

ANÁLISIS DE RIESGO HIDROGRÁFICO POR CRECIDAS EN LA
DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA CAY

Presentado por:

Harol Eduardo Cruz Torres

Lesli Norieth Cheng Lugo

Universidad de Ibagué
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Ibagué – Tolima
2019

ANÁLISIS DE RIESGO HIDROGRÁFICO POR CRECIDAS EN LA
DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA CAY

Director:

Jorge Armando Hernández López
Docente

Universidad de Ibagué
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Ibagué – Tolima
2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado.

Nombre del Jurado.

Nombre del Jurado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de los estudiantes, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaremos y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos que requirieron de un gran compromiso y voluntad.

A Dios principalmente por darnos la vida, por guiarnos por el camino correcto, por darnos la sabiduría, inteligencia y entendimiento para afrontar todos los obstáculos que se presentan en el diario vivir y por permitirnos culminar nuestra carrera profesional.

A nuestro tutor, el Ingeniero Forestal Jorge Armando Hernández López, por creer en nosotros, por su entrega, sacrificio, acompañamiento y paciencia para con nosotros durante el desarrollo de nuestro trabajo de grado, ya que sin su gran labor no hubiera sido posible la finalización de esta monografía. Gracias por habernos ayudado con la oportunidad e idea de trabajar esta área de la ingeniería, por inculcarnos la dedicación y persistencia, por la gran motivación que nos brindó durante nuestro proceso de formación, demostrándonos que también es necesario crecer como personas.

A nuestros padres y familiares que nos brindaron un apoyo incondicional durante todos estos años de formación académica, que con sus esfuerzos y perseverancia, hoy logramos superar un peldaño más de esa larga escalera, la cual seguiremos escalando hasta llegar a lo más alto y así hacerles sentir ese gran orgullo de padres, porque son la razón de ser de cada uno de nuestros esfuerzos para lograr en el futuro un mayor bienestar y quienes son los que nos motivan y brindan la fortaleza necesaria para seguir alcanzando nuevas metas.

A todas aquellas personas que hicieron posible la realización de este trabajo, nuestros amigos Nicolás Suarez y Oscar Peña, por brindarnos su compañía, su apoyo, su amistad para poder realizar aspectos de vital importancia para el análisis del proyecto.

DEDICATORIA

Lesli Norieth Cheng Lugo.

Principalmente a Dios y a la virgen por todas sus bendiciones, por acompañarme y permitirme un logro más en mi vida, por poner a las personas correctas en los momentos indicados, por permitirme tener la fortaleza suficiente para continuar en este camino a pesar de las dificultades.

A mi familia, mis padres por apoyarme, por sus consejos, por su motivación para seguir luchando por mis sueños, por inculcarme la perseverancia y la seguridad ante las diferentes decisiones que he tomado en mi vida, por permitirme seguir luchando por mis propósitos para un mejor futuro para todos. A mi hermano que desde el cielo me cuida y es mi motivación para seguir luchando, para no desistir quien me ayuda a tomar fuerzas cada vez que decaigo, porque sé que juntos podremos ayudar a nuestra familia para que permanezca unida y salga adelante, aunque ya no estés físicamente con nosotros. Mi hermana quien a pesar de todos los problemas está ahí, alentándome para seguir adelante, dejándome entender que para bien o mal la familia está ahí, para apoyarnos mutuamente y construir un camino para salir adelante juntos. Mi hija por ser ese gran motor que impulsa mi vida, por robarme una sonrisa cada día, a pesar de la distancia, a pesar de lo difícil que sea el día, alegras mi vida y me ayudas a encontrar la motivación para seguir luchando para darte todo lo mejor.

DEDICATORIA

Harol Eduardo Cruz Torres.

Dedico este trabajo principalmente a Dios, el que me ha dado la vida, la salud y la fortaleza para seguir adelante y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida y de mi formación profesional.

De igual forma, a mis padres que han sido el pilar más importante de mi vida, por bríndame su apoyo, por confiar en mí y por sus motivaciones. A ellos porque han luchado y trabajado fuertemente durante muchos años solo para alcanzar mis sueños y verme triunfar, son las personas que han sabido formarme con sus buenos consejos, sentimientos, hábitos y valores que siempre me han inculcado, lo cual me ayudo a salir adelante y llegar a esta etapa tan importante para mí. A mi hermana, que a pesar de que siempre hemos vivido lejos, ahí ha estado acompañándome, brindándome su apoyo y buenos consejos que me han ayudo para afrontar los retos que se han presentaron a lo largo de mi formación profesional, yo sé que juntos ayudaremos a nuestra familia para que estén bien. A mi tía Virginia y a mi tío camilo que me han dado su confianza, su amor y cariño, quienes me brindaron su apoyo incondicional durante este arduo camino para convertirme en un profesional.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	12
1. JUSTIFICACIÓN.....	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. MARCO TEÓRICO	17
3.1. Cuencas hidrográficas.	17
3.2. Morfometría de una cuenca.....	17
3.2.1. Tiempos de retorno.....	19
3.2.2. Estimación de caudales máximos.....	19
3.2.3. Precipitación.....	21
3.2.4. Método de Isoyetas.....	22
3.3. Modelación hidrológica.....	22
3.3.1. Levantamiento batimétrico.....	22
3.4. Software y Programas.	22
3.4.1. Hec – Ras.	22
3.4.2. ArcGIS.	23
3.4.3. Hec-GeoRAS.....	23
3.5. Evaluación y caracterización de las amenazas	23
3.5.1. Análisis de amenaza	23
3.5.2. Análisis de vulnerabilidad.....	25
3.5.3. Análisis de riesgo	27
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	29
5. METODOLOGÍA	31
5.1. FASE I: Caracterización morfométrica de la microcuenca Cay	32
5.2. FASE II: Modelación hidráulica de la microcuenca.	32

5.3.	FASE III: Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones.....	33
6.	RESULTADOS	34
6.1.	Fase I: Caracterización morfométrica de la microcuenca Cay	34
6.2.	Fase II: Modelación hidráulica de la microcuenca.....	36
6.3.	Fase III: Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo por inundación.	41
7.	CONCLUSIONES	45
8.	RECOMENDACIONES	46
	Bibliografía	47
	ANEXOS.....	53

Contenido de Tablas.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de una cuenca.....	18
Tabla 2. Clasificación de las amenazas según el origen.....	24
Tabla 3. Clasificación de las amenazas	25
Tabla 4. Factores de vulnerabilidad que deben ser analizados.....	25
Tabla 5. Análisis de vulnerabilidad.....	26
Tabla 6. Análisis de riesgo	27
Tabla 7. Variables del riesgo.....	28
Tabla 8. Parámetros morfométricos	34
Tabla 9. Precipitación Máxima (Pd).	38
Tabla 10. Coeficiente de escorrentía.	38
Tabla 11. Caudales Máximos	39
Tabla 12. Caudales máximos por HEC-HMS.	39
Tabla 13. Áreas Inundadas.	39
Tabla 14. Resultados Vulnerabilidad Física.....	41
Tabla 15. Resultados amenaza	42
Tabla 16. Análisis del riesgo.....	43

Contenido de Ilustración.

Ilustración 1. Localización de la microcuenca Cay.....	29
Ilustración 2. Esquema Metodología.....	31
Ilustración 3. Número de Orden microcuenca Cay	35
Ilustración 4. Mapa de pendiente en 3D.....	36
Ilustración 5. Precipitación Media, método Isoyetas	37
Ilustración 6. Mapa modelación de inundación Tr 200 años.....	40
Ilustración 7. Mapa de Riesgo por Crecidas.....	44

RESUMEN

Las actividades antrópicas, las características topográficas del terreno y los cambios climáticos, generan variaciones en las fuentes hídricas lo cual generan problemas sociales, ambientales y económicos en el municipio de Ibagué - Tolima.

En este trabajo se analizaron las características morfométricas de la microcuenca Cay, utilizando el software Arcgis 10.5; Se realizó levantamiento batimétrico de 2 Km aguas arriba de la desembocadura de la quebrada para identificar las cotas de las orillas y las profundidades del cauce, se calcularon los caudales máximos para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, utilizando el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) el cual fue validado con el software HEC-HMS, esta información se procesó en el programa Hec-Ras, el cual realiza la simulación del tránsito de caudales a lo largo del cauce. Por último, utilizando la herramienta Hec-GeoRas se determinaron las zonas de inundación de la microcuenca Cay. Esto con el objetivo de analizar el comportamiento hidrográfico y evaluación del riesgo de inundación, con apoyo de la guía metodológica del riesgo, se logró calificar los parámetros establecidos y determinar el grado de vulnerabilidad de los pobladores aledaños al cauce.

El 60% de la zona de estudio presenta tramos sinuosos, lo que permite que en sus meandros se acumule sedimentos, generando oscilaciones de inundación de 0 a 4 metros, siendo los periodos de retorno de 100 y 200 años los que presentan mayor extensión de área inundable y con llevando con ello a determinar que los pobladores se encuentran a un nivel medio o alto de riesgo ante este fenómeno.

Palabras claves: Caudal, batimetría, cauce, comportamiento hidrográfico

ABSTRACT

Anthropic activities, topographic characteristics of the land and climatic changes, variations in water sources which generate social, environmental and economic problems in the department of Tolima.

In this work the morphometric characteristics of the Cay microbasin will be analyzed, using the Arcgis 10.5 software; Bathymetric survey was carried out 2 km upstream from the mouth of the creek to identify the heights of the banks and the depths of the riverbed, calculate the maximum flows for return periods of 25, 50, 100 and 200 years, using the Method of Soil Conservation Service of the United States (SCS) which was validated with the HEC-HMS software, this information was processed in the Hec-Ras program, which simulates the flow of flows along the riverbed. Finally, using the Hec-GeoRas tool, the flood zones of the Cay microbasin were determined. In order to analyze the hydrographic behavior and the flood risk assessment, with the support of the methodological guide of the risk, the established parameters can be specified and the degree of vulnerability of the residents adjacent to the channel can be determined.

60% of the study area has sinuous sections, which allows sediments to accumulate in its meanders, generating flood oscillations from 0 to 4 meters, with the return periods of 100 and 200 years having the greatest area extension flooding and with problems with it to determine that the inhabitants are at a medium or high level of risk in the face of this phenomenon.

Keywords: *Flow, bathymetry, riverbed, hydrographic behavior, return periods, morphometry.*

INTRODUCCIÓN

La humanidad se encuentra expuesta a un amplio espectro de peligros cuyo origen es principalmente natural, tales como: ciclones, terremotos, inundaciones y sequías, los cuales además de generar un alto grado de mortalidad conlleva una amplia afectación económica, acompañada de múltiples consecuencias sociales y políticas (Benjamin M. A., 2008). Según la base de datos EM-DAT, a nivel mundial las inundaciones se encuentran en el primer lugar entre los 10 mayores desastres en el período comprendido entre los años 1900 y 2012 por el número de personas afectadas y están en el segundo lugar por la cantidad de pérdidas económicas (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-CRED, 2015).

Según Brakenridge, Colombia ocupó el décimo y octavo lugar a nivel mundial por el número de muertos y daños respectivamente generados por este tipo de desastres hidrometeorológicos, entre los cuales se encuentran categorizadas las inundaciones; Las inundaciones pueden ser originadas entre otras causas por el desbordamiento de los cuerpos de agua, por fallas de obras de protección, se caracterizan por el incremento de la lámina de agua (volumen de agua que sale por los márgenes de un cauce), por encima de la cota de la orilla del cauce de aguas bajas (o cauce más frecuente).

El Ministerio de Interior y Justicia en la Ley 1523 de 2012 *“Por el cual se adopta la política nacional de gestión del Riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión de Desastres”*, la cual busca fortalecer el marco legislativo existente en el país, generando integralidad en aspectos como lo son la planeación de las ciudades, el uso de suelos, la reducción de riesgos y la implementación de instrumentos de planificación a largo plazo. De esta manera, se visibiliza la necesidad de fortalecer los procesos de planeación territorial, incorporando al escenario de lo público la pertinencia de reconocer las particularidades de los territorios y convocar a otros actores institucionales en el fortalecimiento de acciones de gestión del riesgo.

Según (Secretaría de Planeación Nacional, 2018) se detectó que, dentro de las 13 ciudades principales de Colombia, Ibagué es la que presenta las condiciones más críticas frente a los altos riesgos de inundaciones, deslizamientos y avalanchas, estudio que se realizó con el fin de alertar a los alcaldes y gobernadores ante la eminente situación y puedan determinar las medidas que deben tomar para mitigar esta situación. El resultado presentado por parte del Departamento Nacional de Planeación deja una nota de preocupación a los mandos regionales, locales, nacionales y en especial a la autoridad ambiental (Alcaldía de Ibagué, 2018)

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente estudio realizado en la microcuenca quebrada Cay, pretende analizar el riesgo hidrográfico en zonas con amenazas de inundación con periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, con el fin de establecer valores de caudales que sobrepasan los taludes del cauce y cuantificar el nivel de vulnerabilidad, amenaza y riesgo que tienen estas familias al vivir en cercanías al cauce, reconociendo los componentes normativos establecidos por el Decreto 1449 de 1997 del Ministerio de Agricultura, las condiciones socioeconómicas y culturales del territorio, a partir de las cuales se han generado practicas organizativas, productivas y habitacionales.

1. JUSTIFICACIÓN

La ubicación geográfica de Colombia en la zona tropical, le permite ser un país con diversidad climática, condicionándolo a afrontar fenómenos influenciados por las condiciones de lluvias e interanuales, entre los cuales se destacan el fenómeno de la niña y el niño (Guzmán, 2014). El afrontamiento de estas situaciones por una parte ha convocado la institucionalidad del país, condicionándolo a la generación de acciones desde la gobernabilidad a partir de las cuales se brinde respuesta a las situaciones de emergencia y gestión del riesgo, apoyada desde la Ley 1523 de 2012. Por otra parte, permite visibilizar las condiciones de gestión del riesgo desde una perspectiva de salud pública, convocando a los diferentes actores institucionales en la participación del reconocimiento de los territorios, entre los cuales se destaca la academia, la cual está llamada a liderar procesos investigativos que garanticen el fortalecimiento de un conocimiento contextual de los territorios y favorezca los procesos de desarrollo de sus comunidades.

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC (IPCC, 2014), las áreas urbanas estarán cada vez más expuestas a las inundaciones y a condiciones climáticas extremas intensificando las situaciones de vulnerabilidad y riesgo. En este contexto, es necesario que las poblaciones dispongan de información de sus territorios, la cual les permita reconocer su grado de vulnerabilidad y participar de la construcción de respuestas.

En el municipio de Ibagué, la vereda Cay es una de las más afectadas frente a las amenazas de inundación latente para sus pobladores, esto debido a topografía presente en la zona, la omisión de estos por el respeto de las rondas hídricas y los altos índices de precipitaciones que se presentan en la zona en épocas de lluvia (CONPES, 2009). Esta situación genera un alto índice de riesgo para los habitantes aledaños al cauce, aspecto que puede y genera consecuencias ambientales, sociales y económicas.

Pese a que en el (POMCA, 2015) se establecen los lineamientos para el uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, para de esta forma poder mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico y la conservación de estos recursos. Los habitantes de la vereda Cay no respetan estos aspectos establecidos ni siquiera el área de producción económica que se le destino, puesto según. este, debido al tipo de suelo presente en la zona, el clima

y otros factores este suelo es posible usar para la producción agroforestal de café, banano, frutales, forestales y en la zona es posible encontrar ganado, explotación minera, diversos cultivos e incluso zonas cercanas al afluente para esparcimiento y recreación.

El presente estudio busca analizar el riesgo hidrográfico por crecidas en la zona, para determinar y analizar las franjas de inundación en periodos de retorno de 100 y 200 años, lo cual permite generar una prevención para la comunidad aledaña y con ello mejorar la gestión que realizan los organismos de socorro para la prevención de desastres, y proponer una valoración de vulnerabilidad incluyendo variables sociales, económicas y ambientales, así como la combinación de la intensidad y probabilidad de ocurrencia para la valoración de la amenaza.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento hidrológico y evaluación del riesgo de inundación por crecidas en zonas de influencia de la Quebrada Cay, a través de un sistema de información geográfico.

2.2. Objetivos específicos

- Modelar hidráulicamente la Quebrada Cay, para analizar el comportamiento de las inundaciones con un periodo de retorno de 100 y 200 años.
- Evaluar la vulnerabilidad física del riesgo por inundaciones en la Quebrada Cay para periodos de retorno de 100 y 200 años en el régimen de crecidas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Cuencas hidrográficas.

Una cuenca hidrográfica es toda el área de terreno que contribuye al flujo de agua en un río o quebrada. También se conoce como el área de captación o área de terreno de donde provienen las aguas de un río, quebrada, lago, laguna, humedal, estuario, embalse, acuífero, manantial o pantano. (Dombeck, 2014)

Las cuencas se dividen en tres sectores, los cuales son el tramo alto, medio y bajo, “se diferencian fácilmente por sus características topográficas, las cuales influyen en los procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos naturales” (Llerena, 2003). Existen cuencas, subcuencas, microcuencas y quebradas, estas se pueden identificar por su tamaño y su esquema de integración.

Con las altas precipitaciones y las actividades antrópicas que se han presentado a lo largo del cauce de la cuenca, está empezando a generar una amenaza para las personas que habitan a sus alrededores, debido a que estos cambios en muchas cuencas hidrográficas están perdiendo la capacidad de regular la escorrentía. En consecuencia, el suelo se ha vuelto más árido en las tierras altas y cerca de las zonas bajas está expuesto a inundaciones estacionales. También ha aumentado el peligro que se produzcan deslizamientos de tierras (FAO, 2017).

3.2. Morfometría de una cuenca.

La morfometría sirve para caracterizar una cuenca hidrográfica, es la que describe la estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones para la explotación de sus recursos naturales, de igual forma se logran identificar problemas presentes. Para caracterizar una cuenca se inicia con la delimitación de esta, la identificación de su forma, tamaño o área, pendientes del cauce y sus drenajes. (Yimmy Montoya Moreno - Boris Montoya Moreno, 2009)

De esta forma, es importante realizar el estudio morfométrico de una cuenca, ya que estos parámetros geomorfológicos (superficie, altitudes, longitud del cauce y pendiente) sirven de base para identificar la vulnerabilidad y tener presentes peligros o desastres.

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control. (Julian Rojo, 2012).

En la Tabla 1 se observa la descripción de los parámetros morfométricos a utilizar en el estudio.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de una cuenca.

Parámetro	Ecuación	Valores
Aspectos Lineales Del Sistema De Cauces		
Nº. De Ordenes		Longitudes de cauces
Relación de bifurcación	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	n_i = Número total de cauces de orden i n_{i+1} = Número total de cauces de orden i + 1
Relación de longitud	$Rl = \frac{L_i}{L_{i-1}}$	L_i = Longitud promedio de todas los cauces de orden i L_{i+1} = Longitud promedio de todos los cauces de orden i – 1
Densidad de Drenaje	$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$	$\sum L_i$ = Suma de las longitud de los drenajes A = Área de la cuenca
Índice de Torrencialidad	$C = \frac{A}{\sum L_i}$	n_1 = Número de corrientes de primer orden A = Área de la cuenca Km ²
Sinuosidad de las corrientes de agua	$S = \frac{L}{L_t}$	L = Longitud del cauce principal de la cuenca L_s = Longitud del valle del cauce principal
Aspectos del Área de las Cuencas Hidrográficas		
Índice de Compacidad o Índice de Gravelius	$K_c = 0.28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$	P = Perímetro de la cuenca A = Área de la cuenca
Factor de forma	$F = \frac{A}{L_m^2}$	A = Área de la cuenca Lm= Longitud de máximo recorrido
Índice de Alargamiento	$I_a = \frac{L_m}{l}$	Lm = Longitud máxima l = Ancho máximo
Aspectos Lineales Del Sistema De Cauces		
Índice Asimétrico	$I_{as} = \frac{A_{may}}{A_{men}}$	A_{may} = Vertiente mayor A_{men} = Vertiente menor
Aspectos del Relieve de la Cuenca		
Pendiente media método de Alvord	$S_m = \frac{D \times L_L}{A}$	D: Diferencia de nivel entre las curvas de nivel A: Área total de la cuenca L _L : sumatoria de las longitudes de todas las curvas de nivel
Curva Hipsométrica		Área entre curvas Curvas de nivel
Elevación media método área – elevación	$E_m = \frac{\left(\sum_i^n A_i \right) \times (e_i)}{A_t}$	A_i = Área de cada franja e_i = Promedio de la curvas de nivel que delimitan cada franja A_t = Área Total de la cuenca
Tiempo de Concentración		
Formula de Kirpich	$T_C = \frac{0.01947 \times L^{0.77}}{S^{0.385}}$	L = Longitud del cauce principal de la cuenca (m) S = Diferencia entre las dos elevaciones extremas

3.2.1. Tiempos de retorno.

Se define periodo de retorno como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de una magnitud determinada puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio (Villón, 2004), se tomaron unos intervalos de tiempo de 100 y 200 años para determinar los caudales máximos.

3.2.2. Estimación de caudales máximos.

La estimación de caudales máximos asociados a determinados periodos de retorno de diseño es fundamental en muchas aplicaciones de la ingeniería hidráulica. Al no contarse con estaciones de aforo que proporcionen registros de descargas máximas, se tendrá que acudir a métodos alternativos. Basados la mayoría de ellos en datos de precipitación máxima en 24 horas y en las características físicas de la cuenca, para así inferir los caudales máximos asociados a un cierto periodo de retorno que podrían presentarse en la zona de interés de un proyecto en estudio.

3.2.2.1. Método SCS – CN.

El método SCS tiene por objetivo separar la parte de la precipitación que ha generado escorrentía directa (P_{neta}). La precipitación que no genera escorrentía queda como retención superficial o se infiltra. (Sánchez, 2017)

La capacidad de infiltración del suelo la metodología propuesta de estimación de la oferta hídrica total debe obedecer a métodos de cálculo que consideren las relaciones lluvia – escorrentía, teniendo en cuenta parámetros tales como la intercepción, evapotranspiración, capacidad de almacenamiento del suelo e infiltración, en función de la cobertura del suelo, el tipo de suelo y el régimen de precipitación del área aferente. (Facultad de ingeniería UNNE)

La clave para la aplicación del procedimiento inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina *abstracción inicial* o *umbral de escorrentía*. Para su evaluación se utilizan tblas en función del tipo de suelo (arenoso, arcilloso, ...), uso del suelo (bosque, cultivos, ...), pendiente, etc. Lastablas americanas propocionan los valores de N (“Curve Number”, que es una función de la *abtracción inicial*). (Agua y SIG, 2017).

$$Q_{m\acute{a}x} = q * Q * A$$

Donde:

$Q_{m\acute{a}x}$: Descarga máxima de diseño (m^3/s)

Q: Escorrentía

q: Gasto unitario ($m^3/s/mm/Km^2$)

A: Área de la cuenca m^2

3.2.2.2. Escorrentía.

La escorrentía es función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía o N. Este método es aplicable para cuencas menores a 250 km² y se puede aplicar para conocer la escorrentía mensual y generar mapas de isolíneas de escorrentía como ayuda para el cálculo de la oferta hídrica superficial. (Perez, 2004)

$$Q = \frac{[N(P + 50.8) - 5080]^2}{N[N(P - 203.2) + 20320]}$$

Donde:

Q: Escorrentía.

P: Precipitación

N: Número de curva.

3.2.2.2.1. Número de curva

El número de curva de escorrentía CN del Soil Conservation Service – SCS, fue desarrollado como un índice que representa la combinación de los grupos hidrológicos del suelo, el uso y la clase de tratamiento de la tierra. Análisis empíricos condujeron a deducir que el CN es función de tres factores: Clase de suelo, la cobertura y las condiciones de humedad antecedente (Perez, 2004)

- **Clasificación hidrológica de los suelos**

El SCS, clasificó hidrológicamente más de 4.000 suelos basándose en su potencial de escurrimiento para lo cual los agrupó en cuatro grupos de suelos hidrológicos, los cuales se identifican con las letras A, B, C y D. (NRCS, 2009), para la especificación de las tablas clasificatorias revisar Anexo 2.

Suelo tipo A: Potencial de escurrimiento bajo. Suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua.

Suelo tipo B: Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua

Suelo tipo C: Suelos con capacidades de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contiene una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.

Suelo tipo D: Suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

3.2.3. Precipitación

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. La precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico, y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta. (Ciclo hidrológico, 2009).

- Datos faltantes

La información solicitada al IDEAM en muchas ocasiones no se encuentra completa, generando incertidumbres en los datos promedios obtenidos, estos datos pueden verse afectado por fallas instrumentales o ausentismo del operador. (Romero, 2015).

- Método de interpolación (proporción normal con la misma estación).

La interpolación espacial es el proceso de utilizar puntos con valores conocidos para estimar valores desconocidos en otros puntos. Por ejemplo, para realizar un mapa de precipitación (lluvia) para el país no se encontrarán suficientes estaciones meteorológicas distribuidas uniformemente para cubrir toda la región. La interpolación espacial puede estimar las temperaturas en lugares que no tienen ese dato utilizando lecturas de temperatura conocida en estaciones meteorológicas cercanas.

$$\frac{X_{feb}}{M_{feb}} = \frac{P_{1965} + X_{feb} + X_{mar} + X_{abr}}{P_{multianual}}$$

Se usa en caso de que no existan estaciones adyacentes, entonces, en vez de ponderar las precipitaciones de las estaciones índices con la proporción de la precipitación anual normal de la estación, en estudio sobre la correspondiente a cada estación índice. Se procede con los datos solos de la estación en estudio y en lugar de tomar los datos de las estaciones adyacentes, que no existen, se tomarán los datos de los meses restantes dentro del mismo año. (Romero, 2015).

3.2.4. Método de Isoyetas

Es el método más preciso, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio. Se basa en el trazado de curvas de igual precipitación de la misma forma que se hace para estimar las curvas de nivel de un levantamiento topográfico. (Editor IngCivil, s.f.).

3.3. Modelación hidrológica

Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. (IDEAM, 2015). En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. (Dueñas, 1997)

3.3.1. Levantamiento batimétrico

Una batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua.

Al igual que en los levantamientos topográficos convencionales, se determinan las coordenadas X, Y y Z, esta última corresponde a las profundidades de los cuerpos de agua levantados. De esta manera dependiendo del detalle con el que se lleve a cabo la batimetría, se pueden describir los fondos y el relieve de los cuerpos de agua y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir. (IDEAM, 2014).

3.4. Software y Programas.

3.4.1. Hec – Ras.

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos: Modelización de flujo en régimen permanente, modelización de flujo en régimen no permanente, modelización del transporte de sedimentos, Análisis de calidad de aguas. Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables. (Polo, 2014).

3.4.2. ArcGIS.

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG). (ArcGIS Resources, s.f.).

3.4.3. Hec-GeoRAS.

Hec-GeoRAS será empleado como herramienta primaria dentro de ArcMap. Desde el entorno de ArcGIS podremos emplear las funciones de Hec-GeoRAS para digitalizar diferentes elementos vectoriales que permitirán a Hec-RAS construir el modelo de inundación y representar los resultados. La correcta digitalización de elementos como puentes, cauces o zonas de flujo es la base para iniciar el estudio de inundación. HEC-GeoRAS nos servirá, por tanto, para elaborar la cartografía base que describirán los elementos territoriales de la zona de estudio. (Ferrerías, s.f.)

3.5. Evaluación y caracterización de las amenazas

Al acoplar modelos computacionales y trabajo de campo se puede determinar la distribución espacial del fenómeno amenazante, probabilidad de ocurrencia y su potencial magnitud. En consecuencia, es preciso disponer un registro histórico lo más completo posible de eventos ocurridos en el pasado y que incluya la intensidad de estos, los detonantes, impactos, pérdidas y localización espacial.

3.5.1. Análisis de amenaza

Se entiende como amenaza el peligro latente de que un evento físico de origen natural, causado o inducido por la acción humana de manera accidental se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones o impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (Unidad Nacional De Gestion Del Riesgo De Desastres, 2012). Las diferentes amenazas y los factores que se le atribuyen pueden ser descritos en la Tabla 3.

Para el caso particular de las inundaciones, estas son de causa natural, la cual hace referencia a las inundaciones producidas por precipitaciones con una duración e intensidad que supera la capacidad de la cuenca y la capacidad hidráulica de la red de drenaje; y socio-naturales, asociadas a actividades antrópicas como taponamientos de los alcantarillados, acciones inadecuadas de un embalse, entre otras.

Tabla 2. Clasificación de las amenazas según el origen

AMENAZAS			
Naturales		Socio-naturales	
Inherentes a la dinámica natural del planeta tierra.		Similares a las naturales, pero son inducidas.	
HIDROMETEOROLOGICAS	GEOLOGICAS		
• Huracanes • Vendavales • Amenaza cerámica • Heladas • Sequías y desertificación • Inundaciones • Avenidas torrenciales • Granizadas • Erosión Litoral	• Sismos • Actividad volcánica • Tsunamis o maremotos • Diapirismo de lodos	• Inundaciones • Remoción en masa • Incendios forestales • Degradación de recursos naturales	
Antrópicas		Tecnológicas	
se refiere a las acciones directamente humanas tanto intencionales como no intencionales		Asociadas con actividades industriales y de transporte de sustancias peligrosas.	
• Aglomeración de personas • Contaminación		• Derrames • Fugas • Explosiones • Incendios (Estructurales y forestales)	

Fuente: (Unidad Nacional De Gestión Del Riesgo De Desastres, 2012)

- Calificación de las amenazas

Para cada una de las amenazas es necesario determinar el nivel de intensidad, frecuencia y afectación del territorio, posteriormente se debe proceder con la calificación indicativa de las amenazas como se describe a continuación.

$$\text{Amenaza (A)} = \text{intensidad (I)} + \text{frecuencia (f)} + \text{territorio afectado (T)}$$

Esta calificación debe ser realizada para cada una de las amenazas, teniendo en cuenta los valores obtenidos en cada una de las variables mencionadas anteriormente. En la Tabla 3 se observan los intervalos de calificación de las amenazas:

Tabla 3. Clasificación de las amenazas

INTERVALO	CALIFICACIÓN DE LA AMENAZA
1 – 3	Baja
4 – 6	Media
7 – 9	Alta

Fuente: (Unidad Nacional De Gestion Del Riesgo De Desastres, 2012)

Para el estudio realizado en este proyecto se realizó la calificación de los parámetros establecidos en la guía y los resultados obtenidos se pueden evidenciar en la Tabla 16; para poder llevar a cabo esta evaluación fue necesario realizar diversas investigaciones de los antecedentes, encuestas y periódicos para determinar la magnitud y repetición de este desastre.

3.5.2. Análisis de vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un factor esencial para realizar el análisis de riesgo en el territorio, dado que implica el estudio de los efectos de un fenómeno sobre los elementos y/o componentes necesarios para el funcionamiento de la sociedad. Esto abarca los aspectos económicos, sociales, ambientales, físicos, políticos e institucionales. (Unidad Nacional De Gestion Del Riesgo De Desastres, 2012) los cuales son descritos en la Tabla 4.

Tabla 4. Factores de vulnerabilidad que deben ser analizados

VULNERABILIDAD	
Factores Físicos Antigüedad y calidad de los materiales de construcción y cumplimiento de la NSR-1 de la infraestructura vital (vías, puentes, túneles, acueductos, hospitales, estaciones de bomberos, instituciones educativas, estaciones de policía, alcaldías, gobernación, canales de riego, presas, entre otros.)	Factores Económicos Pobreza y seguridad alimentaria Estratos socioeconómicos Nivel de ingresos Acceso a servicios públicos (agua, saneamiento, energía, gas) Acceso al mercado laboral Cubrimiento de las necesidades básicas

Factores Ambientales	Factores Sociales
• Fuentes de agua • Ecosistemas estratégicos • Superficies cultivables • Biodiversidad • Deterioro de los recursos naturales	Educación y formación Percepción del riesgo Participación Organizaciones comunitarias Organización que tiene una colectividad para prevenir y responder a una situación de emergencia Equidad de género

Fuente: (Unidad Nacional De Gestion Del Riesgo De Desastres, 2012)

Para este caso solo se tuvo en cuenta el análisis físico y sus parámetros los cuales pueden ser detallados en la Tabla 5, pues de esta forma se podrá determinar los aspectos más evidentes tanto para la comunidad como para aquellos que se interesen en este caso, para este caso basta con análisis visuales realizados a los predios cercanos al cauce.

Tabla 5. Análisis de vulnerabilidad

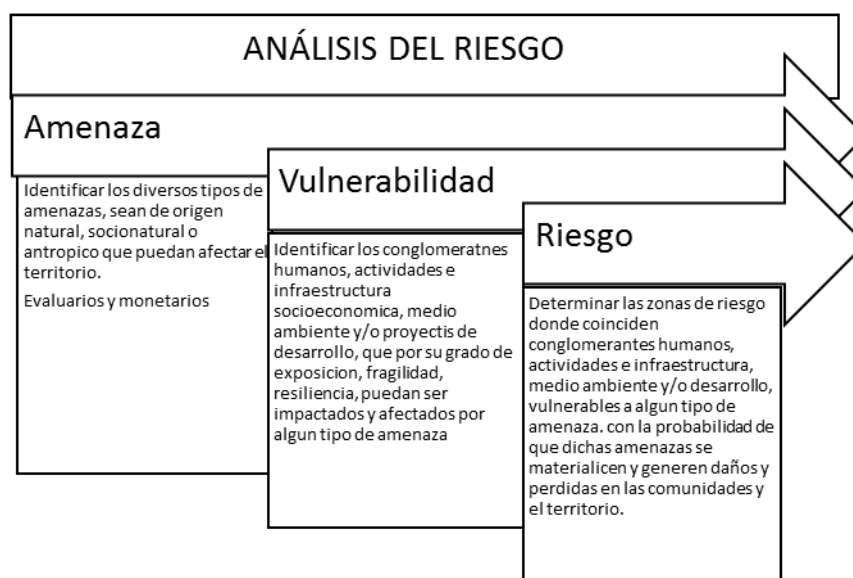
ANALISIS VULNERABILIDAD		
Vulnerabilidad Física		
Parámetro	Característica	Calificación
Antigüedad de la edificación	< 5 años 6 – 20 años >20 años	Baja (1) Media (2) Alta (3)
Materiales de construcción y estado de conservación	Concreto Madera, láminas de aluminio Mampostería, adobe	Baja (1) Media (2) Alta (3)
Estado de conservación	En perfecto estado Fisuras o agrietamiento Hundimiento e inclinación	Baja (1) Media (2) Alta (3)
Características geológicas y tipo de suelo	Limoso Arenoso Arcilloso	Baja (1) Media (2) Alta (3)
Localización de las edificaciones con respecto a las zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgo	0 -20 m 20 – 30 m Mas de 30 m	Baja (1) Media (2) Alta (3)

Fuente: Autores

3.5.3. Análisis de riesgo

El análisis de riesgo consiste en identificar y evaluar probables daños y pérdidas como consecuencia del impacto de una amenaza sobre una unidad social en condiciones vulnerables (GTZ, 2010), de forma que deben presentarse estas dos condiciones (amenaza y vulnerabilidad) para que se configure el riesgo, es decir, que un río puede desbordarse pero si no existe población o elementos vulnerables no existe riesgo, y consecuentemente, una población puede ser muy vulnerable por factores físicos (vivienda con materiales deficientes) y sociales (bajo nivel de organización y altas necesidades básicas insatisfechas) pero si no está dentro del área de afectación de una inundación no existirá riesgo alguno por este evento. Para este caso se puede observar los aspectos tenidos en cuenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis de riesgo



Fuente: (Unidad Nacional De Gestion Del Riesgo De Desastres, 2012)

3.6.3.1 Cálculo de riesgo.

Corresponde a un análisis y combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad de ocurrencia de la amenaza identificada, es decir, la fuerza e intensidad de ocurrencia, así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población, viviendas, infraestructura, etc.) dentro de una determinada área geográfica. (Gestión de riesgo , 2012)

Existen diferentes métodos para el cálculo del riesgo, por un lado, el analítico o matemático y por otro, el descriptivo. El método analítico, llamado también matemático, se basa fundamentalmente en la aplicación o el uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo (R)} = \text{Amenaza (A)} * \text{Vulnerabilidad (V)}$$

Por otro lado, el criterio descriptivo se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Amenaza y Vulnerabilidad”. Para tal efecto, se requiere que previamente se hayan realizado los análisis de amenazas y los análisis de vulnerabilidad, respectivamente. Teniendo en cuenta esto las variables que se podrían obtener para determinar el riesgo, serían las expuestas en la Tabla 7.

Tabla 7. Variables del riesgo

Amenaza		Vulnerabilidad		Riesgo
Alto	x	Alto	=	Alto
Alto		Medio		Alto
Bajo		Alto		Alto
Medio		Alto		Alto
Medio		Medio		Medio
Medio		Bajo		Medio
Alto		Bajo		Medio
Bajo		Medio		Medio
Bajo		Bajo		Bajo

Fuente: Los Autores

4. ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca Cay, se encuentra ubicada en el municipio de Ibagué corregimiento Cay, la cual cuenta con 1938 ha, está quebrada hace un recorrido aproximadamente de 8.5 Km, inicia su curso en la parte alta de la vereda la Cascada, pasando por las veredas Cay parte alta, la Victoria, Chapetón, Cay parte baja, la Coqueta y finalmente desemboca en el río Combeima. La zona de estudio se realizó a partir de la desembocadura 2 Km aguas arriba, el punto de inicio del estudio se ubica precisamente en las coordenadas 4°28'21.39" Norte y 75°15'17.42" Oeste, con una altura de 1496 m.s.n.m. En esta se cuenta con una precipitación promedio anual es de 2055.08 mm, considerando el mes de julio como el más seco y abril el mes donde se presentó la mayor cantidad de precipitación en el municipio. En la zona de estudio se registra una temperatura promedio anual de 18.8°C.

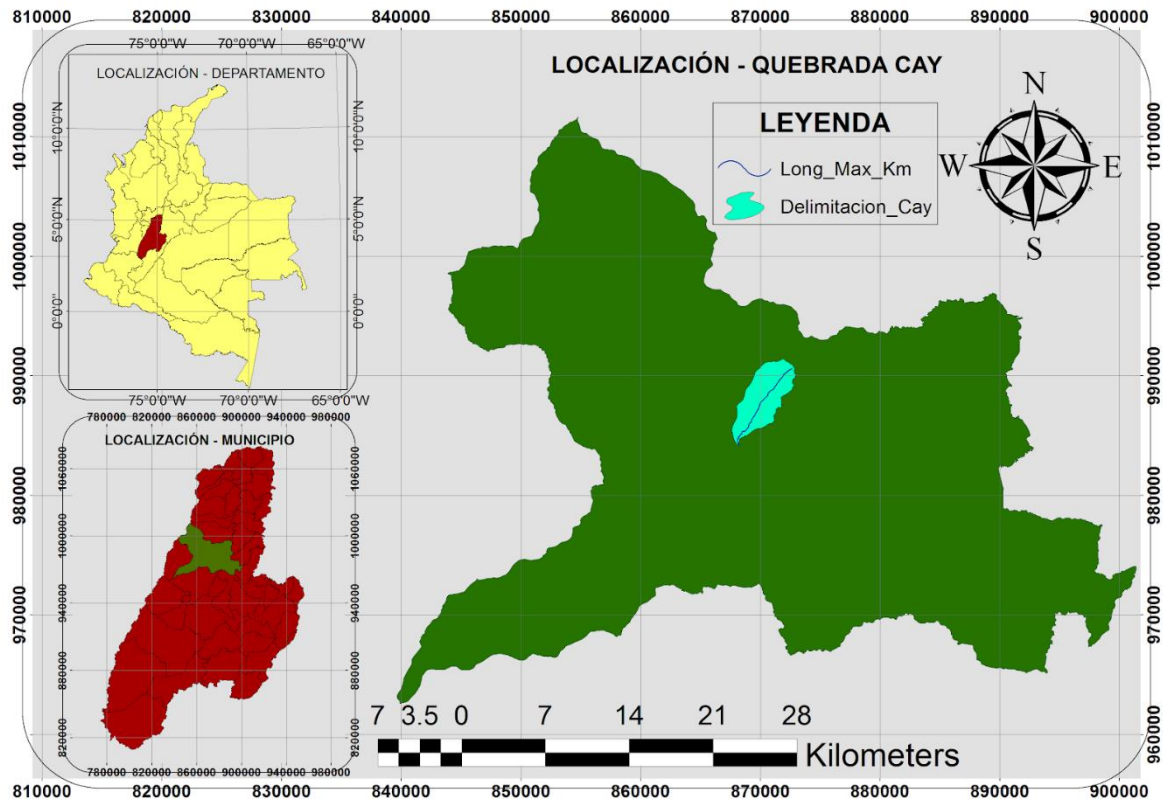


Ilustración 1. Localización de la microcuenca Cay.

Fuente: Autores

Por otra parte, el estudio de suelos del departamento del Tolima realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) reporta que en la parte alta de la microcuenca se encuentran suelos profundos de orígenes volcánicos sobre esquistos con pendientes moderadas y escarpadas, textura franco arcillosos y con presencia material orgánico (MKG). En la parte media de la microcuenca se encuentra unidades de suelos (MQC, MQD), son suelos profundos de relieve moderadamente escarpado, pendientes largas y ricos en material orgánico. En la parte baja de la microcuenca se encuentra la unidad MQO donde se presentan pendientes entre el 3% y 7%, sujetas a inundaciones y son suelos de sedimentos coluvio - aluviales con texturas medias a gruesas y bajo contenido de materia orgánica.

5. METODOLOGÍA

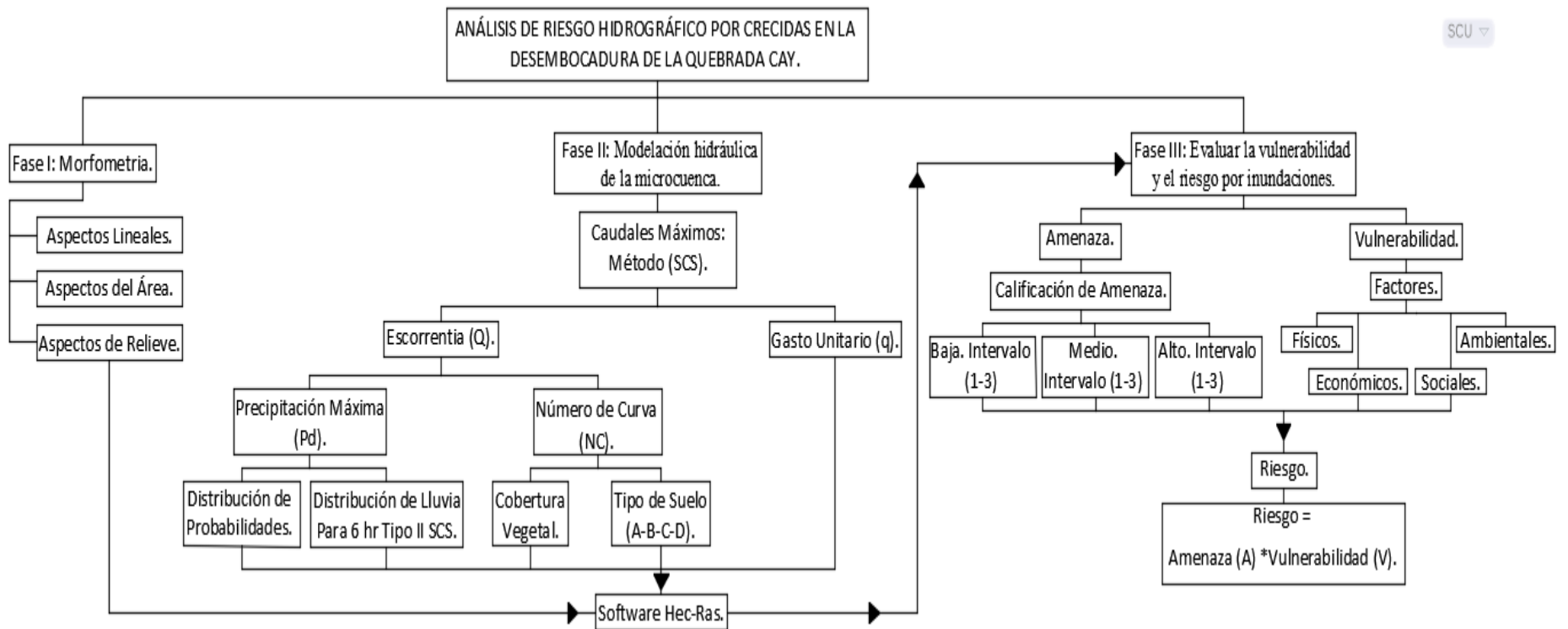


Ilustración 2. Esquema Metodología.

Fuente: Autores

El proceso metodológico utilizado para la realización de la investigación de este proyecto se dividió en tres fases, por lo cual permitieron el desarrollo de los objetivos propuestos.

5.1. FASE I: Caracterización morfológica de la microcuenca Cay

Se realizó todo el proceso de recolección de información correspondiente al área de estudio. Se identificaron las estaciones pluviométricas del IDEAM que se encuentran cercanas al afluente, se realizó un análisis estadístico para los datos faltantes. Se utilizó información secundaria del IGAC (planchas 244IID y 244IIB), se trabajó la plataforma del SIGOT para la información hídrica en formato shape (Shp); Se utilizó el software ArcGis 10.3 como herramienta para la integración y análisis de la información morfométrica.

5.2. FASE II: Modelación hidráulica de la microcuenca.

Se realizó levantamiento batimétrico de 2 Km aguas arriba desde la desembocadura de la microcuenca, con el fin de conocer la geometría correspondiente de esta, las secciones transversales fueron levantadas a lo largo del tramo de estudio con espaciamientos entre cada una de ellas de 50 m y el ancho de cada sección se definieron puntos aproximadamente a cada 30 cm, basándonos en el informe (Sopó, Martínez, & Andrés, 2013), además del trabajo de grado (Hernandez, 2012) y (Muñoz & Lizcano, 2018); se identifican los caudales máximos de la microcuenca por el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) para periodos de retorno 25, 50, 100, 200 años, (Rafael Arce Mesén - Christian Birkel Dostal - Denis Gerardo Durán Vargas, 2006) y (Francisco, Nestor, Flores, Hugo, 2009) se validaron los caudales por el programa Hec-HMS (Valentina Estrada Sifontes - Rafael Miguel Pacheco Moya, 2012), para la determinación de estos caudales fue necesario hacer una distribución de probabilidades y así calcular las precipitaciones máximas según con la distribución de lluvias para 24 horas tipo II empleado por SCS, seguidamente fue necesario saber la cobertura vegetal y tipo de suelo de la zona de estudio para así determinar la escurrimiento, luego se calcula el valor del gasto unitario para finalmente calcular los caudales máximos, (Villón, 2004) Se realizó la modelación hidráulica de la microcuenca utilizando el software Hec-Ras (Segura Serrano & Casasola ramírez, 2011). Para cada sección se definió el coeficientes de Manning, contracción y expansión, se realizó la calibración de caudales para cada periodo de retorno, se estableció las condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo del tramo simulado (Santiago Llerena , 2016), Por último, se trabajó con el Hec-GeoRas para identificar las zonas de inundación de cada perfil para cada caudal que se estableció en el Hec-Ras. (Scarlet Cartaya - Roddy Mantuano , 2016).

5.3. FASE III: Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones.

El riesgo es el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad, estos dos elementos pueden ser determinados basándose en una metodología ya establecida por *La Unidad Nacional De La Gestión Del Riesgo*, por este motivo se establece que el riesgo depende de la amenaza y la vulnerabilidad, en la Tabla 7¹ se pueden observar los criterios establecidos para determinar el valor cualitativo del riesgo al que se encuentran los habitantes aledaños a la quebrada Cay. La intensidad, la frecuencia y la extensión del territorio afectados, son los tres parámetros necesarios para el cálculo de la amenaza, para ello fue necesario acudir a los registros de los antecedentes de las crecidas que ha presentado la quebrada, para de esta forma poder establecer la magnitud y las características de los eventos ocurridos anteriormente, además para conocer las características de la amenaza latente que se tiene en los tiempos de retorno a estudiar herramientas como Hec-Ras y ArcGis fueron los medios para su determinación. La vulnerabilidad se cuantifico por medio de los análisis realizados a la comunidad aledaña al cauce, por medio de los análisis y chequeos realizados en las estructuras presentes en la zona de estudio. Finalmente se estableció el riesgo latente al que se encontraban por medio de la simulación en la cual se observan las áreas afectadas por las crecientes.

¹ Se observa en la página 28.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se representan en tres fases:

6.1. Fase I: Caracterización morfométrica de la microcuenca Cay

Se realizó la morfometría de la cuenca para de esta forma poder comprender los aspectos que la conforman, según (UNAL, 1997) *Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella de ahí la importancia de este.* Estos aspectos son descritos en la Tabla 8.

Tabla 8. Parámetros morfométricos

PARAMETROS MORFOMETRICOS: CUENCA CAY		
DESCRIPCIÓN		VALOR
SUPERFICIE		
Área	Km ²	19.38
Perímetro	Km	20.89
Longitud del Cauce Principal	Km	8.48
Longitud Axial	Km	8.01
Ancho Máximo	Km	3.83
COTAS		
Max	m.s.n.m	2600
Min	m.s.n.m	1325
PARAMETROS GENERALES		
DESCRIPCIÓN		VALOR
Razón de Bifurcación (Rb)		1.96
Relación de Longitud (RL)		0.765
Densidad de Drenaje (Dd)	Km/Km ²	5.07
Índice de Torrencialidad (Ct)		8.31
Índice de Compacidad (Kc)		1.33
Sinuosidad (Sn)		1.08
Factor de Forma (F)		0.3
Índice de Alargamiento (Ia)		2.09
Textura del Drenaje		
Textura		Fina
PENDIENTE		
Pendiente Media (Pm)	%	60
ELEVACIÓN		
Elevación Media (Em)	m.s.n.m	1947.255
RED HIDRICA		
Numero de ordenes	Und	5

Longitud del Cauce Principal	Km	8.48
------------------------------	----	------

Fuente: Autores

Por medio de los datos obtenidos en la Tabla 8, la morfometría de la microcuenca Cay, es posible determinar que los parámetros relativos al relieve de una cuenca son aspectos significativos para las velocidades de las corrientes y entre más alto sean estos valores la posibilidad de generarse crecidas puede aumentar, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa. (Moreno, 2015)

Cuando se presenta una diferencia tan significativa entre las cotas de altimetría es recurrente ver el asentamiento de las habitantes en la zona baja del afluente, sin tener la precaución del riesgo que esto genera, debido a que al momento de presentarse crecidas los más afectados son estas zonas debido al arrastre de materiales.

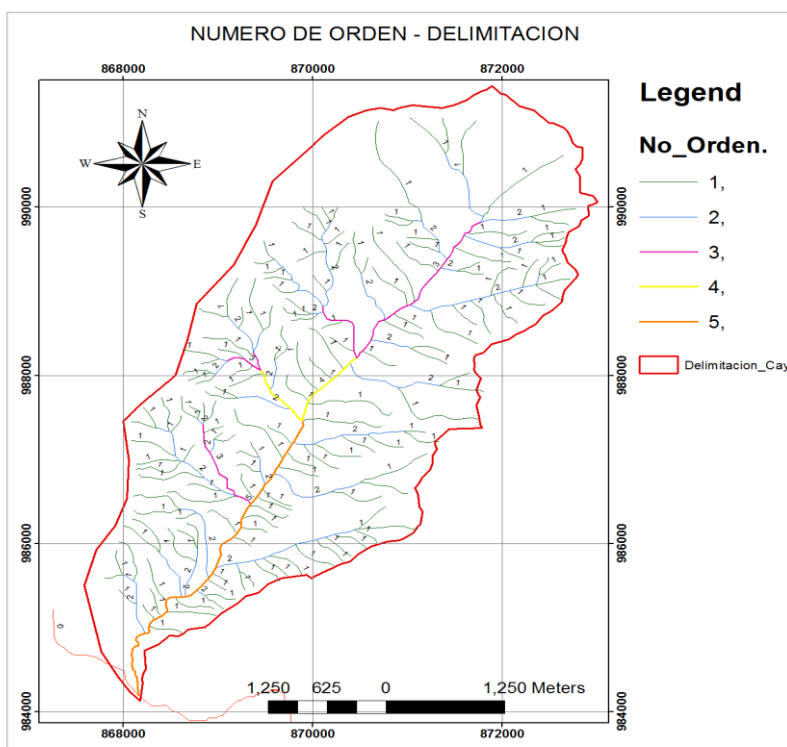


Ilustración 3. Número de Orden microcuenca Cay

Fuente: Los Autores

Para este caso se puede observar la ramificación que compone a la microcuenca Cay en la ilustración 3, todos los afluentes que lo alimentan esto genera un aumento en el caudal del afluente principal, manifestando y el equilibrio dinámico del sistema acorde a sus condicionantes

hidrológicas, geomorfológicas y topográficas, generando posibles áreas de acumulación de escorrentía temporal en épocas de alta intensidad de precipitación, en forma intermitente en la zona de derrame. En igualdad de condiciones la relación que guarda el área, clima y sustrato cuanto más alto sea el orden de la cuenca mayor será el grado de desarrollo fluvial (Horton, 1945)

6.2. Fase II: Modelación hidráulica de la microcuenca

Para la modelación hidráulica fue importante conocer la topografía del terreno, para establecer los sectores de mayor riesgo de inundación, por lo tanto, en la ilustración 4, se encuentra el mapa de pendientes y las secciones transversales que fueron tomadas en campo de la microcuenca Cay.

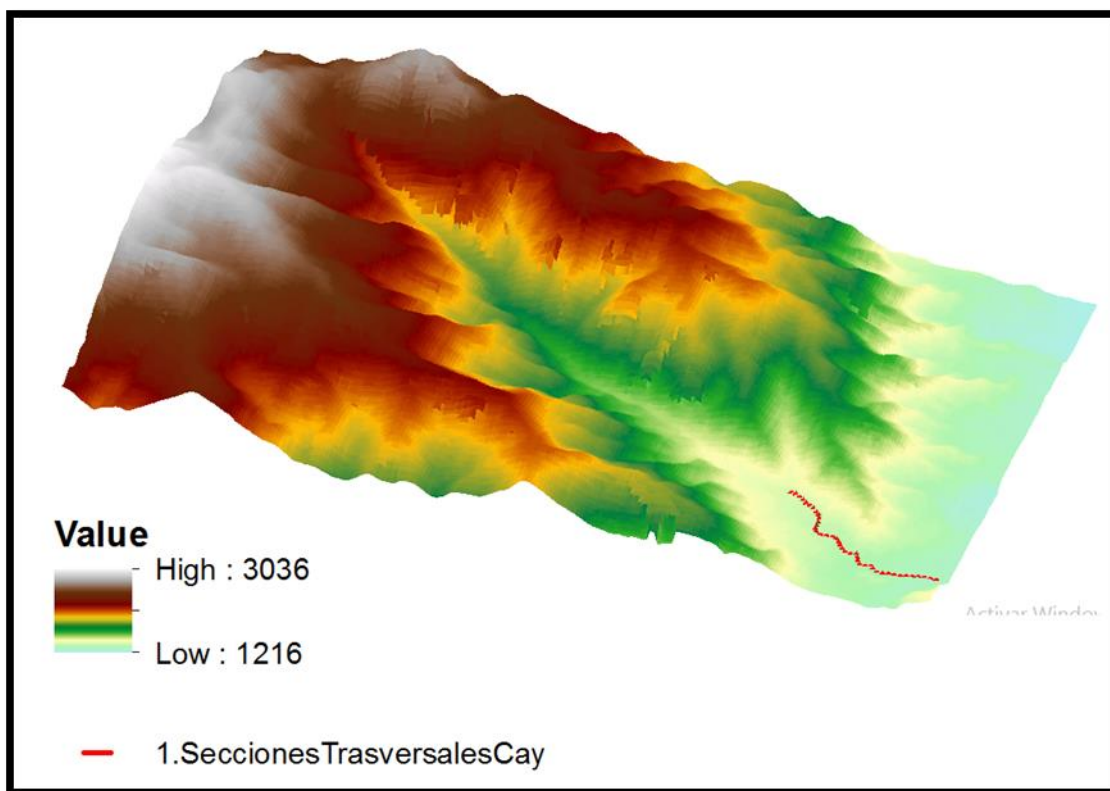


Ilustración 4. Mapa de pendiente en 3D.

Fuente: Los autores

Por medio de los datos obtenidos del IDEAM se logró establecer la precipitación media de la zona de estudio, además se realizó este proceso por medio del método de Isoyetas el cual es más eficaz cuando se trabajan cuencas de altas pendientes, con ayuda del software ArcGIS 10.3 se efectuó este procedimiento, obteniendo como resultados el mapa de la ilustración 5.

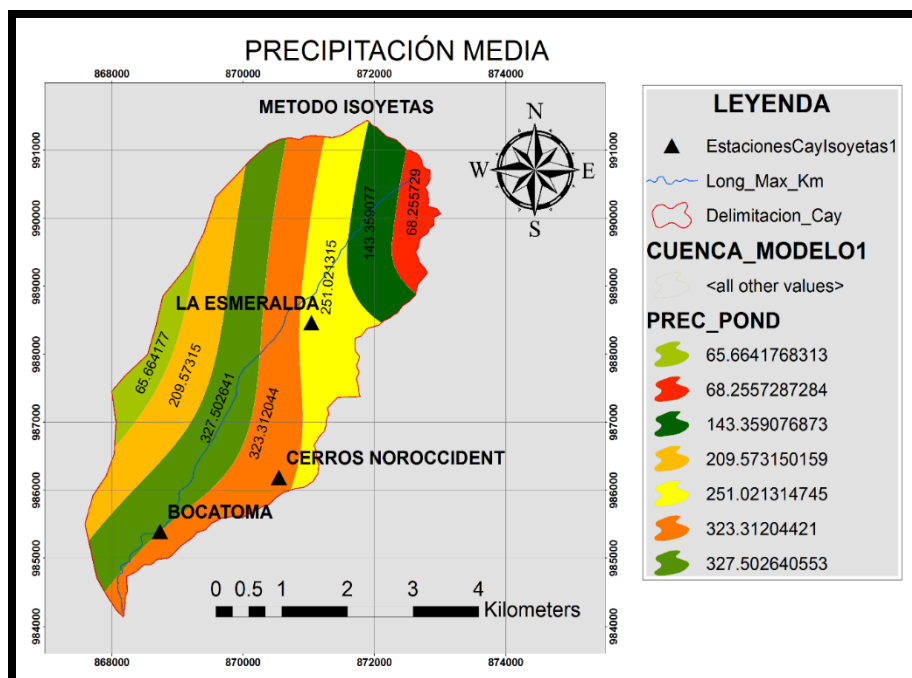


Ilustración 5. Precipitación Media, método Isoyetas

Fuente: Los autores

Por medio del método de Isoyetas y la ilustración 5, es posible observar que este método realiza subdivisiones a lo largo del área de estudio, permitiendo que el análisis sea más completo y detallado.

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible denotar que la mayor concentración de las precipitaciones se presenta en la parte alta de la microcuenca, factor que puede ser atribuido a la topografía de esta y el clima presente en la parte alta; esto junto a los diversos afluentes que alimentan a la quebrada generan que el caudal presente sea bastante alto, motivo por el cual esta es considerada en segundo afluente del municipio y se realizaron obras para la implementación de una bocatoma (IBAL, 2018) Se realizó un levantamiento batimétrico (ver anexo 1), el cual que permitió reconocer la zona de estudio, se identificaron 41 secciones a lo largo de los 2 Km aguas arribas de la microcuenca Cay.

Para determinar los caudales máximos de la microcuenca Cay se basó en el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), descrito por (Máximo Villón Bejar ,2004), Se utilizó el tiempo de concentración por medio del Método de Kirpich, el cual aplica a cuencas con topografías montañosas, el cual se obtuvo un valor de 42.72 minutos (Adriana Botero Gutiérrez, 2010).

Se utilizara distribuciones de lluvia para 6 horas tipo II empleada por el Soil Conservation Service de Estados Unidos (SCS) y (Chow, Maidment, & Mays, 2000) y (Alice Alonzo Steinmetz - Samuel Beskow - Fabrício da Silva Terra -, 2019) para determinar las precipitación máxima para un tiempo de duración de 6 hr, en la Tabla 9, se puede observar los resultados obtenidos para cada periodo de retorno establecido.

Tabla 9. Precipitación Máxima (Pd).

Precipitación Máxima Horaria (mm).	
Años	Pd(mm)
25	61.83
50	70.51
100	79.13
200	87.71

Fuente: Los Autores

Por último, se determinó la escorrentía (Q) para periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 años, en la Tabla 10, se pueden observan los datos adquiridos.

Tabla 10. Coeficiente de escorrentía.

Coeficiente de escorrentía.	
años	Q
25	1.991
50	3.814
100	6.110
200	8.830

Fuente: Los Autores

Obteniendo los anteriores datos se calcula los caudales máximos para cada periodo de retorno establecido, en la Tabla 11, se observa los datos hallados (Anexo 2), Los caudales máximos fueron validados con el software HEC-HMS y dieron muy similares al Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), en la Tabla 12, se muestran los resultados

obtenidos (Ubaldo Andrés Díaz Arias - Daniel Felipe Guacaneme Prieto - Francy Lorena Alonso Nore., 2017).

Tabla 11. Caudales Máximos

Métodos	Tc (h)	Caudales Máx (m ³ /s)			
		Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200
Método (SCS).	0.713	7.77	14.66	23.34	33.62

Fuente: Los Autores

Tabla 12. Caudales máximos por HEC-HMS.

Métodos	Caudales Máx (m ³ /s)			
	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200
Software HEC-HMS	7.86	14.82	23.46	33.74

Fuente: Los Autores

Por medio de la Tabla 11, podemos observar los caudales máximos en los tiempos de retorno establecidos para esta investigación.

Para la modelación de la microcuenca Cay se agregaron todos los datos anteriormente mencionados en el programa Hec – Ras obtenidos (Rafael Arce Mesén - Christian Birkel Dostal - Denis Gerardo Durán Vargas, 2006), (Wilfredy Mora Mariño - Rene Gilberto Ochoa, 2016) y se procedió a revisar las secciones que presentan desbordamientos debido a las crecidas por el aumento de las precipitaciones, en la Tabla 13, se puede ver la cantidad de áreas inundadas para cada periodo de retorno estudiado.

Tabla 13. Áreas Inundadas.

Años	Áreas Inundadas (m ²)
25	6530.11
50	6769.87
100	7184.17
200	7299.81

Fuente: Los Autores

Por medio de la ilustración 6, se puede observar la modelación obtenida para el tiempo de retorno de 200 años, el cual es el que presenta un aumento de caudal más alto

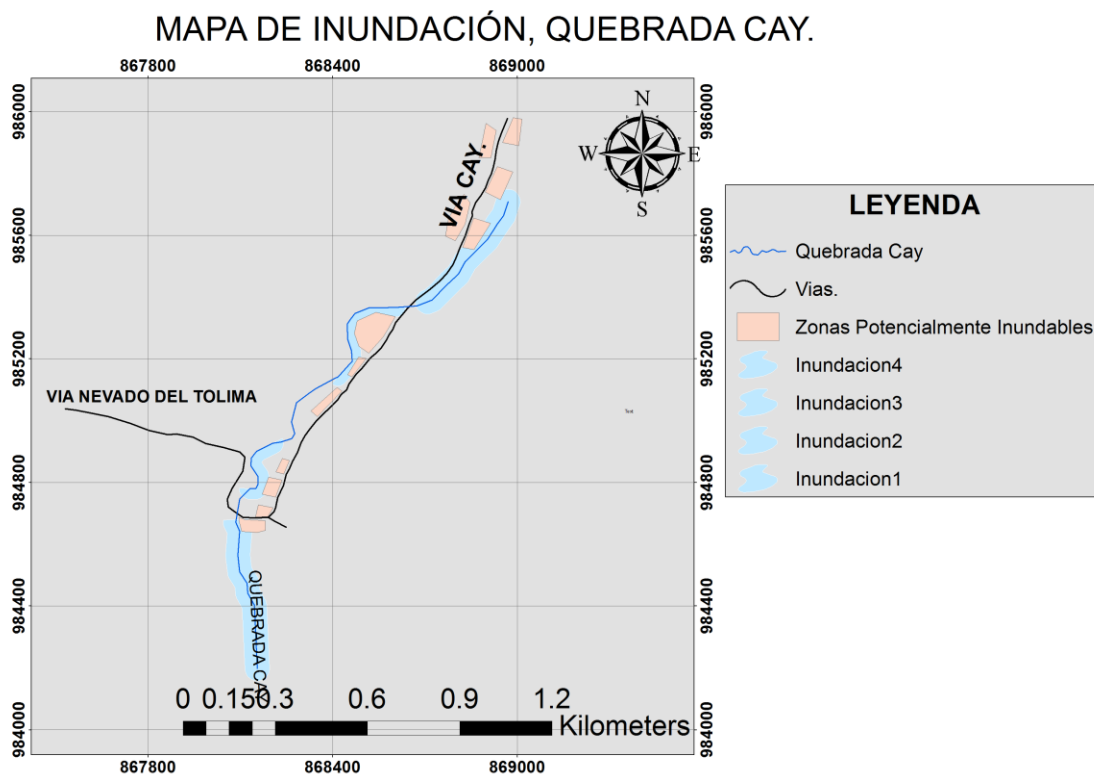


Ilustración 6. Mapa modelación de inundación Tr 200 años

Fuente: Los Autores

En la ilustración 6, se puede observar las 4 franjas de inundaciones presentes a lo largo de la zona de estudio, en la cual se afecta un área de 7299.81 m², en la cual se perturban predios que son utilizados para cultivos, explotación minera, ganado y algunas de las viviendas encontradas a los alrededores. Para este caso, frente a la crecida representada en la imagen al presentarse en la zona baja de la microcuenca, zona en la cual, al presentarse crecidas, arrastre de material, dejara incomunicada a los habitantes de la vereda, debido a que esta solo cuenta con una única vía de acceso, afectando de forma económica y social a la comunidad en general.

Analizando la información generada para cada periodo de retorno, se observó que las variaciones en áreas inundables entre cada periodo son mínimas, por ejemplo, hacia el oeste, la zona donde el relieve es un poco más alto que la parte este, se nota que en este sector presenta una mínima inundación en algunas curvas como en las secciones número 11 y 17 de la quebrada, comparando la información correspondiente a los periodos de retorno de 25 y 200 años. En las zonas alta y baja, se

observa, que la mayor ampliación del área inundable es en el sector este, ya que su topografía presenta una elevación mínima, los sectores que presentan altos desbordamientos se encuentran en las secciones transversales (1-5, 15-41).²

6.3. Fase III: Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo por inundación.

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo por inundación en la vereda Cay, se tienen en cuenta los parámetros establecidos en la *Guía Metodológica para la gestión del riesgo*, de esta forma se tiene como resultado que los habitantes del sector corren un *Alto riesgo* frente al fenómeno de crecidas en el sector.

Para la respectiva evaluación de cada uno de los parámetros establecidos y mencionados en la Tabla 4³, se realizaron visitas a la zona de estudio, en donde se llevó a cabo una lista de chequeo (Anexo 1. Lista de chequeo), en donde se evaluaron las características de las 15 casas que se encuentran dentro de la franja que se está analizando. Debido al tipo del suelo de la zona, los pocos controles de prevención, la explotación minera en la zona, el tipo de material de construcción de las viviendas, fueron algunos de los aspectos que se analizaron para determinar que los habitantes del sector se encuentran en una vulnerabilidad media.

Para este análisis se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 14, en la cual se realizó la recopilación de los datos obtenidos de la evaluación realizada para la vulnerabilidad física presente en la zona, en esta se puede observar que se cuenta con una vulnerabilidad media debido al tipo de materiales de construcción que presentan las viviendas, además de los estragos que ya han provocado eventos anteriores.

Tabla 14. Resultados Vulnerabilidad Física

ANALISIS VULNERABILIDAD		
VULNERABILIDAD FISICA		
Parámetro	Característica	Calificación
Antigüedad de la edificación	6 - 20 años	Media (2)
Materiales de construcción y estado de conservación	Concreto	Baja (1)
Estado de conservación	Fisuras o	Media (2)

² Se observa detalladamente en el anexo 3.

³ Se observa en la página 25.

	agrietamientos	
Características geológicas y tipo de suelo	Arcilloso	Alta (3)
Localización de las edificaciones con respecto a las zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgo	0 - 20 m	Baja (1)
Calificación Vulnerabilidad		
9		MEDIA

Fuente: Los Autores

Además se analizaron los parámetros de amenaza en el cual se debe tener en cuenta el fenómeno a estudiar, la frecuencia, la intensidad y la extensión del territorio afectado para esto se realizaron diversas investigaciones sobre los fenómenos de crecidas presentados anteriormente, algunos documentos publicados anteriormente como (Atencia, 2016), (Rodriguez J. M., 2017) y (Arcila, 2016) en los cuales se realizaron investigaciones sobre el fenómeno de las crecidas denota que la microcuenca Cay es una de las más afectadas por este tipo de manifestaciones, debido a la cantidad de afluentes que la abastecen y la climatología del sector, siendo más propensa.

Debido a las condiciones topográficas de la zona, la poca precaución y prevención de los habitantes hacen que se encuentren expuesto a una amenaza alta, además los eventos anteriores han dejado varios lesionados, viviendas destrozadas e incluso el cierre de la vía, (ElNuevoDía, 2018), (ElTiempo, 2008).

Teniendo en cuenta los reportes presentados en los diversos periódicos donde se reporta la magnitud y la constancia del desbordamiento de la quebrada Cay, se entiende que la amenaza presente es latente todo el tiempo, que cuando se presentan épocas de lluvia los habitantes del sector presentan una amenaza alta, en la Tabla 15 se puede observar los aspectos a analizados, la calificación realizada a cada uno según las características presentes en la zona.

Tabla 15. Resultados amenaza

ANALISIS DE AMENAZA		
FRECUENCIA		
Descripción	Valor	Calificación
Evento que se presenta más de una vez en el año o por lo menos una vez en un periodo de uno a tres años	3	ALTA
INTENSIDAD		

Descripción	Valor	Calificación
Pocas personas fallecidas, varias personas lesionadas de minima gravedad, afectación moderada del territorio, afectación moderada de los recursos naturales, afectaciones en las redes de servicio público, suspensión temporal de actividades económicas, afectación moderada de la infraestructura departamental, pocas viviendas destruidas y varias viviendas averiadas.	2	MEDIA
TERRITORIO AFECTADO		
Descripción	Valor	Calificación
Entre el 50% y 80% del territorio presenta afectación	2	MEDIA
Calificación Amenaza		
7		ALTA

Fuente: Los Autores

Los resultados obtenidos en el software Hec-Ras, muestra cómo la mancha de inundación para los caudales máximos en un tiempo de retorno de 100 y 200 años alcanza a presentar profundidades de cerca de 2 metros (estas profundidades se encuentran en el centro del cauce) en diferentes puntos, generando un gran arrastre de material, acabando con cultivos, ganadería y las viviendas de los habitantes. Como se ha mencionado anteriormente, el riesgo es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad, por tanto, las casas que no son afectadas directamente no sufren inundaciones causadas por la quebrada, pero se encuentran en riesgo medio por factores como la cercanía al cauce bajo nivel de resiliencia entre otros. A pesar de que la frecuencia para el tiempo de retorno de 100 años es baja hay que resaltar la importancia de realizar acciones que mitiguen los impactos al presentarse el fenómeno.

Tabla 16. Análisis del riesgo

ANÁLISIS DE RIESGO		
Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo
ALTA	MEDIA	ALTO

Fuente: Los Autores

Por esta razón es indispensable realizar un análisis de estos factores, conocer las condiciones en las que se encuentran los habitantes del sector, porque teniendo en cuenta el grado del riesgo es posible realizar actividades, obras de mitigación que permitan disminuir este índice, en la Tabla 16 y en la ilustración 7 se puede observar que los habitantes del sector cuentan con un riesgo alto, esto debido a los índices ya mencionados con anterioridad y además a los pocos controles que realizan las entidades gubernamentales, dejando que la situación siga creciendo.

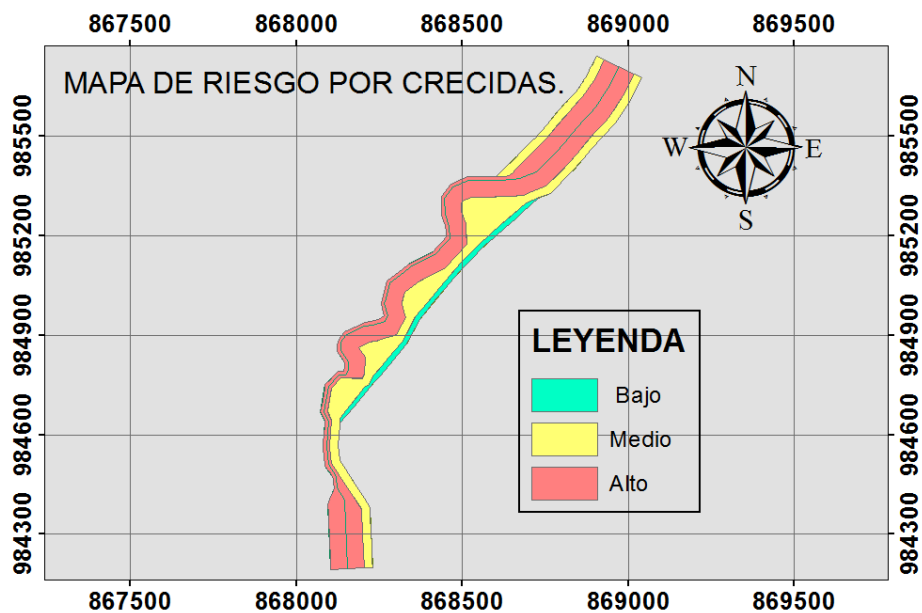


Ilustración 7. Mapa de Riesgo por Crecidas

Fuente: Los Autores

7. CONCLUSIONES

La topografía de la zona es una gran forma de poder predecir los problemas que en este se pueden provocar, es el caso de la zona de estudio, al contar con una pendiente tan alta y secciones tan sinuosas en la parte baja esta es más susceptible a presentar desbordamientos.

Las actividades antrópicas son un gran detonante al cambio climático, generando con ello grandes precipitaciones que alteran el ecosistema, provocan crecidas y en las zonas altas de las cuencas con llevan también al arrastre de material, siendo una gran amenaza para los habitantes que utilizan la parte baja para asentarse, realizar actividades de agricultura.

Las condiciones ambientales específicas de la microcuenca la Cay, afectan potencialmente la estabilidad en la zona, es así como las cargas externas naturales y humanas (erosión, cambio del uso del suelo, tendido de taludes, vibración de vehículos), las aceleraciones sísmicas, las condiciones climáticas, (remociones superficiales causadas por precipitación y escorrentía, drenajes, crecientes, flujos de detritos, ciclos de humedad y temperatura), favorecen los fenómenos de remoción en masa y por tanto la inestabilidad en sus taludes y laderas.

El arrastre de material generado por las crecidas en las quebradas, permiten que el suelo en la zona baja sea más fértil, por esta razón las personas ven esto como un gran lugar para hacer sus viviendas y poder aprovechar de los beneficios que este suelo puede producir, además, la cercanía les permite la explotación de los recursos que la quebrada les provee, realizando además actividades de explotación minera.

Frente a la evidencia recaudada en la guía metodológica del riesgo se determinó el nivel de vulnerabilidad para los habitantes que residen aledaños a la microcuenca Cay en el municipio de Ibagué y al sintetizar la información, la vulnerabilidad física dio como resultado que más del 50% de los pobladores viven bajo clasificación de vulnerabilidad alta es decir que están altamente expuestos a sufrir inundaciones y que en general las personas no están preparadas ante una emergencia debido a la mala educación con respecto a la gestión del riesgo y la poca o nula presencia del gobierno en esta zona.

8. RECOMENDACIONES

- Generar y adoptar unos planes de emergencia, campañas de concientización acerca de la gestión del riesgo, con base en el presente estudio integrando la comunidad aledaña a la microcuenca Cay y entes gubernamentales como la Defensa Civil, La Cruz Roja y la red hospitalaria.
- Realizar un estudio hidráulico del cauce en conjunto con la alcaldía de Ibagué y CORTOLIMA con el fin de llevar a cabo dragados eficientes y así controlar la altura de la lámina de agua.
- Mayor atención por parte de la comunidad y corporaciones gubernamentales en temas referentes a obstrucciones o anomalías aguas abajo del cauce que ocasionen posibles estancamientos.
- Para posteriores estudios se recomienda realizar una caracterización del estado fisicoquímico de cuerpo hídrico, el estudio hidráulico del canal e información pertinente para llevar a cabo una calibración del modelo lo más completa posible.
- También es importante denotar que al realizar la batimetría y georreferencia de la zona de estudio, es necesario ampliar el foco del estudio, puesto que, si solo se realiza el levantamiento hasta las orillas de la cuenca, se desconocerá el comportamiento de la inundación más allá de los límites establecidos.

Bibliografía

- Adriana Botero Gutiérrez. (13 de Diciembre de 2010). *ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/236787017_Estimacion_del_tiempo_de_concentracion_y_tiempo_de_rezago_en_la_cuenca_experimental_urbana_de_la_quebrada_San_Luis_Manizales
- Alcaldía de Ibagué. (14 de Agosto de 2018). *Plan de acción*. Obtenido de <https://www.ibague.gov.co/portal/admin/archivos/publicaciones/2018/21195-DOC-20180814.pdf>
- Alice Alonzo Steinmetz - Samuel Beskow - Fabrício da Silva Terra -. (Abril de 2019). *Influência da discretização espacial na modelagem de cheia utilizando a teoria do hidrograma unitário*. Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312019000100212&lang=es#aff01
- ArcGIS Resources. (s.f.). Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Arcila, H. R. (2016). *Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1800>
- Atencia, Y. H. (2016). *SciELO*. Obtenido de EVALUACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A VULNERABILIDAD FÍSICA POR TALUDES Y LADERAS INESTABLES EN LA MICROCUENCA CAY, IBAGUÉ, TOLIMA, COLOMBIA: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702016000200007
- Benjamin, M. A. (22 de Julio de 2008). *Analysing urban flood risk in low-cost settlements of George, Western Cape, South Africa : investigating physical and social dimensions*. Obtenido de Open UCT: <https://open.uct.ac.za/handle/11427/4823>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2000). *Hidrología aplicada*. Bogotá: Nomos S.A.
- Ciclo hidrológico*. (2009). Obtenido de <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- CONPES. (10 de Febrero de 2009). *ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA PARA GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ*. Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/boletines/ago2012/3570.pdf>
- CORTOLIMA. (2018). *Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial del Tolima. Ibagué - Tolima*.

CORTOLIMA. (29 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/fuertes-lluvias-generaron-inundaciones-alteraciones-y-ciudad>

Dombeck, M. (2014). Obtenido de http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/pdf/el_agua_y_las_cuencas_hidrograficas.pdf

Douben. (29 de Junio de 2006). *Characteristics of river floods and flooding: a global overview, 1985–2003*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.239>

Dueñas, C. (1997). *Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones*. Obtenido de Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000100008

Editor IngCivil. (s.f.). *Métodos para el Cálculo de la Precipitación Media en una Cuenca*. Obtenido de Al Día tutoriales ingeniería civil : <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-para-el-calculo-de-la-precipitacion-media-en-una-cuenca/>

ElNuevoDía. (septiembre de 14 de 2018). *Derrumbes e inundaciones*. Obtenido de http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/tolima/ibague/120063-derrumbes-e-inundaciones-dejan-cuatro-heridos?quicktabs_3=2

ElTiempo. (23 de Mayo de 2008). *58 inundaciones y más de 120 deslizamientos se han reportado en Ibagué*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4205146>

Enrique García Durá. (2017). *Cálculo Hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el Método Racional modificado por Témez*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/93382/GARCÍA%20-%20Cálculo%20hidrológico%20del%20Barranco%20de%20los%20Carriles%20aplicando%20el%20método%20Racional%20modificado....pdf?sequence=1>

ESTRADA GÓMEZ, Y. A., & ROJAS HERRERA, D. A. (16 de 05 de 2013). *COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO RACIONAL*. Obtenido de *COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO RACIONAL*: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1003/6/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ESP%20%20RH.pdf>

FAO. (2017). *Iesgos y Amenazas para las cuencas* . Obtenido de <http://www.fao.org/3/a1295s/a1295s03.pdf>

Ferreras, R. M. (s.f.). *Geoinnova*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/diferencias-hec-ras-hec-georas/>

Foro Peruano para el Agua. (2012). *Qué es una cuenca hidrológica?* Obtenido de <https://docplayer.es/8806658-Que-es-cuenca-hidrologica.html>

Francisco, Nestor, Flores, Hugo. (Mayo de 2009). *Scielo*. Obtenido de Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS–CN en el trópico subhúmedo de México.: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000100008

García Lorenzo, R., & Conesa García, C. (11 de 10 de 2011). *Dialnet Plus*. Obtenido de Dialnet Plus: <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/28525/1/143471-542111-1-SM.pdf>

Gestión de riesgo . (2012). *Guía Metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión Del Riesgo*. Obtenido de Plan departamental Guía : <http://www.gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/pnud/Descarga.aspx?id=81>

GTZ. (2010). *Incorporar la gestión del riesgo en la planificación territorial*.

Guía para el Acotamiento de las Rondas hídricas de los Cuerpos Agua , Ley 1450, Artículo 206 (2011).

Guzmán, D. (2014). *REGIONALIZACIÓN DE COLOMBIA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, A TRAVÉS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Regionalizacion+de+la+Precipitacion+Media+Mensual/1239c8b3-299d-4099-bf52-55a414557119>

HERAS, R. (1972). *Manual de hidrología: hidrología de las crecidas*. España: Servicio de edición del Centro de Estudios Hidrográficos y Dirección General de Obras Hidráulicas.

Hernandez, M. (05 de 08 de 2012). *Modelamiento mediante HEC-RAS del funcionamiento*. Obtenido de Modelamiento mediante HEC-RAS del funcionamiento: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfcih557m/doc/bmfcih557m.pdf>

Horton. (1945). 5. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphol. . Soc. Am.

Horton, R. E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology Geological Society of America Bulletin. U.S.A. USA*.

IBAL. (Junio de 2018). *Más Agua Para Ibagué*. Obtenido de <https://ibal.gov.co/sites/default/files/2018-08/Peri%C3%B3dico%20IBAL%20N%C2%B03%20Mayo%202018.pdf>

IDEAM. (2012). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

IDEAM. (2014). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/batimetrias>

IDEAM. (2015). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

IPCC. (2014). *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 - Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf

- Jaime Ignacio Velez, L. R. (25 de Junio de 2004). *Seminario internacional sobre eventos extremos mínimos en regimenes de caudales: Diagnóstico, modelamiento y análisis*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/4336/1/DA3751.pdf>
- Jaramillo Ramos, S., & Apolo Iñiguez, W. (16 de 05 de 2015). AFECTACIONES POR LA EXPLOTACIÓN PETREA EN EL CAUCE DEL RÍO PITA, SECTOR PLAYAS DE OJIVA, CANTÓN BABAHOYO, PROVINCIA DE LOS RÍOS. PROPUESTA DE SOLUCIONE. Guayaqui, Ecuador.
- Juilan Rojo. (2012). *MORFOMETRIA DE CUENCAS*. Obtenido de <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Leonardo Nanía - Emilio Molero. (Febrero de 2007). *Manual Básico de Hec-Ras y Hec-GeoRas* . Obtenido de http://cemexico.groups.et.byu.net/vocabulary/ManualBasico_HEC-RAS313_HEC-GeoRAS311_Espanol.pdf
- LLAMAS, J. (1993). Hidrologia general: Principios y aplicaciones. Quebec, Canadá: Universidad del País Vasco.
- Llerena. (9 de Junio de 2003). *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú,. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/.../cuenca_hidrologica.pdf
- Losada, S. (2003). Obtenido de http://asociacioncolombianadeornitologia.org/wp-content/uploads/revista/oc3/Rio_coello76.pdf
- Máximo Villón Bejar . (2004). *Hidrología*. Lima: Villón.
- Métodos para el Cálculo de la Precipitación Media en una Cuenca*. (2016). Obtenido de Tutoriales Ingeniería Civil: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-para-el-calculo-de-la-precipitacion-media-en-una-cuenca/>
- Moreno, F. A. (2015). *ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DEL RIO AZUL, AFLUENTE DEL RIO CALIMA, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2126/1/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf>
- Muñoz, D., & Lizcano, D. (12 de 08 de 2018). MODELACIÓN DEL EFECTO DE VARIABLES HIDRÁULICAS SOBRE. Ibagué, Tolima, Colombia.

- Perú, F. P.—G. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Polo, R. B. (2014). *GeaSIG*. Obtenido de <https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>
- POMCA. (2015). *Proyecto Plan de ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Mayor del río Coello*. Obtenido de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/formulacion/a1.pdf
- Rafael Arce Mesén - Christian Birkel Dostal - Denis Gerardo Durán Vargas. (Septiembre. de 2006). *METODOLOGÍAS FOTOGRAFÉTRICAS E HIDROLÓGICAS PARA ESTIMAR LA AMENAZA Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PURIRES, CARTAGO, COSTA R.* Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4796290.pdf>
- Rodriguez, A. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476/505>
- Rodriguez, J. M. (5 de Mayo de 2017). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas*. Obtenido de SciELO: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v27n2/0124-8170-cein-27-02-00109.pdf>
- Rojas, J. (16 de 05 de 2016). *Morfometria de Cuencas*. Obtenido de Morfometria de Cuencas.: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Romero, E. L. (Noviembre de 2015). *Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú*. Obtenido de <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/viewFile/400/261>
- Ruiz, E. J. (2016). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de <http://pridca.csuca.org/images/Noticias/A3/Cartilla---Gestion-Integral-de-Cuencas-Hidrograficas.pdf>
- Santiago Llerena . (Octubre de 2016). *PROGRAMA REGIONAL PARA EL FORTALECIMIENTO DE LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS, HIDROLÓGICOS, CLIMÁTICOS Y EL DESARROLLO (PRASDES)*. Obtenido de http://www.prasdes-ciifen.org/index.php/publicaciones/doc_download/44-informe-aplicacion-modelo-hec-ras-en-suches

- Scarlet Cartaya - Roddy Mantuano . (Diciembre de 2016). *Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000300009&lang=es#Figura_1.
- Secretaria de Planeación Nacional. (Abril de 2018). Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaci%C3%B3n%20%C3%8D%C3%8Dndice%20Municipal%20de%20Riesgo%20de%20Desastres.pdf>
- Segura Serrano, L., & Casasola ramírez, R. (08 de 10 de 2011). *MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA EL ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN FINCA VALLE LA ESTRELLA*. Campus Cartago, Costa Rica.
- Smith, R. (Octubre de 2004). *Evaluación de Riesgos en Cuencas Urbanas*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/4403/1/AA3737.pdf>
- Sopó, G., Martínez, O., & Andrés, H. (16 de 05 de 2013). *METODOLOGÍA PARA REALIZAR TRABAJOS DE*. Obtenido de *METODOLOGÍA PARA REALIZAR TRABAJOS DE*: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15016/MetodologiaHidrotopografia.pdf/888de93d-67a5-4f3e-bc66-2302cff65806>
- Tutoriales Ingeniería civil.* (s.f.). Obtenido de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>
- Ubaldo Andrés Díaz Arias - Daniel Felipe Guacaneme Prieto - Francy Lorena Alonso Nore. (2017). *ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL SECTOR HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA EL DIAMANTE, MEDIANTE MODELACIÓN CON HEC-HMS*. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15352/1/andres_daniel_lorena_v4.0%20%281%29%20%281%29.pdf
- UNAL. (1997). Obtenido de <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Uribe, D. G. (24 de Mayo de 2013). *El Nuevo Día*. Obtenido de <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/especiales/generales/183047-descuido-de-las-microcuencas>
- Valentina Estrada Sifontes - Rafael Miguel Pacheco Moya. (Abril de 2012). *Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v33n1/riha08112.pdf>
- Villón, M. (2004). *Hidrologia*. Cartago: Tecnologica de Costa Rica.

- VIRAMONTES OLIVAS , O., & ESCOBOZA GARCÍA, L. F. (09 de 01 de 2008). *Morfometria de la cuenca*. Obtenido de Morfometria de la cuenca: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/56/50>
- Wilfredy Mora Mariño - Rene Gilberto Ochoa. (2016). *MODELAMIENTO DE ZONAS DE INUNDACIÓN POR MEDIO DE HEC-RAS ENTRE LOS MUNICIPIOS DE CORRALES-PAZ DE RIO A LO LARGO DEL RIO CHICAMOCHA, EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1677/1/TGT-368.pdf>
- Yimmy Montoya Moreno - Boris Montoya Moreno. (7 de Mayo de 2009). *CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LOS ANDES, EL CARMEN DE VIBORAL, ANTIOQUIA-COLOMBIA*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a03.pdf>
- Yimmy Montoya Moreno - Boris Montoya Moreno. (07 de Mayo de 2009). *CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LOS ANDES, EL CARMEN DE VIBORAL, ANTIOQUIA-COLOMBIA*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a03.pdf>

ANEXOS

1. Anexo 1. Lista de chequeo (archivo Excel)
2. Anexo 2. Caudal Máximos Método SCS (archivo Excel)
3. Anexo 3. Secciones Trasversales. (archivo Word)