3076.072 | 0.267 | 26.67% | | |
| C8 | 3157.160 | 0.175 | 17.55% | | |
| C9 | 3260.885 | 0.130 | 13.02% | | |

[11] Tomado de Pagina web: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN_d0M3A09vS1ezQGcjo-BAQ6B8JJK8u1ugK1A-1CjM39vDyMDTlIDucJB9uPU7GuGXB5kPkjfAARwN9P088nNT9QtyIwwyA9IVAXhBZ68!/dl3/d3/L0lDU0lKSWdra2trIS9JSFJBQUlpQ2dBek15cXhtLzRCRWo4bzBGbEdpdC1iWHV3RUEhLzdfQUlHT0JCMUEwT1ZSNTBJVTQ0OFBFNDMwOTYvc2EuQWN0aW9uU2VhcmNo/, LA PENDIENTE COMPLEJA ATRIBUTO DEL TERRITORIO.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| D3 | 3039.136 | 0.318 | 31.79% | | |
| D4 | 2950.000 | 0.000 | 0.00% | | |
| D5 | 2987.429 | 0.174 | 17.45% | | |
| D6 | 3050.000 | 0.000 | 0.00% | | |
| D7 | 3103.446 | 0.125 | 12.53% | | |
| D8 | 3179.609 | 0.251 | 25.12% | | |
| E1 | 2930.681 | 0.572 | 57.24% | | |
| E2 | 3000.000 | 0.000 | 0.00% | | |
| E3 | 2937.329 | 0.309 | 30.88% | | |
| E4 | 2919.141 | 0.501 | 50.09% | | |
| E5 | 2980.383 | 0.143 | 14.30% | | |
| E6 | 3052.595 | 0.154 | 15.43% | | |
| E7 | 3113.271 | 0.193 | 19.26% | | |
| E8 | 3228.489 | 0.181 | 18.10% | | |
| E9 | 3254.606 | 0.189 | 18.92% | | |
| F1 | 2879.465 | 0.162 | 16.20% | | |
| F2 | 2934.974 | 0.238 | 23.82% | | |
| F3 | 2869.275 | 0.212 | 21.17% | | |
| F4 | 2965.309 | 0.089 | 8.91% | | |
| F5 | 3004.386 | 0.140 | 13.99% | | |
| F6 | 3060.793 | 0.450 | 45.00% | | |
| F7 | 3178.131 | 0.793 | 79.29% | | |
| F8 | 3248.761 | 0.236 | 23.60% | | |
| F9 | 3300.000 | 0.000 | 0.00% | | |
| G1 | 2762.614 | 0.205 | 20.49% | | |
| G2 | 2786.986 | 0.085 | 8.46% | | |
| G3 | 2861.034 | 0.121 | 12.15% | | |
| G4 | 2916.821 | 0.216 | 21.61% | | |
| G5 | 2989.246 | 0.152 | 15.21% | | |
| G6 | 3110.857 | 0.301 | 30.13% | | |
| G7 | 3205.744 | 0.121 | 12.13% | | |
| G8 | 3251.628 | 0.099 | 9.88% | | |
| H1 | 2781.714 | 0.185 | 18.47% | | |
| H2 | 2851.741 | 0.092 | 9.19% | | |
| H3 | 2880.471 | 0.122 | 12.21% | | |
| H4 | 2927.570 | 0.287 | 28.68% | | |
| H5 | 2992.705 | 0.136 | 13.63% | | |
| H6 | 3087.967 | 0.106 | 10.60% | | |

TABLA 16. TABLA DE PENDIENTES POR PUNTOS DE INTERSECCIÓN

En al desarrollo de este método se obtuvo un cálculo para un total de 58 pendientes, para lo cual con dichos datos se realizó la tabla de frecuencias; tabla que se muestra a continuación:

Para el cálculo de los datos contenidos en la tabla es necesario conocer parámetros como:

- Numero de datos (n)
- Tamaño del Intervalo (C)
- Numero de Intervalos de Clase (K)
- Rango de la Muestra (R)

$$K = 1 + 3.3\ Log\ (n) \Longrightarrow \quad K = 1 + 3.3\ Log\ (58)$$

$$K = 6.8193$$

$$R = Mayor - Menor \Longrightarrow \ R = Mayor - Menor$$

$$R = \ 0.79$$

$$C = \frac{R}{K} \Longrightarrow \ C = \frac{0.79}{6.8193} \Longrightarrow \quad C = 0.1158$$

| FRECUENCIAS DE LAS PENDIENTES OBTENIDAS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PENDIENTE** | | **N° OCURRENCIA** | **%** | **% ACUMULADO** | **PENDIENTE MEDIA DEL INTERVALO** | **# OCURRENCIAS x PENDIENTE MEDIA** |
| **0** | **0.114** | 13 | 22.414 | 100 | 0.057 | 0.741 |
| **0.115** | **0.229** | 24 | 41.379 | 77.586 | 0.115 | 2.748 |
| **0.23** | **0.344** | 15 | 25.862 | 36.207 | 0.172 | 2.580 |
| **0.345** | **0.459** | 1 | 1.724 | 10.345 | 0.230 | 0.230 |
| **0.46** | **0.574** | 3 | 5.172 | 8.621 | 0.287 | 0.861 |
| **0.575** | **0.689** | 1 | 1.724 | 3.448 | 0.345 | 0.345 |
| **0.69** | **0.804** | 1 | 1.724 | 1.724 | 0.402 | 0.402 |
| **TOTAL** | | 58 | 100.000 | 0.000 | 0 | 7.906 |

TABLA 17. FRECUENCIAS DE LAS PENDIENTES OBTENIDAS.

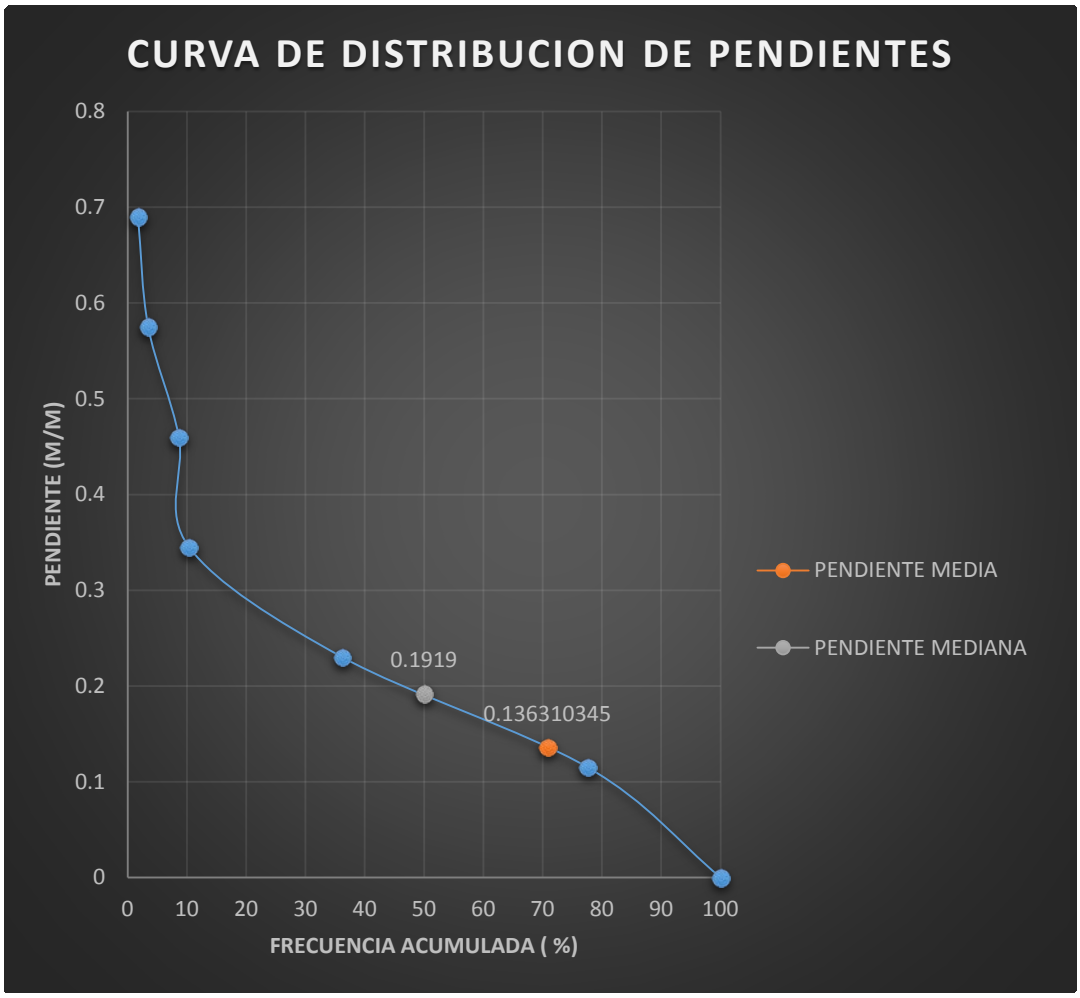



FIGURA 6. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES.

Dada la gráfica (ver figura 5) con la distribución de pendientes, usando formulas estadísticas y cálculos relacionados se halla la pendiente media que equivale al 50% de la frecuencia acumulada y teniendo esto el resultado obtenido es igual a **0.1363 m/m.**

Ahora bien, tomando de igual manera como referencia la gráfica, y mediante cálculos estadísticos se halló la mediana, con la cual se obtuvo un dato igual a **0.1919 m/m.**

- Método de la pendiente ponderada: Mediante este método se arroja un resultado de 7.787% que basados en los rangos de pendientes propuestos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC también indica que el terreno es ligeramente escarpado

b) Pendiente de la corriente principal:

| PENDIENTE CORRIENTE PRINCIPAL | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **COTAS INTERVALO DE CLASE (msnm)** | | **DIF DE COTAS (m)** | **DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE COTAS (m) Li*** | **DISTANCIA INCLINADA ENTRE COTAS (m) Li**** | **DISTANCIA INCLINADA ACUMULADA (m)** | **PENDIENTE POR SEGMENTO Si** | **Si ^1/2** | **Li**/Si^1/2** |
| 2800 | 2850 | 50 | 326.6648 | 330.7006 | 330.7006 | 0.1530621 | 0.39123152 | 845.281084 |
| 2850 | 2900 | 50 | 833.5048 | 834.6058 | 1165.3064 | 0.05998766 | 0.24492378 | 3407.61443 |
| 2900 | 2950 | 50 | 732.6154 | 733.4414 | 1898.7478 | 0.06824863 | 0.26124439 | 2807.49144 |
| 2950 | 3000 | 50 | 737.5018 | 740.073 | 2638.8208 | 0.06779644 | 0.2603775 | 2842.30776 |
| 3000 | 3050 | 50 | 434.9766 | 437.8409 | 3076.6617 | 0.11494871 | 0.33904087 | 1291.41038 |
| 3050 | 3100 | 50 | 323.5251 | 327.366 | 3404.0277 | 0.15454751 | 0.39312532 | 832.726834 |
| 3100 | 3150 | 50 | 313.0206 | 316.9888 | 3721.0165 | 0.1597339 | 0.39966723 | 793.131823 |
| 3150 | 3200 | 50 | 114.291 | 124.750 | 3845.7663 | 0.43747824 | 0.66142138 | 188.608661 |
| TOTAL | | | 3816.1005 | 3845.7663 | | | | 13008.5724 |

TABLA 18. PENDIENTE CORRIENTE PRINCIPAL

| **P. MEDIA S1** | |
|---|---|
| S1=h1-ho/L1-Lo | |
| S1= | 9.554% |

TABLA 19. PENDIENTE MEDIA S1

| **P.MEDIA PONDERADA S2** | |
|---|---|
| S2=h2-ho/L1-Lo | |
| Area bajo la curva m2 (Autocad) | 682413.755 |
| h2= | 325.994351 |
| S2= | 7.787% |

TABLA 20. PENDIENTE MEDIA PONDERADA S2

| **P. EQUIVALENTE CONSTANTE** | |
|---|---|
| S3=(∑li/∑(li/Si^1/2))^2 | |
| S3= | 0.08739901 |

TABLA 21. PENDIENTE EQUIVALENTE CONSTANTE

La velocidad de flujo es media, por ser una pendiente medianamente pronunciada este sector tiene aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, debido a la turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte.

### c) Rectángulo equivalente:

Se construyó un rectángulo equivalente de área igual a la de la cuenca, tal que el lado menor sea al lado menor y el lado mayor L. Las curvas de nivel se representan por rectas paralelas al lado más pequeño del rectángulo, y las distancias entre las curvas de nivel se establecen de acuerdo con los porcentajes de área por encima de las diferentes curvas de nivel, que se muestran en el siguiente cuadro:

| RECTANGULO EQUIVALENTE | | | |
|---|---|---|---|
| COTAS INTERVALO DE CLASE (msnm) | | **AREA ACUMULADA DE HOYA HIDROGRAFICA (Km2)** | **LONGITUDES ACUMULADAS DEL RECTANGULO EQUIVALENTE** |
| 3200 | 3150 | 0.398 | 0.298 |
| 3150 | 3100 | 1.0791 | 0.784 |
| 3100 | 3050 | 1.8394 | 1.337 |
| 3050 | 3000 | 3.1105 | 2.261 |
| 3000 | 2950 | 4.3092 | 3.132 |
| 2950 | 2900 | 5.277 | 3.836 |
| 2900 | 2850 | 6.2549 | 4.546 |
| 2850 | 2800 | 6.9016 | 5.016 |

TABLA 22. DATOS RECTÁNGULO EQUIVALENTE

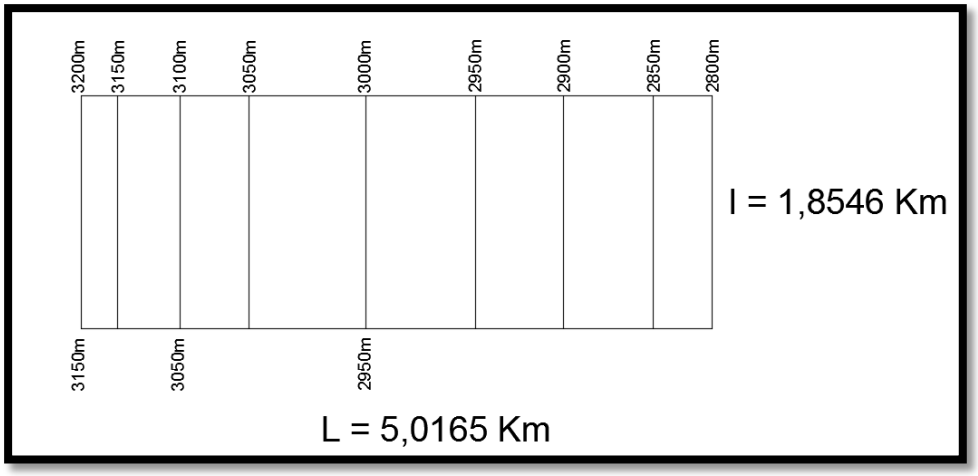



FIGURA 7. RECTÁNGULO EQUIVALENTE

### 3.5.4 Morfometría de la red de drenaje

s) **Densidad de drenaje (Dd):**

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \Longrightarrow Dd = \frac{9.7223\ Km}{9.3036\ Km2} \Longrightarrow Dd = 1.045\ Km/Km2$$

Luego de medir la longitud de cada drenaje de la cuenca la relación de la longitud de los ríos con la superficie de la cuenca es de **1.045 Km/Km2**, lo que indica una red de drenaje importante, ya que a mayor densidad de escurrimientos, mayor estructuración de la red fluvial, también demuestra que existe mayor potencial de erosión.

Para las unidades citadas, se han encontrado valores mínimos de Dd del orden de 7, valores promedios en el rango de 20 a 40 y valores máximos del orden de 400. Valores bajos de Dd, por lo común, están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables, y de bajo relieve. Valores altos son encontrados en regiones de suelos impermeables, con poca vegetación, de relieve montañoso. Los patrones de drenaje también son fuente importante de información sobre la cuenca.

t) **Orden de la cuenca:** Este Ítem refleja el grado de ramificación o bifurcación que presenta el objeto de estudio, para este caso el sector de cuenca que alberga la Quebrada Canoas; Para el caso de estudio en particular se observa que la clasificación ubica el sector como una cuenca de corrientes de orden siete (3), gráficamente se puede observar en la Imagen 8.

Al encontrarse un orden de cuenca siete (3), dicha cuenca se clasifica como una clase de orden medio (véase tabla 10), sin embargo en la tabla correspondiente a los rangos este valor sale de la numeración y clasificación, pero al ser un valor no muy lejano a seis (4), logra alcanzar la característica de clasificación, así se confirma que la cuenca posee una buena estructura de drenaje y que está en una fase de equilibrio. (Ver anexo 4. Plano Orden de la Corriente Sector Quebrada Canoas).

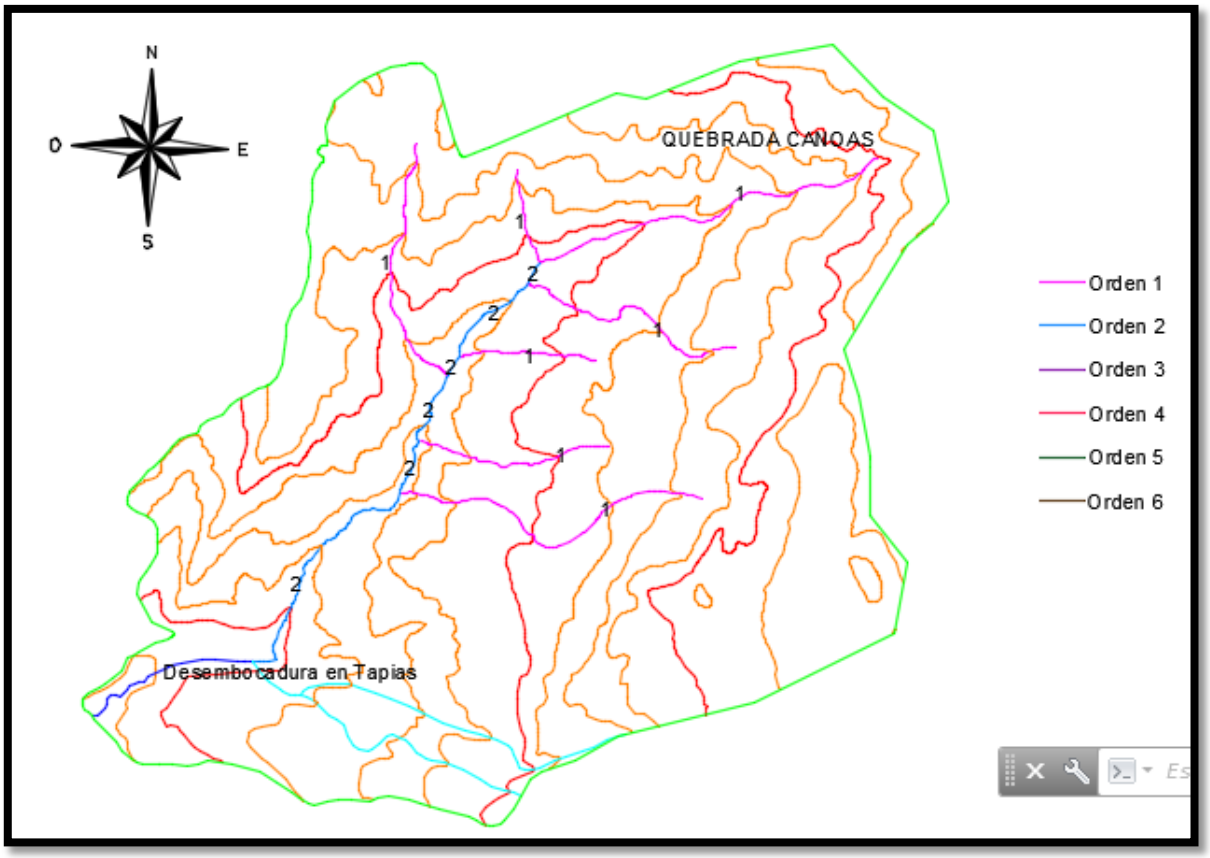



IMAGEN 8. DIAGRAMA DE ORDEN DE CORRIENTE

## 3.6 CALCULO DEL CAUDAL QUEBRADA CANOAS

### 3.6.1 Método Racional de cálculo de caudal para Q. Canoas

El cálculo del caudal, bajo este método proporciona una idea clara del comportamiento de la quebrada respecto a la evaluación de precipitaciones presentes a lo largo de diversos tiempos, es además, este parámetro es mayormente usado para el cálculo en cuencas de áreas menores a 10 Km2; dado que la cuenta que alberga a la quebrada Canoas posee un área menos a 10 km2, este método se hace practico y conveniente. La descarga máxima o el caudal de creciente según esta metodología se obtienen a partir de la fórmula:

$$Q = 0.278 * CIA$$

El coeficiente de escorrentía (C), se obtiene a razón de la pendiente de la cuenca, respecto a la cobertura vegetal y tipo de suelo presente, para lo cual y bajo la pendiente igual a 22%, el valor obtenido para el C es de 0.50 (vér tabla 11).

Ahora bien la intensidad de precipitación máxima horaria (I) está dada por los valores registrados a lo largo del año (ver figura 2), sin embargo, para tener dos valores comparativos y determinar el valor máximo del caudal se realiza, un caudal basado en la intensidad promedio, y posteriormente el cálculo basado en la intensidad máxima, para ello se requiere la evaluación de dichos valores, presente a continuación:

| PROMEDIO DE PRECIPITACION | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **MES** | PRECIPITACION (mm/mes) | PROMEDIO MENSUAL | PROMEDIO DIARIO | PROMEDIO HORA |
| **ENERO** | 24 | 82.58 | 2.75 | 0.11 |
| **FEBRERO** | 32 | | | |
| **MARZO** | 60 | | | |
| **ABRIL** | 122 | | | |
| **MAYO** | 121 | | | |
| **JUNIO** | 103 | | | |
| **JULIO** | 92 | | | |
| **AGOSTO** | 85 | | | |
| **SEPTIEMBRE** | 80 | | | |
| **OCTUBRE** | 125 | | | |
| **NOVIEMBRE** | 100 | | | |
| **DICIEMBRE** | 47 | | | |

TABLA 23. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN.

Sin embargo, la intensidad es un parámetro que se obtiene aplicando las curvas de IDF (intensidad, duración, frecuencia), que como base teórica se tomó la gráfica propuesta por Diana Molano [12], (ver figura 7).

Ahora bien para un Tc (tiempo de concentración) de 30.3737 minutos y usando las curvas IDF mencionadas anteriormente tenemos la siguiente información para valores de intensidad (I) en mm/ Hora.

Evaluando los parámetros de retorno se tiene:

| TIEMPO DE CONCENTRACION (min) | TIEMPO DE RETORNO (años) | INTENSIDAD APROXIMADA (mm/hora) |
|---|---|---|
| **30.3737** | 100 | 52 |
| | 50 | 45 |
| | 25 | 39 |
| | 10 | 31 |
| | 5 | 25 |
| | 3 | 19 |

TABLA 24. INTENSIDAD RESPECTO AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Teniendo en cuenta lo anterior y aplicando la fórmula del método racional para el cálculo del caudal, se obtiene:

$$Q = 0.278 * CIA$$

| TIEMPO DE RETORNO (años) | Q CAUDAL (m3/s) |
|---|---|
| 100 | 67.2464 |
| 50 | 58.1940 |
| 25 | 50.4348 |
| 10 | 40.0892 |
| 5 | 32.3300 |
| 3 | 24.5708 |

TABLA 25. RESULTADOS CAUDALES MÉTODO RACIONAL

[12] CONCENTRACION Y ANALISIS DE CURVAS IDF (INTENSIDAD, DURACION, FRECUENCIA) EN DOS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS DE LOS MUNICIPIOS DE ALMEIDA Y AQUITANIA, UBICADOS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, Monografia, Proyecto de grado tecnología en construcciones civiles, Universidad Distrital, Molano Leon, Diana M, 2014.

### 3.6.2 Método Racional Modificado del cálculo de caudal para Q. Canoas

Propuesto para cuencas de drenaje natural con áreas menores a 770 Km2, parámetro que es cumplido por la cuenca en estudio, y para tiempos de concentración (Tc) con valores entre 0.25 y 0.24, este método propone el uso de la siguiente formula:

$$Q = CIAK$$

Las fórmulas que definen los factores de la formula general, son los siguientes:

a) Tiempo de concentración (Tc):

$$Tc = 0.02 * Lm^{0.77} * {S_1}^{-0.385}$$

$$Tc = 0.02 * 4186.7\ \mathrm{m}^{0.77} * 0.09554^{-0.385}$$

$$Tc = 30.3737\ min$$

b) Coeficiente de Uniformidad (K):

$$K = 1 - (\frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25}+14}) \implies K = 1 + (\frac{30.3737^{1.25}}{30.3737^{1.25}+14})$$

$$K = 0.1663$$

c) Coeficiente de simultaneidad o factor reductor ($K_A$)

$$K_A = |1 - \left(Log\ \frac{A}{15}\right)| \implies K_A = |1 - \left(Log\ \frac{9303600\ m2}{15}\right)|$$

$$K_A = 4.7926$$

d) Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A * P_d \implies P = 4.7926 * 2.75\ mm/dia$$

$$P = 13.1797\ mm/dia$$

e) Intensidad de Precipitación (I)
Usando la gráfica de curvas IDF (ver tabla 25)

f) Coeficiente de Escorrentía (C) :

$$C = \frac{(P_d - P) * (P_d + 23 * P)}{(P_d + 11P)^2}$$

$$C = \frac{((2.75 - 13.1797) * (2.75 + 23 * 13.1797))mm/dia}{((02.75 + 11 * 13.1797)^2)mm/dia}$$

$$C = 0.51$$

Tomando en cuenta los datos obtenidos con los procedimientos anteriormente ilustrados, se procede a aplicar la fórmula para el cálculo de caudal, mediante el método modificado:

$$Qmod = CIAK$$

$$Qmod = 0.51 * I * 9.3036\ km2 * 0.1663$$

Aplicando la fórmula para los diversos valores de intensidad (ver tabla 24) tenemos:

| INTENSIDAD (mm/hora) | Q mod CAUDAL (m3/s) |
|---|---|
| 52 | 41.0314 |
| 45 | 35.5080 |
| 39 | 30.7736 |
| 31 | 24.4611 |
| 25 | 19.7267 |
| 19 | 14.9923 |

TABLA 26. RESULTADOS CAUDALES MÉTODO RACIONAL MODIFICADO

## 3.7 RESUMEN DE RESULTADOS

| RESUMEN DE RESULTADOS. | | | |
|---|---|---|---|
| **Símbolo** | **Descripción** | **VALOR** | **UN** |
| **B** | Ancho promedio | 2.2222 | km |
| **Ac** | Área cuenca | 9.3036 | Km2 |
| **A** | Área vertiente mayor | 5.9585 | Km2 |
| **a** | Área vertiente menor | 3.3451 | Km2 |
| **Kc** | Coeficiente de compacidad | 1.2615 | Ad |
| **Km** | Coeficiente de masividad | 0.0147 | m/km2 |
| **Dd** | Densidad de drenaje | 1.045 | Km/km2 |
| **Em** | Elevación media de la cuenca | 3045.32 | m |
| **Eme** | Elevación mediana de la cuenca | 3057.765 | m |
| **Kf** | Factor Forma | 0.5308 | Ad |
| **Ia** | Índice de alargamiento | 1.8840 | Ad |
| **Ias** | Índice de asimetría | 1.7813 | Ad |
| **Sn** | Índice de sinuosidad | 1.1420 | Ad |
| **Lcp** | Longitud cauce principal | 4.1867 | km |
| **Lc** | Longitud cuenca | 3.6662 | km |
| **Lm** | Longitud máxima | 4.1867 | km |
| **L+** | Longitud total de las corrientes | 9.7223 | km |
| **S3** | Pendiente equivalente constante | 0.0873 | % |
| **S1** | Pendiente media | 9.554 | % |
| **S2** | Pendiente media ponderada | 7.787 | % |
| **S** | Pendientes de la hoya | 22 | % |
| **P** | Perímetro | 13.6457 | Km |
| **Tc** | Tiempo de concentración | 30.3737 | min |
| **Q** | Caudal método racional | Tabla 25 | M3/s |
| **Qmod** | Caudal Método Racional Modificado | Tabla 26 | M3/s |

TABLA 27. RESUMEN DE RESULTADOS.

# 4 ANALISIS DE RESULTADOS

Basados en los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de la investigación y estudio de la cuenca y sus características, además, del análisis de la quebrada Canoas perteneciente a la cuenca en mención, se pueden inferir el siguiente análisis:

Al hallarse un área de 9.3036 Km2, valor obtenido mediante el uso de AutoCAD, se determinó que este tamaño clasifica a la cuenca como un sector, característica que indica que la cuenca se encuentra en un rango de 5 a 20 km2 según la tabla 1, dispuesta en este apartado.

Por otro lado como parte del estudio y análisis de la cuenca (sector), se hizo necesario el cálculo de diversos índices, definidos como parámetros de clasificación y evaluación de forma de la misma, que permitieron así estimar la caracterización; El índice de compacidad obtenido es de 1.2615 lo que permite determinar, según los parámetros mencionados anteriormente. Que se trata de una cuenca de formal oval redonda a oval oblonga, teniendo poca tendencia a crecientes o concentración de altos volúmenes de agua de escorrentía.

El factor de forma obtenido es de 0.5308, que clasifica este sector de cuenca de acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente, como una cuenca moderadamente achatada de baja susceptibilidad a las crecientes rápidas y muy intensas; El índice de alargamiento para el caso del sector de cuenca que alberga la Quebrada Canoas es de 1.8840 indica que se trata de un sector con una quebrada moderadamente alargada debido a que la longitud máxima es mayor al ancho máximo (>1); El cálculo del índice asimétrico hallado es de 1.7813, como se trata de un valor superior a uno (1) y de acuerdo a las áreas de las vertientes derecha e izquierda calculadas anteriormente del sector, indica que la corriente principal esta recargada hacia la vertiente derecha. Por lo tanto se puede afirmar que los volúmenes de escorrentía de esta parte son mayores.

Ahora bien, Para conocer el sistema de drenaje del sector se obtuvieron las características a partir del rio principal y sus tributarios (brazos), tales características son: Las corrientes del sector que alberga la quebrada Canoas, refleja un grado de bifurcación (orden de la cuenca) de orden siete (7), es decir, cuenta con cantidad de ramificaciones tributarias significativas; El valor de la densidad del drenaje ($Dd$) es de 1.045 km/km$^2$; lo que determina que se trata de una cuenca que genera moderados volúmenes de escurrimientos con descensos medianamente veloces y buena capacidad de drenaje; La sinuosidad da una medida de la velocidad de la escorrentía del agua; para el caso del sector de Canoas se obtuvo una sinuosidad de 1.1420, lo que permite establecer una clasificación de índole alto, alta sinuosidad que a su vez obedece el parámetro de un rio con lineamiento curvo.

Para dar a conocer la característica topográfica del terreno del sector se usa el método de la cuadriculas asociadas a un vector, obteniendo una pendiente media

de 0.1363, que corresponde a su vez a un valor altimétrico de 3057.765m, característica que define un terreno ligeramente escarpado, además, de presentar una serie de espacios montañosos que para la cuenca son provechosos dado que alimentan el cauce principal con las aguas de escorrentía que en el terreno se albergan y se trasladan a la Quebrada Canoas, alimentando el cauce del mismo.

Para los parámetros de flujo de las corrientes presentes en la cuenca se hace necesario el uso del método de pendientes de cauce principal, para el cual se obtuvieron valores de pendientes iguales a: para pendiente media, 9.554%; pendiente media ponderada, 7.787%, y finalmente una pendiente equivalente constante de 0.0874, los anteriores valores demuestran el comportamiento de los flujos de las corrientes de agua albergadas por la cuenca y que alimentan el cauce principal, dicho análisis refleja que el flujo presenta una velocidad media , por ser una pendiente medianamente pronunciada este sector tiene aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, debido a la turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte, evitando la acumulación de sedimentos y por ende la acumulación de los mismos, y el colapso del cauce.

Tomando en cuenta lo anterior, se hace necesaria la evaluación del caudal que posee la quebrada, respecto a las precipitaciones que se presentan a lo largo del año, y sujetos a los valores estadísticos del mencionado parámetro; El IDEAM postula la gráfica de precipitaciones anuales para el municipio de Boyacá, grafica desde la cual se estiman los valores de precipitación mensual y posteriormente se evalúa la precipitación promedio mensual, obteniendo un valor de: 82.58 mm/mes, que al ser convertido a horas se obtuvo: 0.11 mm/hora; sin embargo, el cálculo de la intensidad se toma bajo el efecto de la aplicación de la gráfica de curvas IDF (intensidad, duración, frecuencia), que permiten establecer un listado de caudales respecto al tiempo de retorno que se presente, este valor se opera en la formula y se halla el caudal para una intensidad dada el caudal calculado Q toma valores desde 52m3/s, hasta 19 m3/s, un registro moderado, que indica el comportamiento del caudal respecto el tiempo de retorno que este tenga. Ahora bien para el cálculo mediante el método racional modificado, se operaron las formulas descritas para hallar los diferentes coeficientes y al de igual forma para la intensidad se tomó como parámetro la gráfica de curvas IDF, obteniendo así valores para caudal modificado Qmod, menores, oscilando entre 41m3/s y 14m3/s concentración y precipitación máxima corregida dar un valor de caudal de diseño, un valor aproximado que permita evaluar una crecida inesperada, y mediante el cual se puedan generar acciones de control, dicho caudal (caudal de diseño); dadas las circunstancias de la zona y los resultados obtenidos, se define entonces que es poco susceptible a crecidas súbitas y por ende con menor riesgo de posibles inundaciones.

# 5 CONCLUSIONES

Las formas de las cuencas están directamente relacionadas a las características y factores topográficos y geológicos definidos por los aspectos propios de cada región, para Colombia particularmente cuya topografía es variada y seccionada la diversidad clases y formas en cuencas hidrográficas es amplia.

El estudio de las características físicas de la cuenca que alberga a la quebrada Canoas es de gran importancia, puesto que provee una información amplia de su forma y comportamiento, sujeto a diversos parámetros y factores que pueden interferir en su desarrollo natural y a su vez en la relación de esta con la zona adyacente, llámese rural o urbana; Análisis como el establecido para el Sector Canoas representan un avance y proponen un punto de inicio para futuros estudios hidráulicos que se hagan necesarios; el poder establecer relaciones y comparaciones de las características morfométricas con datos hidrológicos conocidos, permitiría indirectamente determinar valores y parámetros hidrológicos en regiones aledañas de interés práctico y/o teórico en donde la información sea escasa o nula, lo anterior por circunstancias económicas, políticas, fisiográficas o de seguridad o por la dificultad de acceso e implementación de equipos para el análisis de su comportamiento.

Pese a que la extensión en área de la cuenca no representa un valor muy alto y se determinó que es un sector, dispuesto por uno de los rangos de clasificación más bajo, el análisis y cálculo de la caracterización morfometrica no se vio afectado en ningún momento por ello, por el contrario se llevó a cabo un proceso adecuado que arrojó datos verídicos y una evaluación completa.

Por otro lado, para el cálculo de caudal se tomó como referencia la precipitación dada para el departamento de Boyacá, información que arrojó valores promedio y posteriormente un valor máximo de caudal, el cual se toma como el valor más alto que alcanzara la quebrada Canoas bajo circunstancias normales; el caudal obtenido no es muy alto, puesto que la quebrada no presenta una extensión mayor ni un cauce significativo, sin embargo, el cálculo del caudal de diseño, que para el caso de este estudio puede no ser un parámetro relevante a la hora de un juicio comparativo con otros datos de la región, se hace importante, dado que representa un valor superior al caudal máximo, lo cual indica que cualquier análisis o diseño que se pretenda establecer, deberá tomar como línea base dicho cálculo, y así se tendrán en cuenta posibles crecidas súbitas o aumentos en el cauce u caudal respecto a fenómenos naturales conocidos pero inesperados.

La situación actual que vive el país, en cuando a fenómenos naturales, para el caso particular el fenómeno del niño, puede llevar a que cuencas hidrográficas, al igual que cuerpos de agua de menor tamaño desaparezcan, o se vean reducidos, lo cual implicaría un cambio en el ecosistema y diversas perdidas, ahora bien, un fenómeno como este, es seguido por un fenómeno de acción contrario lo que puede llevar a que los cuerpos de agua aumenten su tamaño generando complicaciones y

emergencias en zonas adyacentes a estos, y es aquí en donde una investigación y estudio como el presente en este apartado, al igual que muchos otros de la misma índole, servirán como parámetros de control y acción para evitar algún tipo de emergencia.

Los valores de Caudal obtenidos reflejan valores altos, dada la extensión de la quebrada y el área misma de la cuenca, lo cual se debe al uso de la formula y el método referidos en este apartado; para ello los investigadores recomiendan el uso de otro método o una alternativa formulada que indique valores más exactos contemplando la longitud de la quebrada y los valores de precipitación adecuados y evaluados según el idean y las entidades competentes para el departamento o lugar de evaluación, lo anterior con el fin de evitar sobreestimaciones de valores y resultados limitando las construcciones y previniendo posibles análisis mal desarrollados y por ende construcciones sobrevaloradas.

# 6 BIBLIOGRAFÍA


- ACEVEDO, Latorre Eduardo, Panorama Geoeconomico del Departamento de Boyacá, en anales de economía y estadística, tercera época, N°7, Oct-Dic 1952, p.24.

- AGUA Y SIG, “Analisis morfométrico de una cuenca”, (En línea) (13 de Agosto de 2015) disponible en: http://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html

- Análisis Morfométrico de una cuenca, (En línea) (15 de Agosto 2015) disponible en: (http://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html )

- Confederaciones Hidrográficas. (En línea) (11 de Agosto 2015) disponible en : (http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/funciones-estructura/organizacion-organismos/organismos-publicos/confederaciones-hidrograficas/default.aspx)

- DELGADILLO SANTANDER, Alejandro y MORENO BARRIOS, Ada “Hidrología, morfometría de cuencas”, (En línea) (18 de Anero 2015) disponible en: (http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf )

- ERASO Ángel, “estudio morfométrico de las cuencas de los ríos, butrón, oca, lea y artibai (bizkaia)”, (En línea) (18 de Agosto 2015) disponible en: (http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur06/06eraso/06easo.htm)

- GASPARI , Fernanda J. RODRÍGUEZ VAGARÍA, Alfonso M. SENISTERRA, Gabriela E. DENEGRI, Gerardo. DELGADO, Isabel. BESTEIRO. Sebastián. Caracterización Morfométrica De La Cuenca Alta Del Río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires. 158 p. (En línea) (18 de Agosto 2015) disponible en: (http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/25777/Documento_completo.pdf?sequence=1)

- GOBERNACION DE BOYACA – BOYACA, “Hidrografia Boyacense”, (En línea) (17 de agosto 2015) disponible en: (http://www.boyaca.gov.co/mi-boyac%C3%A1/hidrografia-boyacense, actualizado el Jueves, 21 Junio 2012 15:38)

- GONZÁLEZ DE MATAUCO, Askoa Ibisate. Análisis Morfométrico De La Cuenca Y De La Red De Drenaje Del Río Zadorra Y Sus Afluentes

Aplicado A La Peligrosidad De Crecidas. Pamplona. 329p. (En línea) (18 de agosto 2015) disponible en : (http://www.boletinage.com/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf

- IDEAM, Instituto de Meteorologíay estudios ambientales de Colombia – Estudio Nacional del Agua, ENA. Bogotá, Colombia, 2011 – Articulo, “Colombia: uno de los más ricos en recursos hídricos”- Periodico el Universal, Colprensa, 8 de Junio de 2011.

- MINISTERIO DE AMBIENTE, “Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas” POMCAS, (En línea) ( de Agosto de 2015) disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAs/2._ANEXO_A._Diagn%C3%B3stico.pdf

- MONSALVE SÁENZ, Hugo. Hidrología en la Ingeniería. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. 382 p.

- M.Sc MALDONADO M Julio Isaac *, Ing. Profesor Asistente; Ing. Adriana Cristina Martínez G. y Ing. Franky F. Matajira S- Revista ambientalagua, aire y suelo- elaboración curvas idf estaciones: cinera villa olga y santa isabel - municipio de cúcuta –colombia- issn 1900 - 9178 volumen 2 número 2 – 2007