

**MODELACIÓN HIDRÁULICA Y DELIMITACIÓN DE ZONA DE RONDA DE LA  
QUEBRADA QUIJANA EN LA MESA CUNDINAMARCA**

**AUTORES:**

**Claudia Patricia Useche Varela**

**John Fredy Montenegro Ríos**

**PROYECTO DE GRADO**

**Jorge Humberto Benavides Santamaría**

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**Sergio Miguel González**

**CODIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**Humberto Pérez Ramírez**

**PAR ASIGNADO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

**Facultad de ingeniería civil**

**Bogotá D.C**

**2019**

## CONTENIDO

1. RESUMEN.....	13
2. ABSTRACT.....	13
3. INTRODUCCIÓN.....	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 Objetivo general.....	15
4.2 Objetivos específicos.....	15
5. MARCO CONTEXTUAL.....	16
5.1 Modelación hidráulica.....	16
5.2 Clasificación de los modelos hidráulicos.....	16
6. MARCO TEÓRICO.....	17
6.1 Ubicación zona de estudio.....	17
6.2 Límites municipales.....	18
6.3 Ronda hídrica.....	18
6.4 Componentes de la ronda hídrica.....	19
6.5 Inundación.....	19
6.6 Cuenca.....	20
6.7 Características climatológicas.....	20
6.7.1 Precipitación.....	20
6.7.2 Temperatura.....	22
6.7.3 Humedad relativa.....	26
6.7.4 Evaporación.....	27
6.7.5 Brillo solar.....	29

6.7.6	Velocidad y dirección del viento.....	30
6.8	Vías de acceso.....	32
6.9	Servicios públicos.....	34
6.10	Marco ambientales.....	35
6.11	Amenazada por inundación.....	36
6.12	Riesgo por inundación.....	37
6.13	HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System).....	37
7.	METODOLOGÍA.....	38
7.1	Delimitación de la cuenca.....	38
7.2	Características hidrográficas.....	39
7.3	Características de la cuenca en la zona de estudio.....	39
7.3.1	Área.....	39
7.3.2	Perímetro.....	39
7.3.3	Ancho máximo y ancho medio.....	39
7.3.4	Cotas máximas y mínimas.....	39
7.3.5	Índice de compacidad.....	39
7.3.6	Factor de forma.....	40
7.3.7	Pendiente media.....	41
7.3.8	Altura media de la cuenca.....	44
7.3.9	Coefficiente orográfico.....	46
7.3.10	Numero de orden.....	47
7.3.11	Densidad de drenaje.....	48
7.3.12	Extensión media de la esorrentía.....	48
7.3.13	Sinuosidad del cauce.....	49

7.3.14	Pendiente del cauce principal de la cuenca.....	48
7.3.15	Rectángulo equivalente.....	50
7.3.16	Índice de homogeneidad.....	51
7.3.17	Índice asimétrico.....	52
7.3.18	Tiempo de concentración.....	53
7.3.19	Curva hipsométrica de la cuenca.....	54
7.3.20	Perfil del cauce principal.....	55
7.3.21	Estimación de caudales máximos.....	55
7.3.22	Cálculo de caudales máximos.....	55
7.3.23	Cobertura tipos y usos actuales del suelo.....	56
7.3.24	Coefficiente de escorrentía.....	56
7.3.25	Precipitación máxima en 24 horas.....	57
7.3.26	Curva intensidad – duración – frecuencia.....	57
8.	MODELAMIENTO HIDRÁULICO.....	59
8.1	Elaboración del modelo hidráulico.....	61
8.2	secciones transversales.....	65
8.3	información de flujo.....	66
8.4	resultado modelo hidráulico.....	67
9.	ZONA DE RONDA QUEBRADA LA QUIJANA.....	84
9.1	determinación mancha de inundación.....	84
9.2	resultados zona de ronda quebrada La Quijana.....	88
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	98

## CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación zona de estudio municipio la Mesa Cundinamarca.....	18
Imagen 2. Ronda hídrica.....	19
Imagen 3. Distribución espacial de la precipitación media.....	23
Imagen 4. Distribución espacial de la temperatura.....	25
Imagen 5. Rosa de los vientos del municipio de La Mesa Cundinamarca.....	31
Imagen 6. Vías de acceso a La Mesa Cundinamarca.....	33
Imagen 7. Cuenca de estudio – quebrada La Quijana.....	38
Imagen 8. Curvas de nivel.....	41
Imagen 9. Pendiente media de la cuenca.....	44
Imagen 10. Polígono de frecuencia aritmética.....	46
Imagen 11. Orden de la quebrada La Quijana.....	47
Imagen 12. Pendiente del cauce principal.....	50
Imagen 13. Índice de homogeneidad.....	52
Imagen 14. Índice asimétrico.....	53
Imagen 15. Curva hipsométrica de la cuenca.....	54
Imagen 16. Perfil del cauce principal.....	55
Imagen 17. Ubicación de GPS.....	62
Imagen 18. Ubicación de puntos de georreferenciación.....	63

Imagen 19. Secciones transversales a lo largo de la cuenca.....	64
Imagen 20. Quebrada la Quijana.....	67
Imagen 21. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 2 años.....	68
Imagen 22. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 5 años.....	68
Imagen 23. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 10 años.....	69
Imagen 24. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 20 años.....	69
Imagen 25. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 50 años.....	70
Imagen 26. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 100 años.....	70.
Imagen 27. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 2 años.....	71
Imagen 28. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 5 años.....	71
Imagen 29. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 10 años.....	72

Imagen 30. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 20 años.....	72
Imagen 31. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 50 años.....	73
Imagen 32. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 100 años.....	73
Imagen 33. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 2 años.....	74
Imagen 34. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 5 años.....	74
Imagen 35. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 10 años.....	75
Imagen 36. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 20 años.....	75
Imagen 37. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 50 años.....	76
Imagen 38. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 100 años.....	76
Imagen 39. Perfil del cauce principal con periodo de retorno de 100 años.....	77
Imagen 40. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 2 años.....	78

Imagen 41. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 5 años.....	78
Imagen 42. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 10 años.....	79
Imagen 43. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 20 años.....	79
Imagen 44. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 50 años.....	80
Imagen 45. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 100 años.....	80
Imagen 46. Sección en 3D con periodo de retorno de 2 años.....	81
Imagen 47. Sección en 3D con periodo de retorno de 5 años.....	82
Imagen 48. Sección en 3D con periodo de retorno de 10 años.....	82
Imagen 49. Sección en 3D con periodo de retorno de 20 años.....	83
Imagen 50. Sección en 3D con periodo de retorno de 50 años.....	83
Imagen 51. Sección en 3D con periodo de retorno de 100 años.....	84
Imagen 52. Zona de inundación de la quebrada La Quijana con periodo de retorno de 100 años....	85
Imagen 53. Mancha de inundación tramo 1 – 2.....	86
Imagen 54. Mancha de inundación tramo 2 – 3.....	86
Imagen 55. Mancha de inundación tramo 3 – 4.....	87
Imagen 56. Mancha de inundación tramo 4 – 5.....	87
Imagen 57. Zona de ronda y zona de inundación quebrada La Quijana.....	88
Imagen 58. Ubicación de mojones quebrada La Quijana. Parte 1.....	95

Imagen 59. Ubicación de mojones quebrada La Quijana. Parte 2.....	95
Imagen 60. Ubicación de mojones quebrada La Quijana. Parte 3.....	96

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Datos de precipitación.....	21
Tabla 2. Temperatura media.....	23
Tabla 3. Humedad relativa media anual.....	26
Tabla 4. Evaporación media mensual.....	27
Tabla 5. Brillo solar.....	29
Tabla 6. Velocidad del viento.....	31
Tabla 7. Vías municipales.....	33
Tabla 8. Rango y ocurrencia en áreas de la cuenca.....	42
Tabla 9. Pendiente media de la cuenca.....	43
Tabla 10. Altura media de la cuenca.....	45
Tabla 11. Pendiente del cauce principal.....	49
Tabla 12. Coeficiente de escorrentía.....	57
Tabla 13. Lluvias máximas en 24 horas.....	57
Tabla 14. Resultados para coeficientes en la región andina.....	59
Tabla 15. Velocidad – intensidad – duración.....	60
Tabla 16. Caudales para diferentes periodos de retorno.....	61
Tabla 17. Datos obtenidos de GPS.....	63
Tabla 18. Numero de manning.....	65

Tabla 19. Numero de manning para are asignada de estudio.....	66
Tabla 20. Coordenada delimitación zona de ronda.....	89
Tabla 21. Coordenada delimitación zona de ronda (ubicación de mojones).....	92

**CONTENIDO DE GRÁFICAS**

Grafica 1. Datos precipitación anual.....	22
Grafica 2. Temperatura media.....	24
Grafica 3. Humedad relativa media anual.....	27
Grafica 4. Evaporación media mensual.....	28
Grafica 5. Brillo solar.....	30
Grafica 6. Vías municipales y su estado.....	32
Grafica 7. Lluvias máximas en 24 horas.....	58
Grafica 8. Curvas IDF para diferentes periodos de retorno.....	61

## 1. RESUMEN

Las inundaciones y desastres por desbordamientos de cauces de quebradas o ríos son generalmente eventos naturales, pero a su vez pueden ser causados por intervenciones propias del ser humano; dichos fenómenos se presentan por la variación del caudal que transcurre por el cauce provocando un desbordamiento con altas implicaciones o afectaciones humanas. Si la manifestación de alguno de estos fenómenos es evidenciada en un lugar donde exista población humana, puede tener riesgos irreversibles para con dicha población, es aquí donde se evalúan los factores sociales, económicos y ambientales con el fin de determinar la gravedad del fenómeno con base en los daños causados.

Basados en la información general antes descrita, este proyecto busca establecer parámetros para la delimitación de la zona de ronda de la quebrada La Quijana en el municipio de la Mesa Cundinamarca, permitiendo así disminuir el riesgo al cual se ve expuesta la población. Para llevar esta delimitación a cabo, es necesario realizar una modelación con los períodos de retorno que se establezcan sobre el tramo a estudiar, analizando sobre este las áreas de inundación, efectuando una correcta delimitación y por ende ser aplicable a planes de gestión del municipio.

**Palabras claves:** Quebrada La Quijana, población, inundación, modelación, delimitación.

## 2. ABSTRACT

Floods and disasters due to the overflow of streams or rivers are generally natural events, but in turn can be caused by human interventions; This phenomenon are presented by the variation of the flow that passes through the channel causing an overflow with high implications or human affections. If the manifestation of any of these phenomenon is evidenced in a place where there is human population, it can have irreversible risks to that

population, this is where the social, economic and environmental factors are evaluated in order to determine the Severity of the phenomenon based on the damage caused.

Based on the general information described above, this project seeks to establish parameters for the delimitation of the area of Ronda de la Quebrada La Quijana in the municipality of La Mesa Cundinamarca, thus allowing to reduce the risk to which the population is exposed. To carry this delimitation is necessary to carry out a modeling with the periods of return that are established on the section to study, analyzing on this the areas of flooding, making a correct delimitation and therefore to be applicable to plans of Management of the municipality.

**Key Words:** Quebrada La Quijana, population, flood, modeling, delimitation.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los daños producidos por inundaciones o desbordamientos de fuentes hídricas, constituyen riesgos naturales que afectan a las poblaciones aledañas al lugar donde se efectúa dicho fenómeno, este suceso sumado a las acciones antrópicas, aumentan la posibilidad de fenómenos naturales que impactan a poblaciones, regiones, etc., y ocasiona daños ambientales irreparables.

Actualmente en Colombia las acciones antropogénicas han logrado incrementar la vulnerabilidad de las zonas hídricas existentes, así como afectaciones económicas y de salud pública que constituyen un gran problema ambiental y morbilidad a nivel nacional. Desde el año 2011 se observa disminución en la ejecución de planes de gestión y desarrollo dentro de los municipios del país, ya que son gestados, mas no, ejecutados dentro del territorio. Dentro de los municipios del Departamento de Cundinamarca, uno de los que presenta vulnerabilidad es La Mesa, debido a que al iniciar la época invernal cerca de 2.500 personas del sector urbano, deben abandonar cultivos y viviendas a causa de las inundaciones que producen las quebradas tales como la quebrada La

Quijana, ubicada dentro del casco urbano, en comunicación con la calle 9 y carrera 28 principalmente, sumado a lo anterior parte de la población y sectores comerciales realizan descargas de aguas residuales sin tratamientos previos, directamente a la quebrada La Quijana, lo cual produce una alta carga contaminante a la fuente hídrica, al punto de convertir las zonas, en áreas de alto impacto ambiental y de morbilidad, puesto que la quebrada no cuenta con una ronda hídrica delimitada que contribuya con su cuidado y preservación. Por lo anterior, se hace necesaria la implementación de la delimitación de la zona de ronda hidráulica y con esto poder generar a futuro la delimitación de la zona de manejo y preservación ambiental de todos los cauces, con el fin de evitar los impactos de los eventos mencionados, reduciendo las afectaciones e impactos y protegiendo el recurso propio de la quebrada.

#### **4. OBJETIVOS**

##### **Objetivo General**

- Realizar el modelamiento hidráulico y delimitación de zona de ronda de la quebrada La Quijana, en el municipio de La Mesa Cundinamarca.

##### **Objetivos Específicos**

- Determinar factores de importancia dentro de la realización de la delimitación de zona de ronda, tales como la población, aspectos ambientales, morfología y demás que permitan construir información pertinente para la delimitación.
- Realizar la modelación hidráulica para los periodos de retorno 2,5,10,20,50,100 años en la quebrada La Quijana.
- Delimitar la zona de ronda de la quebrada La Quijana en el municipio de La Mesa, con un periodo de retorno de 100 años.

## 5. MARCO CONTEXTUAL

### 5.1. Modelación hidráulica

La modelación es usada para simular situaciones en la vida real que permiten el estudio y análisis de cauces de ríos y comportamientos de sus componentes, permitiendo así comprender la naturaleza del prototipo. [5].

Los modelos de estructuras son usados para resolver problemas hidráulicos en conexión con una variedad de estructuras hidráulicas o ciertas partes de ellas como por ejemplo determinar la capacidad hidráulica, reducir las pérdidas de carga en entradas a canales o tuberías o en secciones de transición; desarrollar métodos eficaces de disipación de energía en la corriente, al pie de las presas de sobre flujo o en el extremo de salida de las atarjeas, reduciendo de ese modo la erosión del lecho de los cauces de ríos. [5].

### 5.2. Clasificación de los modelos hidráulicos

Se encuentran los siguientes modelos:

- **Modelo físico:** se realiza por medio de la simulación física del fenómeno hidráulico, de forma que simplifica el modelo y se puede observar y controlar fácilmente, anotando observaciones a escala menor y permitiendo su manipulación. [6].
- **Semejanza geométrica con el prototipo:** en este modelo se tienen en cuenta las semejanzas geométricas que existan entre el prototipo y el modelo, teniendo de esta forma dos posibles semejanzas, ya sea de reducción o de ampliación; a escalas que permiten obtener valores geométricos reales del modelo. [6].

- Movilidad y deformabilidad del contorno: la deformación del contorno no siempre es relevante para el modelo, en el modelo se representa como fijo, esto se usa en canales de presión, cursos naturales. [6].
- Modelo analógico: Es la reproducción de un fenómeno en estudio de un prototipo en un sistema físico diferente al original (modelo), pero que aprovecha la similitud de las leyes matemáticas que gobiernan el fenómeno en ambos sistemas. Su uso no es muy frecuente en la actualidad. [5].

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1 Ubicación de zona de estudio**

La Mesa es un municipio perteneciente al departamento de Cundinamarca al suroeste de la ciudad de Bogotá D.C a una distancia de 70 Km de la capital del país, la cual cuenta con una población total de 32.771 habitantes según censo del DANE para 2015, de este valor se estima que el municipio cuenta con una división entre el sector urbano, la inspección de san Joaquín, la inspección de la Esperanza y la inspección de san Javier; dentro de sus principales atractivos hídricos se encuentra la quebrada La Quijana, la cual nace al suroeste del municipio a una altura de 1250 m.s.n.m, la cual desemboca al río Apulo.

Imagen 1. Ubicación La Mesa Cundinamarca

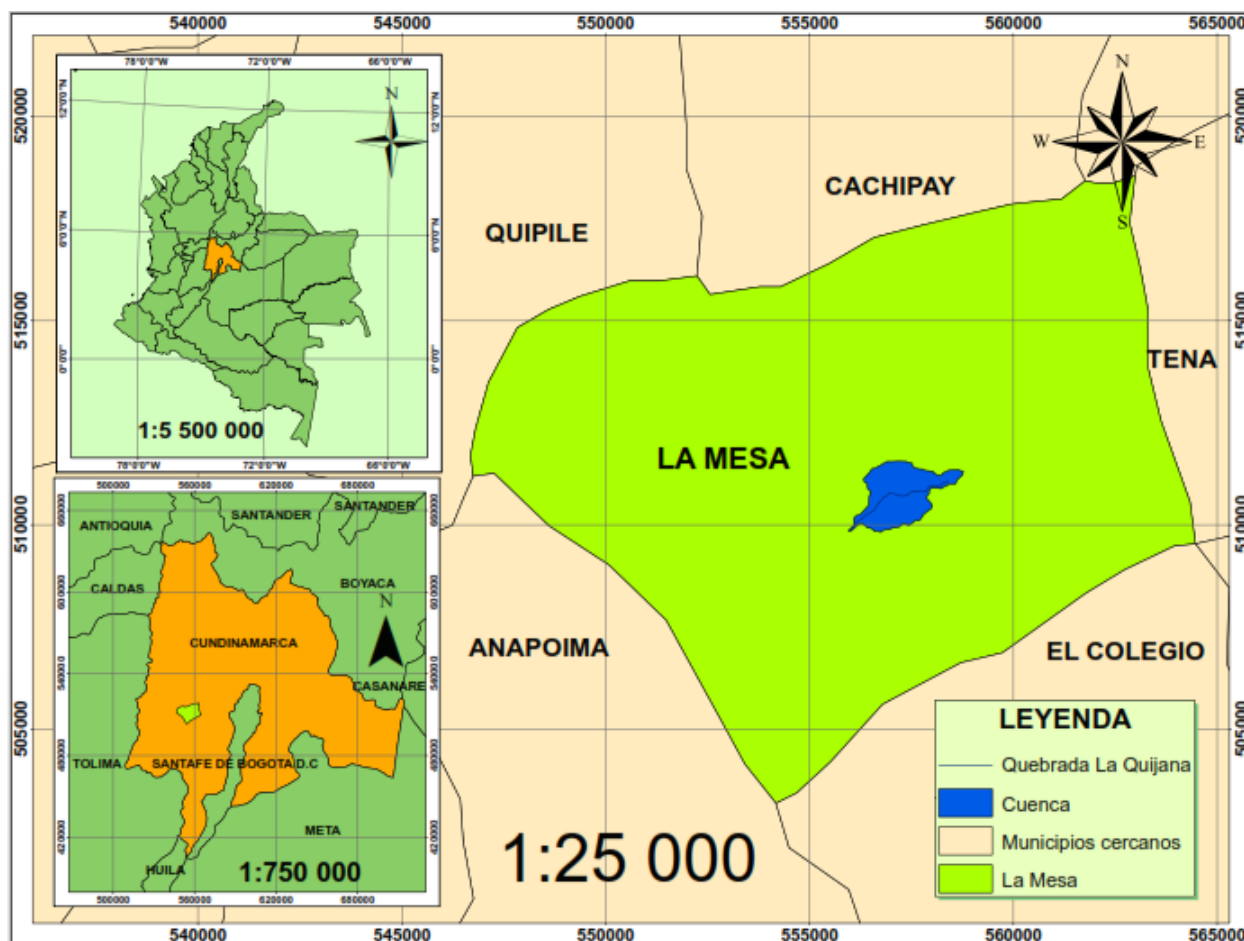


Imagen 1. Ubicación zona de estudio municipio la Mesa Cundinamarca. Fuente Autor propio.

## 6.2 Límites municipales

Provincia Cundinamarca. Norte: municipio de Zipacón y Cachipay, Sur: Anapoima – La Mesa – El Colegio, Este: municipio de Tena, Oeste: municipio de Quiple.

## 6.3 Ronda hídrica

Zona de protección ambiental e hidráulica no edificable de uso público, constituida por una franja paralela o alrededor de los cuerpos de agua, medida a partir de la línea de mareas máximas (máxima inundación), de hasta 30 metros de ancho destinada principalmente al manejo hidráulico y la restauración ecológica. [1].

**Imagen 2. Ronda hídrica**



Imagen 2. Fuente [2].

#### 6.4 Componentes de las rondas hídricas

Son tres los factores principales que componen una ronda hídrica, determinados por:

- Componente hidrológico: flujo de agua o caudal que transcurre por dicho sector [2].
- Componente geomorfológico: asociado al transporte de sedimentos y de agua, estudiando el comportamiento de la tierra donde se encuentra el cauce [2].
- Componente eco sistémico: zonas arbóreas que intervienen en el funcionamiento de la zona hídrica [2]

#### 6.5 Inundación

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas. [3].

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos:

- Inundaciones lentas: se presentan en las zonas planas de ríos, su incremento es mínimo medido diariamente, sin embargo, las afectaciones pueden ser grandes, pero no fatales. [4].
- Crecientes súbitos: estas inundaciones tienen menores áreas de afectación, pero los daños o resultados de la inundación suelen ser fatales, cobrando un número de vidas mayor. [4].

## **6.6 Cuenca – Quebrada La Quijana**

La quebrada Quijana desemboca en el río Apulo, el cual cuenta con vertimientos de municipios como Anolaima, Zipacón, Apulo, cachipay, Anapoima, Quiple, La Mesa, entre otras que aportan vertientes a dicho cauce. La quebrada La Quijana se extiende de forma diagonal a lo largo del municipio de La Mesa, permitiendo su nacimiento en la zona urbana del municipio, con una altura máxima de 1.135 m.s.n.m y una extensión de 3 kms en promedio, siendo la dirección de su caudal diagonal, se aprecia su descenso de nororiente a suroccidente [12].

## **6.7 Características Climatológicas**

### **6.7.1 Precipitación.**

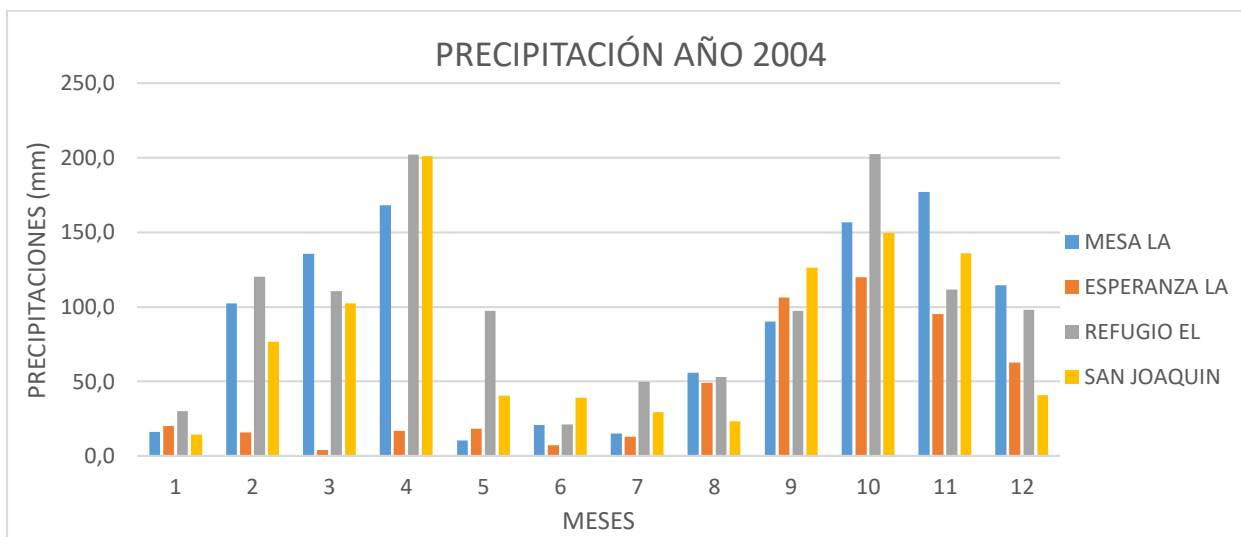
En la subcuenta y los alrededores fue posible localizar la estación pluviométrica San Joaquín, dos estaciones climatológicas principales (Mesa La y Esperanza La) y la estación climatológica ordinaria Refugio El. Para los resultados de precipitación se tendrán en cuenta las estaciones anteriormente mencionadas y para los análisis climatológicos se tendrán en cuenta la estación de Mesa La y Esperanza La, puesto que son las ubicadas de forma cercana a la subcuenta. [13]. A lo largo del año se evidencian cambios en la precipitación apreciables en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Datos de precipitación**

<b>MES</b>	<b>ESTACIÓN MESA LA (mm)</b>	<b>ESTACIÓN ESPERANZA LA (mm)</b>	<b>ESTACIÓN REFUGIO EL (mm)</b>	<b>ESTACIÓN SAN JOAQUIN (mm)</b>
<b>1</b>	16,0	20,0	30,2	14,5
<b>2</b>	102,4	15,8	120,1	76,7
<b>3</b>	135,6	3,8	110,6	102,2
<b>4</b>	168,0	17,0	202,1	201,1
<b>5</b>	10,3	18,2	97,3	40,5
<b>6</b>	20,9	7,0	21,0	39,1
<b>7</b>	15,2	12,8	49,9	29,2
<b>8</b>	55,9	49,1	53,0	23,4
<b>9</b>	90,3	106,4	97,2	126,4
<b>10</b>	156,8	119,8	202,6	149,5
<b>11</b>	177,1	95,1	111,7	136,0
<b>12</b>	114,6	62,7	97,9	40,7

Fuente. Adaptación y modificación de [13].

De acuerdo con la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica:

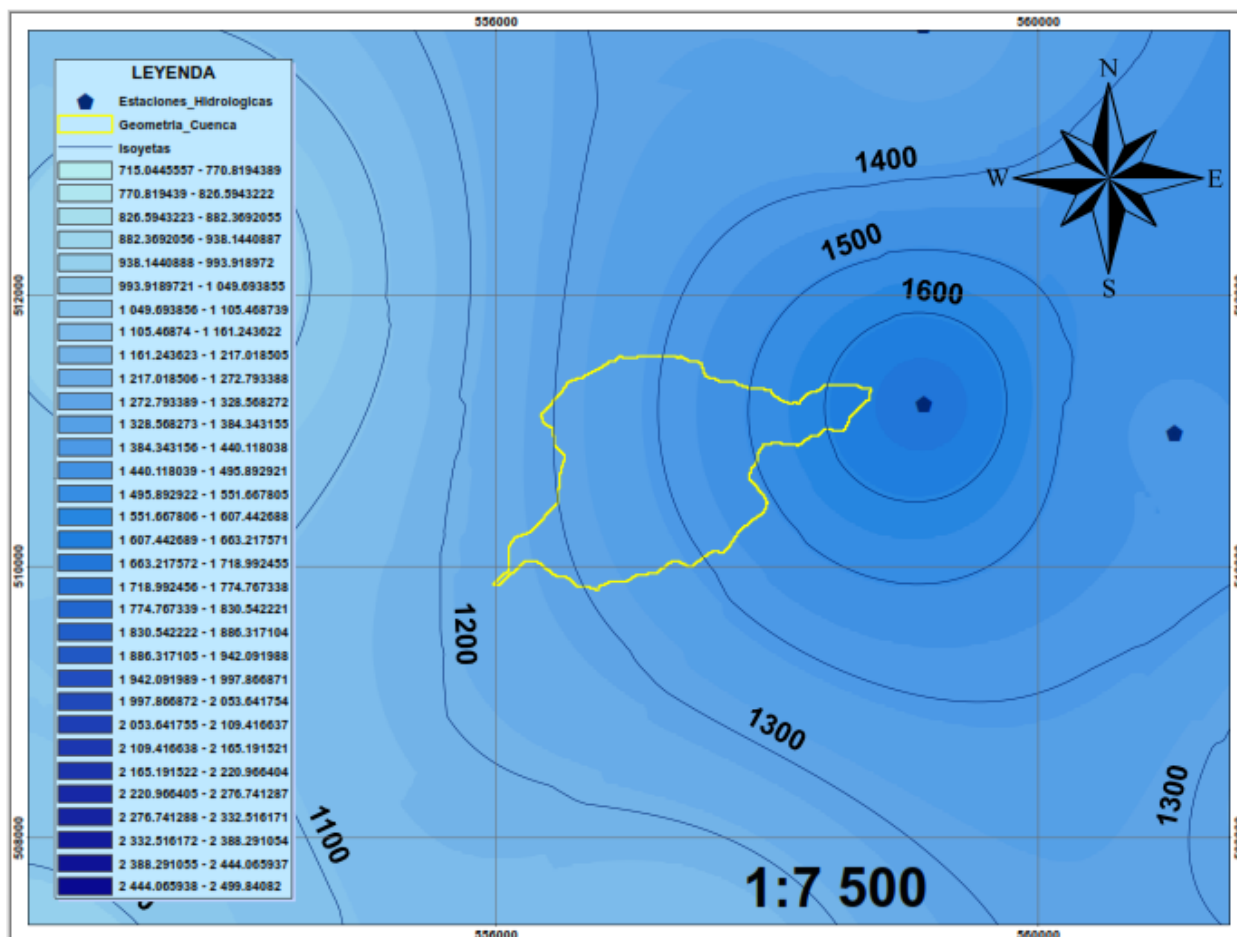
**Gráfica 1. Precipitación**

Fuente. Autor propio.

Se observa por medio de la gráfica que la Mesa Cundinamarca posee un comportamiento bimodal de las lluvias, en donde tiene épocas secas en los meses de enero, junio, julio y agosto; así mismo tiene épocas de lluvia altas entre los meses de febrero y abril y los meses de septiembre y diciembre. Basados en dicha información es correcto tener en cuenta que en los meses de mayor precipitación el nivel de escorrentía aumenta, lo cual indica que el caudal crece a lo largo del cauce de la quebrada Quijana en la Mesa Cundinamarca, siendo estos los períodos críticos con riesgos de inundaciones.

A continuación, se ilustra la distribución espacial de la precipitación media de la cuenca, observando las zonas donde más llueve que se encuentran en 1200 y 1700 mm.

**Imagen 3. Distribución espacial de la precipitación media en (mm).**



Fuente: autor propio.

### 6.7.2 Temperatura

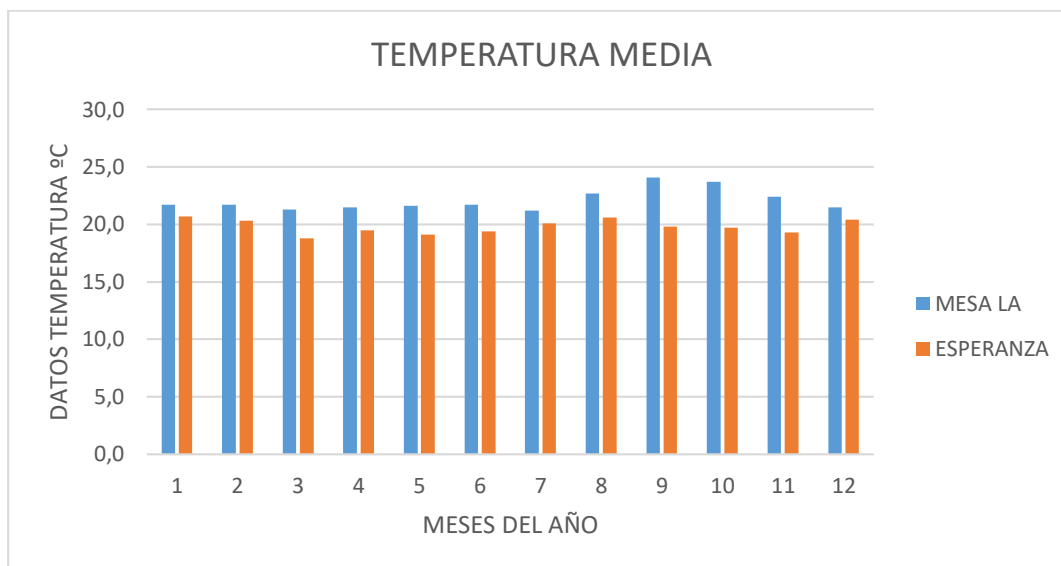
De acuerdo con los datos obtenidos por el IDEAM es posible conocer la temperatura de acuerdo a las estaciones que se encuentran ubicadas cercanas a la zona de estudio.

**Tabla 2. Datos de temperatura.**

<b>TEMPERATURA</b>		
<b>MES</b>	<b>ESTACIÓN MESA LA °C</b>	<b>ESTACIÓN ESPERANZA LA °C</b>
<b>1</b>	21,7	20,7
<b>2</b>	21,7	20,3
<b>3</b>	21,3	18,8
<b>4</b>	21,5	19,5
<b>5</b>	21,6	19,1
<b>6</b>	21,7	19,4
<b>7</b>	21,2	20,1
<b>8</b>	22,7	20,6
<b>9</b>	24,1	19,8
<b>10</b>	23,7	19,7
<b>11</b>	22,4	19,3
<b>12</b>	21,5	20,4

Fuente. Adaptación y modificación de [13].

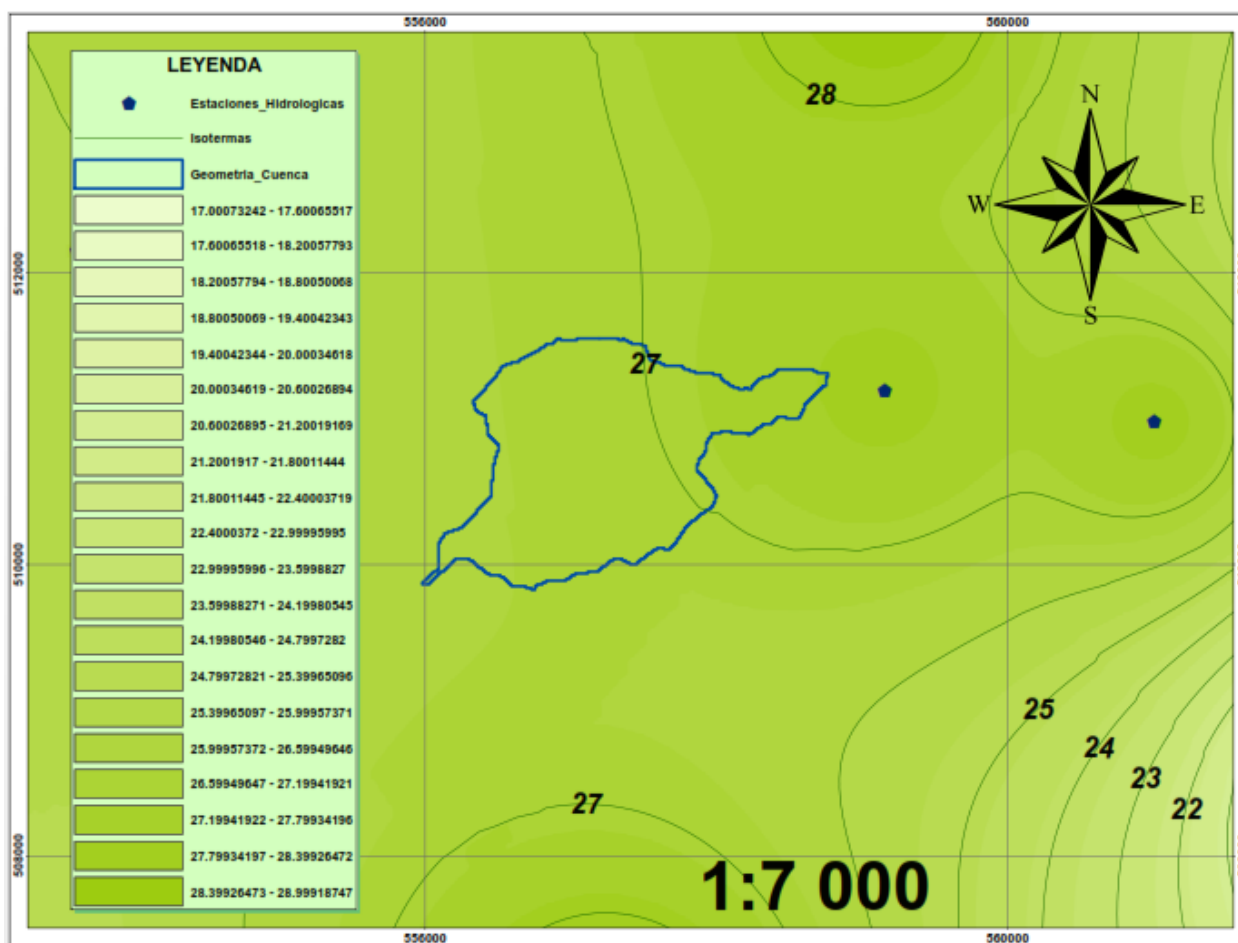
Con los datos obtenidos de la anterior tabla es posible determinar la siguiente gráfica:

**Grafica 2. Temperatura media.**

Fuente: Autor propio.

De acuerdo con el análisis de la gráfica efectuada anteriormente es posible observar que los periodos de temperaturas más bajas se encuentran entre los meses de marzo a mayo, en esta temporada el clima es mayormente frío y a su vez la radiación solar disminuye.

**Imagen 4. Distribución espacial de la temperatura (°C)**



Fuente: autor propio.

### 6.7.3 Humedad relativa

La humedad relativa media mensual, hace referencia a la distribución temporal al igual que los datos obtenidos de precipitación, presenta los valores más altos en los meses de mayo, noviembre y diciembre, resultando de esta forma ser los meses más húmedos con valores de 79%, 81,5% y 79,3% respectivamente. La humedad relativa en promedio anual es de 74%

**Tabla 3. Humedad relativa media anual.**

HUMEDAD RELATIVA (%)	
MES	ESTACIÓN LA MESA

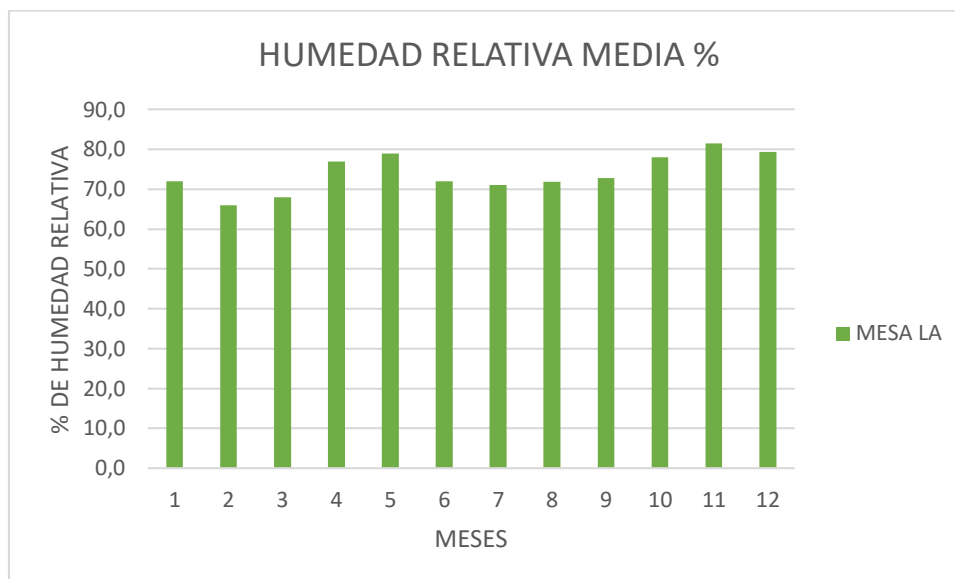
---

<b>1</b>	72,0
<b>2</b>	66,0
<b>3</b>	68,0
<b>4</b>	77,0
<b>5</b>	79,0
<b>6</b>	72,0
<b>7</b>	71,0
<b>8</b>	71,8
<b>9</b>	72,8
<b>10</b>	78,0
<b>11</b>	81,5
<b>12</b>	79,3

---

Fuente. Tomado y modificado de [13].

Con la tabla anterior es posible determinar la siguiente grafica de porcentajes de humedad relativa a lo largo del año:

**Grafica 3. Humedad relativa.**

Fuente: autor propio.

#### 6.7.4 Evaporación

La evaporación depende de la radiación solar y el brillo solar, así como a las precipitaciones presentes en la zona de estudio; puesto que, entre menos precipitación y menor cantidad de brillo solar, la evaporación disminuye, para establecer la gráfica del comportamiento de dicha evaporación es necesario tener en cuenta los datos obtenidos de las estaciones encontradas propiamente en la quebrada Quijana, que son la Mesa y la Esperanza.

**Tabla 4. Evaporación media mensual.**

EVAPORACIÓN (%)		
MES	ESTACIÓN MESA LA	ESTACIÓN ESPERANZA LA
1	90,6	102,7
2	75,1	85,4
3	78,5	84,4

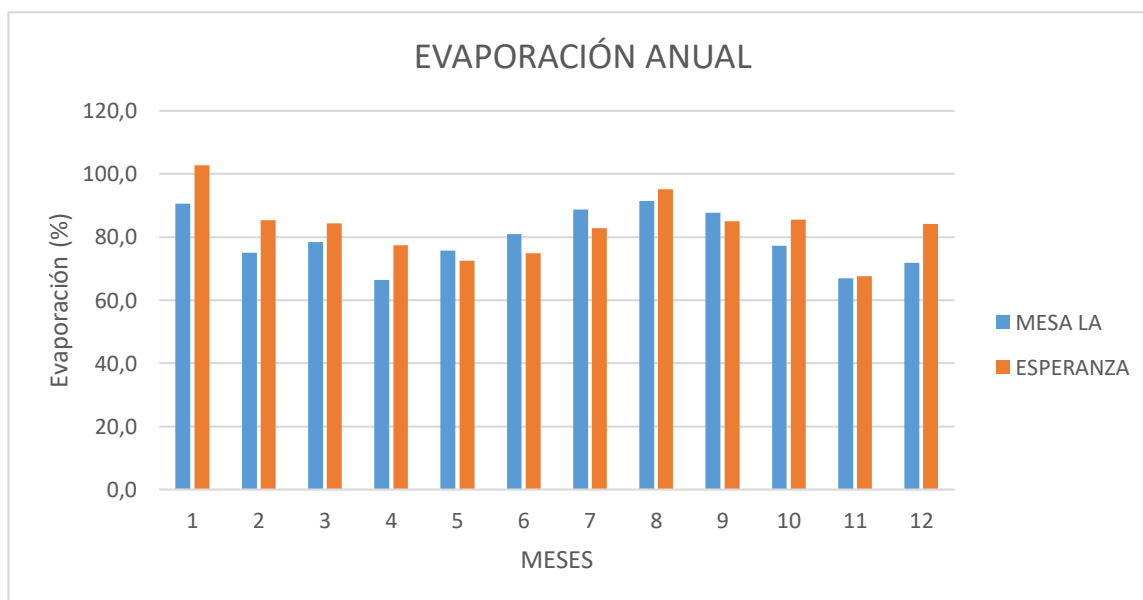
<b>4</b>	66,4	77,5
<b>5</b>	75,7	72,6
<b>6</b>	80,9	74,8
<b>7</b>	88,7	82,8
<b>8</b>	91,5	95,2
<b>9</b>	87,7	85,0
<b>10</b>	77,3	85,5
<b>11</b>	67,0	67,7
<b>12</b>	71,8	84,1

---

Fuente. Tomado y modificado de [13].

Con la tabla establecida en la parte superior es posible determinar la siguiente grafica de comportamiento de la evaporación en La Mesa Cundinamarca:

**Grafica 4. Evaporación media mensual.**



Fuente: Autor propio.

### 6.7.5 Brillo solar

El brillo solar representa el tiempo en horas durante el mes, en las cuales la luz solar incide de forma directa sobre la superficie de la tierra, esto permite determinar el factor de clima en el cual se encuentra ubicada la región o zona de estudio. Es correcto afirmar que el comportamiento del brillo solar es inversamente proporcional a la humedad que presente cada región. En la Mesa Cundinamarca se observa el mes de enero como el de mayor valor con un total de 185,2 horas de brillo solar, mientras que el valor total anual es de 1771,8 horas.

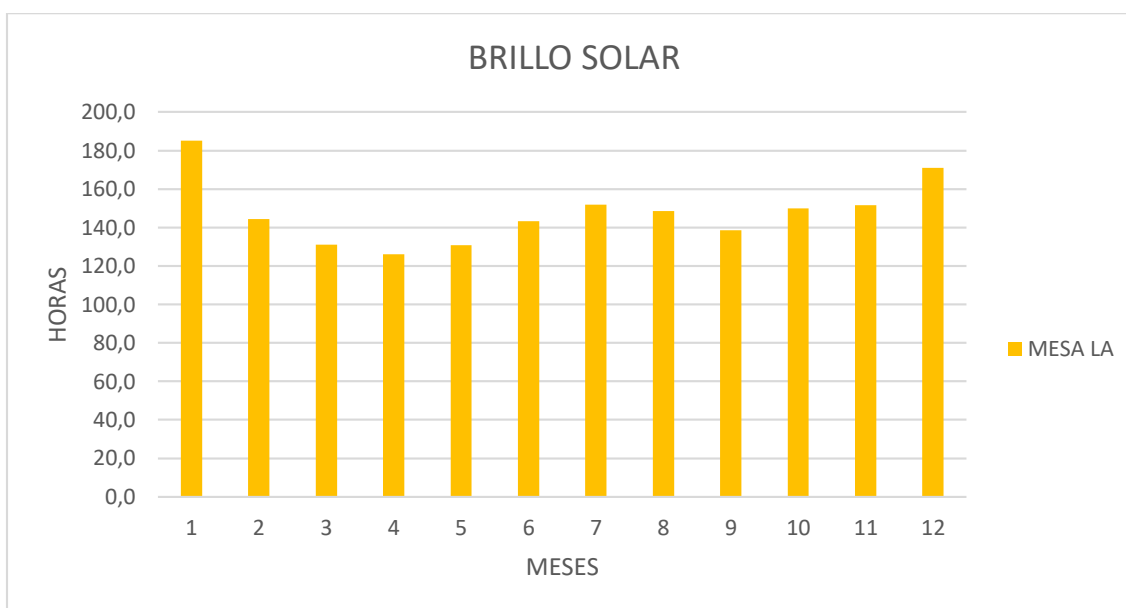
**Tabla 5. Brillo solar en horas por mes.**

<b>BRILLO SOLAR (horas/mes)</b>	
<b>MES</b>	<b>ESTACIÓN LA MESA</b>
<b>1</b>	185,2
<b>2</b>	144,3
<b>3</b>	131,1
<b>4</b>	126,0
<b>5</b>	130,7
<b>6</b>	143,2
<b>7</b>	151,8
<b>8</b>	148,5
<b>9</b>	138,6
<b>10</b>	149,8
<b>11</b>	151,5
<b>12</b>	171,1

Fuente. Tomado y modificado de [13].

Con los datos obtenidos en la tabla 5. Brillo solar, determinamos la siguiente gráfica:

**Grafica 5. Brillo solar.**

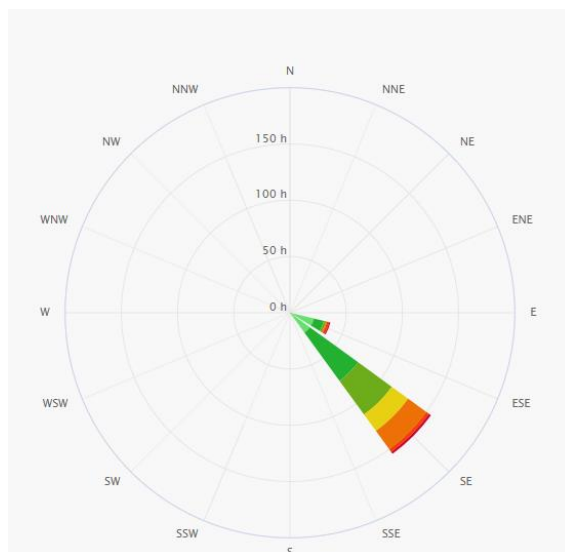


Fuente: autor propio.

### 6.7.6 Velocidad y dirección del viento

Para describir la velocidad y dirección del viento es necesario tomar los datos obtenidos de la estación la Esperanza, la cual muestra una distribución de tipo uniforme a lo largo del año con valores aproximados de 2.0 m/s a excepción del mes de agosto, septiembre y octubre los cuales tienen una variación de velocidad de 2,2 – 2,2 y 2,1 m/s respectivamente. La dirección que predomina es norte para el trayecto del viento y en los meses de agosto a octubre es noreste.

**Imagen 5. Rosa de los vientos municipio la Mesa Cundinamarca (Km/h)**



Fuente. Tomado de [13].

**Tabla 6. Velocidad del viento.**

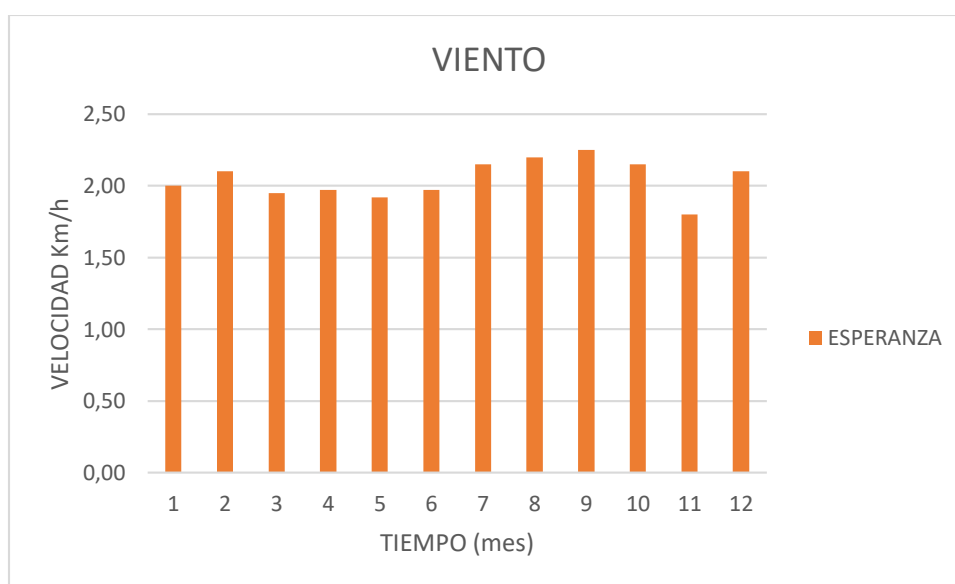
<b>VIENTO (Km/h)</b>	
<b>MES</b>	<b>ESTACIÓN ESPERANZA</b>
<b>1</b>	2,00
<b>2</b>	2,10
<b>3</b>	1,95
<b>4</b>	1,97
<b>5</b>	1,92
<b>6</b>	1,97
<b>7</b>	2,15
<b>8</b>	2,20
<b>9</b>	2,25

<b>10</b>	2,15
<b>11</b>	1,80
<b>12</b>	2,10

Fuente. Tomado y modificado de [13].

Con los datos obtenidos a partir de la tabla 6. Velocidad del viento a lo largo del año se realiza la siguiente gráfica de velocidades:

**Grafica 6. Velocidad del viento**



Fuente: Autor propio.

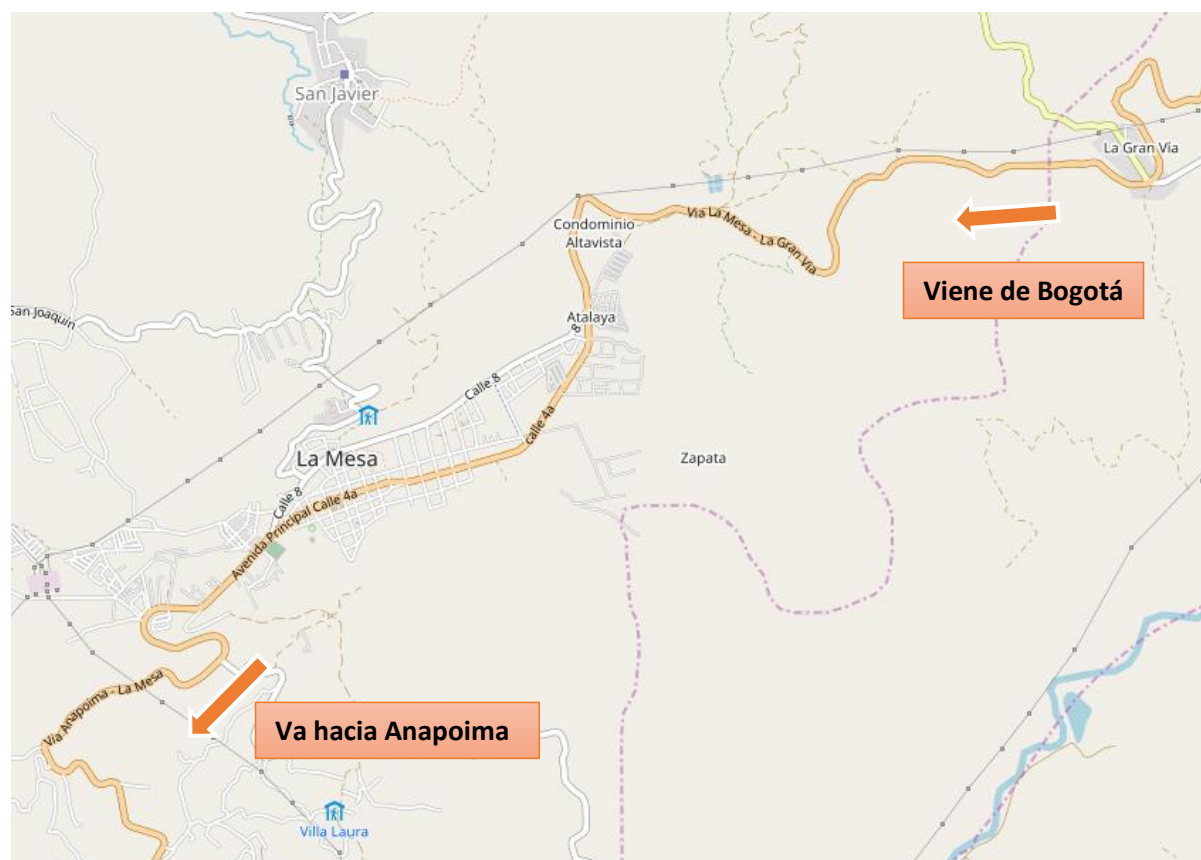
### 6.8 Vías de acceso

La Mesa Cundinamarca cuenta con una red vial compuesta por 56 vías veredales, las cuales comprenden una longitud total de 169,7 km aproximadamente, conectando de esta forma 43 veredas y las inspecciones de San Joaquín, La Esperanza y San Javier. En cuanto a las vías departamentales cuenta con 7 vías con una longitud de 70 km y una vía nacional de 20 km. Para un total de 256,6 km de vías en el municipio. [11].

En la siguiente imagen se puede apreciar las vías de acceso al municipio de la Mesa Cundinamarca, teniendo en cuenta como principales vías de acceso La Mesa – San Javier, La Mesa – Anapoima, La Mesa – La Gran Vía.

### Imagen 6. Vías de acceso la Mesa Cundinamarca

La dirección de la flecha indica, sentido Bogotá- Anapoima:



Fuente. Tomado de [11].

**Tabla 7. Existencia y estado de las vías municipales de la Mesa.**

<b>VIAS MUNICIPALES</b>	<b>ESTADO</b>	<b>KMS</b>
la Mesa - san Joaquín - el Cruce	afirmado	8
	pavimentado	10,5

	afirmado	5
el Cruce - la Mesa -el Colegio	pavimentado	6,5
	afirmado	0
la Mesa - san Javier	afirmado	5,2
	pavimentado	11,9
la Mesa - san Javier - la Peña	afirmado	5,2
	pavimentado	8,8
san Javier - alto Frisol - la Esperanza	afirmado	5,2
	afirmado	7,2
san Joaquín - la Vega - san Sebastián	pavimentado	0
	afirmado	7,8
Puerto lleras - Bicerta	pavimentado	0
	afirmado	14
el Jobo - alto Flores - Santa Lucia	afirmado	0
	pavimentado	3,5
Esmeralda - Zapata - la Flora	afirmado	0
	pavimentado	3,5
Hospicio - Peña Negra - Betulia - Escarlata	afirmado	0

---

Fuente. Tomado y modificado de [11].

## 6.9 Servicios públicos

De acuerdo con el censo del DANE en 2005 el nivel de cobertura en servicios públicos del municipio es similar al nivel de cobertura del departamento, lo cual indica que la cobertura en la Mesa Cundinamarca es significativamente buena, exceptuando el gas natural con una cobertura baja y el alcantarillado con niveles de cobertura intermedios. [11].

### **6.9.1 Acueducto**

El acueducto de la Mesa Cundinamarca fue construido y posteriormente ampliado en 1942 y 1970 respectivamente, su fuente de abastecimiento es la quebrada Honda, con una capacidad en la planta de tratamiento de 40 l/s, sin embargo, actualmente se desarrolla la construcción del acueducto municipal Apulo – la Mesa con aproximadamente longitud de 10km como fuente de reforzamiento para el existente. Dicho servicio es manejado y suministrado por la empresa Aguas del Tequendama S.A E.S.P. [14].

### **6.9.2 Alcantarillado**

El alcantarillado se construyó en 1944 con tubería de gres y diámetro de 10 y 14” dependiendo el tramo, tiene una longitud de aproximadamente 9 kilómetros en redes. Su sistema es combinado y sus vertimientos son directamente depositados en la quebrada Quijana en un 40% y el 60% a la quebrada la Carbonera, cuestión que tiene en crisis a la población por la alta contaminación que estos depósitos generan. Dicho servicio es manejado y suministrado por la Empresa Aguas del Tequendama S.A E.S.P. [14].

### **6.9.3 Energía**

El servicio de energía es atendido por la E.E.E.B y Celgac, la última mencionada tiene un total de 2546 usuarios en 2005 para un total de 6.994.993 KWH. Actualmente la empresa de energía de Cundinamarca S.A ESP es la encargada de regular el servicio en el municipio. [14].

## **6.10 Marco Ambiental**

El municipio de la Mesa Cundinamarca se encuentra ubicado en la parte baja de la cuenca del río Bogotá, dicha zona se encuentra conformada por 4 subcuencas a las cuales pertenecen 14 municipios entre ellos La Mesa Cundinamarca; sus corrientes principales se denominan río Apulo, río Calandaima y río Bogotá, esta cuenca se denomina cuenca N<sup>a</sup> 16 de acuerdo a los

nombramientos asignados por la CAR. Sin embargo, el municipio presenta un problema de contaminación en su recurso hídrico debido al contexto regional de la HOYA del río Bogotá, contaminación provocada por los municipios aledaños y por la ciudad de Bogotá. [11].

Simultaneo a los índices de contaminación existentes en la cuenca del río Bogotá y que vierte a las subcuencas, se encuentra la crisis que se evidencio con la existencia del matadero de la Mesa, puesto que este tenía una capacidad de hasta 500 sacrificios mensuales y todos los desechos producidos por el matadero se vertían directamente a la quebrada Quijana, sin ningún tipo de tratamiento y deteriorando las condiciones del recurso hídrico. La clausura del matadero se produjo hace 2 años por las constantes quejas que se recibían de su funcionamiento. [13].

Debido a la crisis efectuada a lo largo del tiempo por la contaminación existente al cauce natural, éste no presenta condiciones óptimas de consumo para la población, del municipio de La Mesa y municipios aledaños. [11].

Dentro de los planes de gestión ambiental, así como la recuperación del recurso hídrico, se estima para un período mínimo de 20 años, esto debido a la gravedad de la crisis; pero el problema mayor es la necesidad de una solución inmediata para suministrar el recurso a la población. [11].

### **6.11 Amenaza por inundación**

El cambio climático y los efectos sufridos en la actualidad hace que la probabilidad de ocurrencia de un evento extremo, con periodos de retorno menores. [19]. Las zonas que están aledañas a cuerpo de agua son consideradas zonas de amenaza, que denotan un peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presenta con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas,

lesiones u otros 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 [20].

### **6.12 Riesgo por inundación**

El riesgo a la presencia de un evento extremo, no debe considerarse siempre el mismo, ya que las variaciones de clima, hacen que el riesgo cambie de acuerdo a las diferentes condiciones, sumado a esto, la capacidad de resiliencia puede disminuir o aumentar la probabilidad. [21].

### **6.13 HEC- RAS**

Software que permite la implementación de cálculos hidráulicos para flujos unidimensionales, permanente o no permanente. Cuenta con tres componentes de análisis hidráulico unidimensional para: cálculos de perfil de la superficie del agua en condiciones de flujo permanente; simulación de flujo no permanente, y cálculo de transporte de sedimentos entre fronteras móviles. El modelo integra los datos de los tres componentes y realiza cálculos comunes de tipo geométrico, como hidráulico. Finalmente, el HEC- RAS calcula el perfil de agua para flujo permanente y no permanente [22].

## **7. METODOLOGÍA**

Por medio de la identificación característica de la zona de estudio, se inició el análisis general de precipitación, evaporación, brillo solar y demás aspectos climáticos y físicos de la cuenca. De este modo con la información obtenida de la CAR por medio de estaciones climatológicas del sector, se logra establecer el comportamiento climático que presenta la zona. Posteriormente se cuenta con un archivo DEM proporcionado por información de la NASA y accesible a usos académicos, mediante el cual es posible ubicar la cuenca en coordenadas

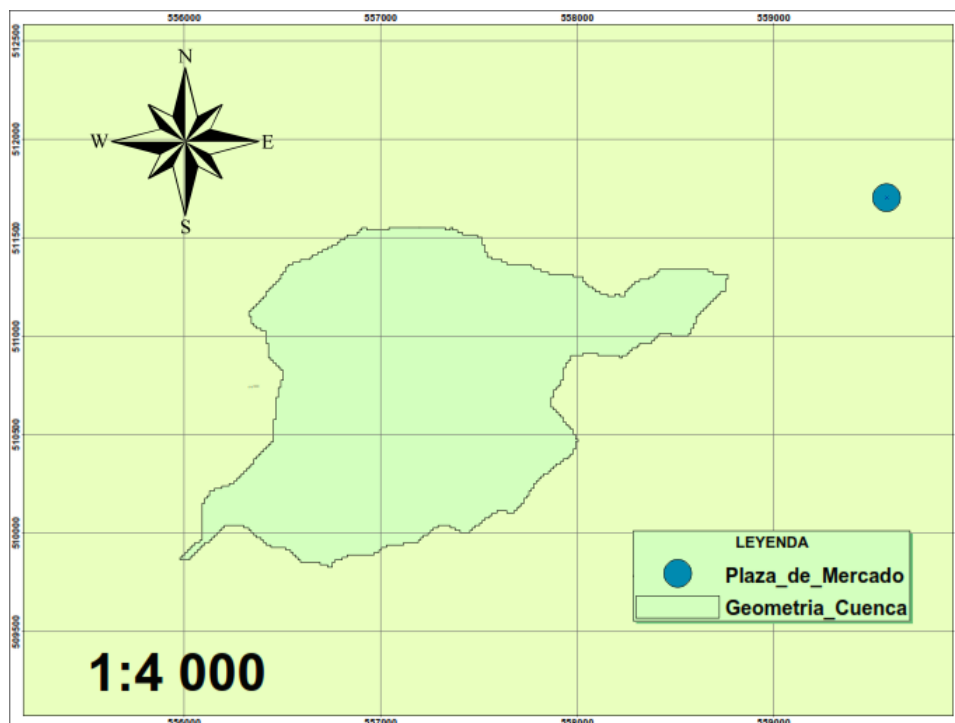
específicas, así como comparar las diferentes profundidades de las secciones tomadas en campo, de esta forma se establece que los datos den lo más reales y correctos posible.

Con la información base es posible iniciar el proceso de la delimitación de zona de ronda de acuerdo con los criterios y parámetros de diseño que se evidencian en la Guía de Acotamiento de Zonas de Ronda.

### 7.1 Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca se realizó por medio de sistemas de información geográfica, de forma que se empleó un archivo DEM, el cual fue subido al programa ARC-GIS y por medio de este se localizó y delimito la cuenca, de forma que se establece en el programa los parámetros relacionados con la Cuenca de estudio y posterior análisis del mismo.

**imagen 7. Cuenca de estudio – quebrada Quijana**



Fuente: autor propio.

## **7.2 Características hidrológicas**

La caracterización hidrológica se llevó a cabo para una cuenca de estudio ubicada en el Municipio de La Mesa Cundinamarca, para poder definir los caudales máximos de la quebrada La Quijana.

## **7.3 Características de la cuenca en la zona de estudio**

Mediante la delimitación de zona de estudio, así como factores obtenidos en el programa ARC-GIS con ayuda del DEM importado, que cuenta con información global de nivelaciones y topografías, se llevó a cabo el cálculo y determinación de la siguiente información:

### **7.3.1 Área.**

El área de la cuenca determinado por medio de ARC—GIS es de **2,52 km<sup>2</sup>**. Definiéndose como una microcuenca. [15]

### **7.3.2 Perímetro.**

El perímetro dado para esta cuenca es de **10,53 km**.

### **7.3.3 Ancho máximo y ancho medio.**

De acuerdo con los datos obtenidos, el ancho máximo de la cuenca es de **1,62 km** y el ancho medio de **0,80 km**.

### **7.3.4 Cotas máxima y mínima.**

La cota máxima en la cuenca es de **1.252 m.s.n.m** y la cota mínima es de **788 m.s.n.m**.

### **7.3.5 Índice de compacidad.**

El índice de compacidad es la relación existente entre el perímetro de la subcuenta y el de un círculo con igual área que esta, después de determinar este valor, es posible conocer el comportamiento de inundación que esta tenga.

$$Ic: 0,282 * \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

$$Lc: 0,282 * \left( \frac{10,53km}{\sqrt{2,52 km^2}} \right)$$

Donde:

P: perímetro de la cuenca

A: área de la cuenca

El resultado obtenido de índice de compacidad para esta cuenca es de **Ic: 1,87**. Con este resultado es posible apreciar que al ser un valor diferente y superior a 1. Se tiene una cuenca irregular – alargada, dato que determina que la posibilidad de inundación es baja, con baja probabilidad de desbordamiento por tormentas. [16]

### 7.3.6 Factor de forma.

Es el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del cauce principal, de esta forma se puede establecer el alargamiento de la cuenca, para determinar este valor se establece el siguiente procedimiento:

$$F_f: \left( \frac{A}{Lc^2} \right)$$

$$F_f: \left( \frac{2,52km^2}{3,142^2} \right)$$

Donde:

A: área de la cuenca

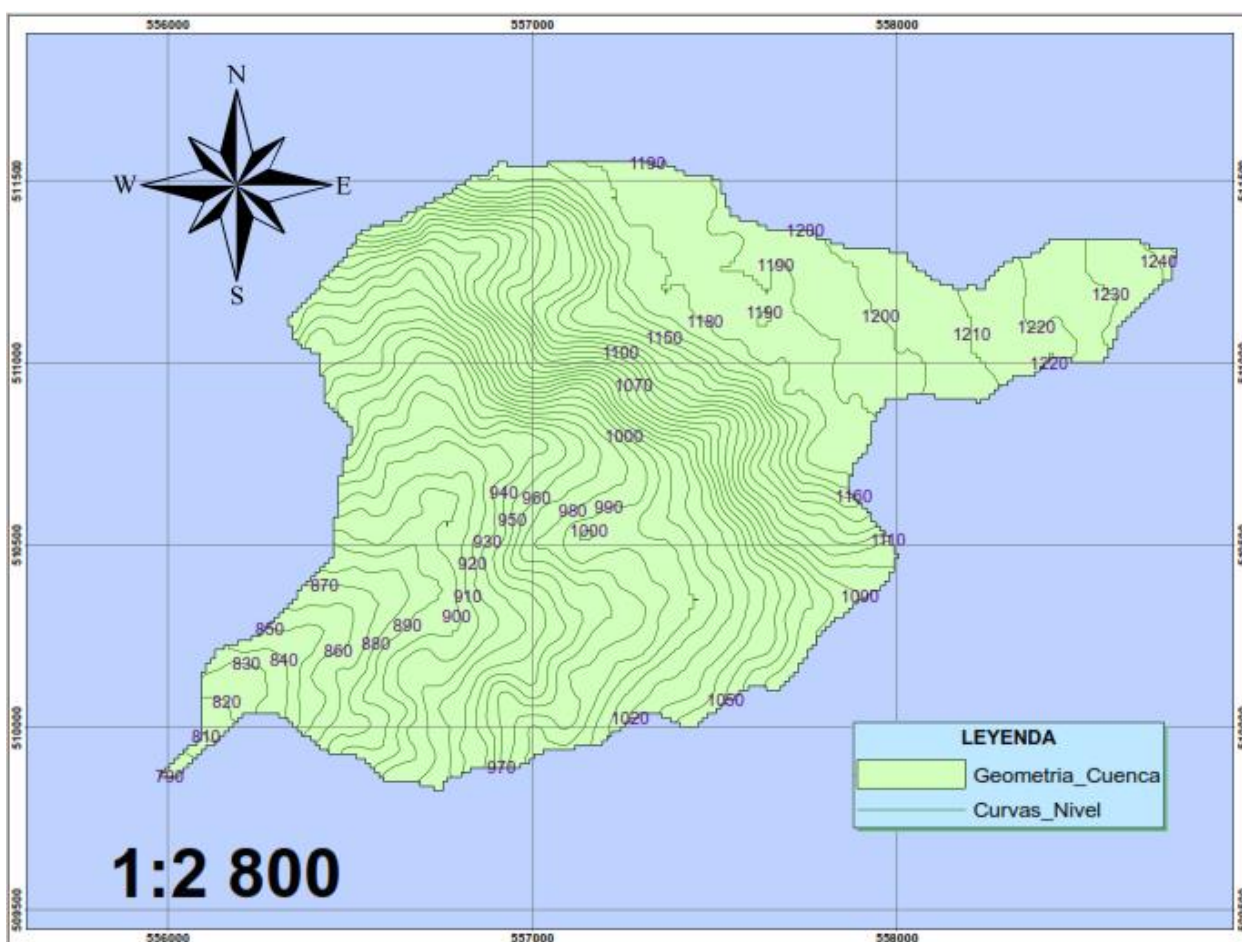
Lc: longitud de la cuenca

El factor de forma dado para esta cuenca es de **Ff: 0,26**.

### 7.3.7 Pendiente media.

En la siguiente imagen, se evidencia las curvas de nivel que permiten apreciar los cambios de pendiente dentro de la cuenca, al ser las pendientes medias, el riesgo de inundación podría ser bajo, por el drenaje medianamente rápido que posee.

**Imagen 8. Curvas de nivel**



Fuente: autor propio.

La pendiente media de la cuenca se clasifica como un dato de suma importancia, dado que se ve relacionado con la infiltración, escorrentía superficial, humedad y demás. Con el dato de

pendiente media podemos conocer el tiempo de flujo sobre el terreno, para su determinación se hizo uso de la herramienta software ARC-GIS, obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 8. Rango y ocurrencia de acuerdo con las áreas de la cuenca**

<b>RANGO</b>	<b>Ocurrencias</b>	<b>Area (m2)</b>	<b>Area (Km2)</b>
1	3364	525625	0,525
2	3676	574375	0,574
3	3753	586406	0,586
4	2372	370625	0,370
5	1385	216406	0,216
6	815	127344	0,127
7	597	93281	0,093
8	430	67188	0,067
9	128	20000	0,02
10	27	4219	0,004
<b>TOTAL</b>	<b>16547</b>	<b>2585469</b>	<b>2,585</b>

Fuente: autor propio.

De acuerdo con los datos anteriores y con la herramienta ARC-GIS se establecieron los siguientes datos de pendiente.

**Tabla 9. Pendiente media de la cuenca**

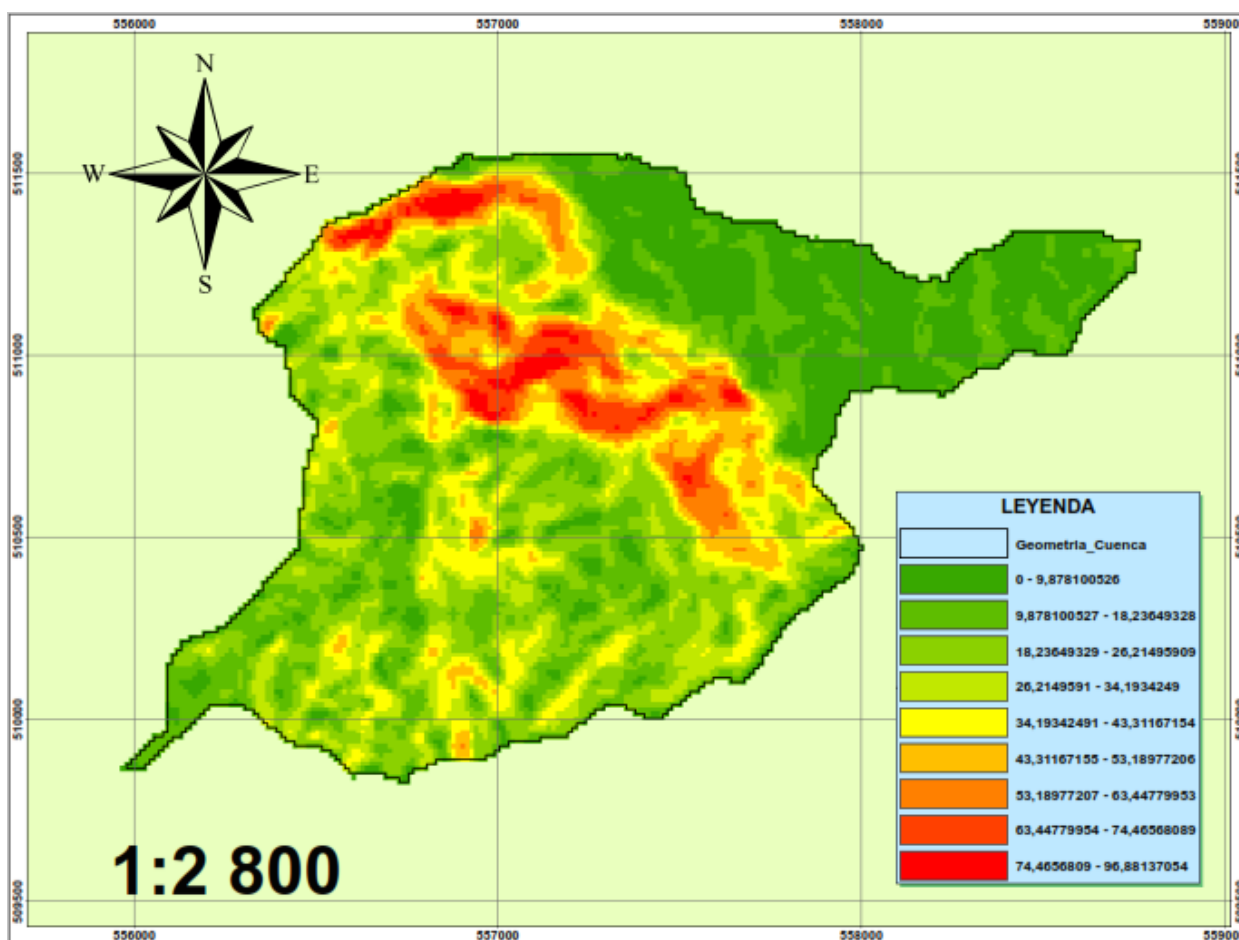
Nro	Rango Pendiente (%)			Promedio (1)	número de ocurrencia (2)	(1)x(2)
	Inferior	Superior				
1	0	10		5	3364	16820
2	10	20		15	3676	55140
3	20	30		25	3753	93825
4	30	40		35	2372	83020
5	40	50		45	1385	62325
6	50	60		55	815	44825
7	60	70		65	597	38805
8	70	80		75	430	32250
9	80	90		85	128	10880
10	90	100		95	27	2565
<b>TOTAL</b>					<b>16547</b>	<b>440455</b>
<b>Pendiente media de la cuenca</b>					<b>26,61</b>	<b>%</b>

Fuente: autor propio.

De acuerdo a los datos obtenidos por ARC-GIS la pendiente media de la cuenca es de 26.6%.

lo cual indica que es un terreno medianamente inclinado.

**Imagen 9. Pendiente media de la cuenca**



Fuente: autor propio.

### 7.3.8 Altura media de la cuenca.

Para el cálculo de diferentes parámetros que se evidencian más adelante, es necesario conocer la altura media de la cuenca, la cual está dada por valores suministrados por ARC-GIS. Donde se calculan las alturas, este procedimiento se hace con los intervalos con los cuales se determinaron las pendientes, de esta forma se obtienen valores así:

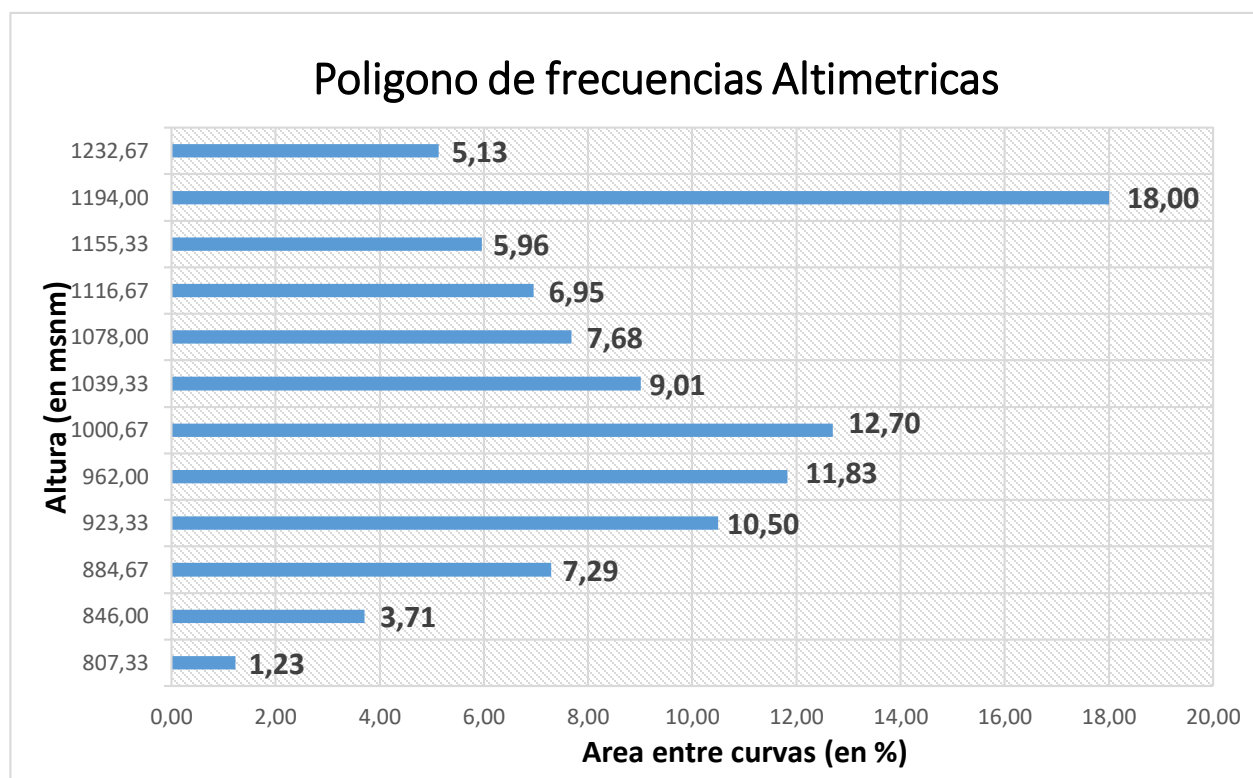
**Tabla 10. Altura media de la cuenca**

Nro	Cota(msnm)			área entre curvas (km2)			
	Mínimo	Máximo	Prom	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	788	827	807,33	0,032	2,57	100,00	1,23
2	827	865	846,00	0,095	2,54	98,77	3,71
3	865	904	884,67	0,188	2,45	95,06	7,29
4	904	943	923,33	0,270	2,26	87,76	10,50
5	943	981	962,00	0,304	1,99	77,26	11,83
6	981	1020	1000,67	0,327	1,68	65,43	12,70
7	1020	1059	1039,33	0,232	1,36	52,73	9,01
8	1059	1097	1078,00	0,198	1,12	43,72	7,68
9	1097	1136	1116,67	0,179	0,93	36,04	6,95
10	1136	1175	1155,33	0,153	0,75	29,09	5,96
11	1175	1213	1194,00	0,463	0,60	23,13	18,00
12	1213	1252	1232,67	0,132	0,13	5,13	5,13
<b>Cota</b>							
<b>max</b>	<b>1252</b>						

Fuente: autor propio.

Con los valores obtenidos es posible determinar que la altura media de la cuenca es de 1051,0402 m.s.n.m.

**Imagen 10. Polígono de frecuencia aritmética**



Fuente: autor propio.

### 7.3.9 Coeficiente orográfico.

Como primer parámetro se establece el **coeficiente de masividad**, dado de la siguiente forma:

$$C_m: \frac{A_m}{A}$$

Dónde:  $A_m$ : altitud media

$A$ : área

Después de efectuar la ecuación, el coeficiente de masividad dado para esta cuenca es de **417,2 m/km<sup>2</sup>**. Posteriormente se determina el coeficiente orográfico que está dado por:

$$C_o: \left( \frac{H^2}{A} \right)$$

$$C_o: \left( \frac{1,51^2}{2,54} \right)$$

Donde:

Co: coeficiente orográfico es adimensional

H: altitud media de la cuenca

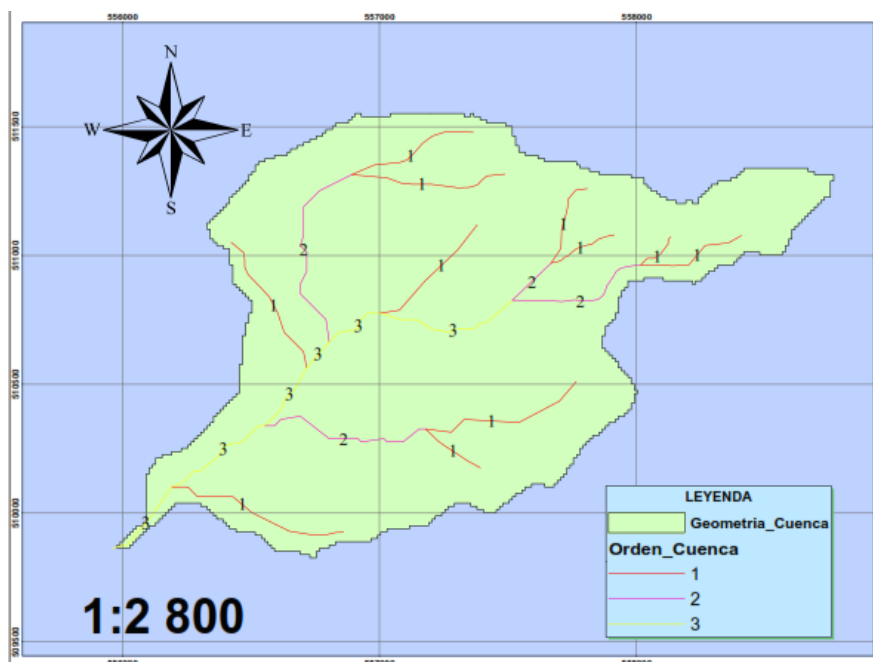
A: área de la cuenca

Como resultado obtenemos un coeficiente orográfico de 0,44 lo cual indica que es < 6 por tanto es un terreno poco accidentado.

### 7.3.10 Número de orden.

El número de orden de una red hídrica está determinado por el grado de ramificaciones de la red, de esta forma se analizan las ramificaciones que llegan al cauce principal, hasta encontrar el punto final del cauce estableciendo el orden del cauce. En el cauce de estudio es **3**.

**Imagen 11. Número de orden de la quebrada La Quijana**



Fuente: autor propio.

### 7.3.11 Densidad de drenaje.

Es el cociente entre la longitud total de los cauces que se unen a la red de drenaje y el área total de la cuenca, dicha densidad permite establecer como es la respuesta a posibles precipitaciones.

$$Dd: \left( \frac{L_t}{A} \right)$$

Donde:

Lt: longitud total de los cauces

A: área de la cuenca

Como resultado se obtiene Dd de **3,95 km/km<sup>2</sup>** este valor corresponde a una densidad de drenaje buena, lo cual indica que no se presentan estancamientos de precipitaciones, cuentan con gran facilidad de drenaje. [17]

### 7.3.12 Extensión media de la escorrentía.

La extensión media de la escorrentía hace referencia al flujo del agua, lluvia, permitiendo conocer cuál es la longitud de dicha escorrentía. Para ello se realiza el siguiente procedimiento:

$$Ee: \frac{A}{4} * Lr$$

$$Ee: \frac{2,52km^2}{4} * 9,96km$$

Donde:

A: área de la cuenca

Lr: longitud de la red hídrica

Con estos parámetros se obtiene una extensión media de escorrentía de 6,3 km.

### 7.3.13 Sinuosidad del cauce.

La sinuosidad del cauce hace referencia a la división de la longitud del eje central del cauce, entre la longitud desde el punto más cercano y más lejano de los extremos de la cuenca. De esta forma tenemos:

$$Sc: \frac{L_Q}{L_r}$$

Donde:

Lq: longitud de la quebrada Quijana

Lr: longitud de la red hídrica

La sinuosidad del cauce es de **1,23** indicador del comportamiento sinuoso con cauce único, cuyas características son ondulaciones o curvas irregulares.

### 7.3.14 Pendiente del cauce principal de la cuenca.

La pendiente del cauce principal está dada por los siguientes datos:

**Tabla 11. Pendiente del cauce principal**

<b>Orden de la Red</b>	<b>Número de</b>	<b>Pendiente</b>	
<b>Hídrica</b>	<b>Veces (1)</b>	<b>Promedio (%) (2)</b>	<b>(1)x(2)</b>
1	562	2,535587	1425,00
2	222	2,711712	602,00
3	210	2,095238	440,00
<b>Total</b>	<b>994</b>		<b>2467,00</b>

<b>Pendiente Promedio</b>	<b>2,48</b>	<b>%</b>
---------------------------	-------------	----------

Fuente: autor propio.

De acuerdo con los datos obtenidos, es posible apreciar que la pendiente del cauce principal es del 2,48%. Correspondiente a los valores de pendiente media, los cuales indican que el terreno presenta fácil escorrentía sin presencia de posibles inundaciones.

### 7.3.15 Rectángulo equivalente.

El rectángulo equivalente permite la representación de la cuenca en forma de rectángulo de lados L x l. de esta forma las curvas de nivel se representan en rectas paralelas.

$$L: \frac{C_g \sqrt{A}}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12^2}{C_g} \right)} \right)$$

$$l: \frac{C_g \sqrt{A}}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12^2}{C_g} \right)} \right)$$

Donde:

L: altura del rectángulo en km

l: base del rectángulo en km

C<sub>g</sub>: coeficiente de gravelius

A: superficie de la cuenca km<sup>2</sup>

De acuerdo con los análisis de estos parámetros se obtiene **L: 4,772 km** y **l: 0,528 km**

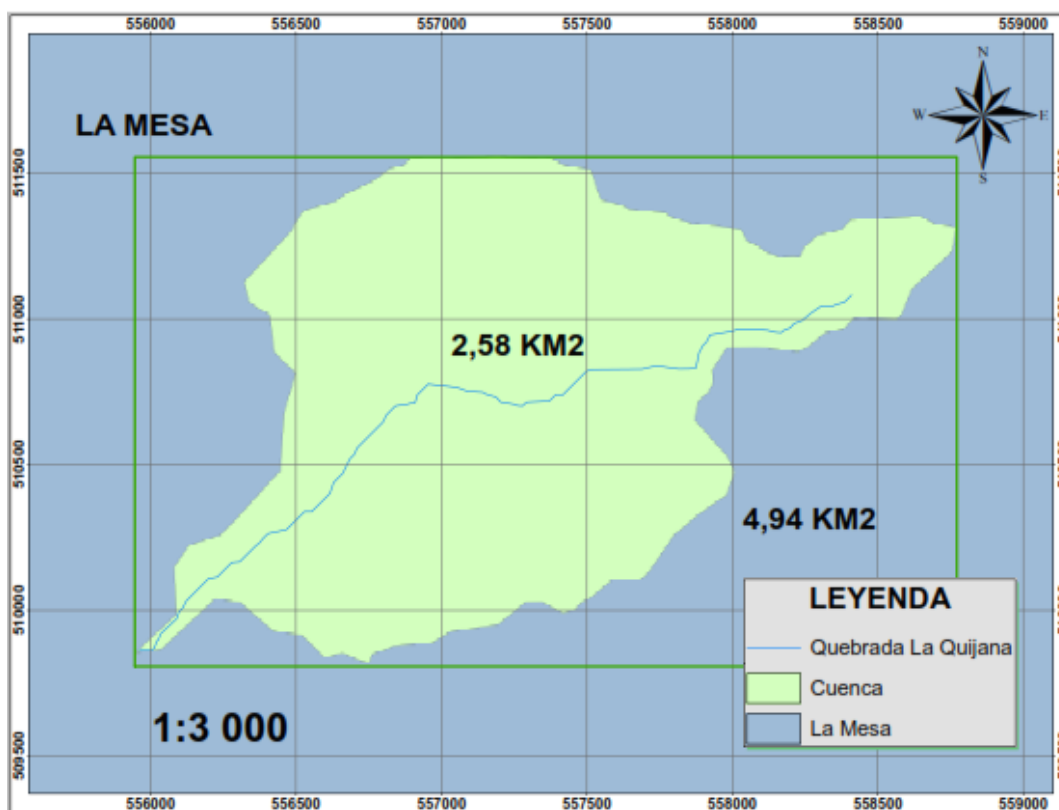
### 7.3.16 índice de homogeneidad

Este parámetro se obtiene a partir de la división del área de la cuenca con el rectángulo realizado por medio de la longitud y ancho mayor de la cuenca. Este índice es un complemento del índice de alargamiento.

$$IH: \frac{\text{área de la cuenca}}{\text{área del rectángulo}} = \frac{2,52 \text{ km}^2}{4,94 \text{ km}^2} = 0,5$$

De acuerdo al índice de homogeneidad dado, se establece que la cuenca no es homogénea, puesto que tiene relación su largo y ancho no son equivalentes.

**Imagen 13. Índice de homogeneidad**



Fuente: autor propio.

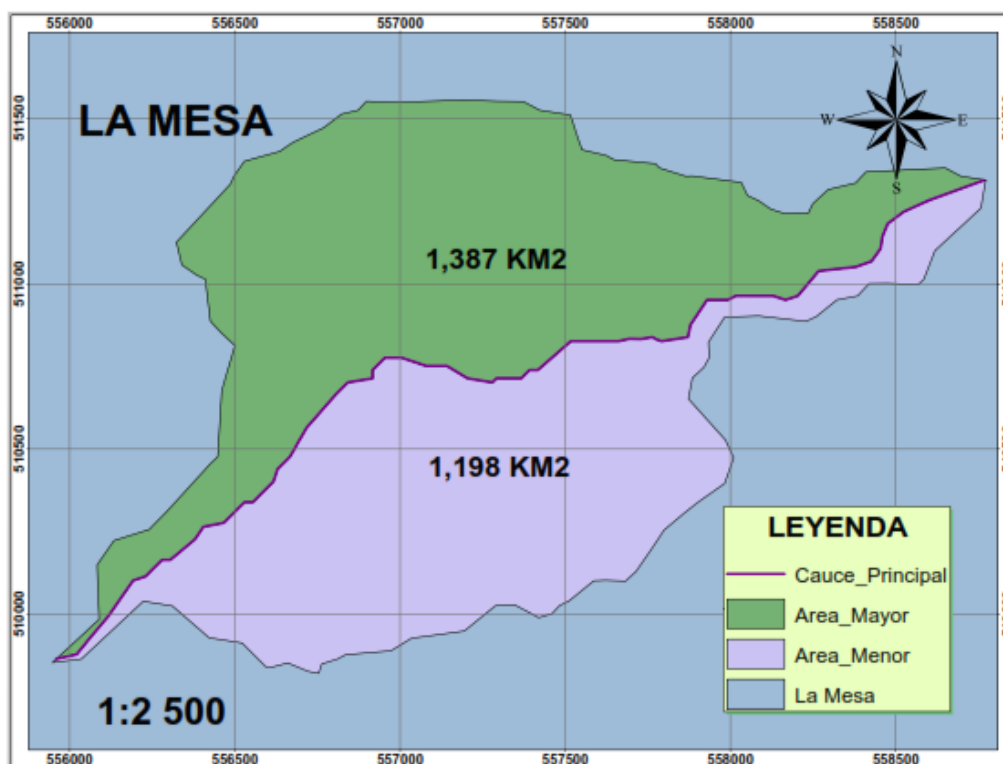
### 7.3.17 Índice asimétrico.

Es la relación entre el área mayor y área menor que conforman las vertientes, de - acuerdo con la separación del cauce principal.

$$A: \frac{\text{vertiente mayor}}{\text{vertiente menor}} : \frac{1,387\text{km}}{1,198\text{km}} : 1,16$$

La cuenca de la quebrada La Quijana, tiene un índice asimétrico de 1,16, lo cual indica que la vertiente del lado superior (Verde) recoge un mayor volumen de lluvia, por lo que es de esperarse que el caudal aportado por esta zona sea mayor que el del área inferior (morado), esto permite plantear que la cuenca en esta zona sufre un proceso erosivo, arrastrando mayor sedimento que la de su lado opuesto debido a que su red de drenaje es más densa que la zona.

**Imagen 14. Índice asimétrico**



Fuente: autor propio

### 7.3.18 Tiempo de concentración.

Está definido como el tiempo mínimo que necesita una cuenca para transportar una gota de agua desde su punto inicial hasta el punto final de la misma. En la cuenca tratada el tiempo de concentración es de **0,36 horas**.

$$T_c: 0,3 \left(\frac{L}{J^{14}}\right)^{0,78}$$

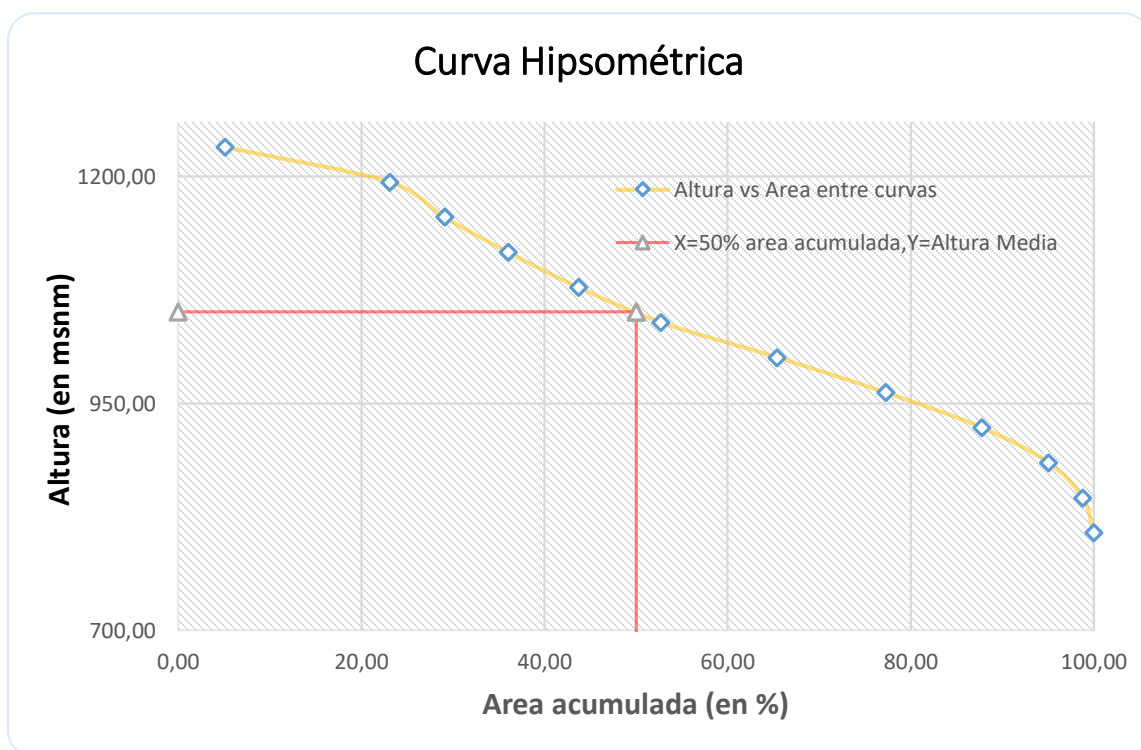
Donde:

L: longitud del cauce      J: pendiente media del cauce      Tc: tiempo de concentración

### 7.3.19 Curva hipsométrica de la cuenca.

La curva hipsométrica representa el estudio de la variación de la elevación de los terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar, relacionando el valor de la cota, en las ordenadas, con el porcentaje de área acumulada en las abscisas. [18]

**Imagen 15. Curva hipsométrica de la cuenca**



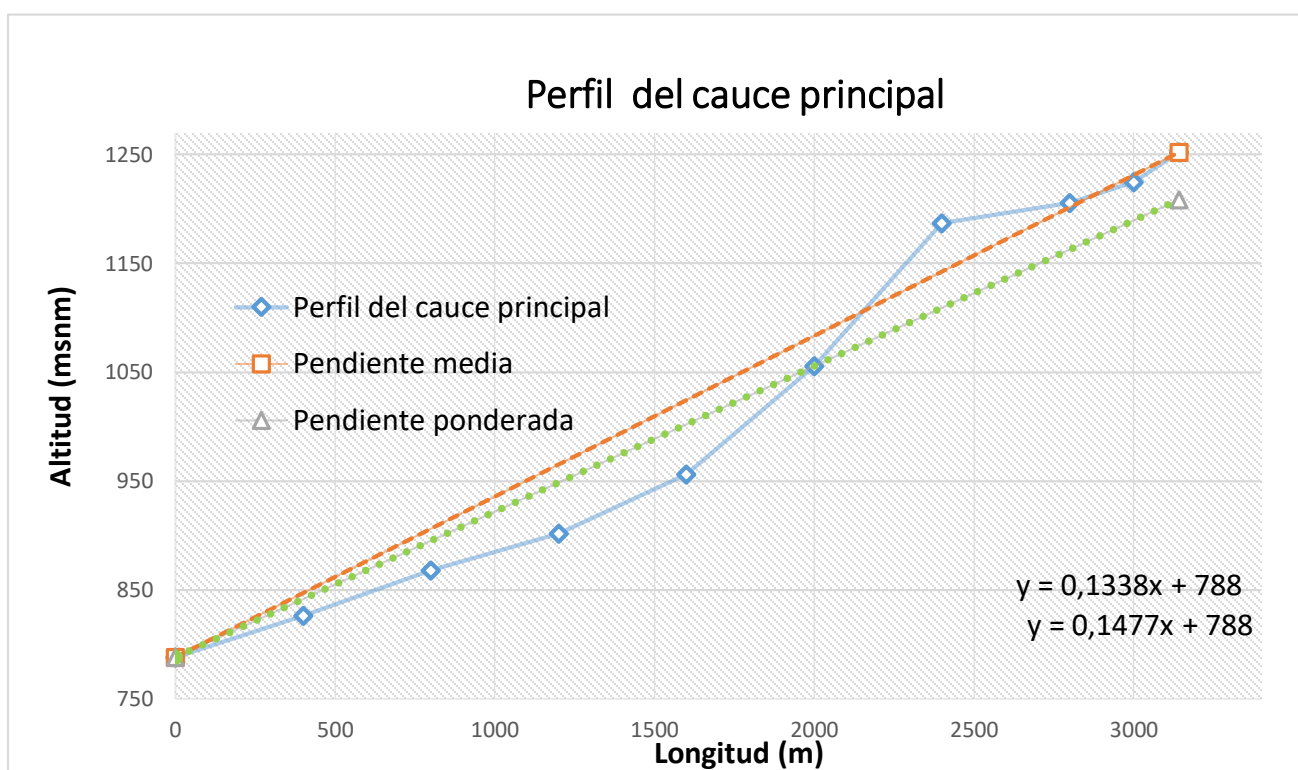
Fuente: autor propio.

De acuerdo a la gráfica representada, la quebrada La Quijana se encuentra entre las altitudes 1250 y 800 m.s.n.m considerándose una cuenca con presencia de alta montaña.

### 7.3.20 Perfil cauce principal

Por medio del perfil del cauce principal, es posible apreciar la inclinación longitudinal de la quebrada La Quijana.

**Imagen 16. Perfil del cauce principal**



Fuente: autor propio.

### 7.3.21 estimación de caudales máximos

La quebrada La Quijana no cuenta con estaciones limnimétricas o limnigráficas que permitan determinar los caudales para los distintos periodos de retorno, se procedió a elaborar el modelo

hidrológico de la cuenca con el fin de determinar indirectamente los caudales para cada periodo de retorno a través de modelos lluvia escorrentía.

### **7.3.22 calculo de caudales máximos**

Con el propósito de analizar la respuesta de la cuenca ante eventos extremos de precipitación, se realiza el cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno. Para ello se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

#### **7.3.22.1 cobertura, tipos y usos actuales del suelo:**

La Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR en convenio con la universidad de pamlona, elaboró la actualización y complementación de la oferta hídrica superficial para cuencas hasta quinto orden para la jurisdicción de la CAR, dicho estudio generó para los suelos de la jurisdicción los valores del número de curva.

De acuerdo al estudio anteriormente mencionado, se estableció que la microcuenca presenta un gran porcentaje de suelos tipo B es decir son suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente drenados a bien drenados, suelos con textura moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida.

De acuerdo a la caracterización realizada de la cuenca, se determinó:

#### **7.3.22.2 coeficiente de escorrentía:**

El Coeficiente de Escorrentía es uno de los parámetros fundamentales de la Hidrología superficial, pues representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el volumen de Escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área (cuenca). [23]

Para la quebrada La Quijana, el coeficiente de escorrentía es de **0,45**, de acuerdo a los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 12. Coeficiente de escorrentía**

<b>Zonas urbanas</b>							
<b>Asfalto</b>	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
<b>Cemento, tejados</b>	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
<b>Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)</b>							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
<b>Zonas rurales</b>							
<b>Campos de cultivo</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<b>Pastizales, prados, dehesas</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Bosques, montes arbolados</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: tomado y modificado de [23]

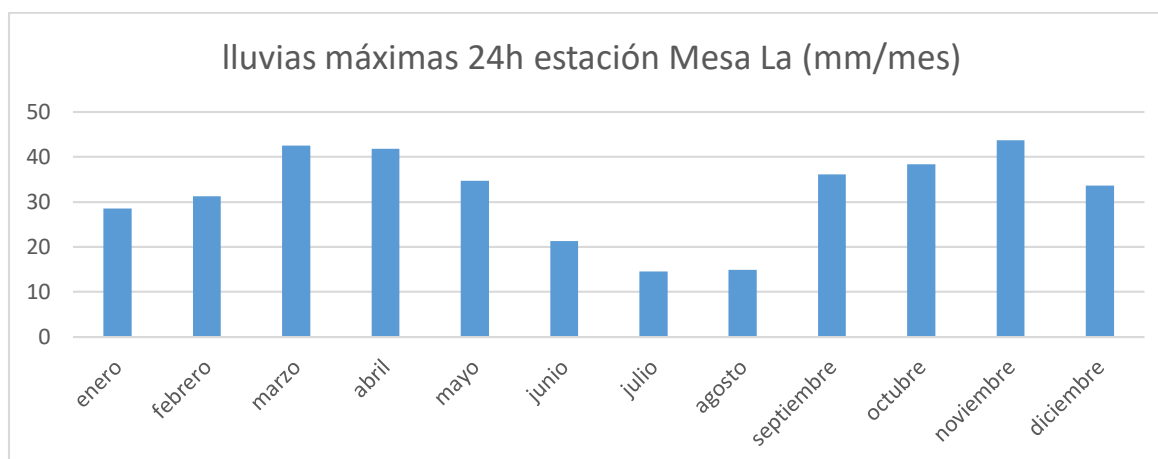
### 7.3.22.3 Precipitación máxima en 24 horas

Para el análisis y teniendo en cuenta que sobre la quebrada La Quijana no existe registro de caudales, se generaron los caudales máximos instantáneos a partir de las lluvias máximas en 24 horas de la estación Mesa La.

**Tabla 13. Lluvias máximas 24 h estación Mesa La**

MES	ESTACIÓN MESA LA
	(mm)
enero	28,5
febrero	31,3
marzo	42,5
abril	41,8
mayo	34,7
junio	21,3
julio	14,6
agosto	14,9
septiembre	36,1
octubre	38,4
noviembre	43,7
diciembre	33,6

fuelle: autor propio.

**Gráfica 7. Lluvias máximas 24 horas – estación Mesa La**

Fuente: autor propio.

#### 7.3.22.4 Curva intensidad - duración – frecuencia.

Para la determinación de curvas intensidad – duración – frecuencia IDF, se adoptó el método de “curvas Sintéticas Regionalizadas para Colombia”, estudio adelantado por R. Vargas y M. Díaz – Granados (1998), el cual está basado en el registro histórico de lluvias máximas en 24 horas.

El procedimiento para determinación de curvas IDF de acuerdo al estudio base, es:

- Determinar la región climatológica a la cual pertenece la zona de estudio, de acuerdo a su ubicación:

dado que la cuenca se ubica en el Municipio de La Mesa Cundinamarca, la región del país en la cual se ubica es: Región Andina

**Tabla 14. Resultados para coeficientes en la región Andina.**

	a	b	C	D	E	f	g	r <sup>2</sup>
ec.8	0.94	0.18	0.66	0.83				0.93
ec.9	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05			0.93
ec.11	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08		0.93
ec.12	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01	0.93

Fuente: tomado de [23]

- Establecer el parámetro pluviométrico:  
promedio del valor máximo anual de precipitación diaria M, el cual es de **43,7** de acuerdo a la información obtenida anteriormente.
- Aplicar la ecuación resultante para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años y para duraciones de lluvia entre 5 y 360 minutos.

La duración de lluvia establecida para la cuenca es de **0,33 horas**

De acuerdo al procedimiento realizado, se obtuvo un valor de intensidad, para cada periodo de retorno y duración de entre 0,17 horas y 2 horas. De acuerdo a las especificaciones del estudio.

**Tabla 15. Valores intensidad – duración- frecuencia**

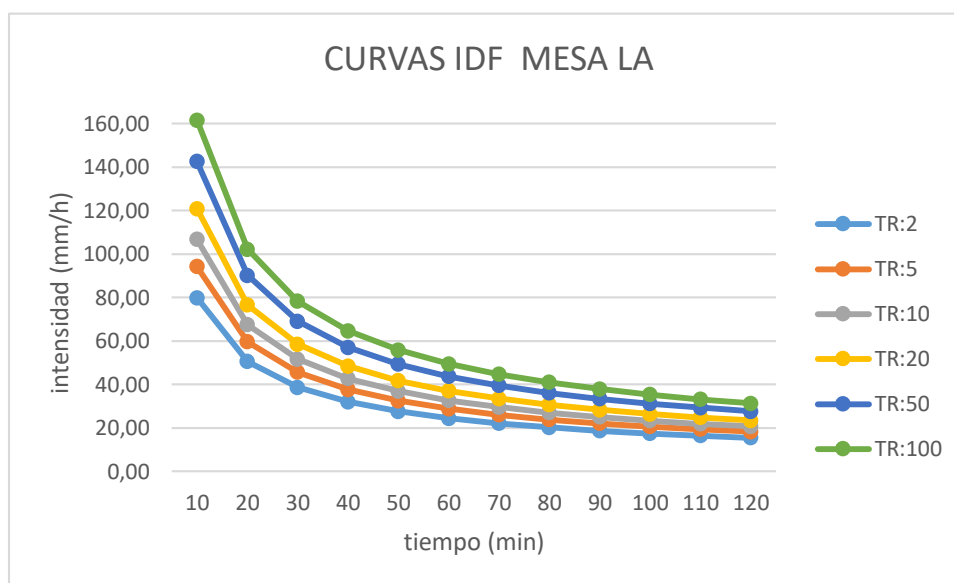
duración (horas)	intensidad (mm/hr)					
	2	5	10	20	50	100
<b>0,17</b>	79,89	94,22	106,74	120,92	142,60	161,55
<b>0,33</b>	50,56	59,63	67,55	76,53	90,25	102,24
<b>0,50</b>	38,69	45,63	51,69	58,56	69,06	78,24
<b>0,67</b>	32,00	37,74	42,75	48,43	57,12	64,71
<b>0,83</b>	27,62	32,57	36,90	41,80	49,29	55,85
<b>1,00</b>	24,49	28,88	32,71	37,06	43,71	49,51
<b>1,17</b>	22,12	26,08	29,55	33,48	39,48	44,72

<b>1,33</b>	20,25	23,88	27,06	30,65	36,15	40,95
<b>1,50</b>	18,74	22,10	25,03	28,36	33,44	37,89
<b>1,67</b>	17,48	20,61	23,35	26,45	31,20	35,34
<b>1,83</b>	16,41	19,36	21,93	24,84	29,30	33,19
<b>2,00</b>	15,50	18,28	20,70	23,45	27,66	31,34

Fuente: autor propio.

Con relación a los valores determinados en la tabla anterior, se grafican las curvas IDF para los diferentes periodos de retorno.

**Gráfica 8. Curvas IDF para diferentes periodos de retorno**



Fuente: autor propio.

Para la determinación de caudales, se empleó el método racional, ya que se utiliza generalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural, teniendo la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la determinación de caudales máximos.

$$Q: \frac{C.A.I}{360}$$

Donde:

Q: caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

C: coeficiente de escorrentía

A: área de la cuenca (Ha)

I: intensidad de la lluvia de diseño

**Tabla 16. Caudales para diferentes periodos de retorno**

Duración (horas)	caudales					
	2	5	10	20	50	100
<b>0,33</b>	15,93	18,78	21,28	24,11	28,43	32,21

Fuente: autor propio.

## 8. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

Se realizó el planteamiento del modelo hidráulico para el tramo de la quebrada La Quijana que se encuentra en el municipio de La Mesa Cundinamarca, aproximadamente 3,3 km. Una vez identificada la quebrada La Quijana y su ubicación, se realizó una visita para tomar los puntos de referencia con GPS, que permitió georreferenciar la quebrada en coordenadas origen Bogotá y por medio de ARCGEEK se realizó la transformación a coordenadas UTM WGS1984, para su posterior ubicación dentro del archivo de HEC-RAS y ARCGIS.

**Imagen 17. Ubicación de GPS en sitio de estudio**



Fuente: autor propio.

Los datos obtenidos por cada GPS, en los dos puntos de estudio son:

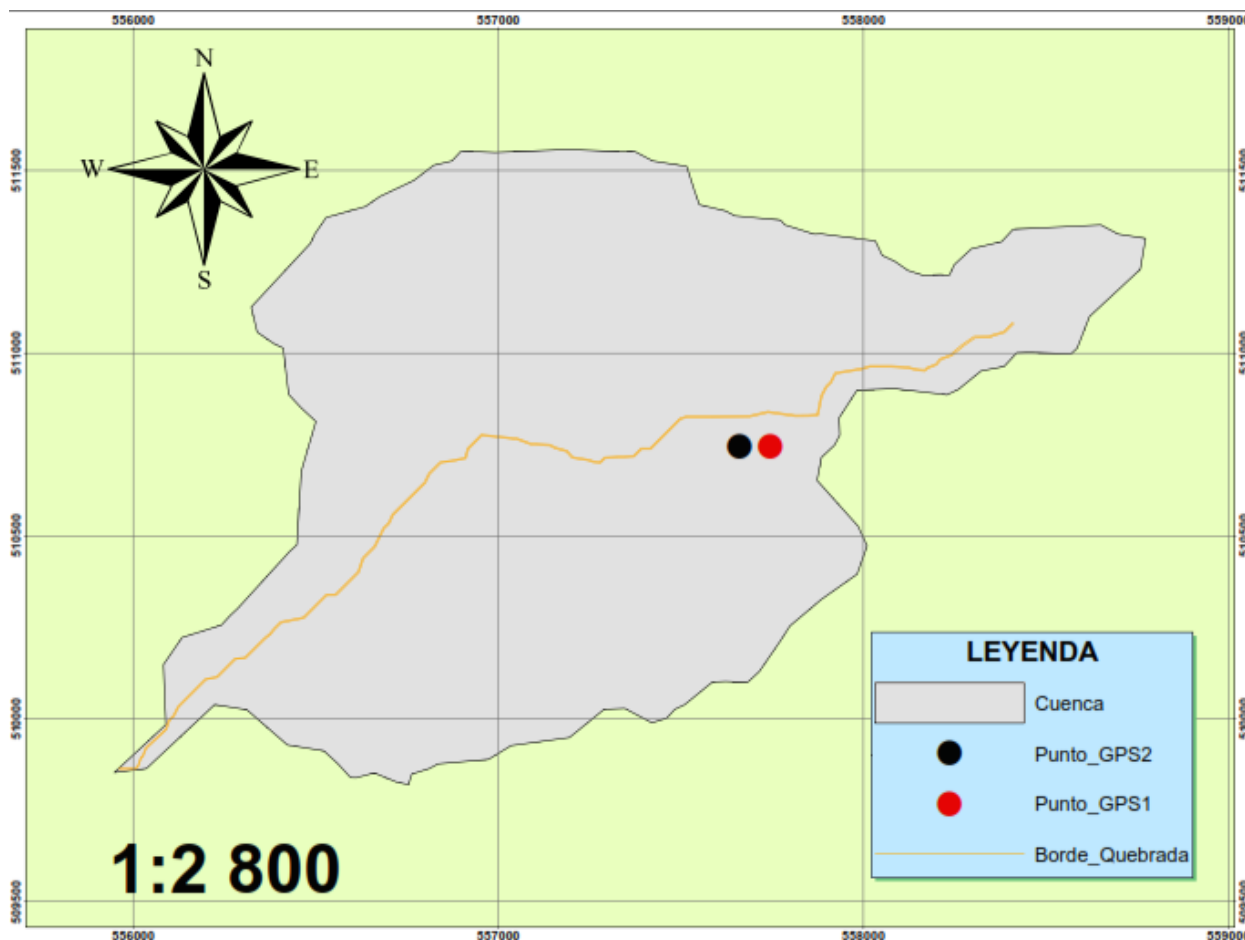
**Tabla 17. Datos obtenidos de los GPS.**

VERTICE	COORDENADAS GEOGRAFICAS EPOCA 2018.0		COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS 2018.0 ORIGEN BOGOTA		ELEVACION GEOCOL
	Latitud	Longitud	Norte	Este	
GPS1	4° 37' 52.18739	74° 27' 59.37100	s	956838.600	1243.615
GPS2	4° 37' 52.18213	74° 28' 02.13008	1003877.946	956753.558	1230.722

Fuente: tomado de [24]

A continuación, se representa la ubicación de los puntos dados por los GPS, en el software HEC-RAS:

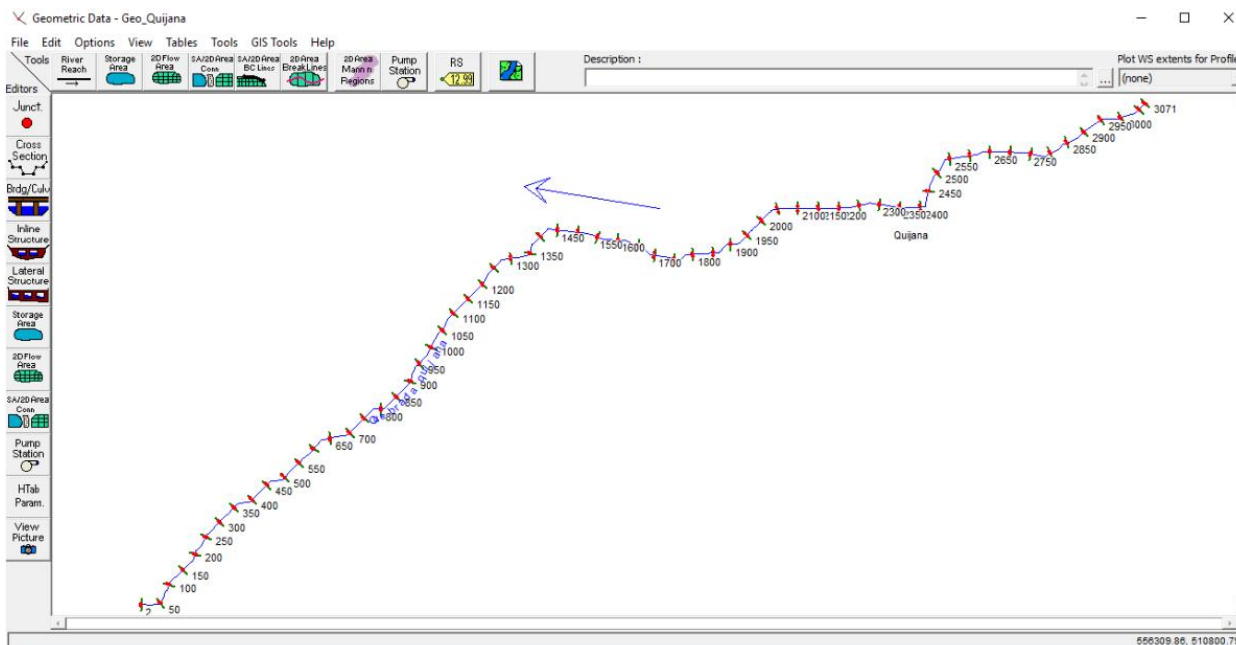
**Imagen 18. Ubicación de puntos de georreferenciación (dos GPS)**



Fuente: autor propio.

se realizó el recorrido a lo largo de la cuenca, en donde se tomaron en campo algunas secciones transversales, con estas se determinaron similitudes entre tramos para obtener las demás secciones transversales del archivo DEM de la cuenca, las cuales fueron ingresadas manualmente e importadas mediante la extensión HEC-GeoRAS, respectivamente. Obteniendo como resultado 82 secciones para todo el recorrido.

## Imagen 19. Secciones transversales a lo largo de la cuenca.



Fuente: autor propio.

### 8.1 Elaboración del modelo hidráulico

Una vez determinados los parámetros y mediante el software HEC-RAS se obtiene la mancha de inundación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, así como la determinación de la zona del cauce natural correspondiente a los caudales máximos. Las secciones fueron localizadas aproximadamente cada 50 metros, medidos por el eje de la quebrada, digitalizando las bancas derecha e izquierda de la quebrada a 15 metros del eje central.

### 8.2 Secciones transversales

Se realizó el análisis de las secciones transversales, según la ubicación en campo y los datos tomados, así como los extraídos del archivo DEM. De acuerdo a la información requerida por HEC-RAS se establece un número de manning para las diferentes secciones.

- **Número de manning:**

**Tabla 18. Numero de manning**

Material	Coficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C <sub>H</sub>	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

Fuente: tomado de [23]

para la asignación del número de manning fue necesario establecer zonas, de acuerdo a la diferencia de condiciones del terreno a lo largo del cauce de la cuenca. Basado en la siguiente tabla:

**tabla 19. Número de manning para el área asignada de estudio**

zona	Número de manning		
	borde izquierdo	canal central	borde derecho
entrada a la zona			
urbana	0,050	0,045	0,035
zona urbana	0,035	0,045	0,035
salida zona urbana			
del municipio	0,035	0,045	0,035

Fuente: autor propio.

### 8.3 información de flujo

Para la información de flujo, fue necesario conocer los periodos de retorno, así como los caudales efectuados a lo largo del cauce, de igual forma se conoció a través de las visitas previas y la toma de datos en campo, el estado de la cuenca y el cauce real de la misma.

#### Imagen 20. Quebrada La Quijana



Fuente: Autor propio.

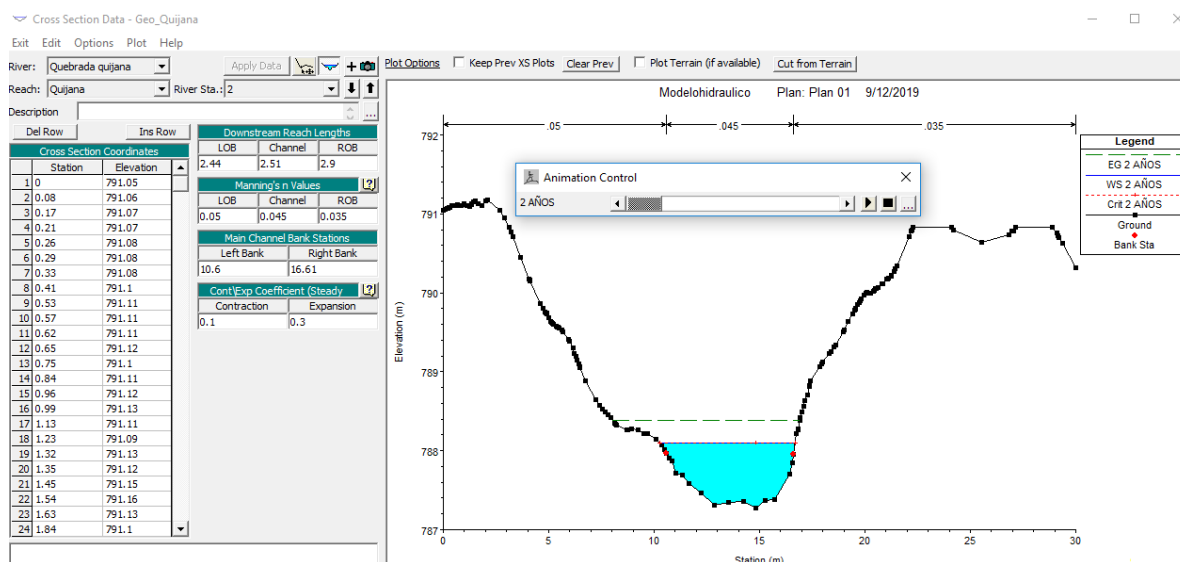
### 8.4 Resultados modelo hidráulico

Después de tener la información del flujo, así como los datos de geometría y secciones, caudal de diseño en los diferentes periodos de retorno, los números de manning, permiten obtener resultados del modelo ejecutado:

Para representar los datos de secciones transversales, se tomaron 3 secciones en los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50, 100 años:

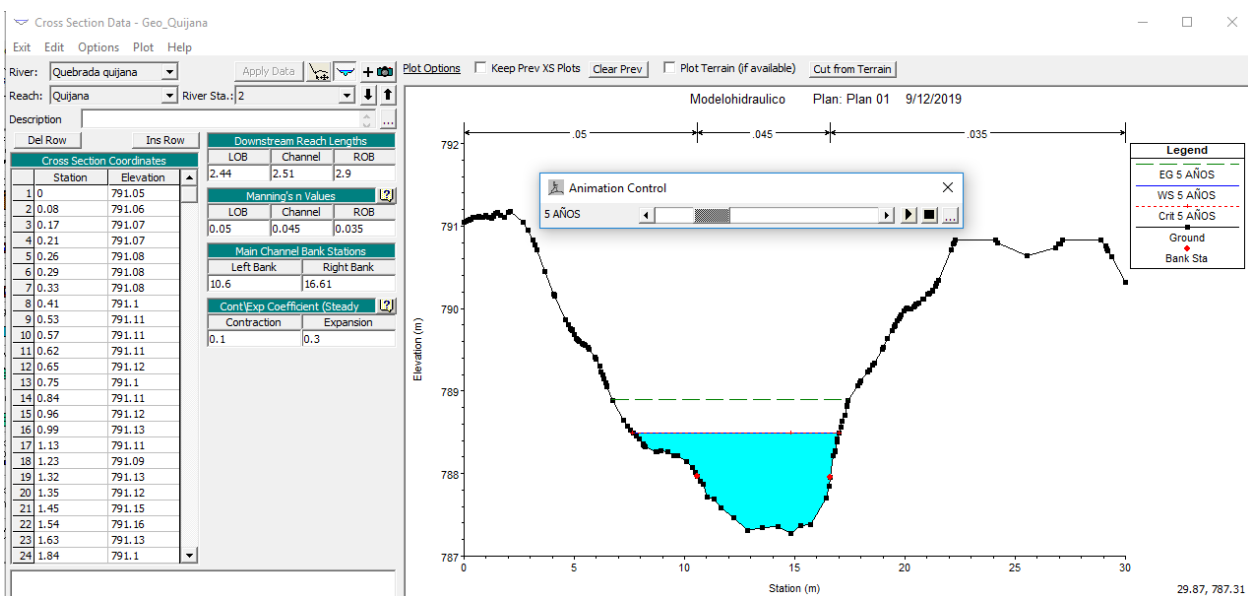
Primera sección: a 2 metros de la desembocadura de la quebrada:

**Imagen 21. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 2 años**



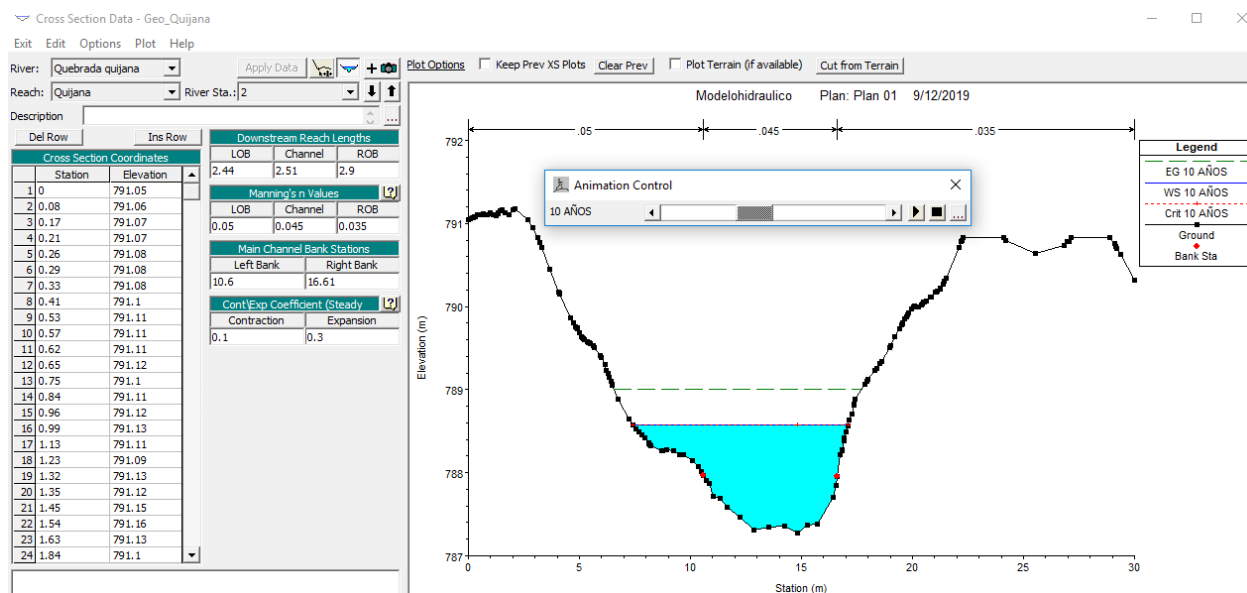
Fuente: autor propio.

**Imagen 22. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 5 años**



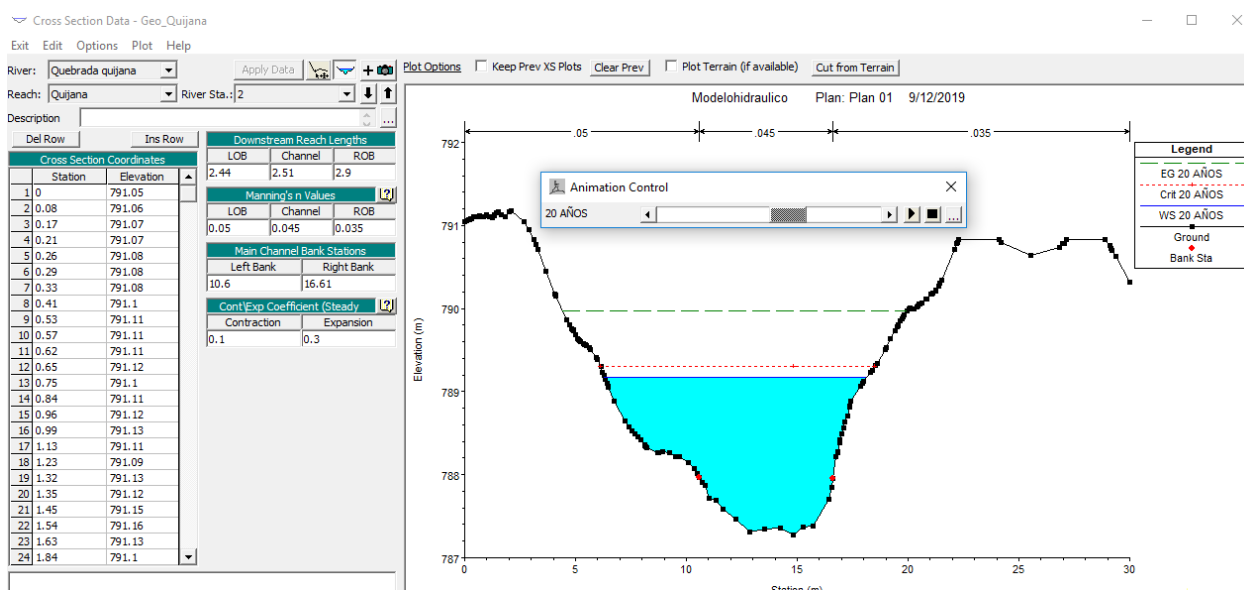
Fuente: autor propio.

### Imagen 23. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 10 años



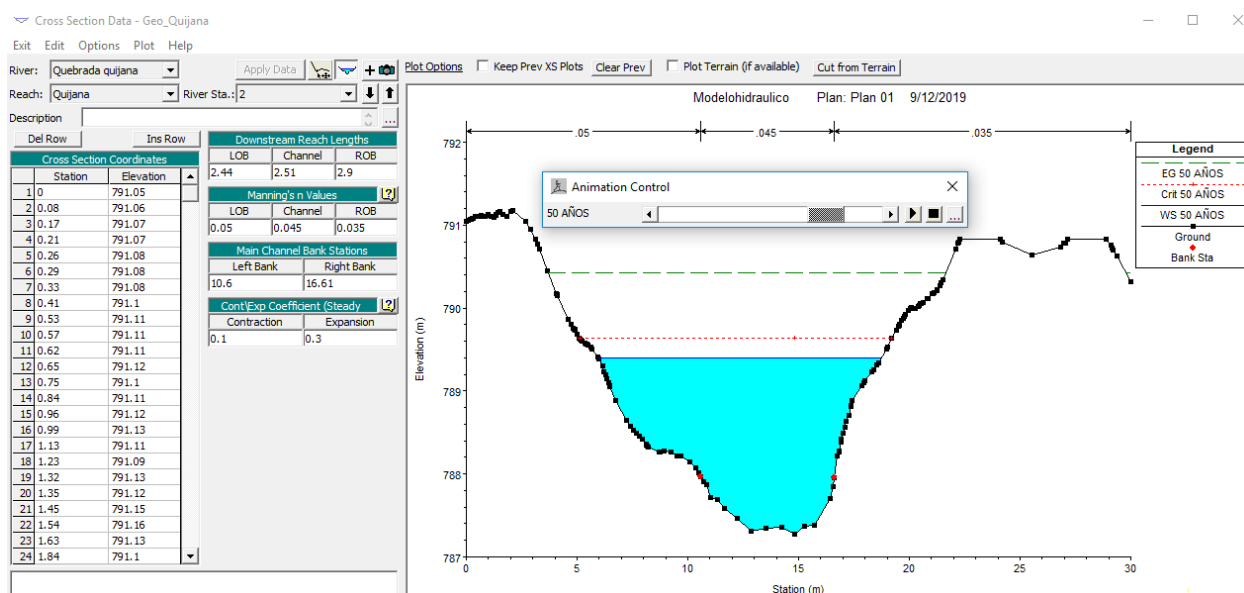
Fuente: autor propio.

### Imagen 24. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 20 años



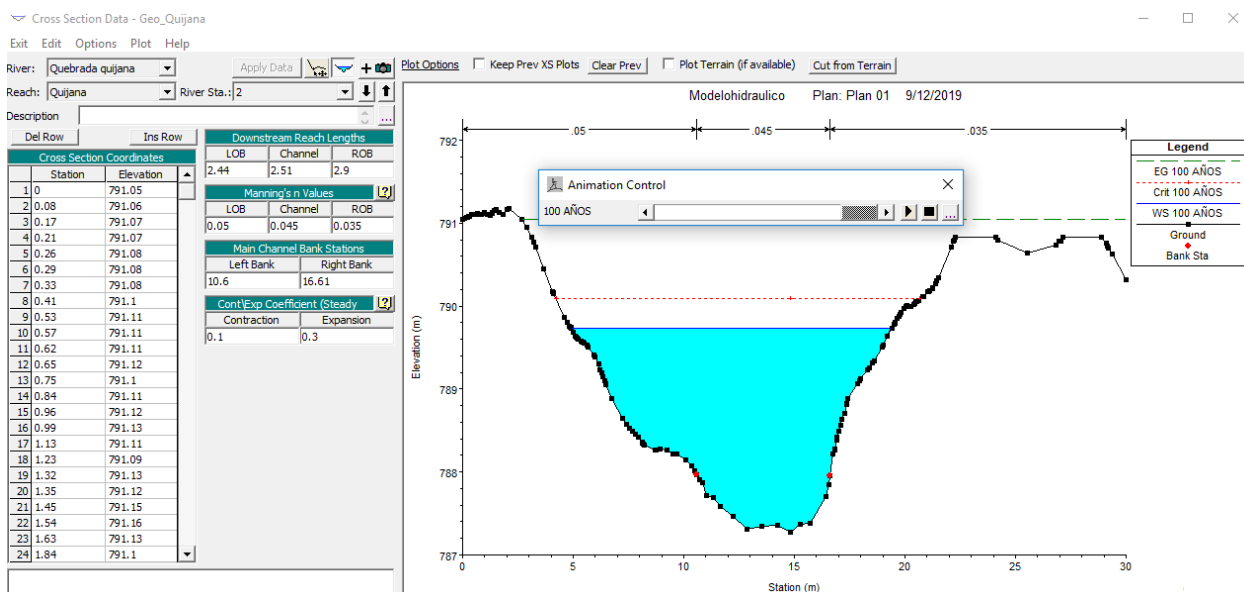
Fuente: autor propio.

**Imagen 25. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 50 años**



Fuente: autor propio.

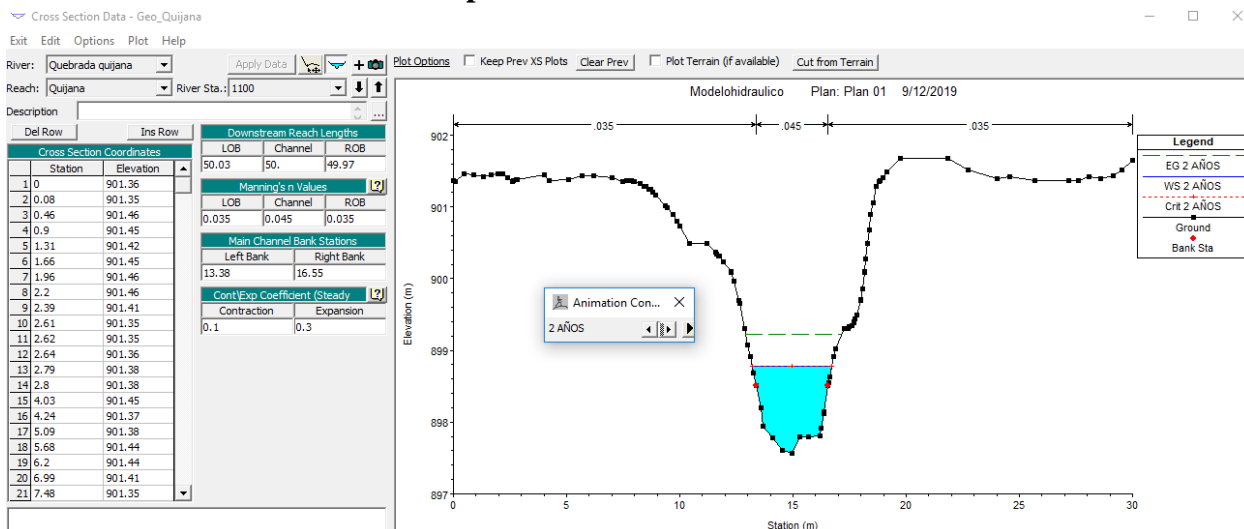
**Imagen 26. Modelamiento sección a 2 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 100 años**



Fuente: autor propio.

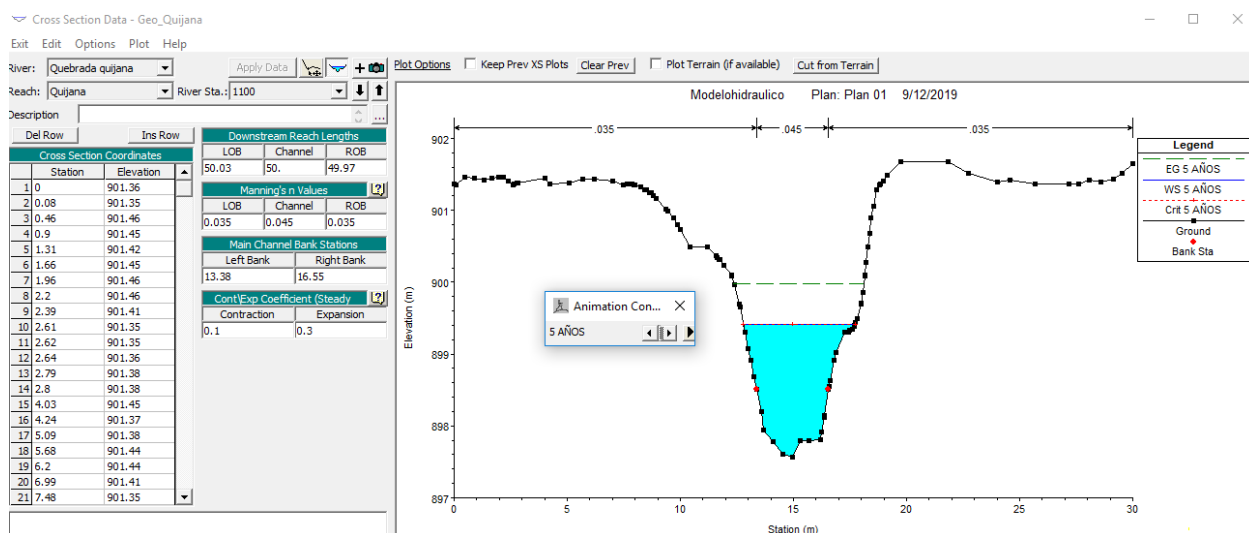
Segunda sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada:

**Imagen 27. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 2 años**



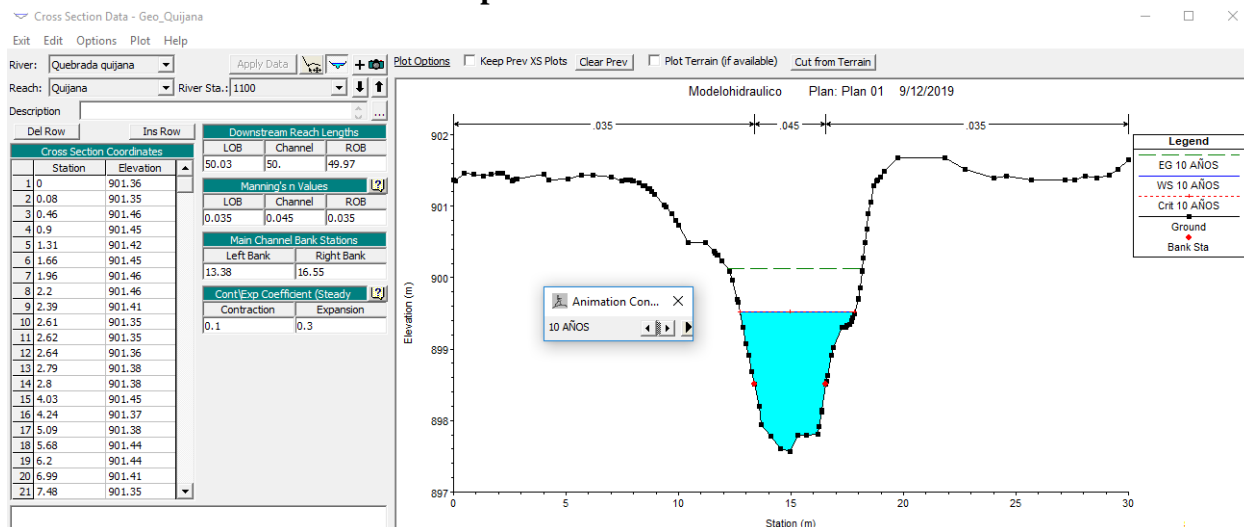
Fuente: autor propio.

**Imagen 28. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 5 años**



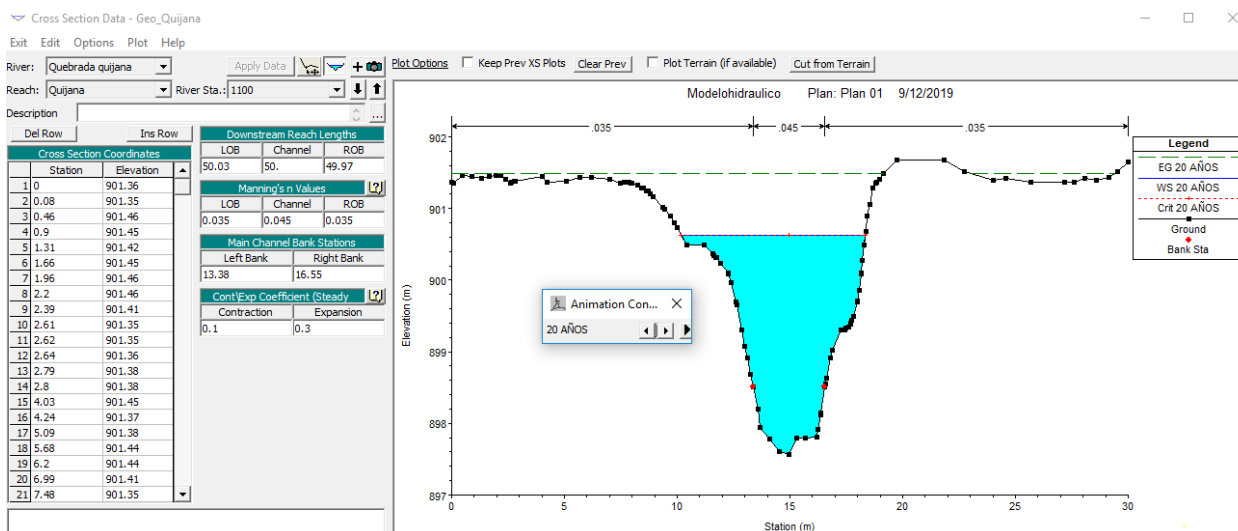
Fuente: autor propio.

**Imagen 29. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 10 años**



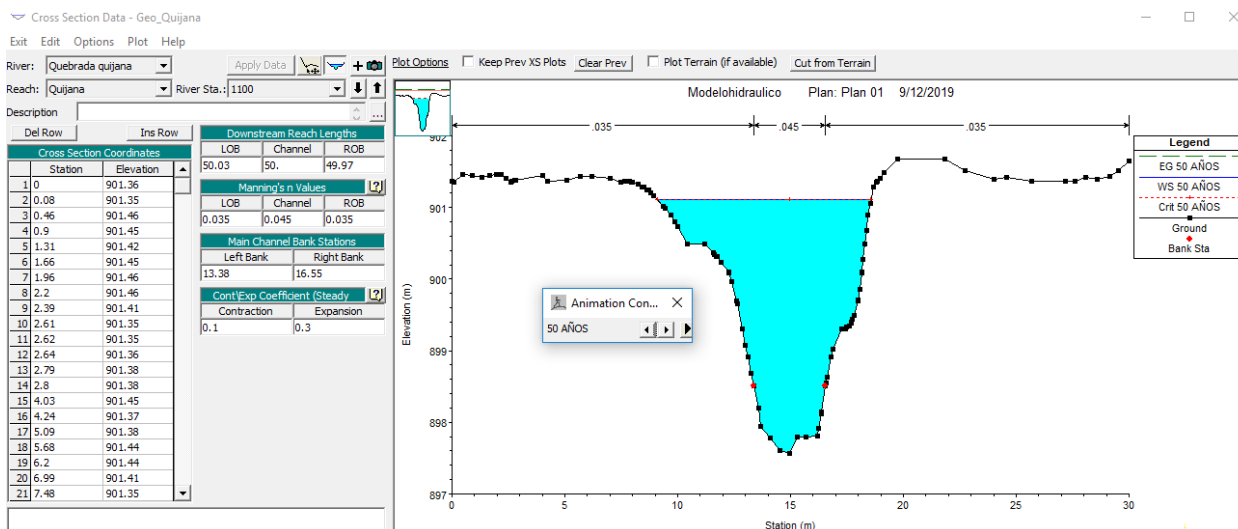
Fuente: autor propio.

**Imagen 30. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 20 años**



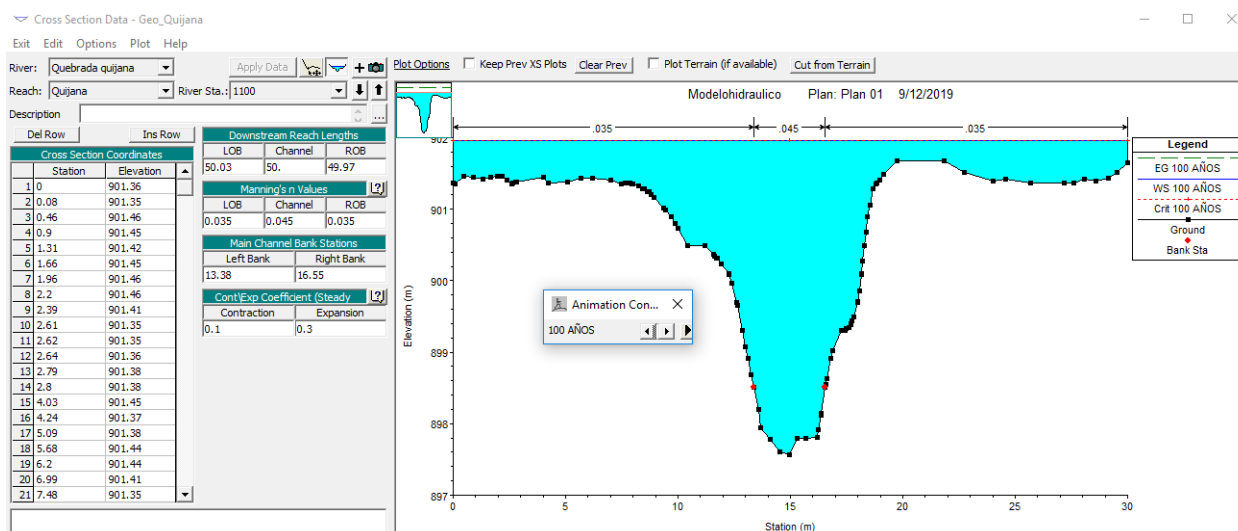
Fuente: autor propio.

**Imagen 31. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 50 años**



Fuente: autor propio.

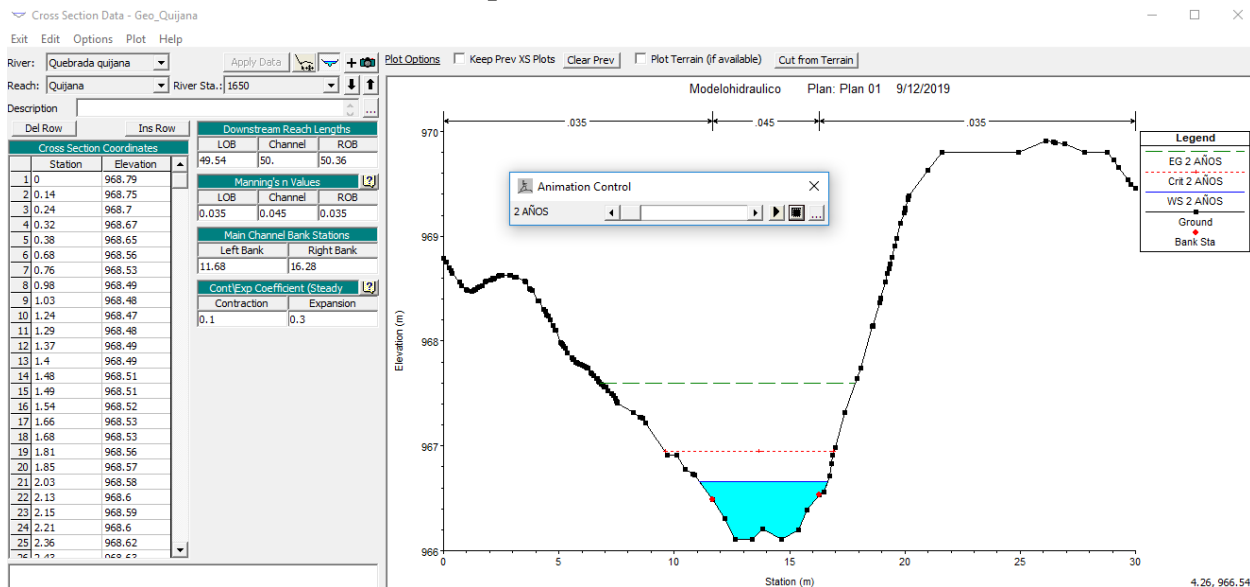
**Imagen 32. Modelamiento sección a 1100 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 100 años**



Fuente: autor propio.

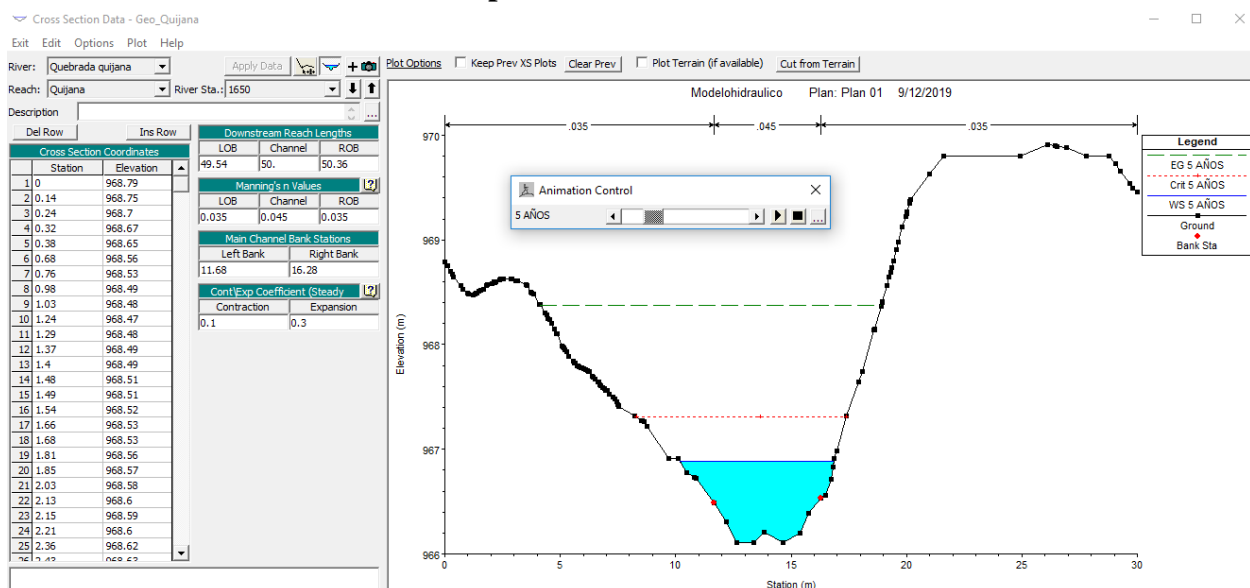
Tercera sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada:

**Imagen 33. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 2 años**



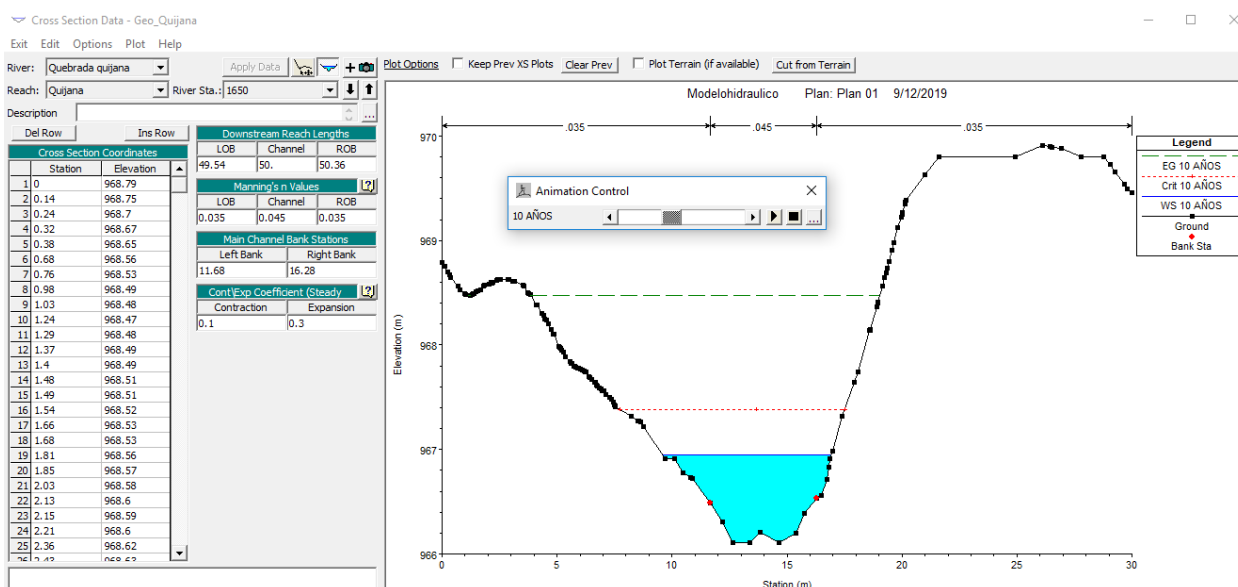
Fuente: autor propio.

**Imagen 34. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 5 años**



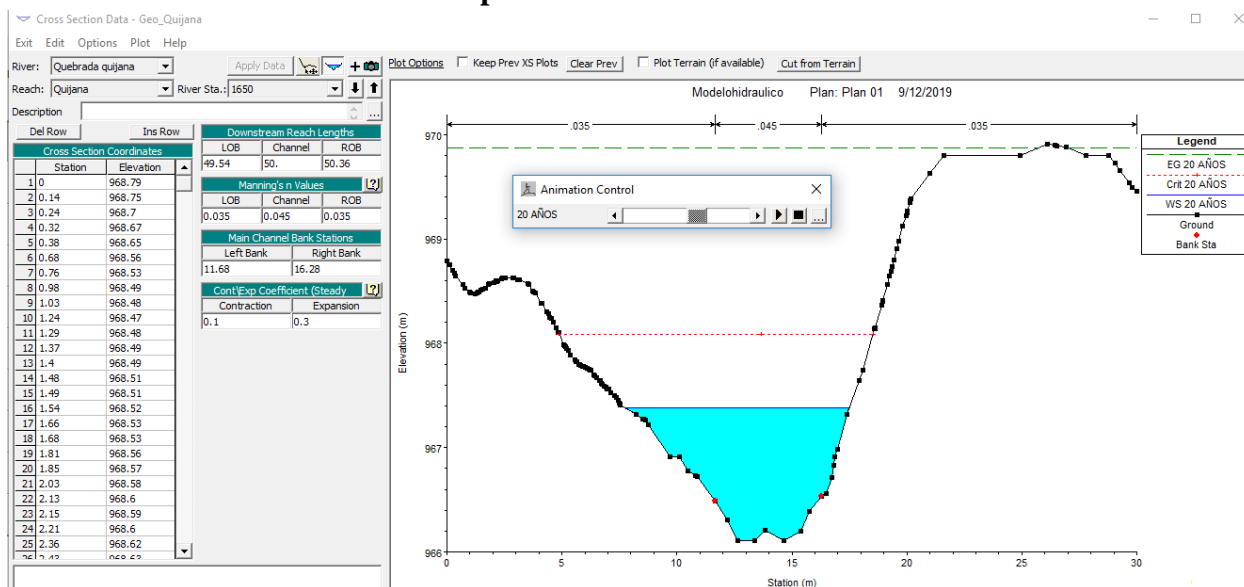
Fuente: autor propio.

**Imagen 35. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 10 años**



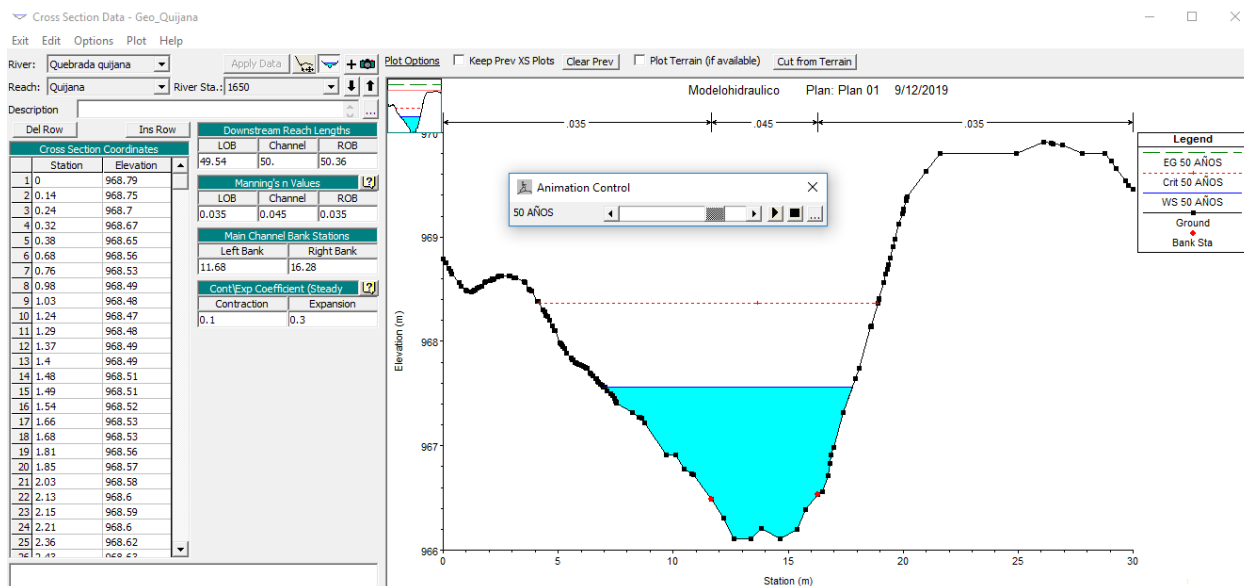
Fuente: autor propio.

**Imagen 36. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 20 años**



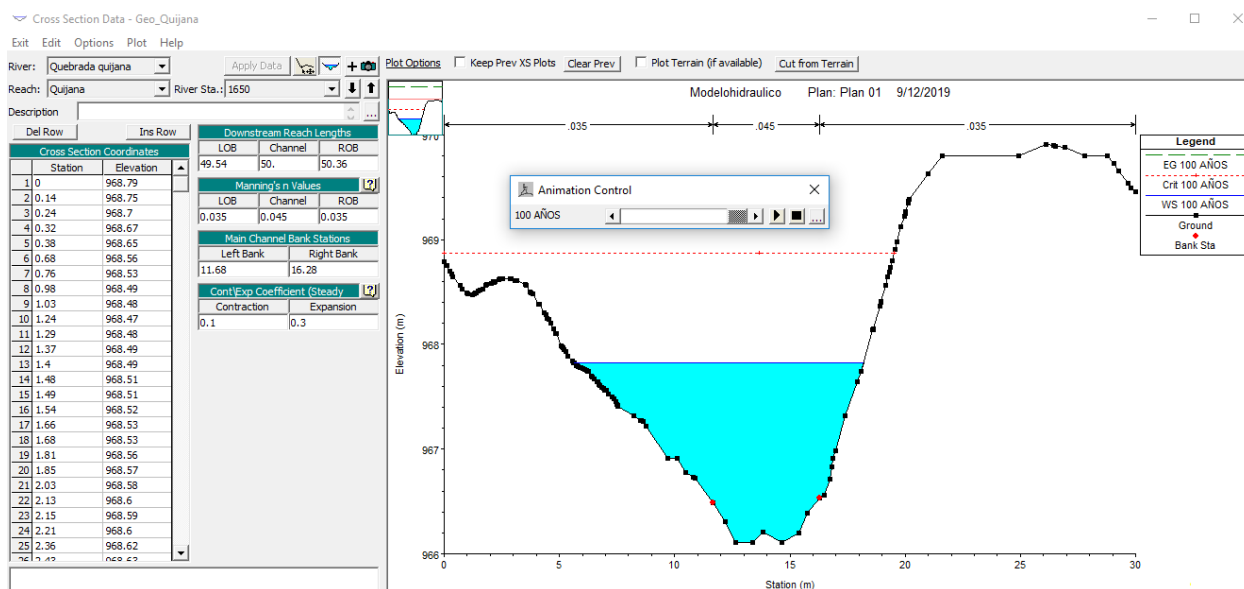
Fuente: autor propio.

**Imagen 37. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 50 años**



Fuente: autor propio.

**Imagen 38. Modelamiento sección a 1650 metros de la desembocadura de la quebrada con periodo de retorno de 100 años**

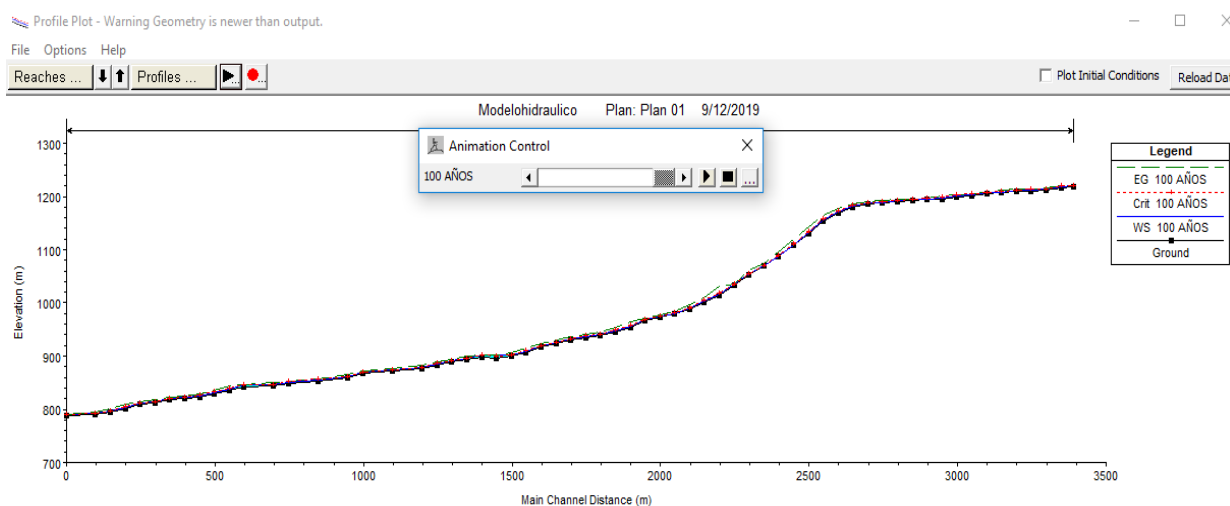


Fuente: autor propio.

Al no contar con información suficiente como datos de caudales y demás aspectos, es necesario conocer que los caudales propuestos son un valor aproximado del valor real de flujo que posee el cauce, de esta forma, es posible evidenciar errores, aunque de baja magnitud, puesto que, de acuerdo al método empleado para el cálculo de caudales, se estima un error del 20%. La zona por la cual se hace importante el uso del DEM, para poder completar la información faltante de secciones transversales, en lugares donde físicamente era difícil acceder a tomar las secciones.

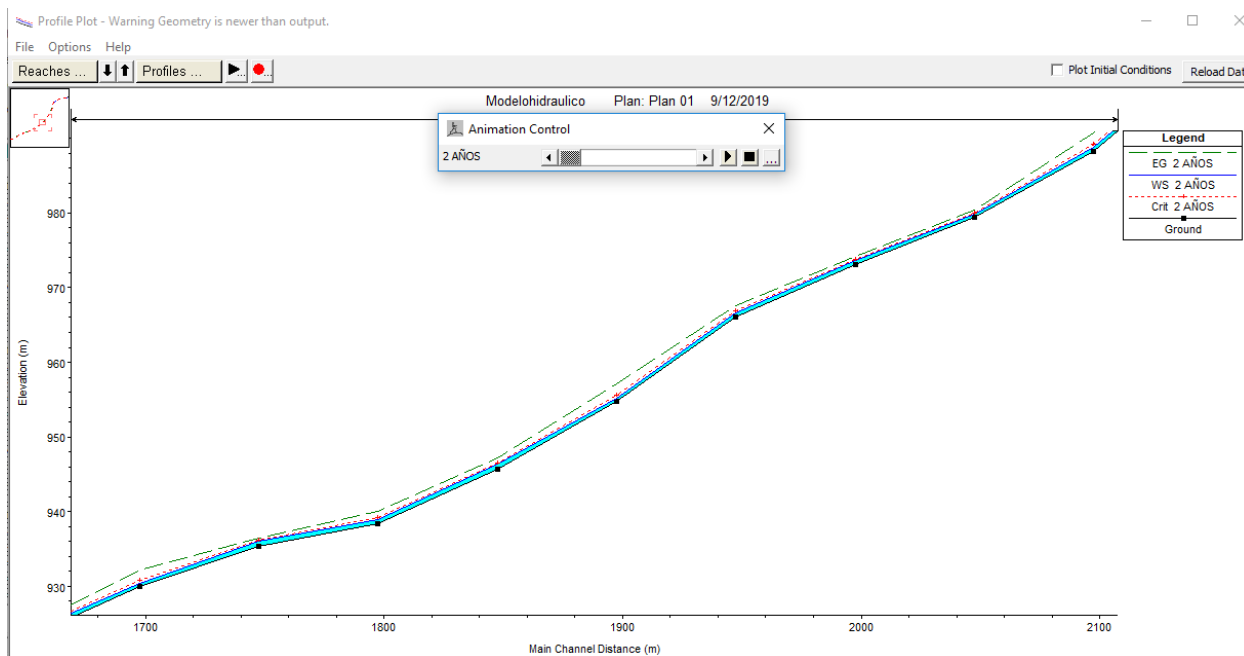
Para un periodo de retorno de 100 años, se tiene un perfil del cauce principal, dado de la siguiente forma:

**Imagen 39. Perfil del cauce principal con periodo de retorno de 100 años**

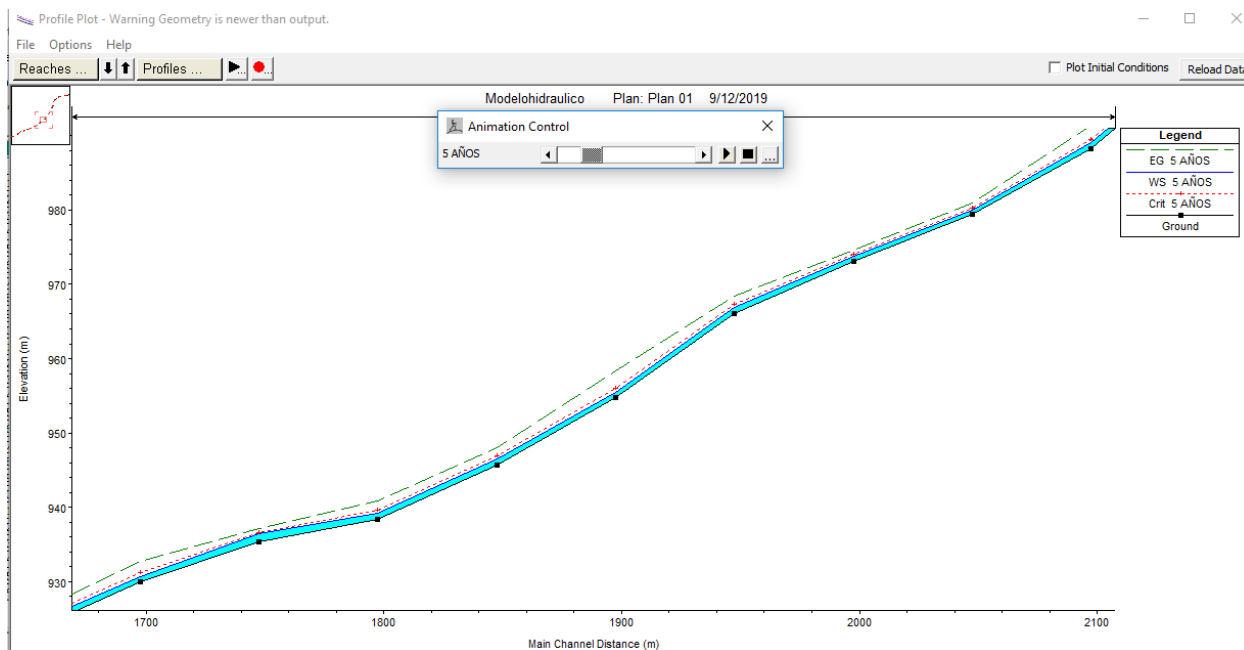


Fuente: autor propio.

Basado en el perfil anterior, se muestra la variación del flujo de agua para diferentes periodos de retorno, tomando como ejemplo el tramo de la sección 1700 a 2100:

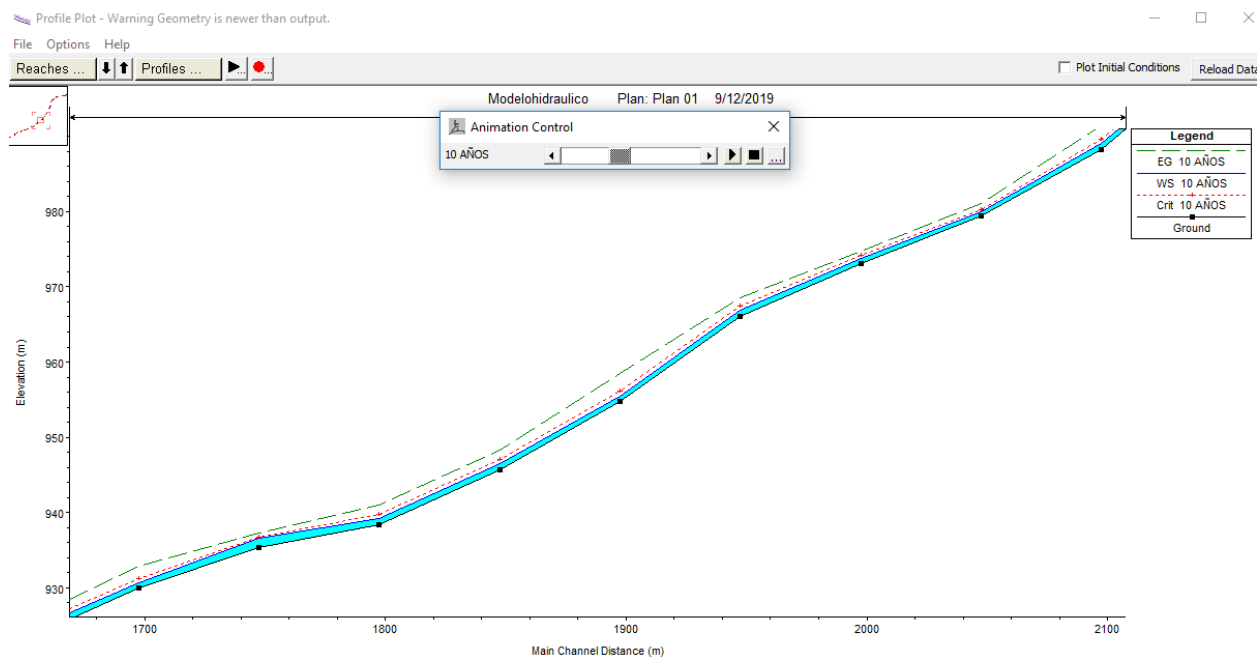
**Imagen 40. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 2 años**

Fuente: autor propio.

**Imagen 41. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 5 años**

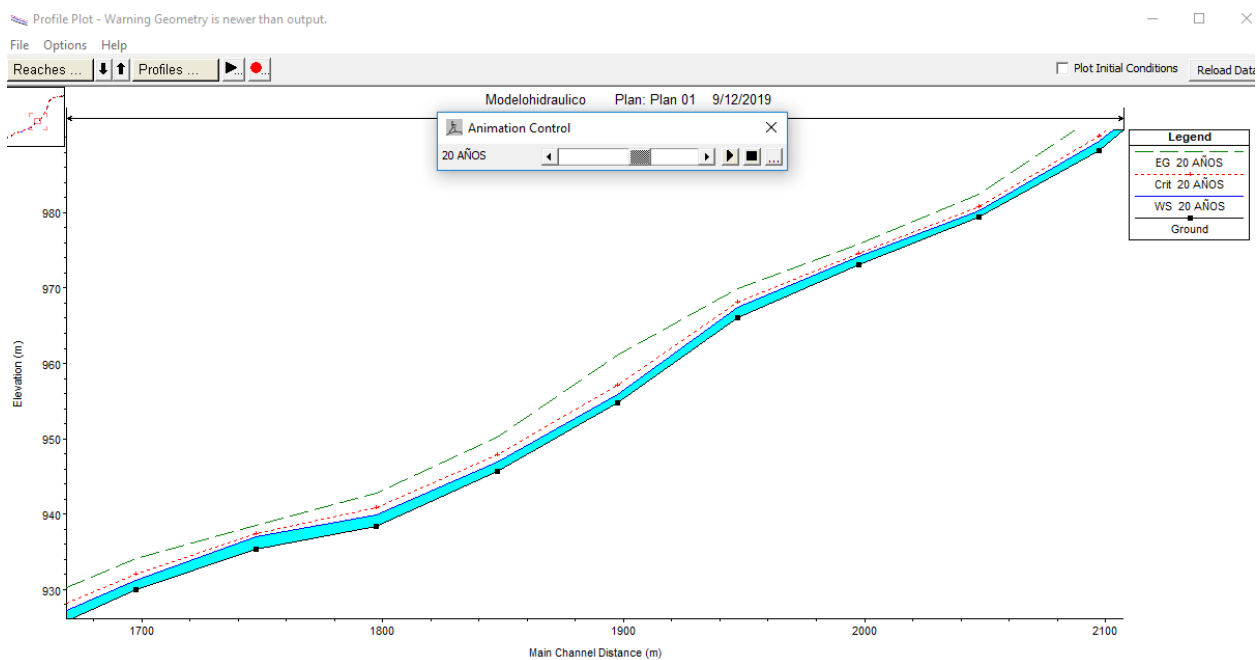
Fuente: autor propio.

### Imagen 42. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 10 años



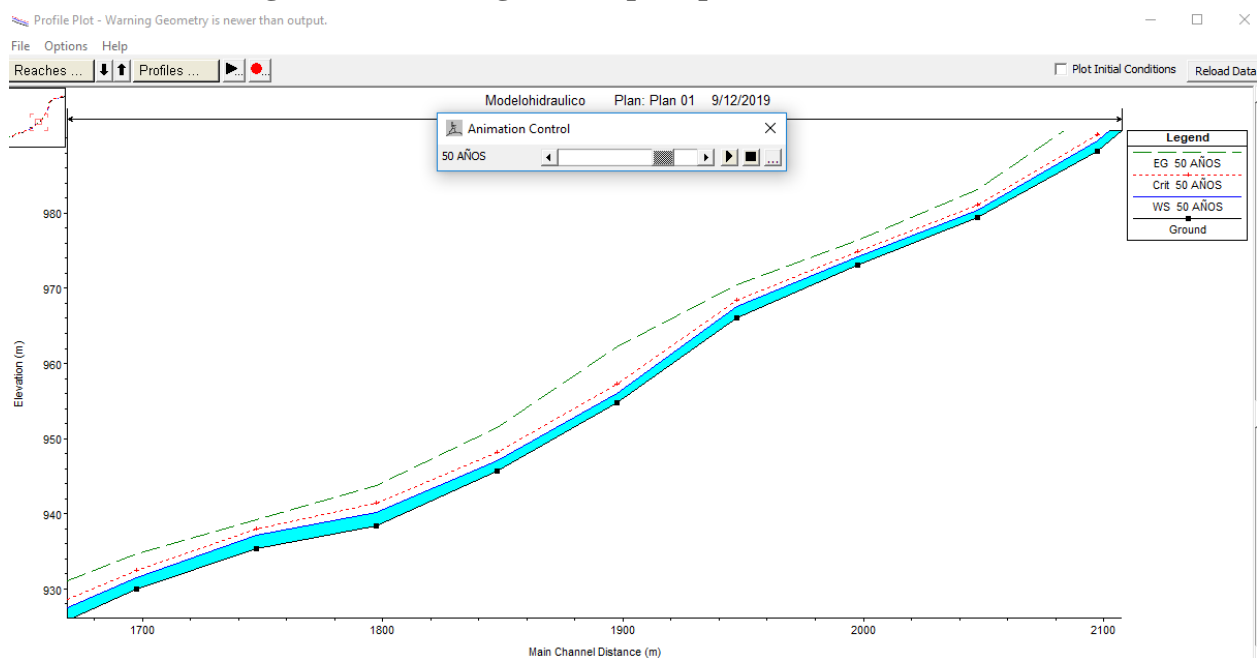
Fuente: autor propio.

### Imagen 43. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 20 años



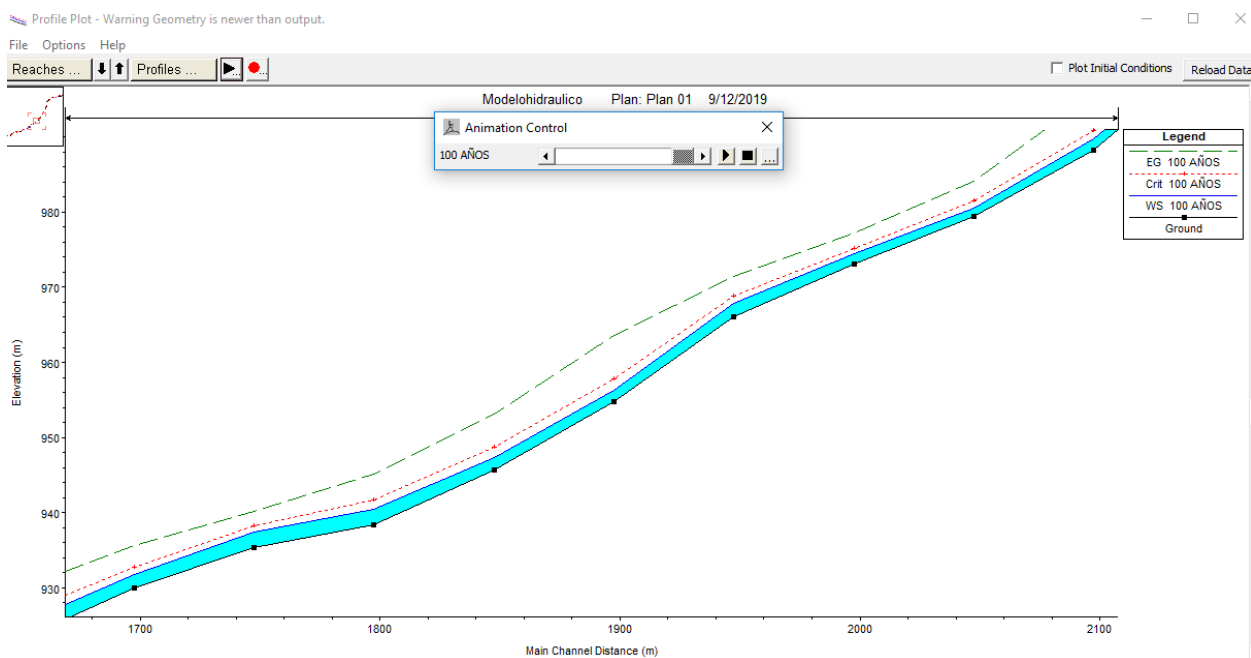
Fuente: autor propio.

**Imagen 44. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 50 años**



Fuente: autor propio.

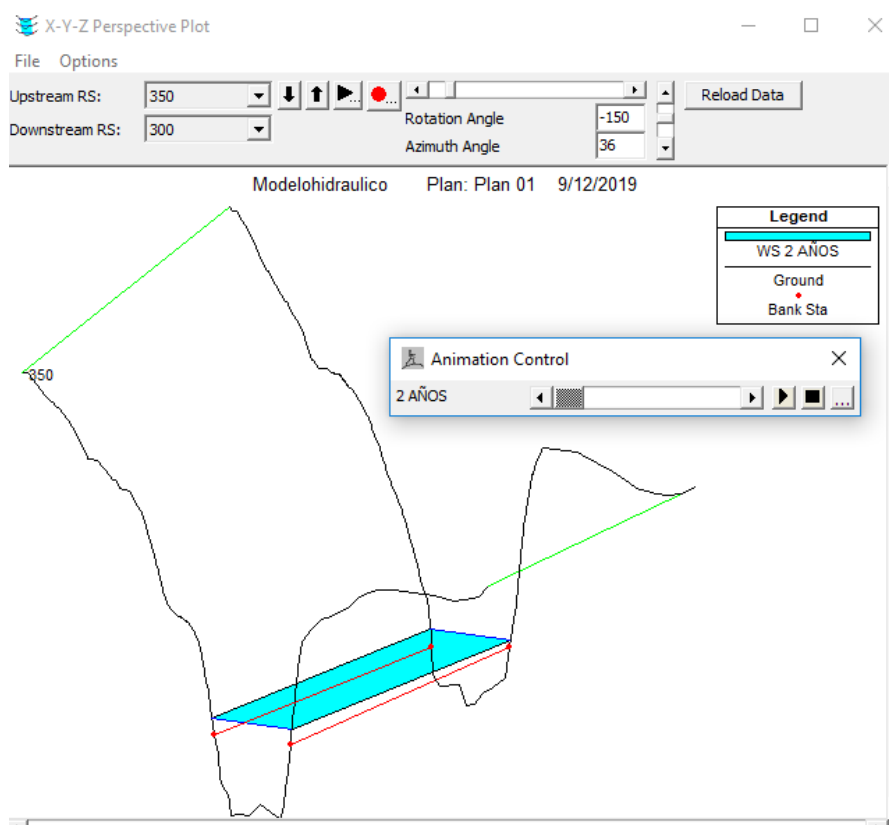
**Imagen 45. Perfil longitudinal para periodo de retorno de 100 años**



Fuente: autor propio.

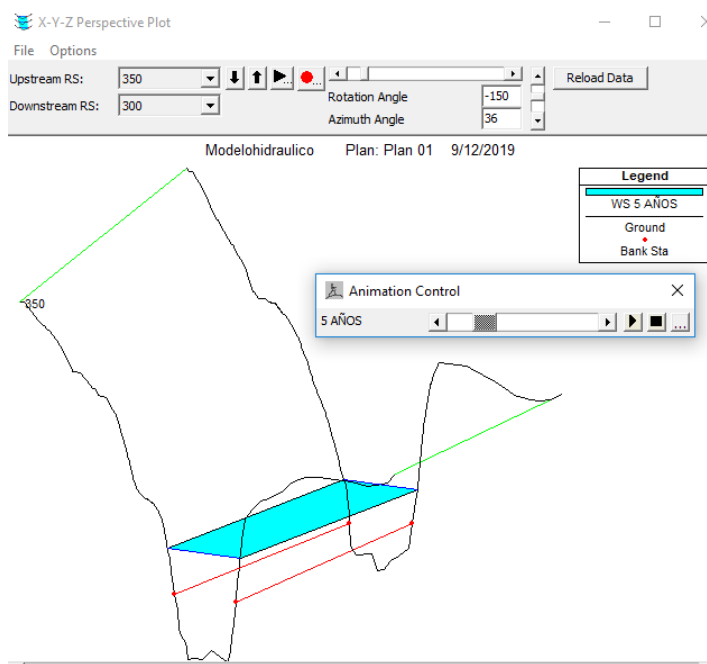
Por medio del software HEC-RAS es posible determinar una vista 3D de la quebrada en estudio, identificando la lámina de agua con diferentes periodos de retorno, para ello, se tiene como ejemplo las secciones (300-350).

**Imagen 46. Sección en 3D periodo de retorno 2 años**



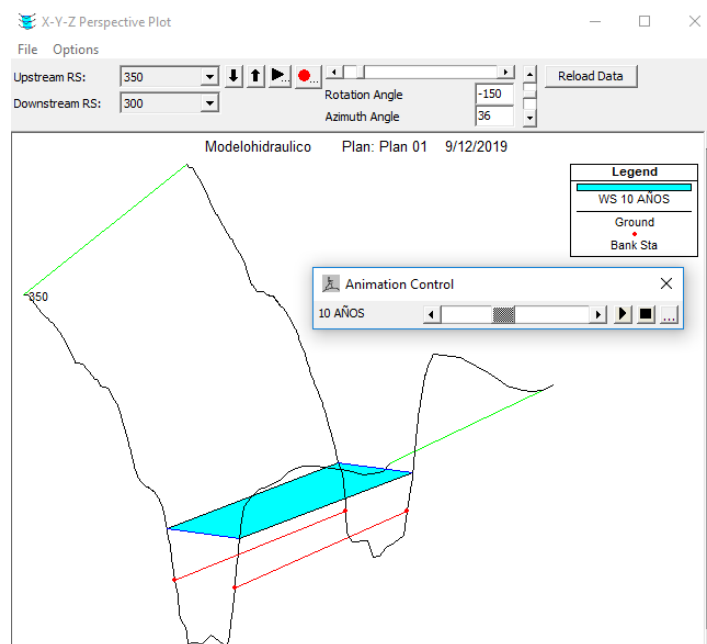
Fuente: autor propio.

**Imagen 47. Sección en 3D periodo de retorno 5 años**

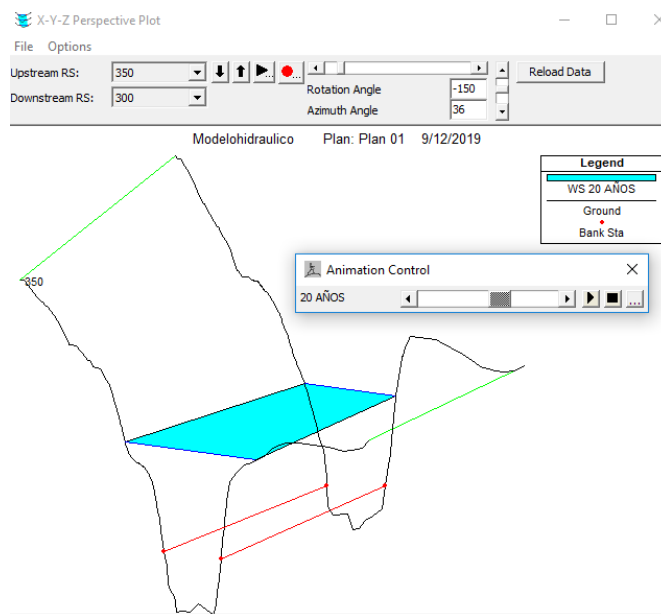


Fuente: autor propio.

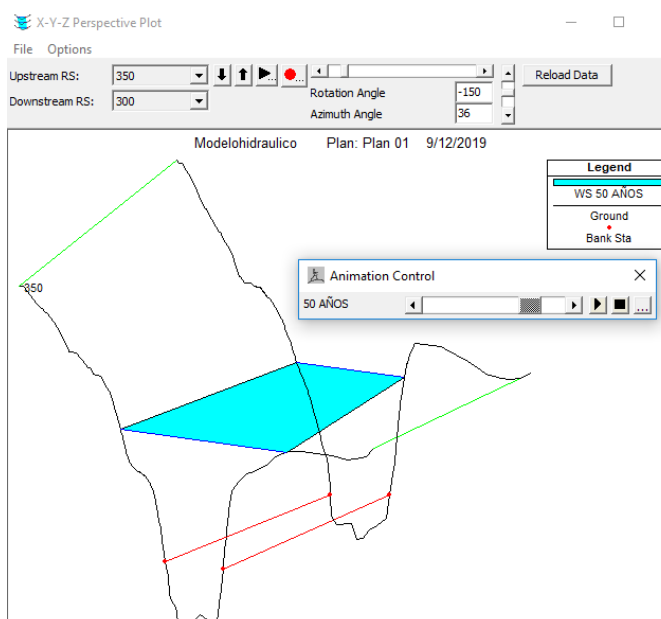
**Imagen 48. Sección en 3D periodo de retorno 10 años**



Fuente: autor propio.

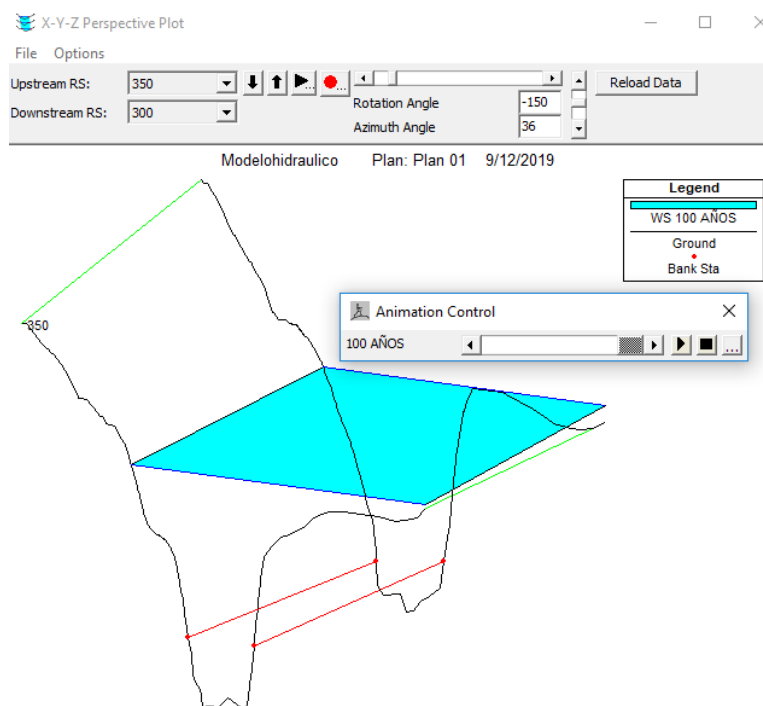
**Imagen 49. Sección en 3D periodo de retorno 20 años**

Fuente: autor propio.

**Imagen 50. Sección en 3D periodo de retorno 50 años**

Fuente: autor propio.

**Imagen 51. Sección en 3D periodo de retorno 100 años**



Fuente: autor propio.

## 9. ZONA DE RONDA QUEBRADA LA QUIJANA

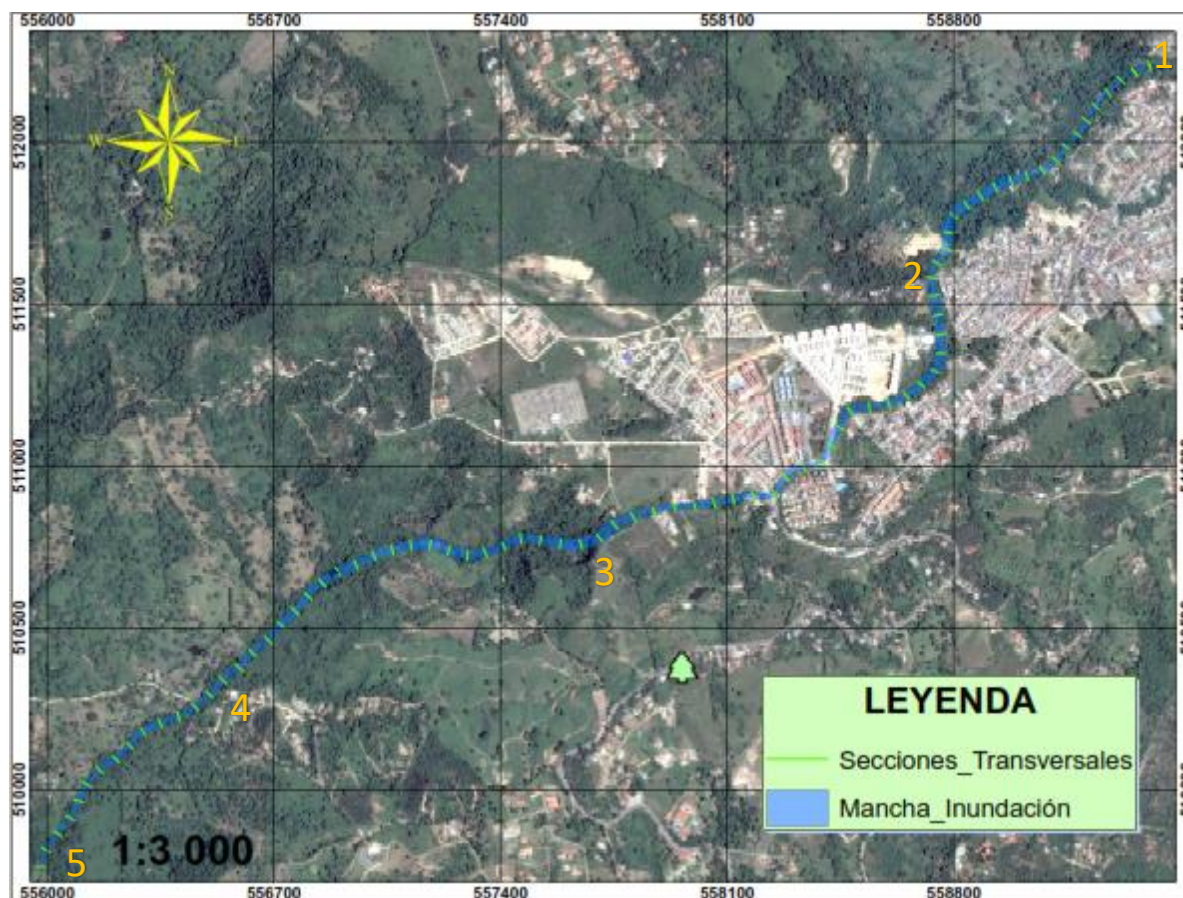
De acuerdo al decreto ley 2811 de 1974 establece que “se establece la franja de protección no inferior a 30 metros de ancha, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no”.

### 9.1 Determinación mancha de inundación

Para determinar las manchas de inundación, es necesario tener claro los periodos de retorno empleados: 2, 5, 10, 20, 50, 100 años. Para la quebrada La Quijana.

Después de realizado el modelamiento con los distintos periodos de retorno, se determinó que el único periodo que presenta inundaciones es el de 100 años, por tanto, este es reflejado en las manchas de inundación:

Imagen 52. Zona de inundación quebrada La Quijana – periodo de retorno de 100 años.



Fuente: autor propio.

**Imagen 53. Mancha de inundación tramo 1-2**

Fuente: autor propio.

**Imagen 54. Mancha de inundación tramo 2-3**

Fuente: autor propio.

**Imagen 55. Mancha de inundación tramo 3-4**

Fuente: autor propio.

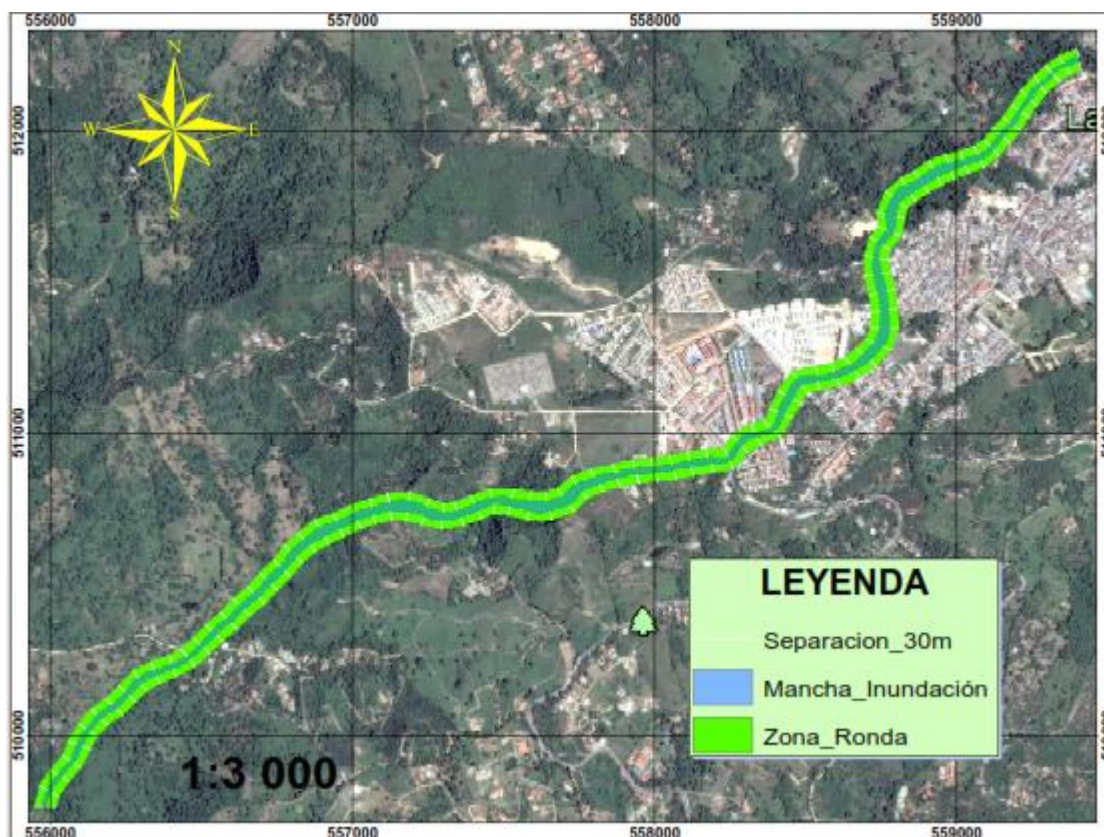
**Imagen 56. Mancha de inundación tramo 4-5**

Fuente: autor propio.

## 9.2 Resultados zona de ronda quebrada La Quijana

para evidenciar las coordenadas X y Y de los diferentes puntos de la zona de ronda, es posible apreciar un comparativo entre la zona de inundación y zona de ronda de la quebrada La Quijana:

**Imagen 57. Zona de ronda y zona de inundación – Quebrada La Quijana**



Fuente: autor propio.

Los resultados obtenidos de la zona de ronda, es equivalente a coordenadas X y Y de la ubicación de cada sección con los 30 metros mínimos, medidos desde el borde de la máxima marea; exigidos por el decreto mencionado anteriormente.

**Tabla 20. Coordenadas delimitación de zona de ronda**

<b>ZONA DE RONDA DE QUEBRADA LA QUIJANA</b>					
<b>borde</b>	<b>Coordenada_X</b>	<b>Coordenada_Y</b>	<b>borde</b>	<b>Coordenada_X</b>	<b>Coordenada_Y</b>
Derecho	559396,653	512273,767	Izquierdo	559413,080	512198,374
Derecho	559336,104	512246,100	Izquierdo	559380,283	512185,507
Derecho	559293,215	512215,795	Izquierdo	559342,977	512161,731
Derecho	559256,189	512182,710	Izquierdo	559297,754	512122,543
Derecho	559211,354	512134,802	Izquierdo	559267,965	512081,533
Derecho	559179,534	512086,851	Izquierdo	559240,769	512045,318
Derecho	559151,999	512045,144	Izquierdo	559215,141	511997,994
Derecho	559119,697	512010,609	Izquierdo	559176,906	511958,275
Derecho	559090,281	511972,102	Izquierdo	559142,678	511914,951
Derecho	559056,428	511949,349	Izquierdo	559092,901	511876,889
Derecho	559012,769	511933,859	Izquierdo	559040,449	511857,229
Derecho	558962,729	511921,678	Izquierdo	558992,448	511837,924
Derecho	558907,661	511901,890	Izquierdo	558949,582	511817,536
Derecho	558859,423	511868,690	Izquierdo	558910,165	511794,032
Derecho	558814,082	511844,048	Izquierdo	558867,471	511765,421
Derecho	558763,056	511799,939	Izquierdo	558837,467	511743,221
Derecho	558733,819	511728,557	Izquierdo	558830,822	511711,690
Derecho	558741,854	511684,433	Izquierdo	558818,507	511649,991
Derecho	558711,561	511649,847	Izquierdo	558781,945	511605,110
Derecho	558694,070	511588,132	Izquierdo	558773,134	511572,490

Derecho	558693,888	511519,978	Izquierdo	558783,533	511532,458
Derecho	558709,381	511455,120	Izquierdo	558797,504	511477,163
Derecho	558716,962	511398,706	Izquierdo	558805,520	511413,927
Derecho	558713,345	511347,515	Izquierdo	558809,759	511347,046
Derecho	558699,408	511311,266	Izquierdo	558785,148	511274,468
Derecho	558666,432	511280,894	Izquierdo	558735,370	511220,454
Derecho	558628,784	511250,090	Izquierdo	558680,258	511182,266
Derecho	558584,455	511231,567	Izquierdo	558614,612	511151,301
Derecho	558535,241	511222,349	Izquierdo	558545,000	511140,917
Derecho	558453,959	511204,630	Izquierdo	558507,545	511133,814
Derecho	558408,127	511140,600	Izquierdo	558485,799	511097,468
Derecho	558380,152	511079,727	Izquierdo	558458,225	511050,422
Derecho	558362,738	511038,880	Izquierdo	558419,313	510986,493
Derecho	558320,825	511030,686	Izquierdo	558352,551	510958,155
Derecho	558254,157	510995,079	Izquierdo	558310,195	510934,638
Derecho	558229,771	510950,804	Izquierdo	558261,919	510877,438
Derecho	558167,017	510947,793	Izquierdo	558197,073	510868,108
Derecho	558109,721	510939,266	Izquierdo	558129,200	510856,378
Derecho	558048,376	510924,719	Izquierdo	558072,136	510845,686
Derecho	557988,531	510917,608	Izquierdo	558011,449	510838,192
Derecho	557926,989	510912,336	Izquierdo	557949,237	510832,849
Derecho	557862,673	510897,017	Izquierdo	557886,019	510819,920
Derecho	557787,158	510879,999	Izquierdo	557832,777	510804,713

Derecho	557722,994	510856,894	Izquierdo	557780,098	510781,685
Derecho	557676,793	510816,067	Izquierdo	557736,845	510737,451
Derecho	557635,747	510805,083	Izquierdo	557661,874	510711,324
Derecho	557591,119	510807,833	Izquierdo	557579,594	510710,575
Derecho	557532,117	510812,331	Izquierdo	557515,086	510726,005
Derecho	557455,292	510816,295	Izquierdo	557471,058	510731,900
Derecho	557388,932	510792,359	Izquierdo	557431,067	510714,417
Derecho	557336,338	510771,062	Izquierdo	557370,531	510692,800
Derecho	557303,043	510768,405	Izquierdo	557294,215	510679,592
Derecho	557253,817	510783,404	Izquierdo	557227,649	510694,694
Derecho	557190,212	510807,075	Izquierdo	557177,570	510707,007
Derecho	557116,360	510800,275	Izquierdo	557130,195	510709,230
Derecho	557057,563	510783,151	Izquierdo	557075,707	510697,182
Derecho	556990,299	510760,583	Izquierdo	557030,004	510681,405
Derecho	556936,593	510734,526	Izquierdo	556970,784	510654,510
Derecho	556874,621	510714,844	Izquierdo	556923,690	510630,768
Derecho	556819,974	510671,398	Izquierdo	556878,917	510605,949
Derecho	556773,464	510630,029	Izquierdo	556836,288	510568,401
Derecho	556737,564	510580,926	Izquierdo	556796,244	510522,138
Derecho	556692,250	510539,326	Izquierdo	556754,037	510478,195
Derecho	556652,995	510492,880	Izquierdo	556711,471	510432,463
Derecho	556603,897	510453,067	Izquierdo	556663,813	510394,086
Derecho	556561,907	510407,887	Izquierdo	556619,917	510350,175

Derecho	556514,369	510367,373	Izquierdo	556571,467	510309,807
Derecho	556472,391	510322,994	Izquierdo	556529,003	510267,854
Derecho	556432,160	510286,146	Izquierdo	556482,066	510225,841
Derecho	556394,618	510265,409	Izquierdo	556416,179	510190,172
Derecho	556332,621	510243,685	Izquierdo	556364,937	510169,329
Derecho	556274,884	510215,289	Izquierdo	556318,504	510144,215
Derecho	556225,984	510164,936	Izquierdo	556283,345	510109,225
Derecho	556183,161	510123,478	Izquierdo	556241,908	510065,898
Derecho	556133,888	510089,349	Izquierdo	556191,078	510032,908
Derecho	556094,181	510039,780	Izquierdo	556156,172	509993,158
Derecho	556058,111	509980,113	Izquierdo	556135,253	509953,701
Derecho	556040,579	509932,949	Izquierdo	556103,232	509893,054
Derecho	555999,112	509886,471	Izquierdo	556063,888	509846,219
Derecho	555963,724	509835,181	Izquierdo	556028,500	509794,929
Derecho	555946,798	509762,983	Izquierdo	556020,608	509761,744

---

Fuente: autor propio.

**Tabla 21. Coordenadas delimitación de zona de ronda (ubicación de mojones)**

UBICACIÓN DE LOS MOJONES						
número	borde	X	Y	borde	X	Y
1	der	559396,653	512273,767	izq	559413,07	512198,3741
2	der	559293,2153	512215,7948	izq	559342,97	512161,731
3	der	559211,3539	512134,8018	izq	559267,96	512081,5328

4	der	559151,9985	512045,1442	izq	559215,14	511997,9937
5	der	559090,2809	511972,1017	izq	559142,67	511914,9505
6	der	559012,7688	511933,8588	izq	559040,44	511857,2292
7	der	558907,6607	511901,8898	izq	558949,58	511817,5364
8	der	558814,0821	511844,0477	izq	558867,47	511765,4207
9	der	558733,8186	511728,5569	izq	558830,82	511711,69
10	der	558711,5607	511649,847	izq	558781,94	511605,1103
11	der	558693,8884	511519,9784	izq	558783,53	511532,4578
12	der	558716,962	511398,7063	izq	558805,52	511413,9269
13	der	558699,4075	511311,2656	izq	558785,14	511274,4676
14	der	558628,7843	511250,0895	izq	558680,25	511182,2657
15	der	558535,2411	511222,3488	izq	558545,00	511140,917
16	der	558408,1266	511140,5996	izq	558485,79	511097,4681
17	der	558362,7377	511038,88	izq	558419,31	510986,4925
18	der	558254,1566	510995,0785	izq	558310,19	510934,6376
19	der	558167,0165	510947,7928	izq	558197,07	510868,1081
20	der	558048,3764	510924,7187	izq	558072,13	510845,6861
21	der	557926,9889	510912,3357	izq	557949,237	510832,8491
22	der	557787,1575	510879,9994	izq	557832,77	510804,7129
23	der	557676,7925	510816,0673	izq	557736,84	510737,4509
24	der	557591,1192	510807,8331	izq	557579,59	510710,5752
25	der	557455,2921	510816,2945	izq	557471,05	510731,8999
26	der	557336,3375	510771,0616	izq	557370,53	510692,7995

27	der	557253,8174	510783,4035	izq	557227,64	510694,6939
28	der	557116,3595	510800,2746	izq	557130,19	510709,2295
29	der	556990,2987	510760,5828	izq	557030,00	510681,4052
30	der	556874,6214	510714,8441	izq	556923,69	510630,7677
31	der	556773,4644	510630,029	izq	556836,28	510568,4014
32	der	556692,2503	510539,3256	izq	556754,03	510478,1952
33	der	556603,8967	510453,0666	izq	556663,81	510394,0859
34	der	556514,3687	510367,3727	izq	556571,46	510309,8071
35	der	556432,1599	510286,1457	izq	556482,06	510225,8409
36	der	556332,6207	510243,6851	izq	556364,93	510169,3288
37	der	556225,9835	510164,9361	izq	556283,345	510109,2246
38	der	556133,8878	510089,3486	izq	556191,07	510032,908
39	der	556058,1113	509980,1134	izq	556135,25	509953,7011
40	der	555999,1123	509886,4707	izq	556063,88	509846,2187
41	der	555946,7982	509762,9829	izq	556020,60	509761,7438

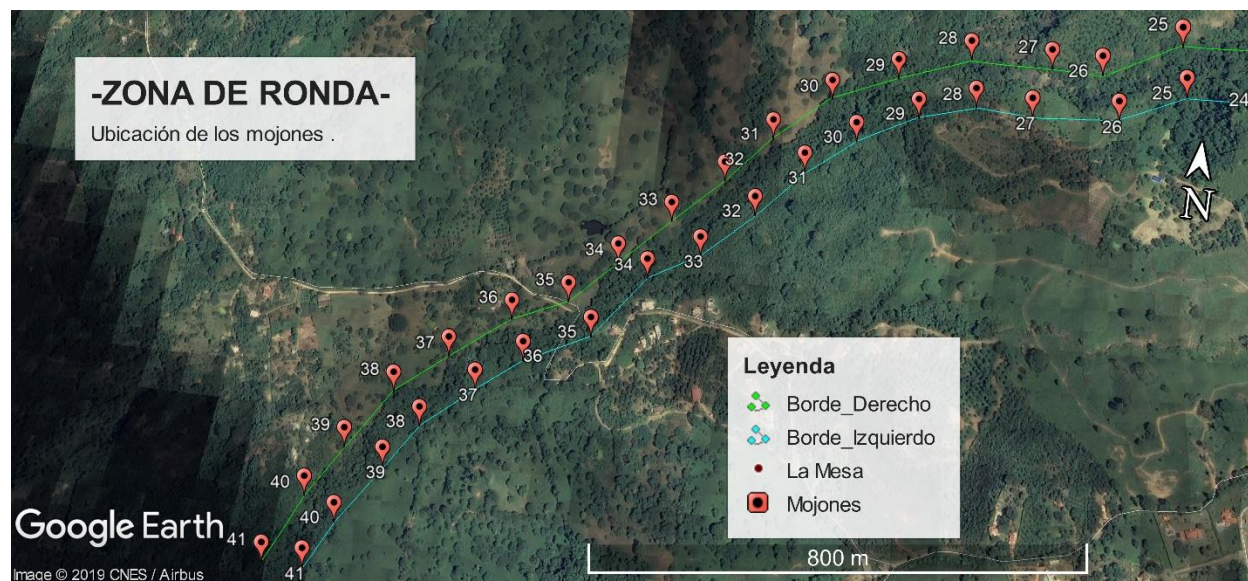
---

Fuente: autor propio.

Basado en las coordenadas expuestas y con ayuda de la herramienta Google Earth, se estableció la vista en planta de la ubicación de los mojones alrededor de la quebrada La Quijana:



**Imagen 60. Ubicación mojones quebrada La Quijana tramo 3.**



Fuente: Autor propio.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La precipitación en la cuenca, se presenta con un comportamiento bimodal entre el periodo de junio y julio con precipitaciones más bajas, mientras que los periodos de febrero a abril y septiembre a diciembre, reflejan las precipitaciones más altas. Resultado que representa las características morfológicas de la cuenca, donde se cataloga como una cuenca bien drenada, con poca erosión de los suelos; de esta forma presenta infiltraciones bajas, permitiendo tener un tiempo de concentración de 0,36 horas, parámetro que define una velocidad alta de vaciado.
- Teniendo en cuenta el factor de forma de la cuenca 0,26 se define la cuenca como ligeramente achatada, sumado al relieve de la cuenca, la curva hipsométrica, la densidad de drenaje y pendiente a lo largo del cauce principal, permite interpretar que la cuenca de la quebrada La Quijana presenta baja susceptibilidad a procesos de

inundación y tiene poca tendencia a concentrar grandes crecidas. Para efectos ambientales, se estima que la probabilidad de inundación es baja, sin embargo, es necesario realizar acotamiento de zona de ronda para preservar la protección de la misma.

- En el proceso de caracterización de las secciones transversales de la cuenca, se observa un comportamiento similar a lo largo de la quebrada La Quijana, parámetro que se evidencia en las manchas de inundación, puesto que, durante la sección longitudinal del cauce, presentan gran similitud entre ellas, respecto a la distancia del eje central y altura de lámina de agua de la cuenca.
- Por medio de la modelación hidráulica se obtienen manchas de inundación para un periodo de retorno de 100 años, no superiores a 15 metros del eje central de la quebrada, mientras que en los demás periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 años) no se evidencia inundación, razón por la cual se hace efectivo la delimitación de zona de ronda con el periodo de retronó de 100 años.
- Para establecer los parámetros de geometría de las secciones transversales dentro de la quebrada, es necesario evidenciar las condiciones del terreno, mediante visitas a la zona de estudio; esto con el fin de obtener información confiable que permita un ajuste de los datos necesarios para el modelamiento hidráulico, lo anterior; debido a que la información suministrada por archivos DEM no refleja la topografía exacta del terreno, debido al tamaño de los pixeles, que manejan mayor tamaño en comparación con el ancho de la quebrada.
- Hacer uso de las herramientas SIG con el fin de obtener mayor precisión al momento de localizar un punto de referencia que permita llevar acabo el levantamiento

topográfico con mayor precisión para la modelación hidráulica, obteniendo así; la ubicación de amojonamiento a lo largo de la quebrada.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017. «DECRETO 2245 DEL 2017,» Bogotá D.C.
- [2]. J.C. Bertoni. 21 03 2014. [http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestionambiental/calidad - ambiental/sistema-de-canos-y-lagos/generalidades/](http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestionambiental/calidad-ambiental/sistema-de-canos-y-lagos/generalidades/)
- [3]. Ideam, «IDEAM,» 08 11 2011. MINAMBIENTE, [http://www.ideam.gov.co/web/ agua/amenazas-inundacion](http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion).
- [4]. Ávila-Toscano, J. POLÍTICA PÚBLICA DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN COLOMBIA.
- [5]. EDEP. ELECTRONICA DE PRECISION, 2015. [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/ bibvirudep/tesis/pdf/1\\_123\\_183\\_81\\_1150.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf)
- [6]. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2010, GUÍA METODOLÓGICA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RONDA EN LA JURISDICCIÓN DE LA CAR, Bogotá, subdirección de administración de recursos naturales y áreas protegidas de la república de Colombia.
- [7]. Universidad Nacional de Colombia. 2012. GUIA PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS DE LOS CUERPOS AGUA DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO EN EL ARTICULO 206 DE LA LEY 1450 DE 2011.
- [8]. Corporación autónoma regional de caldas, 2012, resolución No. 561 - 30 10 2012; LINEAMIENTOS PARA DEMARCAR LA FAJA DE PROTECCIÓN DE LOS CAUCES

NATURALES DE LAS CORRIENTES URBANAS Y LAS REGLAS PARA SU INTERVENCIÓN.

- [9]. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2001, GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES.
- [10]. Comisión nacional de aguas México, 2014, CONAGUAS, PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES.
- [11]. Concejo municipal de la Mesa Cundinamarca, 2008. PLAN DE DESARROLLO TERRITORIAL, acuerdo N°.014.
- [12]. Empresa regional aguas del Tequendama. 2014. INFORME DE GESTION VIGENTE – LA MESA.
- [13]. Planeación Ecológica Ltda., 2014. INFORME DE DIAGNOSTICO Y FORMULACION DE SUBCUENCA QUEBRADA QUIJANA.
- [14]. Google maps, «Google maps, » 01 November 2019. [En línea]. Available: <https://earth.google.com/web/@4.6343785,-74.45810645,1293.39038096a,5720.72255507d>.
- [15]. Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2008. CLASIFICACION Y PRIORIZACION DE CUENCAS HIDROGRAFICAS.
- [16]. Instituto de Investigación Forestal Habana Cuba. CALCULO, 2002; DE PARAMETROS MORFOMETRICOS.
- [17]. A. R. Trujillo, 2010. GUÍA BÁSICA PARA LA CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS, Cali: Universidad del Valle.
- [18]. A. Cahuana y W. Yugar, 2009. MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGIA CIV233, Cochabamba-Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.

- [19]. L. A. Robayo, 2014. ANÁLISIS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN PARA LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO, DESARROLLADO A TRAVÉS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, BOGOTÁ. Universidad Católica de Colombia.
- [20]. IDIGER, «IDIGER,» 2017. INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO.
- [21]. Congreso de la República, 2012. COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. LEY 1523, POR LA CUAL SE ADOPTA LA POLÍTICA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES Y SE ESTABLECE EL SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, Bogotá.
- [22]. L. E. P. R., 2011. MODELACIÓN DE CRECIENTES Y ZONAS INUNDABLES, IBAGUE: MODELACIÓN DE CRECIENTES Y ZONAS INUNDABLES.
- [23]. M. Diaz Granados. 1998. CURVAS SINTÉTICAS REGIONALIZADAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA PARA COLOMBIA. Bogotá.
- [24]. La mesa Cundinamarca. Calculo GPS. RESUMEN DEL AJUSTE. 25/11/2019.