

**CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL CASCO
URBANO DEL MUNICIPIO DE BELTRÁN-CUNDINAMARCA**

**PRESENTADO POR:
JONATHAN STEVEN ARIAS LÓPEZ
JUAN DAVID CORREA OSPINO**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D.C.
2020**

**CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL CASCO
URBANO DEL MUNICIPIO DE BELTRÁN-CUNDINAMARCA**

**PRESENTADO POR:
JONATHAN STEVEN ARIAS LÓPEZ
JUAN DAVID CORREA OSPINO**

**Propuesta de grado presentada como requisito para optar al Título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR:
HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D.C.
2020**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 17 de noviembre 2020

PERIODO: 2020-3

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería Civil

ESTUDIANTE: Jonathan Steven Arias López **CÓDIGO:** 506229

ESTUDIANTE: Juan David Correa Ospino **CÓDIGO:** 506291

DIRECTOR: Henry Alberto Córdoba Romero

ALTERNATIVA: Trabajo de investigación.

EJE DE INVESTIGACIÓN: Modelación hidrológica.

1 TABLAS DE CONTENIDO

1.1 ÍNDICE.

1	TABLAS DE CONTENIDO	6
1.1	ÍNDICE.....	6
1.2	ÍNDICE DE TABLAS.....	9
1.3	ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	10
1.4	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	11
1.5	ÍNDICE DE ECUACIONES.....	13
2	TITULO.....	14
3	ALTERNATIVA.....	14
4	INTRODUCCIÓN.....	15
5	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	17
5.1	ANTECEDENTES.....	17
5.2	JUSTIFICACIÓN.....	20
6	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
6.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
6.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
7	OBJETIVOS.....	24
7.1	OBJETIVO GENERAL.....	24
7.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
8	MARCO DE REFERENCIA.....	25
8.1	ESTADO DEL ARTE.....	25
8.2	MARCO TEÓRICO.....	28
8.2.1	AMENAZA DE INUNDACIÓN.....	28
8.2.2	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	28
8.2.3	TIEMPO DE RETARDO.....	28
8.2.4	CURVA DE INTENSIDAD FRECUENCIA DURACIÓN (IDF).....	28
8.2.5	HIETOGRAMAS DE DISEÑO.....	29
8.2.6	HEC HMS.....	29
8.2.7	HIDROGRAMA.....	30
8.2.8	HEC-RAS.....	30
8.3	MARCO CONCEPTUAL.....	31

9	ALCANCES Y LIMITACIONES.	38
9.1	ALCANCES.	38
9.2	LIMITACIONES.	38
10	METODOLOGÍA.	40
10.1	PROCESO METODOLÓGICO.	40
10.1.1	ANÁLISIS DE ESTACIÓN LIMIGRAFICA.	40
10.1.2	OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE.	41
10.1.3	DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS.	42
10.1.4	CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS CUENCAS.	44
10.1.5	OBTENCIÓN DE CURVA NÚMERO.	47
10.1.6	CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.	50
10.1.7	TIEMPO DE RETARDO.	53
10.1.8	SELECCIÓN DE ESTACIONES.	53
10.1.9	PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN.	54
10.1.10	ANÁLISIS DE DATOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN.	55
10.1.11	CÁLCULO DE CURVA IDF.	62
10.1.12	HIETOGRAMAS DE DISEÑO.	66
10.1.13	CÁLCULO DE CAUDALES PROYECTADOS.	69
10.1.14	CONSTRUCCIÓN MODELO HEC-HMS.	71
10.1.15	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE INUNDACIÓN.	75
11	RESULTADOS Y ANÁLISIS.	84
11.1	RESULTADOS GEOMORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS.	84
11.2	RESULTADOS CURVA NÚMERO.	86
11.3	RESULTADOS TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.	87
11.4	RESULTADOS HIDROGRAMAS.	88
11.5	RESULTADO ESCENARIO DE INUNDACIÓN HEC-RAS.	89
11.6	RESULTADOS CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA.	101
12	CONCLUSIONES.	104
13	RECOMENDACIONES.	106
	BIBLIOGRAFÍA.	107
14	ÍNDICE DE ANEXOS.	110
14.1	ANEXO.1 ANTEPROYECTO Y RUBRICA APROBADA.	110

14.2	ANEXO A. GRÁFICAS DE RESULTADOS PROBABILÍSTICOS.....	110
14.3	ANEXO B. GRÁFICAS DE RESULTADOS HEC-HMS.....	110
14.4	ANEXO C. TABLAS DE COEFICIENTES.	110
14.5	ANEXO D. DATOS CRUDOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN.	110
14.6	ANEXO E. DATOS CRUDOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO DE CAUDALES.....	110
14.7	ANEXO F. MEMORIAS DE CÁLCULO TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN.....	110
14.8	ANEXOS EN DOCUMENTO.....	111
15.	FIRMAS DE ACEPTACIÓN.....	144

1.2 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes de inundación Beltrán Cundinamarca	19
Tabla 2. Municipios elegidos para zonificación de amenaza por inundación.....	26
Tabla 3. Clases de pendientes.....	46
Tabla 4. Resultados tiempo de concentración de la cuenca no.2.....	53
Tabla 5. Estaciones meteorológicas elegidas.....	54
Tabla 6. Valores promedio de precipitación Máxima anual de estaciones.....	61
Tabla 7. Constantes hidrológicas por región.....	63
Tabla 8. Promedio de precipitación por estación y región hidrológica correspondiente.....	64
Tabla 9. Datos curvas Intensidad Frecuencia Estación Libano.....	65
Tabla 10. Curvas de masas estación Libano.....	66
Tabla 11. Incremento de lluvia estación Libano.....	67
Tabla 12. hietograma de precipitación Libano.....	68
Tabla 13. Resultados probabilísticos caudal río Magdalena.....	70
Tabla 14. Valor de área y parámetros hidrológicos da cada cuenca Tlag, CN.....	72
Tabla 15. Valores de parámetros método de Lag para causes.....	73
Tabla 16. Asignación de hietograma para cuencas en estudio.....	75
Tabla 17. Coeficientes de Manning a partir de cobertura.....	79
Tabla 18. Categorizaciones de amenaza por inundación.....	81
Tabla 19. Categorización SUFRI para categorización de amenaza.....	82
Tabla 20. Resultados geomofométricos de las cuencas.....	84
Tabla 21. Resultados Curva número.....	86
Tabla 22. Resultados tiempos de concentración y retardo.....	87
Tabla 23. Áreas de amenaza por inundación casco urbano de Beltrán.....	101

1.3 ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Precipitación máxima anual Estación Nariño.	55
Gráfico 2. Precipitación máxima estación Nariño.....	56
Gráfico 3. Precipitación máxima estación Perales Hato Opia.	57
Gráfico 4. Estación Jerusalén.	58
Gráfico 5. estación Azoagtegui.	59
Gráfico 6. Estacion Santa Isabel.....	59
Gráfico 7. Estación Salto el.....	60
Gráfico 8. Estación Libano.....	61
Gráfico 9. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Libano.	65
Gráfico 10. Hietograma de precipitación tr 100 años estación Libano.....	69
Gráfico 11. Caudales máximos anuales estación Nariño [21237010].....	69

1.4 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Niveles sociales de afectación.....	18
Ilustración 2. Pérdidas por tipo de evento, 1970-2011.....	21
Ilustración 3. Hidrograma.....	30
Ilustración 4 Dirección de evacuación de aguas en cuencas.....	35
Ilustración 5. Limitación del modelo de inundación.....	39
Ilustración 6. Proceso metodológico modelo de inundación.....	40
Ilustración 7. Estación Liminigráfica-Beltrán.....	41
Ilustración 8. Imágenes Alos-Palsar (dem) resolución 12.5m.....	42
Ilustración 9. vista de perfil de un sumidero antes y después usando la herramienta fill.....	42
Ilustración 10. Codificación de flujo.....	43
Ilustración 11. DEM 12.5m cuencas y subcuencas generadas.....	44
Ilustración 12. Longitud cause principal de cuencas.....	45
Ilustración 13. Pendiente de las cuencas.....	47
Ilustración 14. Cobertura de tierra para cuencas delimitadas.....	48
Ilustración 15. tipo de suelos en sitio de estudio.....	49
Ilustración 16.Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d....	63
Ilustración 17. Modelo HEC-HMS.....	71
Ilustración 18. Área de influencia determinada por polígonos de Thiessen.....	74
Ilustración 19. Malla Computacional para inundación en el casco urbano Beltrán	76
Ilustración 20. Condiciones de entrada y de salida.....	77
Ilustración 21. Coberturas en el área de simulación.....	78
Ilustración 22. Caudal entrada río magdalena 4 km aguas arriba.....	79
Ilustración 23. Caudal de entrada afluente 15 1.9 km aguas arriba.....	80
Ilustración 24. caudal de entrada afluente 16 0.6 km aguas arriba.....	80
Ilustración 25. Caudal de entrada cuenca casco urbano Beltrán.....	80
Ilustración 26. Caudal de entrada cuenca contigua al casco urbano Beltrán.....	80
Ilustración 27. Categorización de amenaza por el método de Vélez & Smith.....	83
Ilustración 28. Hidrograma cuenca 2.....	88
Ilustración 29. Comportamiento caudal punto de salida.....	89
Ilustración 30. Tabla de resultado de simulación.....	90
Ilustración 31. Profundidad Máxima de lámina de agua generado por HEC-RAS para un periodo de retorno de 100 años.....	91
Ilustración 32. Mancha de inundación día 1 hora 1:00.....	92
Ilustración 33. Mancha de inundación día 1 hora 2:00.....	93
Ilustración 34. Mancha de inundación día 1 hora 3:00.....	94
Ilustración 35. Mancha de inundación día 2 hora 9:30.....	95
Ilustración 36. Mancha de inundación día 2 hora 16:00.....	96
Ilustración 37. Mancha de inundación casco urbano de Beltrán.....	97
Ilustración 38. Comportamiento de partículas quebrada Calacala.....	98
Ilustración 39. Mapa de velocidad de flujo casco urbano Beltrán Cundinamarca.	99
Ilustración 40. Carrera 5a Beltrán Cundinamarca.....	100
Ilustración 41. Puente quebrada Calacala.....	101

Ilustración 42. Mapa de amenaza por inundación casco urbano de Beltrán, escala 1:1750.....	102
Ilustración 45. Sitios de afectación por amenaza.....	103

1.5 ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Ecuación discreta HEC-HMS.	29
Ecuación 2. Ecuación de energía HEC-RAS.	31
Ecuación 3. Perdidas de carga de energía HEC-RAS.	31
Ecuación 4. Indice de compacidad de Gravelius.	36
Ecuación 5. kirpich.....	50
Ecuación 6. Temez	51
Ecuación 7. California.....	51
Ecuación 8. Giandotti.....	51
Ecuación 9. SCS -Ranser.	52
Ecuación 10. ventura-Heron.	52
Ecuación 11. Bransby-Williams.....	52
Ecuación 12. Tiempo de retardo SCS.....	53
Ecuación 13. Calculo curva IDF.....	62

2 TITULO.

CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BELTRÁN-CUNDINAMARCA.

3 ALTERNATIVA.

Trabajo de investigación.

4 INTRODUCCIÓN.

El presente documento habla de la modelación y zonificación de amenazas en el centro poblado de Beltrán, que se encuentra incluido en el Esquema Básico de Ordenamiento Territorial (EOT), en el marco de la realización de estudios básicos tal como se encuentra definido por la normativa vigente y en particular por el decreto 1807 de 2014¹, expedido por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio copilado en el decreto 1077 de 2015², dichos estudios básicos involucran la obtención de zonas de amenaza por medio de la caracterización de estos³.

Por medio de antecedentes de inundación a nivel mundial y del territorio nacional se observa la necesidad de prevención de desastres con base al análisis de amenaza, ya que las inundaciones son el tipo de eventos que afecta a un número mayor de población a comparación de otros, como lo son los sismos y los movimientos en masa⁴ (Ilustración 2). En el territorio nacional entre el año 2010 y 2011 se presenta el fenómeno de la niña que trajo consigo consecuencias significativas para la población colombiana, siendo los damnificados 2.350.207 y los afectados 869.032⁵, a nivel local en el área de estudio se observa de igual manera antecedentes de inundaciones por el desbordamiento del rio magdalena en más de cinco ocasiones (Tabla 1), esto se debe a que al encontrarse ubicado en una zona que se denomina valle interandino del rio magdalena que se considera zona de infiltración en su parte plana, presenta un alto riesgo de inundación⁶, la necesidad de caracterización de la amenaza por medio estudio de inundación a través de modelos que evidencien zonas de amenaza, se hace un requisito indispensable para la elaboración de planes de ordenamiento territorial.

Los estudios de inundaciones básicas que se solicitan en el decreto 1807 de 2014 a una escala de 1:5000 para evaluar la amenaza del área que fue establecida para el estudio¹, en este caso la cabecera municipal de Beltrán, debido a los antecedentes de inundaciones ocurridos en el en el área, se espera que parte de la población que habite en el casco urbano continúe con la expansión del territorio y se localice en zonas², siendo necesario la priorización de evaluar amenazas naturales en dichos territorios, teniendo en cuenta que en caso alguno de estos territorios, la población los considere sitios seguros para su ocupación y desarrollo del municipio.¹

El análisis de la amenaza, su modelamiento y caracterización se realizará acorde a la disponibilidad de información, insumos obtenidos y de acuerdo al desarrollo modelo que se realizará en el software de HEC-RAS, que será evaluado de manera hidrológica e hidráulica en el área de estudio para identificar la altura de la lámina de agua y velocidad con respecto a la topografía del sitio⁷. Con base a esto se podrá

¹ Ministerio de Vivienda, C. y T. *Decreto 1807 de 2014*. 19 (2014)

² Ministerio de Vivienda, C. y T. *DECRETO NÚMERO 1077 DE 2015*. 806 (2015)

³ Alcaldía de Beltrán. *Informe de Gestión. Municipio de Beltrán* **53**, (2019)

⁴ Banco Mundial. *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres* (2012). doi:333.3109861/A56

realizar la caracterización de zonas de alta, media y baja amenaza en el territorio, con el fin de identificar zonas de probable inundación para generar planes de mitigación de pérdidas de vida y daños socioeconómicos^{8 9}.

5 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

5.1 ANTECEDENTES

De acuerdo a las naciones unidas las inundaciones tienen un mayor potencial de daño a comparación de otros desastres en el mundo, afectan al mayor número de personas a nivel mundial⁸(Ilustración 1), para ejemplificar lo mencionado con anterioridad se puede evidenciar en el territorio colombiano que las inundaciones generan el mayor número de viviendas destruidas en comparación de otros eventos según el banco mundial de Colombia⁴ (Ilustración 2Ilustración 1), este tipo de eventos generan grandes perjuicios en la economía de países en vías de desarrollo, como de manera similar a naciones económicamente más avanzadas e industrializadas. Los países que sufren de un número mayor de víctimas son los menos desarrollados ya que carecen de planes ordenamiento y de obras de mitigación, estas naciones actúan con una respuesta posterior al desastre y no con planes prevención de amenaza que disminuyan la afectación a este tipo de eventos²⁸.

El número de personas afectadas cada año por eventos naturales en promedio es más de 145 millones, que generan perjuicios económicos por más de US \$ 200 millones al año, donde la inundación representa más de dos tercios de los afectados en desastres naturales. El 95% de todas las muertes se encuentran en los países menos desarrollados, con los índices más altos de personas afectadas, esto hace evidenciar la ausencia de planes de ordenamiento territorial y de obras de prevención, que eviten asentamientos de comunidades en zonas de amenaza. Las poblaciones de bajos ingresos tienen los índices más altos de afectación por inundación, debido a sus asentamientos en lotes baldíos por bajos costos de compra, ya que por lo general se encuentran ubicados en márgenes de ríos o quebradas ⁸.

⁵ Interamericano, B. & Comisión, B. I. D. *Valoración de daños y pérdidas del Fenómeno de la Niña. Banco Interamericano de Desarrollo - BID* (2011).

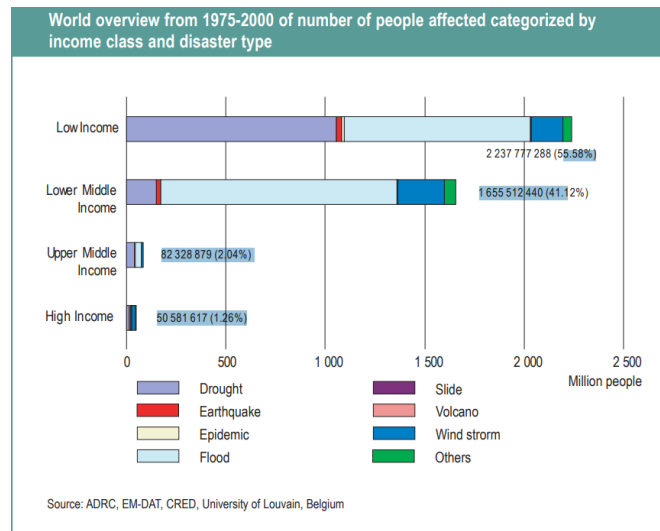
⁶ Tabares, R., Ingeniero, E. L. & Montalealegre, F. *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL. Municipio de Beltrán* (2007).

⁷ IDEAM. *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación, Colombia* (2017).

⁸ UNISDR. *Guidelines for Reducing Flood Losses. United Nations* (2002).

⁹ UNISDR. *Flood Hazard and Risk Assessment. Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment* (2017)

Ilustración 1. Niveles sociales de afectación.



Fuente: ONU Guidelines for Reducing Flood Losses.

En el año 2010 una quinta parte del territorio de Pakistán sufre una inundación, que afecto a 20 millones de personas tomando la vida de cerca de 2000, las pérdidas económicas se estimaron en cerca de US \$43 mil millones, posteriormente un año después una inundación golpeo el sudeste asiático. Este evento se extendió a través de varios países que se vieron afectados como Tailandia, Camboya, Myanmar y Vietnam, al considerar solo la nación de Tailandia en términos de pérdidas económicas, ese desastre se ubica como el cuarto más costoso del mundo a partir del 2011, superado solo por el terremoto y tsunami en Japón, el terremoto de Kobe y el huracán Katrina en 2005⁹.

En los últimos 40 años la inundación ha afectado a más de 1 millón de viviendas por diferentes fenómenos naturales, el 73% por inundaciones, el 7% por sismos, el 5% por deslizamientos y el 15% por otros fenómenos a afectado^{8 9}, el 12% del territorio nacional cuenta con áreas con mayor susceptibilidad de inundación, los departamentos con mayor población amenazada ante las inundaciones son Valle del Cauca, Atlántico, Cundinamarca, Magdalena, Antioquia, Córdoba, Cesar, Cauca y Meta, estos municipios se encuentra en regiones con los mayores índices de pobreza, déficits cualitativos de vivienda y mayores índices de ruralidad⁵.

El fenómeno de la niña al generar un incremento en las lluvias; trae consigo la aparición de inundaciones⁵. En Colombia hay una alta presencia de llanuras bajas y valles aluviales, que aunada al fenómeno mencionado con anterioridad genera el aumento de eventos como inundaciones. El gran impacto causado por este fenómeno entre octubre de 2010 y mayo de 2011, fue una pérdida económica que alcanzó los 11.2 billones de pesos, siendo el 5.7% de la formación bruta de capital fijo del país, una de las consecuencias más graves de esta ola invernal ha sido la crecida y el desborde de ríos y cuerpos de agua, que inundaron de forma extensa y prolongada regiones que en inviernos normales no se habrían inundado, el número

de emergencias de este tipo en el periodo considerado fueron de 1,223 inundaciones, siendo el departamento de Bolívar el más afectado con 465.604 personas damnificadas y afectadas , el cual el departamento de Cundinamarca tuvo una afectación de 57.649 personas⁵.

De acuerdo a los antecedentes de eventos naturales, el municipio de Beltrán se vio afectado en diferentes ocasiones por el aumento del caudal del río Magdalena, al encontrarse ubicado en la orilla de este en su margen derecha, posee una amenaza continua ante el aumento de las lluvias por cambios climatológicos o de fenómenos mencionados con anterioridad, sufriendo impactos a nivel rural y urbano como se evidencia Tabla 1.

Tabla 1. Antecedentes de inundación Beltrán Cundinamarca

MUNICIPIO	AÑO	EVENTO	DESAPARECIDOS	MUERTOS	PERSONAS AFECTADAS	FAMILIAS AFETADAS	OTROS	
B E L T R Á N C U N D I N A M A R C A	1998	NO SE REPORTA EVENTO						
	27-feb-99	INUNDACIÓN	0	0	705	141	Perdidas de cultivos de 58 familias	
	10-abr-99	INUNDACIÓN	0	0	300	60		
	31-oct-99	INUNDACIÓN	0	0	663	221	Perdidas de cultivos	
	2000	NO SE REPORTA EVENTO						
	2001	NO SE REPORTA EVENTO						
	29-may-02	INUNDACIÓN	0	0	400	80		
	2003	NO SE REPORTA EVENTO						
	2004	NO SE REPORTA EVENTO						
	2005	NO SE REPORTA EVENTO						
	2006	NO SE REPORTA EVENTO						
	2007	NO SE REPORTA EVENTO						
	30-nov-08	INUNDACIÓN	0	0	600	120	Perdidas de cultivos	
	2009	NO SE REPORTA EVENTO						
	2010	NO SE REPORTA EVENTO						
	11-sep-11	INUNDACIÓN	0	0	409	137		
	2012	NO SE REPORTA EVENTO						
	3-dic-13	INUNDACIÓN	NO REPORTA DATOS					
	2014	NO SE REPORTA EVENTO						
	2015	NO SE REPORTA EVENTO						
2016	NO SE REPORTA EVENTO							
1-abr-17	INUNDACIÓN	NO REPORTA DATOS						
12-may-17	INUNDACIÓN	0	0	25	6			
11-may-18	INUNDACIÓN	NO REPORTA DATOS						

Fuente: Elaboración propia.

5.2 JUSTIFICACIÓN.

La zonificación de la amenaza es una herramienta que genera prevención, pronóstico y alerta, obtiene una importancia para la toma de decisiones en planes de ordenamientos territoriales¹⁰, que delimita zonas que se verán afectadas ante un evento pronosticado, la ausencia de este genera una mayor susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de inundaciones que afectan a poblaciones que están ubicados en zonas de uso inadecuado del suelo⁸.

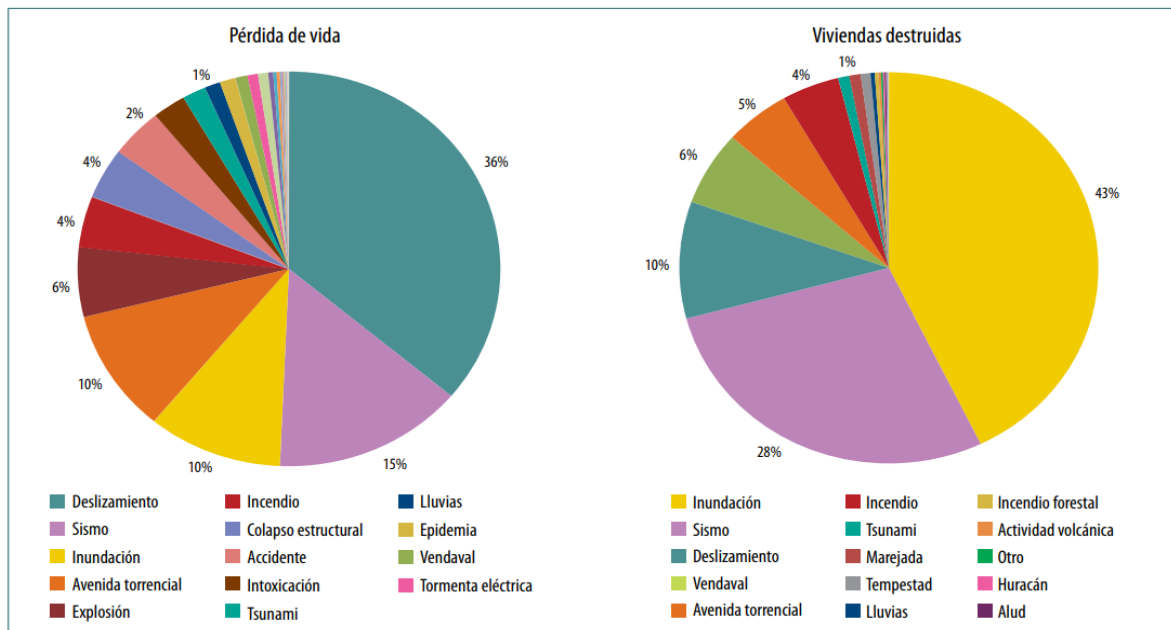
Ante un escenario ocurrido como el fenómeno de la niña, que trajo consigo consecuencias significativas para la población colombiana, siendo los damnificados 2.350.207 y los afectados 869.032⁵, convirtiéndose en una cifra desalentadora ante la prevención de desastres, es por eso que se considera desarrollar modelos de inundación en el territorio colombiano por medio de la incorporación de la gestión del riesgo en el modelo de ordenamiento de los municipios a través de una normatividad ya establecida como el decreto 1807 de 2014, decreto 1077 de 2015 y ley 1523 de 2012, es pertinente para las labores de conocimiento del riesgo adelantar caracterización de amenaza por medio de modelos de inundación realizados en el software HEC-RAS, que pronostiquen zonas de afectación ante un evento de la magnitud del fenómeno de la niña o mayor, donde a través del modelo se puede identificar la altura de la lámina del agua con respecto a la topografía del sitio en estudio, la velocidad y la energía del fluido, para caracterizar zonas de alta, media y baja amenaza en el territorio, con el fin de reducir significativamente las pérdidas de vida y daños socioeconómicos^{8,11}

6 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

6.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La distribución del nivel de exposición a eventos naturales indica que el 36% del territorio se encuentra en situación de amenaza sísmica alta; el 28% en alto potencial de inundación. Los eventos con mayores pérdidas de vida son los deslizamientos que tienen un porcentaje de muertes de 36%; inundaciones 10%, este ubica en primer lugar en destrucción de viviendas con un 43% por encima de sismos y movimientos en masa ver ⁴(Ilustración 1), categorizando la inundación como uno de los eventos más recurrentes en el país. Se ha evidenciado la tendencia al aumento en los registros de precipitación en diferentes zonas, incrementando las condiciones de amenaza en estos sitios, es así como variabilidad climática se convierte en uno de los factores disparadores para la generación de inundaciones en época de invierno⁸, produciendo incrementos generalizados en la intensidad de precipitaciones, donde un ejemplo de lo dicho anteriormente fue el fenómeno de la niña 2010-2011, que ocasiono pérdidas, estimadas a \$8,6 billones, sin contar el número de vidas perdidas^{4,5}.

Ilustración 2. Pérdidas por tipo de evento, 1970-2011.



Fuente: Tomado de Análisis de la gestión de riesgos de desastres en Colombia.

¹⁰ Vera Rodríguez, J. M. & Albarracín Calderón, A. P. Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 27, (2017).

¹¹ Tawatchai, T. & Yuddhana, K. A method for evaluating flood hazard and flood risk of east Bangkok plain, Thailand. *Proc. Inst. Civ. Eng.* 172, 385–392 (2019).

El municipio de Beltrán ubicado en el departamento de Cundinamarca con una población de 1,760 habitantes y un área total de 161.39 km² de los cuales el 99.8% es del sector rural y el porcentaje restante corresponde al urbano. Se encuentra en una zona que se denomina valle interandino del río Magdalena que se considera zona de infiltración en su parte plana, presentando alto riesgo de inundación^{3,6}. Al carecer de POT moderno, no contar con planes de mitigación y diagnóstico de amenazas actuales por inundación. ante un evento futuro asociado a la ocupación del suelo en zonas de amenaza por poblaciones en condición de vulnerabilidad, lo convierte en un escenario propenso ante un evento catastrófico¹⁰.

Debido a su localización geográfica de su cabecera municipal, que está consolidada sobre las márgenes del río Magdalena en un área conformada por depósitos de terraza, en consecuencia, este sector no es ajeno a presentar eventos de inundación como los presentados con anterioridad (Tabla 1), y la ausencia de modelos de inundación para la categorización de amenaza alta, media y baja, se convierte en un factor de las altas afectaciones de la población ante inundaciones¹², que en el plan de ordenamiento del municipio carece de la incorporación de la gestión del riesgo^{1,5}.

¹² OEA, D. de D. R. y M. A. *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. (1991).

6.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Beltrán al carecer de un plan de desarrollo territorial moderno, no cuenta con la caracterización de áreas de amenaza ante un evento de inundación, provocado por el Río Magdalena, dada su inmediatez con él, por esta razón se plantea el desarrollo de un modelo de inundación generado en el programa HEC-RAS, que evidencie las zonas de afectación ante tal evento en un periodo de retorno de cien años, con el fin de generar mapas de delimitación de amenaza para asentamientos ya existentes y para que futuros asentamientos se consoliden en zonas adecuadas y seguras de acuerdo con los niveles de amenaza ya categorizados.

¿Actualmente cuál es el área de amenaza por inundación en el que se encuentra el municipio de Beltrán en su casco urbano?

7 OBJETIVOS.

7.1 OBJETIVO GENERAL.

Categorizar áreas de amenaza alta, media y baja de inundación del municipio de Beltrán ubicado en el departamento de Cundinamarca por medio del software HEC-RAS.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Proponer un modelo de inundación apoyado en el software HEC-RAS a partir de los periodos de retorno de 100 años del río Magdalena en la zona de estudio.
- Determinar las zonas de afectación y áreas asociadas a amenaza alta, media y baja.
- Elaborar mapas de zonificación de amenaza alta, media y baja.

8 MARCO DE REFERENCIA.

8.1 ESTADO DEL ARTE.

Sur América en el primer trimestre del año 2019 ha sido afectado por inundaciones generadas por las lluvias, la UNGRD (Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres de Colombia) reportó 15 departamentos afectados tales como Cundinamarca, Cauca, Tolima, Santander, Caldas, Cesar, Nariño, Chocó, Risaralda, Antioquia, Boyacá, Valle del Cauca, Magdalena, Guainía y Norte de Santander¹³.

“La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)”, ha trabajado en campo para la mitigación de desastres naturales, produciendo e implementando mapas de amenazas con el propósito de evaluar peligros y reducirlos. La metodología Suiza abarca aspectos de los mapas de peligro, desarrollándose con tres aspectos de prevención, intervención y reconstrucción¹⁴⁷. Durante los años 1999 a 2008 en Nicaragua se desarrollaron proyectos tales como “ALARN (Apoyo Local Para el Análisis y Manejo de los Riesgos Naturales) y PROGEDES (Programa de Gestión local de Riesgo de Desastres)” influyentes en el desarrollo de mapas de riesgo, siendo estos mismos los primeros contribuyentes hacia un método estandarizado para la elaboración de los mapas. Como resultado se implementó esta metodología en 28 de los 153 municipios de Nicaragua, beneficiando a una sexta parte de la población total del país¹⁵.

Durante el año 2006 se plantea realizar “CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MANZANARES Y EVALUACIÓN DE SU DISPONIBILIDAD HIDRICA”¹⁶ el objetivo principal es la cuantificación de las escorrentías en la cuenca del Rio Manzanares usando la metodología de la recolección y análisis de datos pasados de la región siendo cinco las estaciones meteorológicas abarcadas por la cuenca de estudio, se realizó la delimitación de la cuenca digitalmente, la pendiente de la cuenca se determinó por el método de cuadrículas, posteriormente para la medición de eventos extremos se realizó los análisis probabilístico de cada una de las estaciones para periodos de retorno correspondientes a 5, 10, 25, 50 y 100 años¹⁶, cálculo de curvas IDF, se crearon polígonos de Thiessen, cálculo de curva número, tiempo de concentración, modelación hidrológica usando Hec-HMS y modelación hidráulica de un tramo del río Manzanares.

En el año 2013 en Universidad Nacional de Colombia el “departamento de geo ciencias y medio ambiente facultad de minas”¹⁷ presenta un informe donde se

¹³South America – Thousands Affected by Floods and Landslides in Paraguay, Peru, Ecuador and Bolivia – FloodList

¹⁴COSUDE. DIRECTRICES DE COSUDE SOBRE LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.

¹⁵ COSUDE. Reducción del Riesgo de Desastres en la Cooperación Internacional: La contribución Suiza a la protección de los medios de vida.

¹⁶ MAGDALENA, U. DEL. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MANZANARES Y EVALUACIÓN DE SU DISPONIBILIDAD HIDRICA. *Chest* **25**, 1–14 (2006).

¹⁷ IDEAM - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Departamento de geociencias y medio ambiente facultad de minas 2013. (2013).

plantea la elaboración de mapas zonificados de amenazas por inundación en sus zonas urbanas, estando divididos por su condición de inundación lenta o inundación súbita descrita por criterio de evaluación¹⁷. Dentro de los municipios seleccionados se encuentran:

Tabla 2. Municipios elegidos para zonificación de amenaza por inundación.

Municipio	Departamento	Municipio	Departamento
Puerto Boyacá	Boyacá	Paipa	Boyacá
Plato	Magdalena	Pitalito	Huila
Momil	Córdoba	Girón	Santander
La Victoria	Valle del Cauca	Fundación	Magdalena
La Virginia	Risaralda	Tuluá	Valle del Cauca

Fuente: ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES A ESCALA 1:2.000 y 1:5.000 EN ÁREAS URBANAS PARA DIEZ MUNICIPIOS DEL TERRITORIO COLOMBIANO

Para el desarrollo de este proyecto se hizo uso de la tecnología de levantamientos topográficos LIDAR “(de light detection and ranging)”¹⁸, se contó con el apoyo de herramientas para la obtención de información de contexto tales como (google earth y lansat). La cartografía base fue solicitada en el IGAC y dentro de las visitas realizadas en campo se solicitó información ante las oficinas de cada municipio de estudio. Para generar el alcance de inundación presentados en los municipios de Puerto Boyacá, Plato, Momil, La Victoria y La Virginia fue necesario tener como datos base para el aplicativo (HAND) los mapas de dirección de drenaje, dirección de flujo, mapa de estaciones y el DEM¹⁷. Con el resultado anterior obtenido se procede con la realización de líneas de energía y de zonas de inundación con eventos máximos e información de niveles.

Para el estudio de los municipios de Paipa, Pitalito, Girón, Fundación, Tuluá fue necesario recolectar la información hidrométrica existente en las estaciones escogidas, consolidar una base de datos para poder extraer los caudales máximos presentados dentro de los años obtenidos con el fin de estimar un caudal máximo para los periodos de retorno (2.33, 20, 100)¹⁷, posteriormente se realiza el análisis de frecuencia haciendo pruebas de bondad de ajuste de “Smirnov – kolmogorov” y “Cramer von mises”, cada una de las series se ajustaron con funciones de distribución tales como:

- Gumbel.
- Log Gumbel.
- Pearson.
- Log Pearson
- Normal.
- Log Normal.

Con un nivel de significancia del 95% aplicados a sus respectivos periodos de retorno y realizando pruebas de bondad se encontró que el mejor ajuste se tuvo con

Gumbel,⁸ con el fin de obtener los caudales de diseño para la modelación hidráulica. El aplicativo usado para la elaboración de los mapas fue (HEC-RAS), con este aplicativo fue necesario los siguientes datos de entrada tales como la geometría (LIDAR), longitud (km), condiciones de frontera, coeficiente de rugosidad de Manning, rugosidad de material de arrastre y caudales de diseño. Finalmente se realiza una calibración del modelo, se presentan cortes de sección transversal para cada uno de los ríos de estudio con los diferentes niveles alcanzados contra los periodos de retorno descritos anteriormente¹⁷.

Finalmente se describe el uso de los aplicativos tales como “HAND” y “HEC – RAS”, siendo “HAND” para la amenaza lenta y “HEC – RAS” para ríos donde presente alguna tendencia de inundación súbita¹⁷. Las manchas de inundación realizadas se validaron por información levantada cada uno de los municipios, verificando los puntos históricos que presentaban inundaciones.

En el año 2016 en el municipio de Manizales capital del departamento de caldas, se realizó el “ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIÓN UTILIZANDO HERRAMIENTAS SIG PARA LA CUENCA DEL RÍO QUITO”¹⁹ donde se plantea analizar los riesgos de inundación de la cuenca del río Quito por medio de las SIG, para el desarrollo se usó la guía metodológica de INGEOMINAS teniendo en cuenta algunas variables tales como eventos de precipitación, geomorfología, entre otras. La recolección de datos se tomó de la estación de la zona, siendo este el valor mensual multianual obteniendo un valor máximo y mínimo usando para su correspondiente valor “VPreci”. Como conclusión se obtuvo que uno de los tres municipios se encuentra en situación de alto riesgo y los otros con riesgo medio¹⁹.

En el municipio de Tocaima en el departamento de Cundinamarca se presenta un informe donde contiene procesos de remoción de masa, inundación y avenidas torrenciales, para la realización de estos análisis se tuvo en cuenta patrones del clima, niveles de precipitación y riesgos de inundaciones presentes en las zonas de estudio. Se realiza una evaluación técnica para delimitar una zona y categorizar sus diferentes aspectos tales como zonas de área de amenaza y zonas que requieren algún estudio más detallado con el fin de establecer, restringir y condicionar mediante normas urbanísticas.²⁰

Para la realización de los modelos para la elaboración de zonas inundables se proponen distintas metodologías tales como el método histórico (revisión de cartografías de las áreas inundables en episodios pasados), el método geomorfológico (análisis de las formas del suelo por el paso del agua) y el método hidrológico (se delimitan las áreas de afectación a partir de datos pluviométricos y mediciones de caudales, con el fin de calcular un periodo de retorno), se realiza una caracterización hidrológica con ayuda del modelo de elevación DEM, se usa la

¹⁸ Gis, A. ¿Qué son los datos LIDAR?—Ayuda | ArcGIS Desktop. Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>.

¹⁹ Palacios, C. M. Moreno_Cristian_TrabajodeGrado_2016.

²⁰ Riesgo, D. E. L. RECONOCIMIENTO DE CAMPO E IDENTIFICACIÓN DE SECCIONES 5 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE FENÓMENOS DE INUNDACIÓN.

aplicación archydrotool de “Arc Map” ,por medio de HEC RAS finalmente se genera un modelo del rio para poder extraer cortes transversales del rio²⁰.

8.2 MARCO TEÓRICO.

8.2.1 AMENAZA DE INUNDACIÓN.

Se denominan fenómenos hidrológicos destructivos pertenecientes a 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 sumergidas²¹⁹¹⁰.

8.2.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Es considerado como el tiempo necesario para que la escorrentía superficial viaje desde el lugar hidráulicamente más distante al punto de drenaje de la cuenca o topográficamente más bajo²², donde el tiempo de concentración es dependiente de la velocidad del curso de agua principal, ya que un camino largo y empinado aumentara la velocidad del flujo, y al contrario lo sería un camino corto y relativamente plano; es decir varía de acuerdo con el comportamiento de la pendiente y recorrido del flujo.²³.

8.2.3 TIEMPO DE RETARDO.

El Lag, es el intervalo de tiempo que transcurre desde el inicio de un evento de precipitación hasta que la escorrentía generada alcanza su pico máximo sobre una cuenca hidrográfica, siendo el tiempo que pasa desde entre el centro de masa del exceso de la lluvia y su tasa máxima de escorrentía²².

8.2.4 CURVA DE INTENSIDAD FRECUENCIA DURACIÓN (IDF).

La curva IDF es la relación matemática que existe entre la intensidad y la duración de un evento de precipitación proyectado en un periodo de tiempo, esta relación se estima mediante un análisis probabilístico a partir de datos de precipitación obtenidos de estaciones meteorológicas, estas curvas se realizan con base en tormentas de diseño que son derivadas de estimaciones de intensidad, duración y frecuencia de un evento de lluvia estimado, los periodos de retorno que indican que la lluvia más intensa se presentara ya sea en un periodo de 2, 5,10,25,50 o 100 años²⁴

²¹ AMENAZAS INUNDACIÓN - IDEAM.

²² USDA-NRCS. National Engineering Handbook Chapter 15, Time of Concentration. in *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook* 1–15 (2010).

²³ Mark, A. & Marek, P. Hydraulic Design Manual. *Texas Dep. Transp. Hydraul. Des. Man.* 293–351 (2019).

²⁴ Uzoigwe, L. O., Mbajjorgu, C. & Alakwem, O. P. Development of Intensity Duration Frequency (IDF) Curve for Parts of Eastern Catchments Using Modern Arcview GIS Model. in 21 (2012).

8.2.5 HIETOGRAMAS DE DISEÑO.

El obtener un valor máximo de una lluvia en un periodo de retorno específico no es suficiente para analizar el comportamiento durante una precipitación, es por esto que se hace necesario conocer el comportamiento de la lluvia, ya que esta tendrá un aumento gradual para alcanzar el pico máximo, y su posterior descenso hasta el fin del evento calculado²⁵, para el cálculo de estas curvas se hace uso de diferentes métodos, siendo uno de estos el de bloques alternos que recomienda el manual de drenajes para carreteras de 2009²⁶, siendo este el método utilizado para el desarrollo del proyecto.

8.2.6 HEC HMS.

El HEC HMS es una herramienta diseñada para simular procesos de precipitación-escorrentía, ofrece una variedad de modelos matemáticos para la simulación de precipitación, evapotranspiración, infiltración entre otros²⁷.

El hidrograma unitario es un modelo unitario empírico y de uso en la relación entre escorrentía directa y exceso de precipitación como ejemplo el programa usa un exceso de precipitación produciendo un pulso de exceso de precipitación conocido para cada intervalo de tiempo, luego se resuelve la ecuación discreta presentada a continuación²⁷:

Ecuación 1. Ecuación discreta HEC-HMS.

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1}$$

Donde:

Q_n = hidrograma de tormentas ordenadas

p_m = Exceso de profundidad de lluvia en un tiempo intervalo.

U_{n-m} = Dimensiones de caudal por unidad de profundidad

25 Sachan, S., Kumar, A. & Singh, P. Hyetograph -hydrograph transformation model for uniform and non-uniform rainfall distribution patterns. *J. Soil Water Conserv.* (2015).

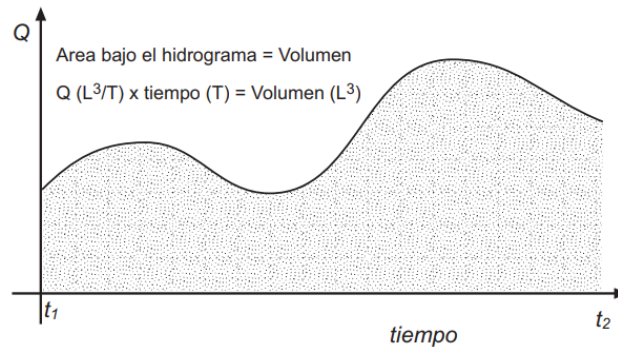
26 Republica de Colombia. Ministerio de transporte. *Manual de drenaje para carreteras.* 1, (2009).

27 Brunner, G. W. & CEIWR-HEC. *HEC-RAS River Analysis System User's Manual.* US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center. 1-790 (2016).

28 Sanchez, J. *Hidrología Superficial (II): Hidrogramas.* Dpto. Geol. U. Salamanca 1-10 pag (2015).

8.2.7 HIDROGRAMA.

Ilustración 3. Hidrograma



Fuente: *Hidrología Superficial (II): Hidrogramas*.²⁸

Es una representación gráfica de la variación del caudal aforado respecto del tiempo de estudio, estando en la siguiente disposición; en el eje de las abscisas se tiene el tiempo y en el eje de las ordenadas el caudal²⁸. De esta grafica se puede obtener el volumen de agua en un tiempo específico, ya que la sección de estudio tiene una ecuación que se puede resolver la integral de esta. Un hidrograma se encuentra en función de otras variables tales como el aporte de precipitaciones y características propias de la cuenca tales como la composición del suelo, pendientes entre otros aspectos posibles dan una caracterización específica al mismo^{29 3012}

8.2.8 HEC-RAS.

Hec Ras es un sistema aplicativo computacional enfocado hacia el análisis de ríos o canales que contiene cuatro componentes de análisis tales como³¹:

- Simulaciones de flujo inestable unidimensional y bidimensionalmente.
- Transporte de sedimentos en los límites móviles.
- Perfil de superficie de agua de flujo constante (cálculos de perfil).
- Modelado de constituyentes de temperatura y calidad del agua.

Esta herramienta permite realizar el cálculo de perfil de agua en (1D), para flujo gradualmente variado, subcrítico, supercrítico o mixto. A continuación se muestran las ecuaciones empleadas para los cálculos de los perfiles básicos, cálculos de n de Manning, carga de energía cinética media para el canal principal³¹.

Los perfiles de superficie de agua se calculan con la sección transversal resolviendo la ecuación de energía mediante un proceso iterativo .la ecuación esta descrita así:

²⁹ DEAM. Definiciones Del Catálogo Nacional De Estaciones. 11–12 (2019).

³⁰ SUESCÚN, L. L. D. & AFRICANO, J. G. A. ESTUDIO HIDROLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO PARA DETERMINAR LA OFERTA Y LA DEMANDA DE AGUA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA NISCOTA PARA UN ACUEDUCTO INTERVEREDAL EN NUNCHÍA, CASANARE. *Gastrointest. Endosc.* **10**, 279–288 (2018).

³¹ Feldman, A. D. Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrogeol. J. Hydrol. Model. Syst. Tech. Ref. Man.* 145 (2000).

Ecuación 2. Ecuación de energía HEC-RAS.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Z_1, Z_2 = Elevación del canal principal.

Y, Y_2 = Profundidad del agua en las secciones transversales.

V_1, V_2 = Velocidades promedio (descarga $\frac{\text{total}}{\text{area}}$ de flujo total).

a_1, a_2 = Coeficientes de ponderación de velocidad.

g = Aceleración gravitacional.

h_e = Pérdida de carga de energía.

Las pérdidas de carga de energía de dos secciones transversales se componen por pérdidas de contracción, la ecuación se describe así³¹:

Ecuación 3. Pérdidas de carga de energía HEC-RAS.

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Donde:

L = Longitud de alcance ponderada.

S_f = pendiente de fricción.

C = coeficiente de pérdida.

La longitud de alcance ponderada se define como:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

Donde:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = Longitudes de alcance de sección transversal especificadas para el flujo izquierdo derecho y principal.

$$Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}$$

= Medida aritmética de los flujos entre secciones orilla izquierda derecha y canal principal

8.3 MARCO CONCEPTUAL.

A continuación, se muestran términos que relacionan el tema de investigación: IDEAM.

(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales) junto con el CNM (Centro Nacional de Modelación) desarrolla una guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación, con el propósito de ser una referencia a las entidades o personas encargadas de la elaboración de la cartografía, para dar orientación de uso de suelo. La presente guía se desarrolla su eje temático a partir de las siguientes temáticas³²¹³:

- Definición de inundación y tipos de inundaciones³².
- Clasificación de mapas de inundación³².
- Metodologías y fuentes de información disponibles para la elaboración de los mapas de susceptibilidad, evento, amenaza y zonificación de la amenaza por inundación^{32, 14}.
- Casos de estudio para mapas de susceptibilidad, de evento, de amenaza y zonificación de amenaza por inundación³².

PROTOCOLO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA.

IDEAM, 2018. PROTOCOLO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA. El IDEAM promueve una guía sobre aspectos conceptuales, de aplicación y consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta en el desarrollo de modelos hidrológicos e hidráulicos³³¹⁵.

1. Geografía y sistemas de información geográfica evolución teórico-metodológica hacia campos emergentes.

Los Sistemas de Información Geográfica han generado, al mismo tiempo, una revolución tecnológica y una revolución intelectual. La primera pone su atención en los métodos y técnicas de Análisis Espacial y la segunda en las formas de estudiar y comprender la realidad centrándose en una focalización espacial. El presente trabajo analiza de qué manera ambas revoluciones ubican a la dimensión espacial en el centro de atención de múltiples ciencias³⁴. Se analizan los conceptos centrales de Análisis Espacial y la amplitud Geo informática para dar paso al surgimiento de otras geografías (Geografía Automatizada y Cibergeografía), campos interdisciplinarios (Geo informática y Geografía Global) y campos transdisciplinarios (Ciencias de la Información Geográfica y Ciencias Sociales Integradas Espacialmente) como perspectivas de estudio generadoras de nuevos conocimientos³⁴¹⁶.

³² IDEAM. GUIA METODOLOGICA MAPAS INUNDACION MARZO 2018.

³³ MARTÍNEZ, N. O. V. *et al.* Protocolo Modelacion HH.

³⁴ Rica, C. *et al.* GEOGRÁFICA EVOLUCIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA HACIA GEOGRAPHY AND GEOGRAPHIC INFORMATION THEORETICAL AND METHODOLOGICAL. (2012).

³⁵ GLOSARIO - IDEAM. Available at: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#P>. (Accessed: 17th November 2020)

³⁶ Influencia, Á. D. E., Tota, L. D. E., Los, D. E. A. C. O. N., Técnico, A. & Técnicas, E. Adquisición, Instalación Y Puesta En Funcionamiento De Siete (7) Estación Hidrometeorológicas Automática En La Jurisdicción Del Ao – 06 Con Sede En Duitama –. 8 (2016).

2. Estaciones meteorológicas.

Se entiende como estación meteorología a un lugar donde se encuentran diferentes sensores que permiten el conocimiento y comportamiento del área donde se encuentra ubicado, se encuentran divididas en tres tipos manuales, automáticas con telemetría y automáticas son telemetría^{35 36}.

Las estaciones manuales o convencionales son aquellas que necesitan de un operario para la toma de datos registrados y enviarla para su debido procesamiento. Por el contrario las automáticas con telemetría son capaces de almacenar y enviar dicha información al centro de almacenamiento por medio de satélites, radiofrecuencia, GPRS entre otros ²⁹. Dentro de las estaciones meteorológicas se encuentra categorías de estaciones tales como:

➤ **Estación agrometeorológica.**

Se realizan observaciones meteorológicas para ayudar a realizar una relación del comportamiento del clima con la vida de las plantas y animales²⁹.

➤ **Estación climatológica ordinaria.**

Se realizan observaciones de temperatura del aire, temperaturas máximas y mínimas y humedad. Sus instrumentos de registro con muy pocos²⁹.

➤ **Estación climatológica principal.**

Se realizan las mismas observaciones de la estación climatológica ordinaria con otros más como el viento, brillo solar, radiación, evaporación, cantidad de nubes entre otras²⁹.

➤ **Estación limnigráfica.**

En este tipo de estación se realiza la medición del nivel de una corriente hídrica, con esta información se obtiene un limnigrama²⁹.

➤ **Estación limnimétrica.**

En esta estación se realiza la toma de alturas del agua sin registrarse, un operario toma los registros manualmente²⁹.

➤ **Estación mareográfica.**

Se realizan mediciones de la salinidad del agua, nivel y temperatura del mar²⁹.

➤ **Estación meteorológica especial.**

Es una estación dedicada a estudiar un fenómeno natural en específico²⁹.

➤ **Estación pluviográfica.**

En esta estación se hace un registro periódico y continuo de los datos recolectados y procesados que generan una gráfica que permite la lectura de datos tales como la cantidad de lluvia, su duración y periodo de duración del evento²⁹.

➤ **Estación pluviométrica.**

Se presenta un instrumento pluviométrico que “permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas”²⁹.

➤ **Estación radio sonda.**

Realiza la medición de parámetros atmosféricos tales como presión atmosférica humedad relativa dirección y velocidad del viento en la atmosfera, con ayuda de un globo meteorológico que asciende a la atmosfera que contiene los sensores que transmiten la información recolectada²⁹.

➤ **Estación sinóptica principal.**

Se realizan observaciones de los principales elementos meteorológicos tales como la dirección y velocidad del viento, precipitación, temperaturas, fenómenos especiales entre otros. Estas observaciones se realizan horariamente y en horas acordadas internacionalmente²⁹.

➤ **Estación sinóptica secundaria.**

Sus horarios de observación son iguales al anterior y los datos que se pueden obtener de esta estación pueden ser humedad del aire, presión, viento, estado del suelo entre otras²⁹.

Cuenca.

Se denomina cuenca al área total conformada por la reunión de un drenaje superficial de agua que se reúne en un cauce natural principal que busca desembocar en algún depósito de agua o al mar, su delimitación es dada por el relieve mismo siendo así las partes más altas los límites de la misma. Existen cinco tipos de cuencas^{35 3717}:

1. Tamaño geográfico.

Las cuencas hidrográficas se pueden definir en³⁷:

- Grandes.
- Medianas.
- Pequeñas.

2. Ecosistema.

Se pueden categorizar de acuerdo al ecosistema en el que se encuentre en la que encontramos³⁷:

- Cuencas áridas.
- Cuencas tropicales.
- Cuencas frías.
- Cuencas húmedas.

³⁷ Ordóñez, J. ¿ Qué Es Cuenca Hidrológica ? Soc. Geológica Lima 1, 1–44 (2011).

○
3. Objetivo.

Se pueden categorizar de acuerdo a sus capacidades propias de recursos naturales y se pueden denominar³⁷:

- Para agua poblacional.
- Agua para riego.
- Agua para navegación.
- Ganaderas.
- Uso múltiple.

○
4. Relieve.

De acuerdo a sus características de relieve y terreno se pueden determinar³⁷:

- Cuencas planas.
- Cuencas de alta montaña.
- Cuencas accidentadas o quebradas.

Dirección de la evacuación de las aguas.

Las cuencas se pueden tipificar por su evacuación de aguas, es decir su desembocadura como puede ser el mar o un lago. Existen tres tipos las **cuencas abiertas** (a) que su desembocadura es en el mar, las **cuencas cerradas** (b) su drenaje es en un lago y por ultimo las **cuencas arreicas** (c) son aquellas que su cauce se evapora o se filtra en el suelo antes de llegar al cauce principal, tal como se muestra en la siguiente imagen se puede ver cada uno de los tipos de cuencas.

Ilustración 4 Dirección de evacuación de aguas en cuencas.



Fuente: Cartilla técnica "¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?" Lima Perú³⁷.

Precipitación.

Es comprendido como cualquier tipo de aporte de humedad o agua hacia la superficie terrestre tales como lluvia, nieve, rocío, granizo entre otros³⁸. Existen tres tipos, la precipitación convectivas, orográficas y por convergencia²⁹. La precipitación tiene gran importancia dentro de los estudios hidrológicos ya que es de los únicos aportes presentados a la cuenca de estudio³⁰.

Caudal.

Es la cantidad de agua que pasa por una superficie en determinado tiempo³⁹.

Escorrentía.

Se puede considerar como el siguiente paso de la precipitación ya que es la acción que genera, existen tipos de escorrentía tales como escorrentía directa, subsuperficial y escorrentía subterránea⁴⁰.

Índice de compacidad de Gravelius.

Consiste en la comparación de la cuenca con una figura ideal, para este caso se compara la longitud del perímetro con la circunferencia de un círculo con igual superficie que la cuenca. Se representa mediante la siguiente ecuación⁴⁰:

Ecuación 4. Índice de compacidad de Gravelius.

$$I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Fuente: ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA Y DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO ZADORRAY SUS AFLUENTES APLICADO A LA PELIGROSIDAD DE CRECIDAS⁴⁰

Donde I_c es el índice de gravelius, p el perímetro de la cuenca y s la circunferencia del círculo. Cuanto más cercano a la unidad sea la relación se infiere que es una cuenca más circular⁴⁰.

Longitud del cauce principal.

Está definida por el punto más alto aguas arriba y el punto de desembocadura, esta longitud es conocida como longitud del cauce principal⁴¹

DEM.

Las superficies modeladas se encuentran realizadas bajo una matriz de celdas (píxeles), que contiene determinados valores como lo es la altura, pero en la visualización de un DEM se observa una capa de tonos con sombras para simular el relieve encontrado por la matriz⁴². Su uso en herramientas aplicativas nos permite estudiar el flujo del agua, propiedades de la superficie entre otros usos. ⁴²

Riesgo.

Se puede definir como la posibilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas tales como lo son las muertes, lesiones, daños al medio ambiente entre otros, como resultado de interacciones entre el medio ambiente o inducidos por el hombre y condiciones vulnerables. Convencionalmente, el riesgo se expresa

³⁸ Francisco Javier Sánchez San Román. Hidrología e Hidrogeología. *Colomb. Pacifico* 1, 120–134 (1993).

³⁹ Bello, M. & Pino, M. Medición de Presion y caudal. *Inia* 28, (2000).

⁴⁰ Juncosa, R. Escorrentía. *Hidrol. ICiclo Hidrológico* 65–84 (2005).

mediante la notación $\text{Riesgo} = \text{Peligros} \times \text{Vulnerabilidad}$ ". El riesgo se puede expresar como pérdida probable calculada como un valor promedio anual o para un escenario particular^{43, 19}.

Peligro

Un evento físico, fenómeno o actividad humana potencialmente perjudicial que puede causar la pérdida de vidas o lesiones, daños a la propiedad, trastornos sociales y económicos o degradación ambiental^{43, 20}.

Mapa de vulnerabilidad

Herramienta para el manejo de emergencias. Herramienta de gestión para establecer prioridades (estructural y no estructural medidas) y planificación del uso del suelo, bases para la evaluación de riesgos⁴³.

Mapa de riesgo

La herramienta más apropiada para la decisión. Toma de decisiones (planificación de estructuras y medidas no estructurales)^{43, 21}.

⁴¹ báñez, S., Moreno, H. & Gisbert, J. Morfología de las cuencas hidrográficas. *Univ. Politécnica Val.* 12 (2010).

⁴² esri. Modelos digitales de elevación—Conceptos relacionados | ArcGIS. Available at: <https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm>. (Accessed: 17th November 2020)

⁴³ Maps, H. & Instruments, R..

9 ALCANCES Y LIMITACIONES.

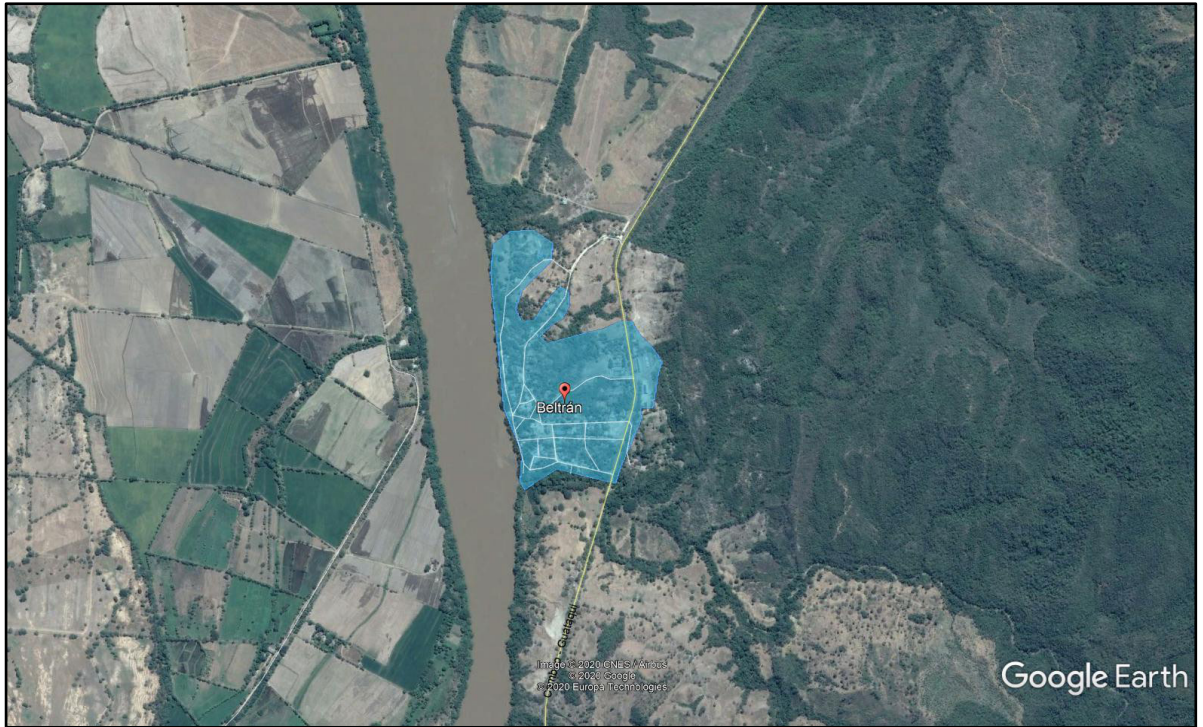
9.1 ALCANCES.

El trabajo de grado tiene como propósito categorizar áreas de amenaza de inundación del municipio de Beltrán Cundinamarca. Identificando las zonas de inundación a partir de la información suministrada de las diferentes entidades a nivel nacional, regional y local, se interrelacionará para la individualización de las zonas que han sufrido afectaciones por inundación y fechas de los sucesos. Para su ejecución teniendo en cuenta su cercanía con el río Magdalena, se realizarán los cálculos de periodo de retorno de 100 años en la zona de estudio, para generar el modelo de inundación y realizar mapas de zonificación de amenaza presentada en la zona, con su respectiva escala 1:25000 como lo sugiere el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012. Haciendo uso del decreto 1807 de 2014, como recurso para cumpliendo de los requerimientos necesarios para su correcta elaboración¹. El proyecto contempla un tiempo de ejecución de 6 meses, el trabajo de grado que contendrá los entregables como mapa de vulnerabilidad, zonas de afectación y velocidades de flujo que se realizaran en la ciudad de Bogotá D.C. con recursos propios.

9.2 LIMITACIONES.

El estudio se realizará en el casco urbano del municipio de Beltrán (Cundinamarca) que se delimita en la siguiente imagen, en el que se hará el análisis de zonas de amenaza y se desarrollara el mapa vulnerabilidad, cabe destacar que el modelo se calibrará a partir de información secundaria de entidades estatales o de otros modelos realizados en el municipio, se deberá tener en cuenta la imposibilidad de hacer visitas técnicas y reuniones con la comunidad, dada la situación de pandemia que atraviesa el país.

Ilustración 5. Limitación del modelo de inundación

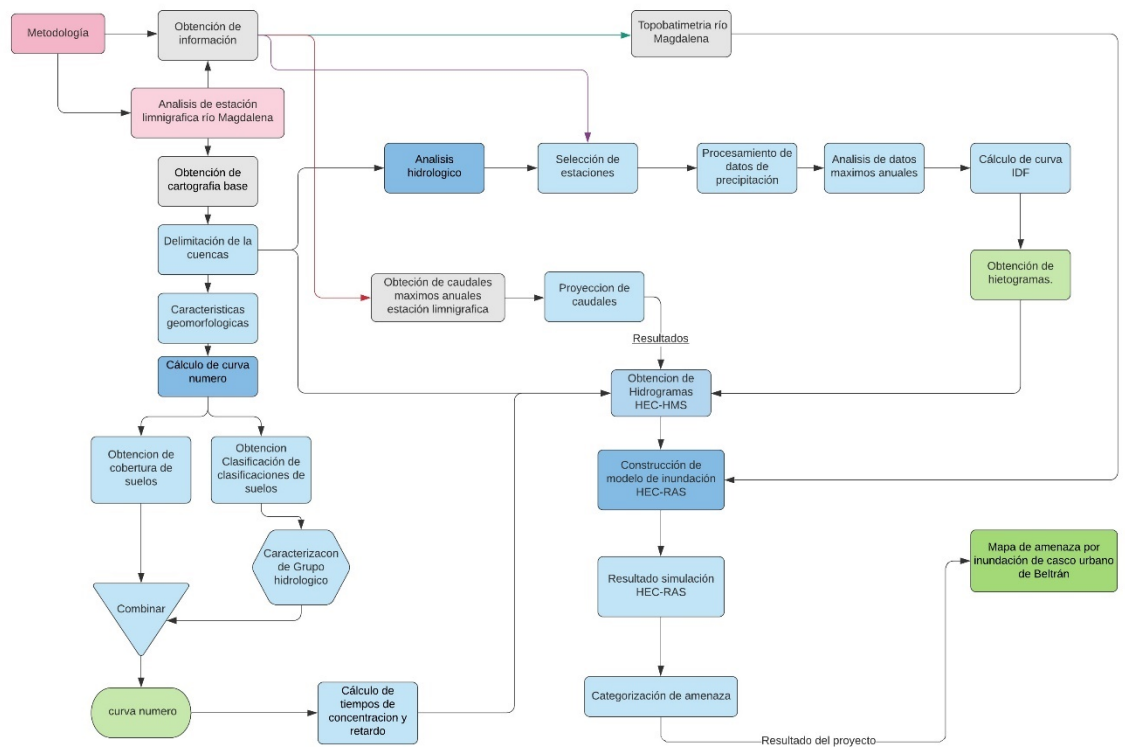


Fuente Google Earth

10 METODOLOGÍA.

La metodología de este proyecto tendrá como fin generar un mapa de amenaza ante un evento de inundación para el municipio de Beltrán, se deberá seguir un procedimiento lógico para la obtención de los insumos necesarios para la categorización de amenaza de la mancha de inundación, este procedimiento se define de la siguiente manera:

Ilustración 6. Proceso metodológico modelo de inundación



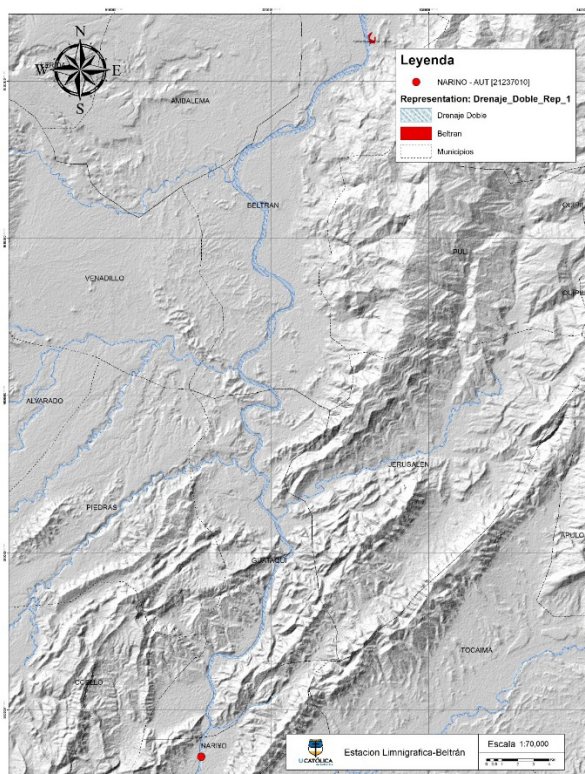
Fuente: elaboración propia.

10.1 PROCESO METODOLÓGICO.

10.1.1 ANÁLISIS DE ESTACIÓN LINMIGRAFICA.

Para definir un área de estudio se investigó la estación linmigráfica Nariño ubicada en el río Magdalena, siendo la más cercana del casco urbano de Beltrán, aguas arriba a una distancia de 46 km, esta sección de río que se encuentra entre la estación y el casco urbano de Beltrán se le deberá definir las cuencas que tenga un aporte directo al caudal del río Magdalena.

Ilustración 7. Estación Limnigráfica-Beltrán.

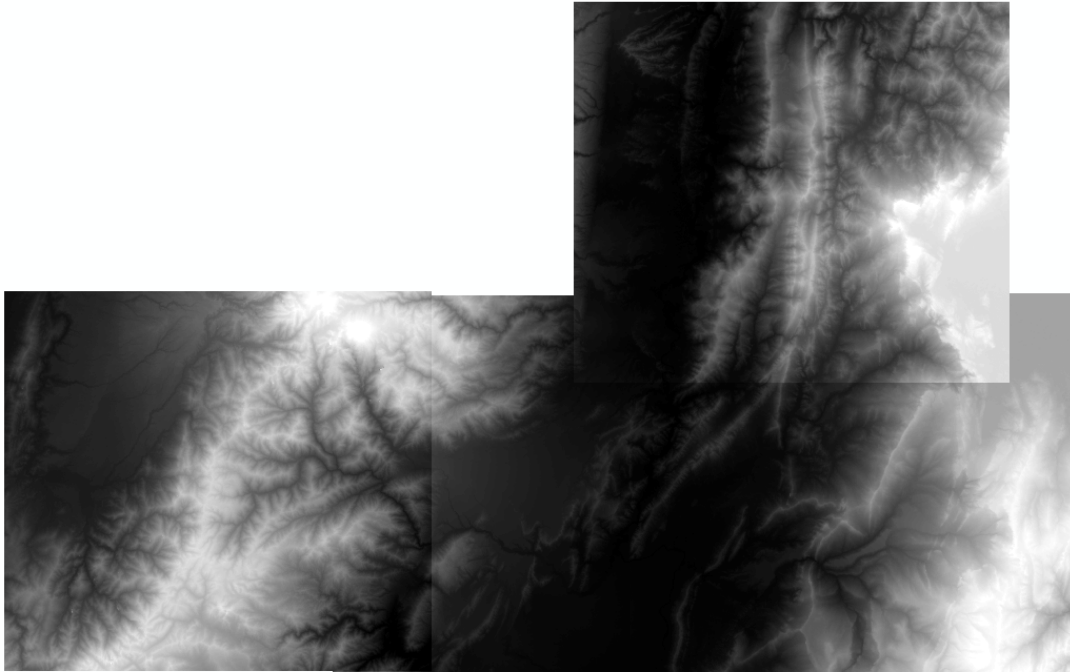


Fuente: Elaboración propia.

10.1.2 OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE.

A partir del tramo del río Magdalena definido, se adquiere la cartografía base para la delimitación de las cuencas de los drenajes tributarios de este tramo, obteniendo la cartografía de imágenes de elevación, Alos-Palsar (dem), través del servidor EARTDATA de la NASA con una resolución de 12.5m, como se observa en la Ilustración 8.

Ilustración 8. Imágenes Alos-Palsar (dem) resolución 12.5m



Fuente: Elaboración propia.

10.1.3 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS.

Con base en las imágenes Alos Palsar, se genera la delimitación de las cuencas a través de las herramientas disponibles en el software ArcGIS, por medio de un análisis de elevación de píxeles que genera una delimitación de las cuencas de manera semi automática al seguir la siguiente metodología:

1. Se deberá hacer uso de la herramienta rellenar o *Fill*, para la imagen DEM, que hará una corrección de los píxeles que carezcan de información o valores atípicos, que generan un error en el resultado del procesamiento al no tener un valor de altura correcto ⁴⁴. En la Ilustración 9 se observa la corrección cuando un píxel tiene un valor atípico.

Ilustración 9. vista de perfil de un sumidero antes y después usando la herramienta fill.

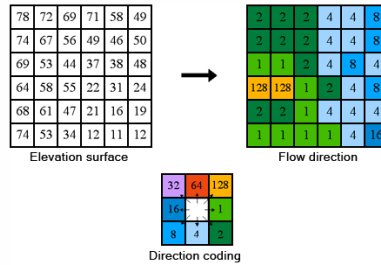


Fuente: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fill-works.htm>

2. Al obtener el resultado del *Fill*, se recomienda usar la herramienta de dirección de flujo o *Flow direction*, esta realizará un análisis de la dirección

del fluido con base en la elevación de los pixeles, es decir una celda podrá tener máximo de 8 direcciones de salida de flujo dependiendo de su altura, donde el fluido podrá desplazarse a celdas con valores de elevación menor que la que se encuentra en ese instante, al contrario de una celda que tiene una elevación mucho menor que la de sus vecinos, esta podrá no tener salidas o un número reducido⁴⁵. Esta codificación, se observa en la Ilustración 10.

Ilustración 10. Codificación de flujo



Fuente: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>

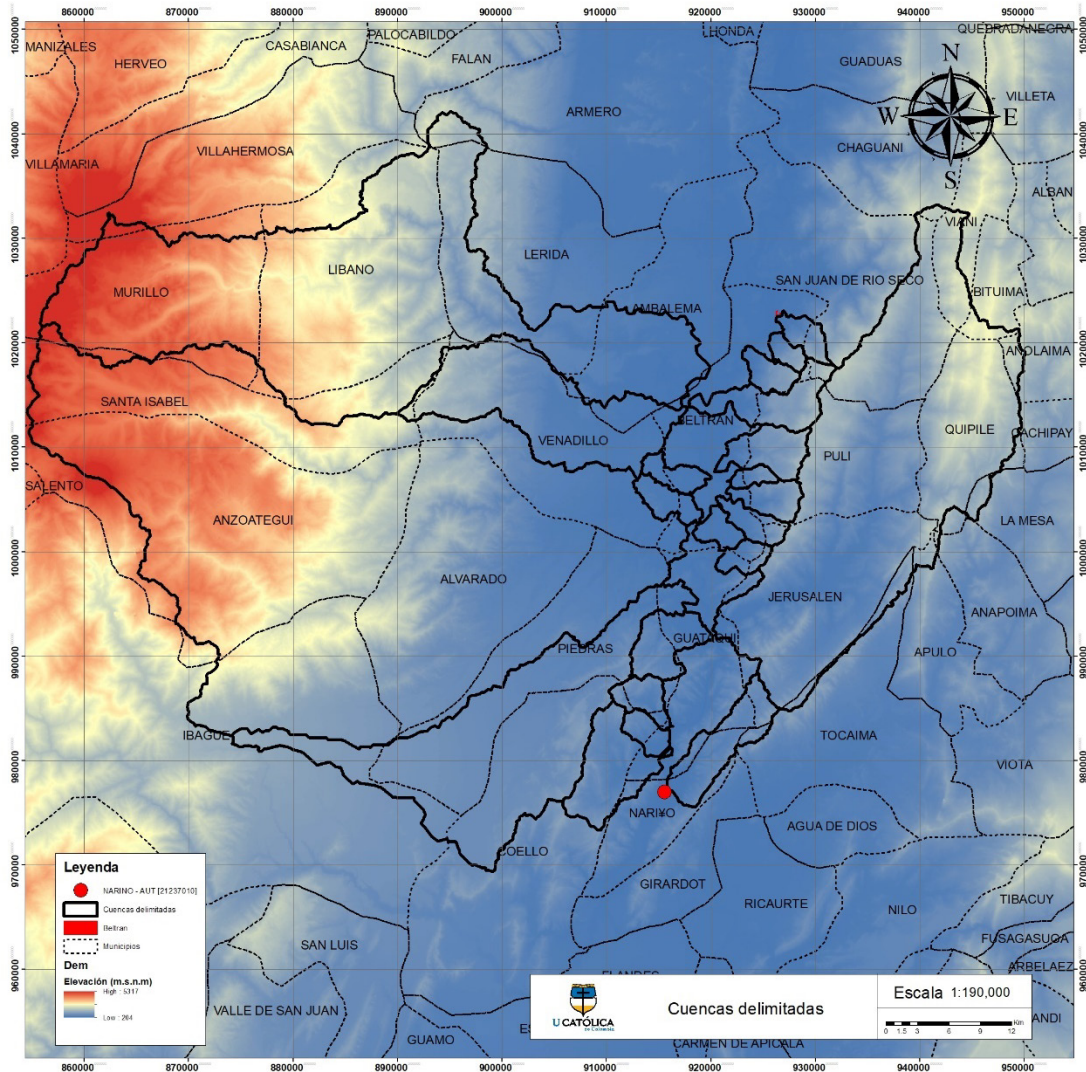
3. Posteriormente al obtener el resultado de *Flow direction* se deberá definir el punto de descarga de la cuenca, para hacer uso de la herramienta de Cuenca hidrográfica o *watershed*, esta generará una delimitación a partir de los resultados generados con la herramienta de *Flow direction*, obteniendo como resultado la delimitación de la cuenca deseada por el usuario, cabe destacar que los resultados de esta herramienta se encontraran en formato raster⁴⁶.

En consecuencia, con este procedimiento se obtiene la delimitación de las cuencas que tienen su punto de drenaje el tramo de río Magdalena, definido anteriormente. Como se observa en la Ilustración 11.

⁴⁵ Wang, X., Kingsland, G., Poudel, D. & Fenech, A. Urban flood prediction under heavy precipitation. *J. Hydrol.* **577**, 123984 (2019).

⁴⁶ Gis, A. how watershed works. <https://desktop.arcgis.com/> (2020). Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-watershed-works.htm>.

Ilustración 11. DEM 12.5m cuencas y subcuencas generadas



Fuente: Elaboración propia.

10.1.4 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS CUENCAS.

Con base en las delimitadas se podrá hacer uso de la herramienta de cálculo de geometría, de ArcGIS, que realiza cálculo de área y perímetro de las cuencas con polígonos de delimitación. Para la obtención de la longitud del cauce principal se realiza un análisis para delimitar todas las microcuencas existentes en las cuencas, siendo un total de 430, ver Ilustración 12, posteriormente se hace un análisis para cada cuenca desde su punto más bajo analizando la vertiente que obtenga un aporte mayor de acuerdo a las áreas de las microcuencas, es decir el cauce principal será el que tenga un mayor aporte tributario dependiendo del área de la microcuencas que tenga su punto de drenaje en él.

Ilustración 12. Longitud cause principal de cuencas.



Fuente: Elaboración propia.

Además se identifica la pendiente media de cada cuenca, a través de las imágenes de elevación digital del terreno, y la herramienta de slope de ArcGIS, este resultado se clasifica de acuerdo con la “Metodología Para la Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso” esta clasifica la pendiente en 9 clases dependiendo su porcentaje de inclinación, como se observa en la Tabla 3, a partir de esta clasificación se genera el mapa de pendientes para las cuencas como se observa en la Ilustración 13.

Tabla 3. Clases de pendientes.

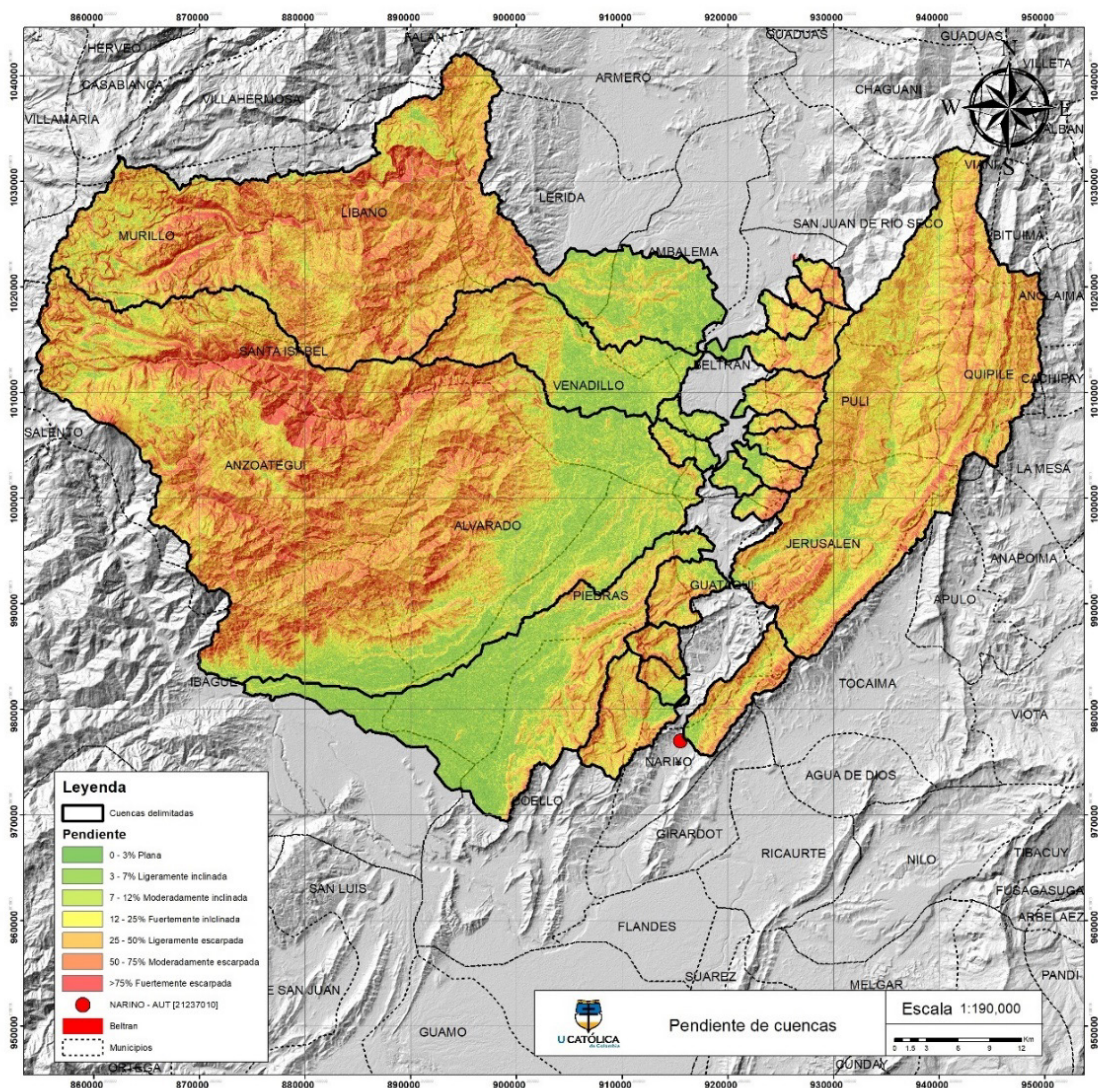
Clase Simple	%
A nivel	0-1
Plana	0-3
Ligeramente plana	1-3
Ligeramente inclinada	3-7
Moderadamente inclinada	7-12
Fuertemente inclinada	12-25
Ligeramente escarpada o empinada	25-50
Moderadamente escarpada o inclinada	50-75
Fuertemente escarpada	>75

Fuente: Metodología Para la Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso

Con los resultados se calcula la pendiente media para cada cuenca, es importante obtener este valor ya que podrá incrementar las posibilidades de una crecida, dado que la capacidad de arrastre y la velocidad del aumento de caudal, se incrementa en cuencas con una mayor pendiente media, siendo al contrario de una cuenca que cuente con pendientes bajas^{47, 23}.

⁴⁷ UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR & LANGBEIN, W. B. *TOPOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF DRAINAGE BASINS*. (1944).

Ilustración 13. Pendiente de las cuencas.



Fuente: Elaboración propia.

10.1.5 OBTENCIÓN DE CURVA NÚMERO.

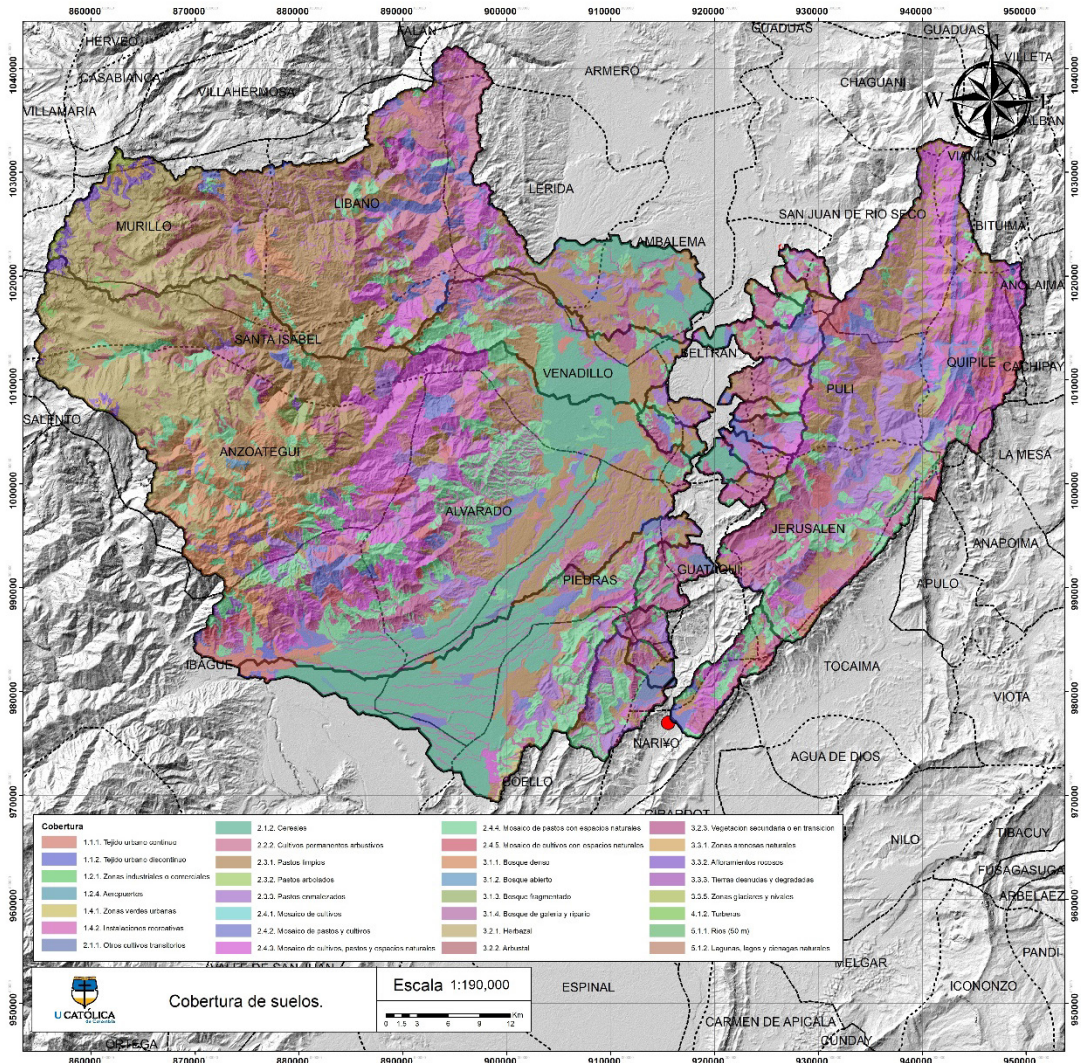
Para el cálculo de la curva número se deberá realizar un análisis de la cobertura de los suelos presente en la superficie de las cuencas, también se deberá obtener la clasificación de suelos de estas, para discriminarlas de acuerdo con su grupo hidrológico⁴⁸.

10.1.5.1 OBTENCIÓN DE COBERTURAS DE SUELO.

Se hace uso de la cobertura de tierra realizado por el IDEAM en el año de 2010, con la metodología de Corine Land Cover adaptada para el territorio nacional, escala 1:100.000, que permite describir, clasificar y comparar la capa de cobertura de la

tierra, de acuerdo con su uso de manera muy específica⁴⁹. Se puede observar en la Ilustración 14, la cobertura para las cuencas delimitadas.

Ilustración 14. Cobertura de tierra para cuencas delimitadas.



Fuente: Elaboración propia.

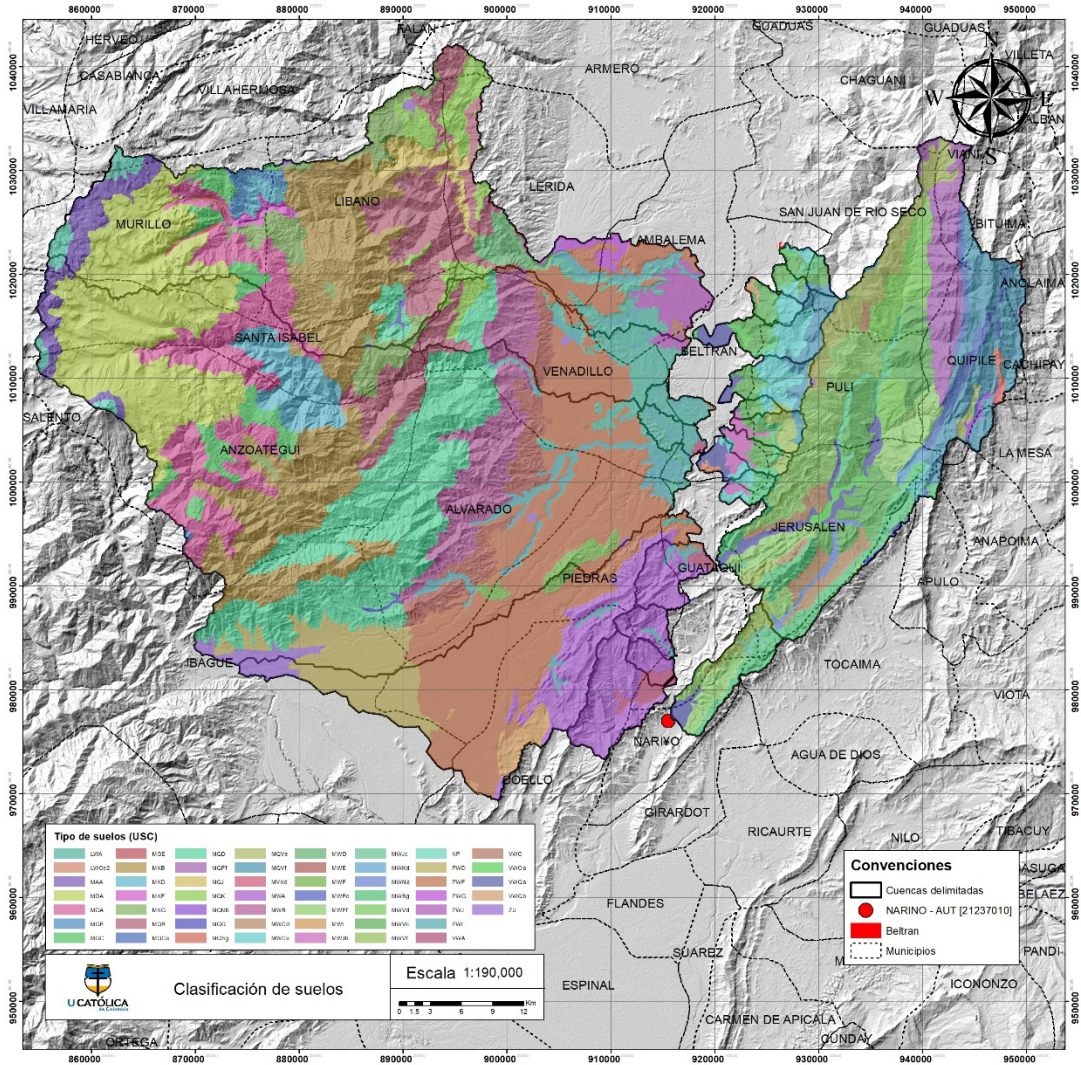
10.1.5.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

De igual manera se debe tener en cuenta el tipo de suelo que conforman la geología del sitio, para esto se hace uso de las planchas de acceso libre a escala 1:25000 de suelos de Colombia, ver Ilustración 15, donde se muestra el tipo de suelos según la clasificación USC.²⁴

⁴⁸ SCS. CHAPTER 21. DESIGN HYDROGRAPHS. in NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK 127 (NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK, 1965).

⁴⁹ IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Ideam (<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>, 2008).

Ilustración 15. tipo de suelos en sitio de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Al obtener el tipo de suelo se le debe asignar un grupo hidrológico el cual se categoriza en A,B,C,D de acuerdo con su composición y textura. A representa un bajo potencial de escorrentía, los suelos de este grupo suelen tener un bajo porcentaje de arcilla y un alto porcentaje de arenas. El grupo B tiene un nivel moderadamente bajo de escorrentía, este tipo de suelos tiene entre un 10 y un 20% de arcillas, y 50 a 90% de arenas. El grupo C tiene un potencial alto de escorrentía ya que su composición cuenta con un 20 a 40% de arcillas, y menos del 50% de arena. El grupo D se caracteriza por tener un alto potencial de escorrentía cuando están completamente mojados, el movimiento de aguas a través de este suelo está

muy restringido, dado que lo conforman más del 40% de arcilla y menos del 50% de arenas^{50, 25}.

Posteriormente al definir el grupo hidrológico se deben combinar las capas de cobertura de suelo y clasificación hidrológica, estas generaran una combinación de cobertura y grupo hidrológico, a partir de estos se le definirá un valor de curva número (CN), de acuerdo con la tabla de curva número escorrentía, ver anexo A, tablas anexas. Para definir el valor de CN promedio de la cuenca, se debe hacer uso del método de promedio ponderado.

10.1.6 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Para este cálculo se recomienda emplear diferentes métodos de ecuaciones empíricas, se considera apropiado incluir cinco estimaciones diferentes, por esta razón se deberá hacer el cálculo utilizando diferentes ecuaciones como lo son la de kirpich, temez, california, Giandotti entre otras, como se muestra a continuación:

- Ecuación 5. kirpich

Es una ecuación desarrolladas para calcular tiempos de concentración en cuencas hidrográficas montañosas ubicadas en Tennessee, que variaron en tamaño de 0.004 a 0.45 km², con pendientes entre 3 a 12%⁵¹.

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.77}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentracion en horas (hr)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca, en kilometros (km)

S₀: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca, en metros, dividida por la *L*

⁵⁰ USDA-NRCS. National Engineering Handbook Chapter 7 Hydrologic Soil Groups. in *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook* 13 (United States Department of Agriculture, 2009).

⁵¹ Perdikaris, J., Gharabaghi, B. & Rudra, R. Reference Time of Concentration Estimation for Ungauged Catchments. *Earth Sci. Res.* 7, 58 (2018).

⁵² Peláez, J. R. T. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. *Revista de Obras Publicas* 150, 47-51 (2003).

- Ecuación 6. Temez

La ecuación de Temez, que es elaborada para la dirección general de carreteras de España, siendo apta para cuencas de hasta 3000 km², y tiempos de concentración de 0.25 > t_c > 24h⁵².

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.76}$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración, en horas (hr)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca, en kilometros (km)

S₀: pendiente total del cauce principal (%)

- Ecuación 7. California.

Ecuación de kirpich modificada para cuencas montañosas de menor área en california^{53, 26}

$$T_c = 0.87019 \left(\frac{L}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración en horas (hr)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca, en kilometros (km)

H: Diferencia entre las dos elevaciones extremas, dividida por L $\left(\frac{m}{m} \right)$

- Ecuación 8. Giandotti.

Esta fórmula fue calibrada en doce cuencas en las que su área oscilaba entre 170 y 70,000 km², el resultado del T_c esta dado en horas por la siguiente expresión⁵⁴:

$$T_c = \left(\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{SL}} \right)$$

Donde:

L: longitud del cauce principal, dado en metros (m)

⁵³ Taghvaye Salimi, E., Nohegar, A., Malekian, A., Hosseini, M. & Holisaz, A. Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy Water Environ.* **15**, 123–132 (2016).

⁵⁴ Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F. & Porfiri, M. Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrol. Sci. J.* **57**, 217–228 (2012).

S: Pendiente promedio del cauce principal de la cuenca en $\frac{m}{m}$

A: Superficie de la cuenca en kilometros cuadrados (km^2)

- Ecuación 9. SCS -Ranser.

Esta ecuación da como resultado, T_c , en horas, que se encuentra dada por la siguiente expresión²⁶:

$$T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

L: longitud principal del cause en metros (m)

H: diferencia de cotas de puntos extremos de la corriente principal en metros (m)

- Ecuación 10. ventura-Heron.

Esta ecuación da como resultado, T_c , en horas, esta ecuación se encuentra dada por la siguiente expresión²⁶:

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L^3}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Donde:

L: longitud principal de cause en metros (m)

S: pendiente total de cause principal (%)

- Ecuación 11. Bransby-Williams.

Ecuación desarrollada por ingenieros de Estados Unidos de América, se limita a cuencas en áreas rurales con áreas no mayores a $130 km^2$ ^{55, 27}

$$T_c = 0.2426L \left(\frac{1}{A^{0.1} S^{0.2}} \right)$$

Donde:

L: longitud principal de cause en metros (m)

A: Superficie de la cuenca en kilometros cuadrados (km^2)

⁵⁵ Mudashiru, R., Abustan, I. & Baharudin, F. Methods of Estimating Time of Concentration: A Case Study of Urban Catchment of Sungai Kerayong, Kuala Lumpur. in 119–161 (Offa, Kwara State, Nigeria, 2020). doi:10.1007/978-3-030-32816-0_8

L: pendiente total de cause principal (%)

Considerando todos los valores resultantes, se calcula el promedio y la desviación del conjunto de datos, los valores que se encuentren por fuera la desviación serán descartados, eligiendo el valor que se encuentre más cercano a la media. Como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados tiempo de concentración de la cuenca no.2.

Kirpich	California	Temez	Giandotti	Ranser	Ventura	Bransby	Media	Desviación
7.90	7.90	7.67	5.05	7.90	7.35	9.53	7.61	1.33

Fuente: elaboración propia.

El valor que se encuentra más cercano a la media aritmética es del método de Temez, a partir de este resultado se considera el tiempo de concentración de la cuenca es de 7.67 hr, para ver la totalidad de resultados de tiempo de concentración de cada cuenca, ver anexo B, Análisis probabilísticos, Estaciones.

10.1.7 TIEMPO DE RETARDO.

Se puede determinar a partir de los registros de lluvia, o se puede calcular como el 60% del tiempo de concentración²², como lo expresa la siguiente ecuación:

- Ecuación 12. Tiempo de retardo SCS.

$$T_{lag} = 0.6 * T_c$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentracion

Al realizar el procedimiento para la cuenca 2 se obtiene;

$$T_{lag} = 0.6 * 7.67 = 4.66 \text{ hr.}$$

Obteniendo un tiempo de retardo de 4.66 hr para la cuenca 2. Para ver las memorias de cálculo de los tiempos de concentración y retardo ver anexo F.

10.1.8 SELECCIÓN DE ESTACIONES.

Es importante obtener la mayor cantidad de registros de precipitación de cada una de las estaciones existentes en el área de estudio, con el fin de realizar un adecuado análisis y caracterización hidrológica de los datos obtenidos, los registros de estas estaciones son suministrados por el IDEAM, ya sean pluviométricas, pluviograficas, climatológicas y agrometeorológicas.

De acuerdo esta información se determinan los siguientes criterios de selección para la selección de las estaciones.

- Deben encontrarse activas.
- La temporalidad de las series, se eligen estaciones que posean un mayor registro multianual precipitación.

- Las estaciones deben encontrarse dentro del área de estudio de las diferentes cuencas analizadas.
- Deben poseer información de los años 2010 y 2011, puesto que en estos años ocurrió el fenómeno de la Niña, en los que se presentaron valores de precipitación altos.

A partir de estos criterios de selección se eligen las siguientes estaciones para su posterior análisis hidrológico.

Tabla 5. Estaciones meteorológicas elegidas.

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Departamento
21230060	NARIÑO	4.398611	-74.825556	Cundinamarca
21250460	VENADILLO	4.663806	-74.91775	Tolima
21245010	PERALES HATO OPIA	4.429667	-75.200522	Tolima
21235010	JERUSALEN	4.561806	-74.702389	Cundinamarca
21240070	ANZOATEGUI	4.6375	-75.09	Tolima
21255110	SANTA ISABEL	4.70175	-75.131833	Tolima
21255080	SALTO EL	4.78375	-74.767944	Tolima
21250500	LIBANO	4.921889	-75.075861	Tolima

Fuente: Elaboración propia.

10.1.9 PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN.

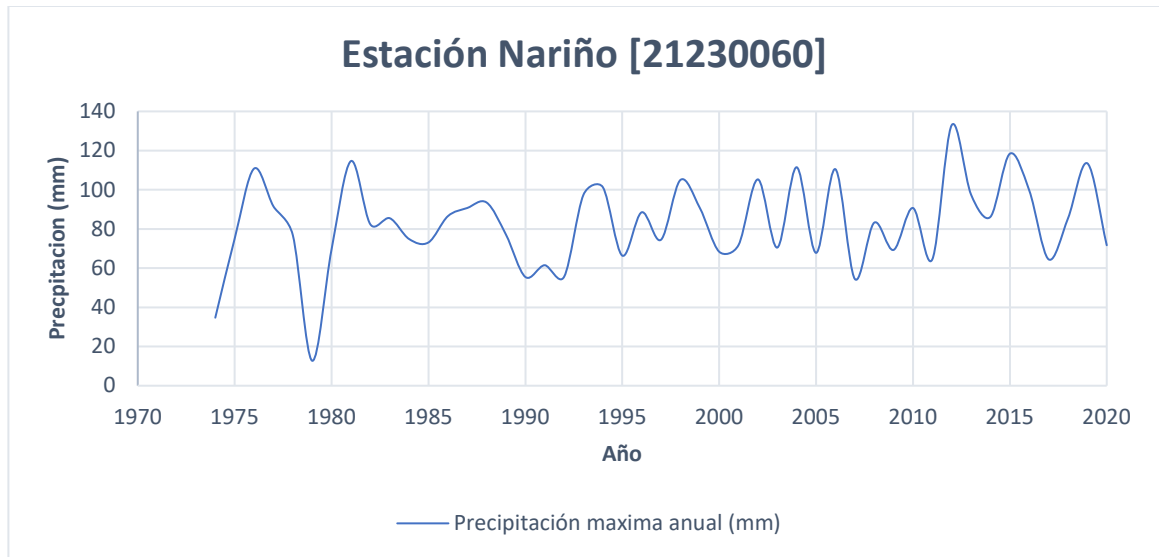
Se deberá llevar a cabo un proceso de análisis de consistencia y homogeneidad para cada una de las estaciones, por lo tanto, se deberá hacer uso de dos pruebas como lo son t de student, que funciona para detectar inconsistencia en la media de dos períodos seleccionados en donde se presenta un cambio de pendiente visualmente en una curva de doble masa. De igual manera el uso de la prueba de F de Fisher que se usa para verificar la homogeneidad en la varianza, al comparar dos muestras, posteriormente al comprobar que existe saltos o inconsistencias se deberán corregir uno de los períodos, con el fin de validar las series meteorológicas. Para ver memorias de cálculo de consistencia por estaciones ver anexo D.

10.1.10 ANÁLISIS DE DATOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN.

A partir de los registros diarios se realiza un procesamiento de datos para obtener la precipitación máxima anual por cada año de registro de la estación, de acuerdo con estos valores se podrá obtener su promedio. Los datos obtenidos de las estaciones se encuentran en el anexo D.

- Estación Nariño.

Gráfico 1. Precipitación máxima anual Estación Nariño.

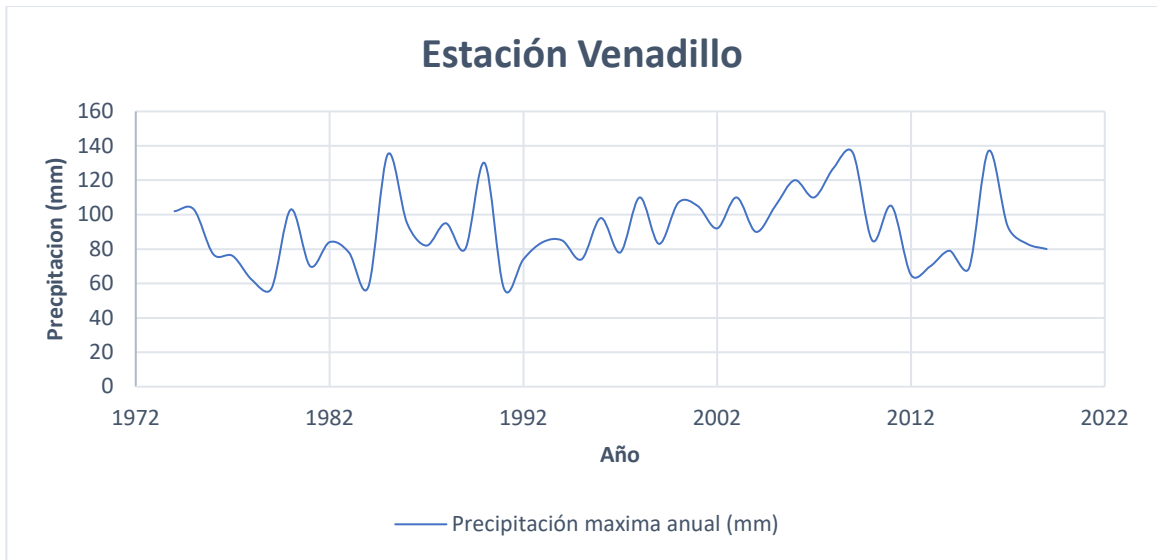


Fuente: Elaboración propia.

La estación Nariño se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, municipio de Nariño, en la que la precipitación máxima registrada ocurre en el año 2012 con un valor máximo de 133 mm, esto debido a que este año se presentó la temporada invernal llamada fenómeno de la niña, el registro mínimo de precipitación se presentó en el año 1979 con un valor de 12.72, al analizar los valores de este año se evidencia que su valor de precipitación promedio es de 9.55 mm, siendo el año con menor precipitación promedio, al contrario del año 1981 que registra un valor promedio de 59.05 mm, siendo el año más lluvioso.

- Estación Venadillo.

Gráfico 2. Precipitación máxima estación Nariño.

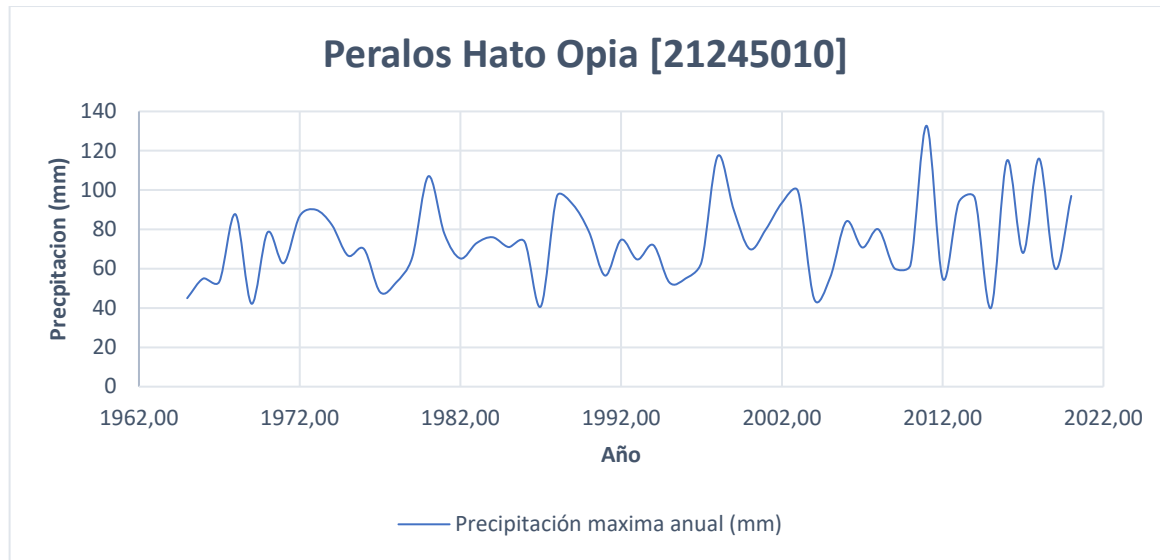


Fuente: Elaboración propia.

La estación Venadillo se encuentra ubicada en el departamento Tolima, municipio de Venadillo, a partir de los registros se evidencia que la precipitación máxima fue en el año 2017 con un valor de 137 mm, en valor mínimo registrado se encuentra en el año 1980 con un valor de 57 mm.

- Estación perales Hato Opia.

Gráfico 3. Precipitación máxima estación Perales Hato Opia.

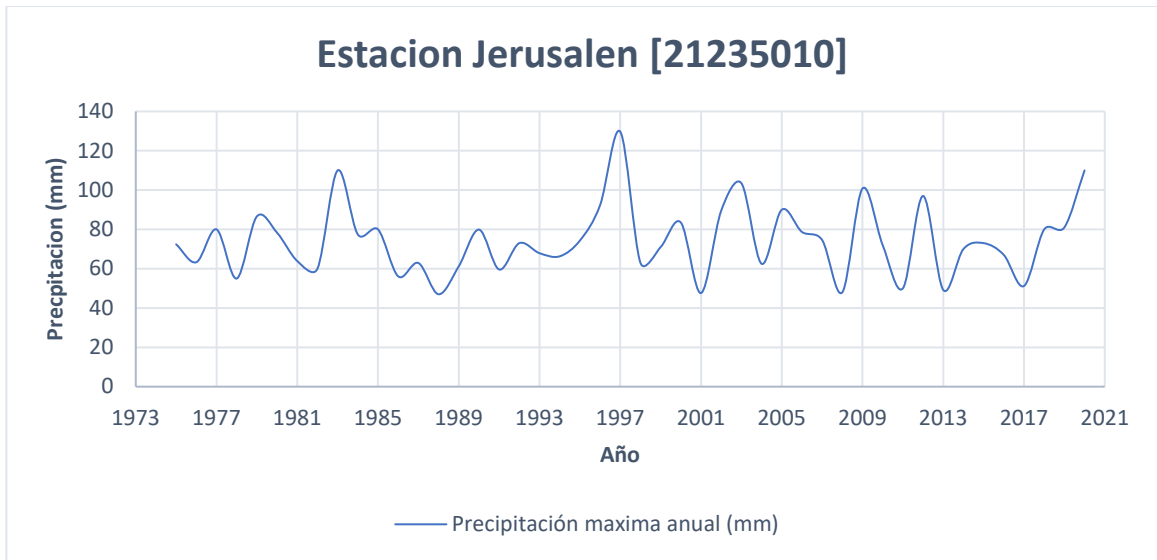


Fuente: Elaboración propia.

La estación Perales Hato Opia se encuentra ubicada en el departamento de Tolima, municipio de Ibagué, presenta un pico máximo de precipitación en el año 2011 de 132.7 mm, este valor corresponde al fenómeno de la niña, presentado entre el año 2010 y 2011; el registro mínimo ocurre en el año 2015 con un valor de 40 mm, de igual manera este año presenta el menor valor promedio de precipitación de 22.76 mm, al contrario del año 1998 que presenta un registro promedio de 51.60 mm, siendo el año con mayor precipitación.

- Estación Jerusalén.

Gráfico 4. Estación Jerusalén.

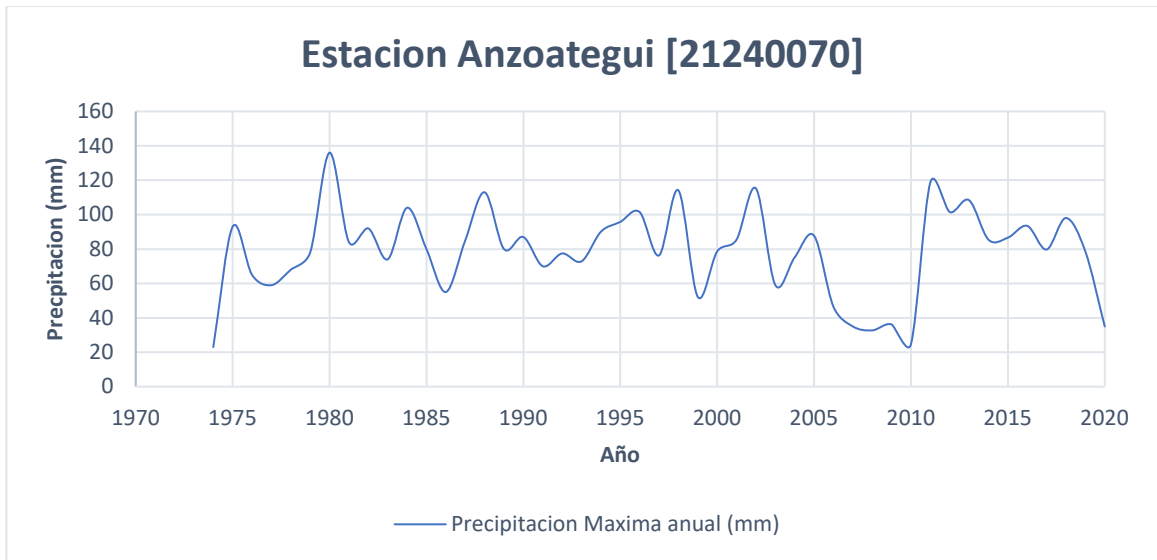


Fuente: Elaboración propia.

La estación Jerusalén ubicada en el departamento de Cundinamarca, municipio de Jerusalén, presenta un pico máximo de precipitación 129.7 mm en el año 1997, el valor mínimo de 47 mm en el año 1988, al analizar los promedios anuales el año que presenta el menor valor es el 2013 con 24.05 mm, al contrario del año 2007 de que presenta el mayor promedio siendo de 44 mm.

- Estación Anzoategui.

Gráfico 5. estación Azoategui.

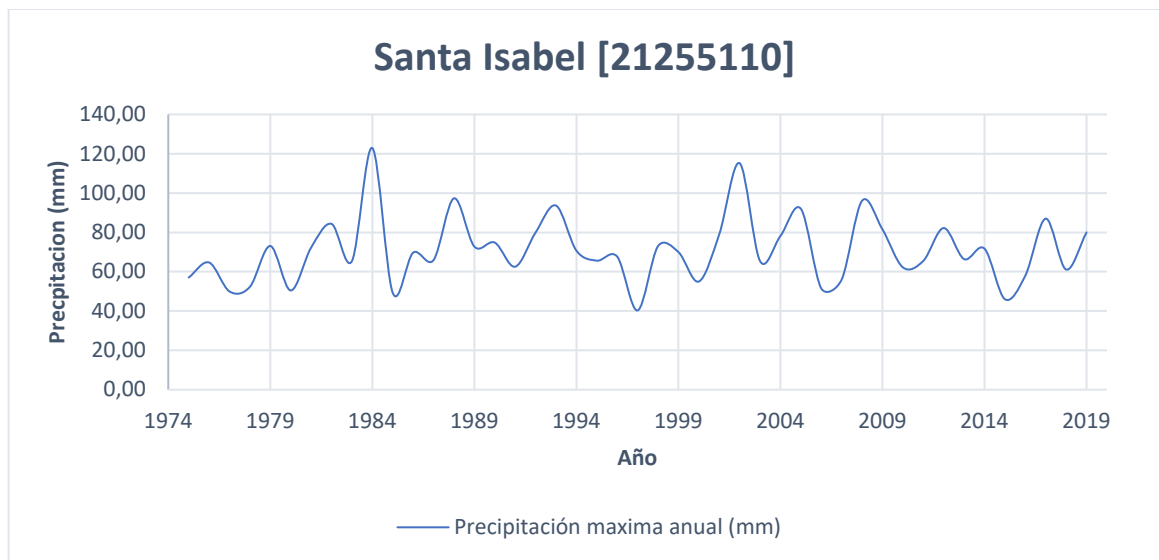


Fuente: Elaboración propia.

La estación Anzoategui se encuentra ubicada en el departamento de Tolima, municipio de Anzoategui, en el que el valor máximo registrado es de 130 mm en el año 1880, como al contrario lo es el valor mínimo registrado del año 1974 con un valor de 23 mm.

- Estación Santa Isabel.

Gráfico 6. Estacion Santa Isabel.

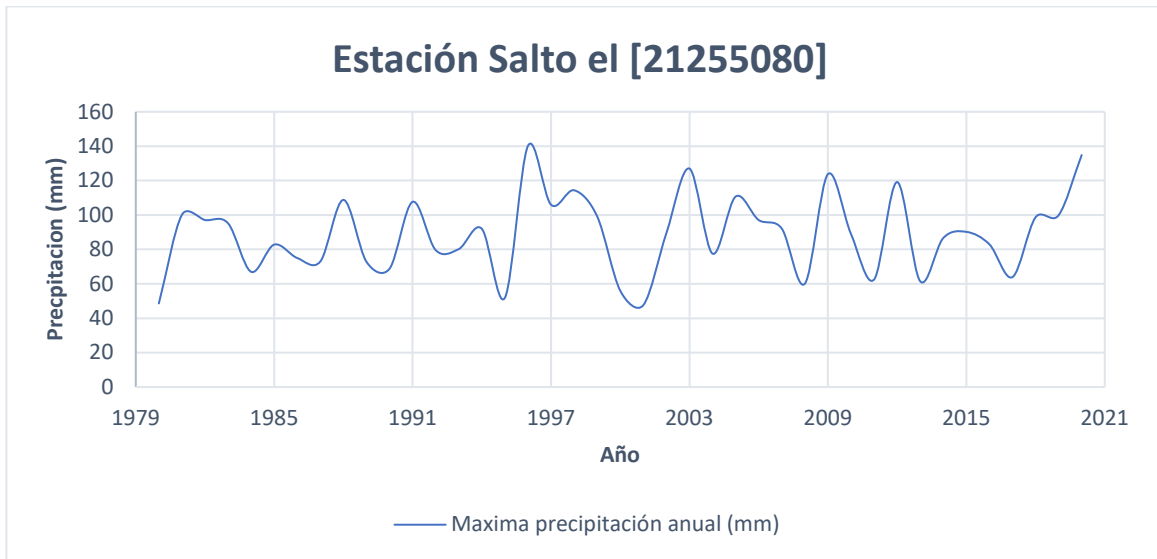


Fuente: Elaboración propia.

La estación Santa Isabel ubicada en el departamento de Tolima, municipio de Santa Isabel, presenta un pico máximo precipitación en el año 2002 con un valor de 115.20 mm, el registro mínimo se encuentra en el año 1985 con un valor de 40 mm.

- Estación Salto el.

Gráfico 7. Estación Salto el.

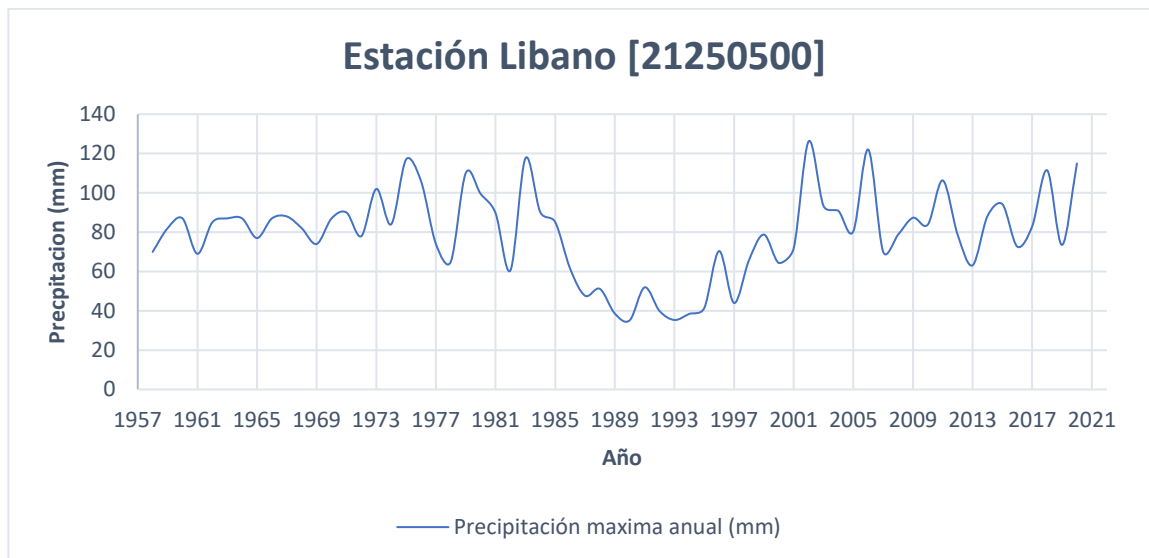


Fuente: Elaboración propia.

La estación Salto el, ubicada en el departamento de Tolima, municipio de de ambalema, posee un registro máximo de precipitación de 140.2 mm en el año de 1996, como al contrario el registro mínimo se encuentra en el año de 2001 con un valor de 47.6 mm.

- Estación Libano.

Gráfico 8. Estación Libano.



Fuente: Elaboración propia.

La estación Libano, ubicada en el departamento Tolima, municipio de Libano, cuenta un registro máximo de 126.18 mm del año de 2002, el valor mínimo registrado se evidencia en el año de 1990 con un valor de 35.17 mm, se observa un período en que las precipitaciones máximas entre el año 1985 a 2001 tienen un comportamiento atípico en comparación del comportamiento multianual que se observa en la gráfica.

De acuerdo con estos datos se obtiene el valor promedio de la precipitación máxima anual para cada estación, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores promedio de precipitación Máxima anual de estaciones.

Estación	Promedio precipitación máxima anual 24 horas (mm)
NARIÑO	82.64
VENADILLO	89.38
PERALES HATO OPIA	74.28
JERUSALEN	74.13
ANZOATEGUI	78.47
SANTA ISABEL	70.83
SALTO EL	88.56
LIBANO	79.14

Fuente: Elaboración propia

10.1.11 CÁLCULO DE CURVA IDF.

Para la elaboración de las curvas (IDF) se hará uso del Manual de Drenajes del 2011 de INVIAS²⁶, que recomienda la metodología de regionalización de curvas sintéticas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia de Vargas R. y Diaz Granados elaborada en 1998²⁶, en la que se hace uso del promedio máximo anual en 24 horas, la expresión de esta metodología se encuentra dada como:

Ecuación 13. Calculo curva IDF.

$$i = \frac{(a * T^b * M^d)}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Donde:

i: Intesidad de precipitacion, en milímetros por hora $\left(\frac{mm}{h}\right)$

T: Periodo de retorno, en años.

M: Precipitacion máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

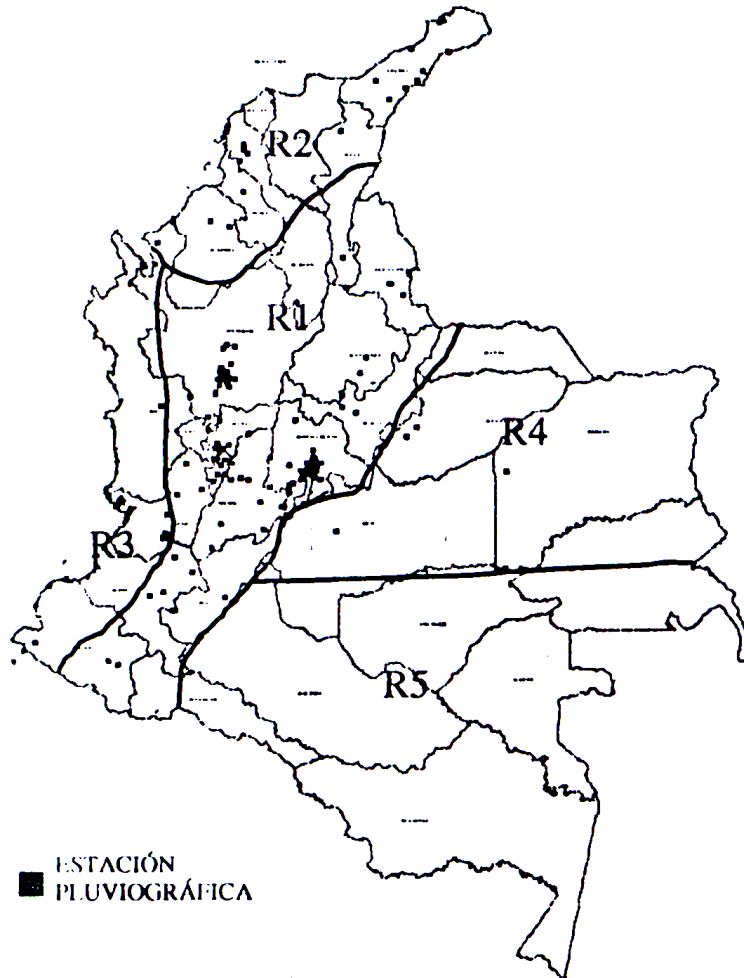
t: Duracion de la lluvia, en minutos (min)

a, b, c, d: parametros de ajuste de la regresion. estos parametros se observan en la Tabla 7

Los valores de los coeficientes dependerán de la región en la que se localice el proyecto, ya sea, Andina (R1), Caribe (R2), Pacifico (R3) y Orinoquia (R4); en la que cada una de ellas cuenta con valores específicos de acuerdo con sus regiones climatológicas²⁶, que fueron determinados por un estudio a partir estaciones localizadas en una misma región geográfica, que se rigen por condiciones climatológicas similares. El estudio se realizó en 165 estaciones distribuidas por todo el país⁵⁶, como se observa en la Ilustración 16²⁸.

⁵⁶ Mario Diaz-Granados O, R. V. m. Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia. 1, 14 (1998).

Ilustración 16.Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d



Fuente: Manual de drenajes para carreteras.

Tabla 7. Constantes hidrológicas por región.

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual de drenajes para carreteras.

De acuerdo con su región, se definirán las constantes de la siguiente manera:

Tabla 8. Promedio de precipitación por estación y región hidrológica correspondiente.

Estación	Promedio precipitación máxima anual 24 horas (mm)	Región
NARIÑO	82.64	Andina (R1)
VENADILLO	89.38	Andina (R1)
PERALES HATO OPIA	74.28	Andina (R1)
JERUSALEN	74.13	Andina (R1)
ANZOATEGUI	78.47	Andina (R1)
SANTA ISABEL	70.83	Andina (R1)
SALTO EL	88.56	Andina (R1)
LIBANO	79.14	Andina (R1)

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la región en la que se ubica cada estación se obtiene los valores de los coeficientes requeridos para el cálculo de la curva IDF, que se calcula con intervalos de diez minutos para una lluvia de duración de tres horas, para períodos de retorno definidos de 2,5,10,20,50 y 100 años haciendo uso de la ecuación de Vargas R. y Diaz Granados. De acuerdo con esto se realiza el cálculo para la estación Libano, para un periodo de retorno de 100 años y un intervalo inicial de tiempo de diez minutos, como se muestra en la siguiente expresión.

$$i = \frac{(0.94 * 100^{0.18} * 82.64^{0.83})}{\left(\frac{10}{60}\right)^{0.66}} = 264.47 \frac{mm}{h}$$

Este procedimiento se repite para cada período de retorno deseado variando la duración de la lluvia en intervalos de diez minutos, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9 para la estación de El Líbano. Para ver la totalidad de cálculos de las estaciones ver anexo B, Análisis probabilísticos, Estaciones.

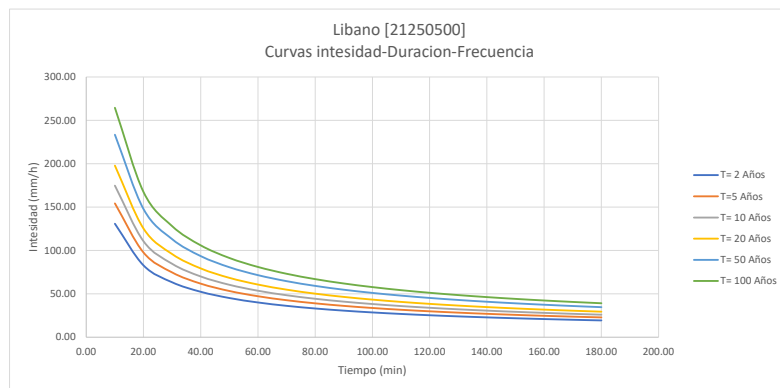
Tabla 9. Datos curvas Intensidad Frecuencia Estación Libano.

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA ORDINARIA LIBANO CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA						
Valores en mm/h						
Tiempo min	Período de retorno					
	2	5	10	20	50	100
10.00	130.79	154.24	174.74	197.96	233.45	264.47
20.00	82.77	97.62	110.59	125.28	147.75	167.38
30.00	63.34	74.70	84.62	95.87	113.06	128.08
40.00	52.39	61.78	69.99	79.29	93.51	105.93
50.00	45.21	53.32	60.40	68.43	80.70	91.42
60.00	40.09	47.27	53.56	60.67	71.55	81.06
70.00	36.21	42.70	48.37	54.80	64.63	73.22
80.00	33.15	39.10	44.29	50.18	59.18	67.04
90.00	30.67	36.17	40.98	46.43	54.75	62.03
100.00	28.61	33.74	38.23	43.31	51.07	57.86
110.00	26.87	31.69	35.90	40.67	47.96	54.33
120.00	25.37	29.92	33.89	38.40	45.28	51.30
130.00	24.06	28.38	32.15	36.42	42.95	48.66
140.00	22.92	27.02	30.62	34.68	40.90	46.34
150.00	21.90	25.82	29.25	33.14	39.08	44.28
160.00	20.98	24.74	28.03	31.76	37.45	42.43
170.00	20.16	23.77	26.93	30.51	35.98	40.76
180.00	19.41	22.89	25.94	29.38	34.65	39.26

Fuente: Elaboracion Propia.

Considerando los resultados obtenidos como se muestran en la Tabla 9, se procede a generar la gráfica de la curva de intensidad frecuencia para la estación de Libano, como se observa en el Gráfico 9, la totalidad de las gráficas IDF se muestran en el anexo A.

Gráfico 9. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Libano.



Fuente: Elaboración propia.

10.1.12 HIETOGRAMAS DE DISEÑO.

Para el cálculo del hietograma se hace uso del método de bloques alternos que recomienda el manual de drenajes para carreteras de 2009. Este método consiste que a partir de las curvas de las curvas IDF, se generen curvas de masas, de duraciones de entre 0 a 180 min, ver Tabla 10.

Tabla 10. Curvas de masas estación Libano

CURVAS DE MASAS DE AGUACEROS PUNTUALES ÁREA DE INFLUENCIA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LIBANO						
Valores en mm						
Tiempo min	Período de retorno					
	2.00	5.00	10.00	20.00	50.00	100.00
10.00	21.80	25.71	29.12	32.99	38.91	44.08
20.00	27.59	32.54	36.86	41.76	49.25	55.79
30.00	31.67	37.35	42.31	47.93	56.53	64.04
40.00	34.92	41.19	46.66	52.86	62.34	70.62
50.00	37.68	44.43	50.34	57.03	67.25	76.19
60.00	40.09	47.27	53.56	60.67	71.55	81.06
70.00	42.24	49.82	56.44	63.94	75.40	85.42
80.00	44.20	52.13	59.06	66.91	78.90	89.39
90.00	46.01	54.26	61.47	69.64	82.13	93.04
100.00	47.69	56.24	63.71	72.18	85.12	96.43
110.00	49.26	58.09	65.81	74.56	87.93	99.61
120.00	50.74	59.84	67.79	76.80	90.57	102.60
130.00	52.14	61.49	69.66	78.91	93.07	105.43
140.00	53.47	63.06	71.44	80.93	95.44	108.12
150.00	54.74	64.55	73.13	82.85	97.71	110.69
160.00	55.95	65.99	74.75	84.69	99.87	113.14
170.00	57.12	67.36	76.31	86.45	101.95	115.50
180.00	58.24	68.68	77.81	88.15	103.95	117.77

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente y considerando los valores de la Tabla 10, se hallan los incrementos de las curvas de masas en intervalos de tiempo de diez minutos. Ver Tabla 11.

Tabla 11. Incremento de lluvia estación Libano.

INCREMENTOS DE LLUVIAS PUNTUALES DE HIETOGRAMA DE ÁREA INFLUENCIA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA ORDINARIA LIBANO						
Valores en mm						
Tiempo min	Período de retorno					
	2.00	5.00	10.00	20.00	50.00	100.00
0-10	21.80	25.71	29.12	32.99	38.91	44.08
10-20	5.79	6.83	7.74	8.77	10.34	11.71
20-30	4.08	4.81	5.45	6.17	7.28	8.25
30-40	3.25	3.84	4.35	4.93	5.81	6.58
40-50	2.75	3.25	3.68	4.17	4.91	5.57
50-60	2.41	2.84	3.22	3.65	4.30	4.87
60-70	2.16	2.54	2.88	3.26	3.85	4.36
70-80	1.96	2.31	2.62	2.97	3.50	3.97
80-90	1.81	2.13	2.41	2.73	3.22	3.65
90-100	1.68	1.98	2.24	2.54	3.00	3.39
100-110	1.57	1.85	2.10	2.38	2.80	3.18
110-120	1.48	1.74	1.98	2.24	2.64	2.99
120-130	1.40	1.65	1.87	2.12	2.50	2.83
130-140	1.33	1.57	1.78	2.01	2.37	2.69
140-150	1.27	1.50	1.70	1.92	2.27	2.57
150-160	1.21	1.43	1.62	1.84	2.17	2.46
160-170	1.17	1.37	1.56	1.76	2.08	2.36
170-180	1.12	1.32	1.50	1.70	2.00	2.27
Total	57.12	67.36	76.31	86.45	101.95	115.50

Fuente: elaboración propia.

A partir del método de bloques alternos, que se usa para dar una secuencia más crítica a la precipitación; se ordenan los incrementos de lluvia de la siguiente manera: el valor más bajo se ubicara en la primer lugar, el segundo valor de acuerdo a un orden de menor a mayor se colocara en el último lugar, en tercer valor se ubicara en el segundo lugar, y el cuarto valor se ubicara en la penúltima posición, de acuerdo a esta metodología se seguirán ordenando los valores sucesivamente hasta completar el tiempo de duración de la lluvia calculada; al finalizar de organizar los datos se obtendrá el hietograma de lluvia puntual de los aguaceros de diseño²⁶, ver Tabla 12.

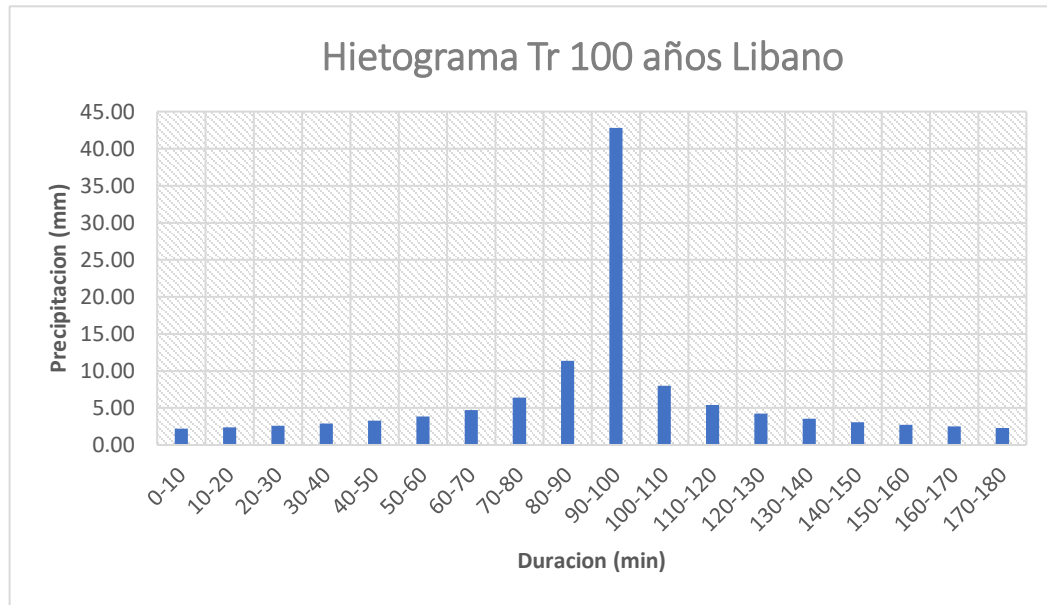
Tabla 12. hietograma de precipitación Libano

INCREMENTOS DE LLUVIAS PUNTUALES DE LOS HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN ÁREA DE INFLUENCIA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA ORDINARIA LIBANO (valores en mm)						
Valores en mm						
Tiempo min	Período de retorno					
	2.00	5.00	10.00	20.00	50.00	100.00
0-10	1.12	1.32	1.50	1.70	2.00	2.27
10-20	1.21	1.43	1.62	1.84	2.17	2.46
20-30	1.33	1.57	1.78	2.01	2.37	2.69
30-40	1.48	1.74	1.98	2.24	2.64	2.99
40-50	1.68	1.98	2.24	2.54	3.00	3.39
50-60	1.96	2.31	2.62	2.97	3.50	3.97
60-70	2.41	2.84	3.22	3.65	4.30	4.87
70-80	3.25	3.84	4.35	4.93	5.81	6.58
80-90	5.79	6.83	7.74	8.77	10.34	11.71
90-100	21.80	25.71	29.12	32.99	38.91	44.08
100-110	4.08	4.81	5.45	6.17	7.28	8.25
110-120	2.75	3.25	3.68	4.17	4.91	5.57
120-130	2.16	2.54	2.88	3.26	3.85	4.36
130-140	1.81	2.13	2.41	2.73	3.22	3.65
140-150	1.57	1.85	2.10	2.38	2.80	3.18
150-160	1.40	1.65	1.87	2.12	2.50	2.83
160-170	1.27	1.50	1.70	1.92	2.27	2.57
170-180	1.17	1.37	1.56	1.76	2.08	2.36
Total	57.07	67.31	76.25	86.38	101.87	115.41

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los resultados, se grafica el hietograma de lluvia de la estación de El Líbano para un período de retorno de 100 años, ver Gráfico 10.

Gráfico 10. Hietograma de precipitación tr 100 años estación Libano.



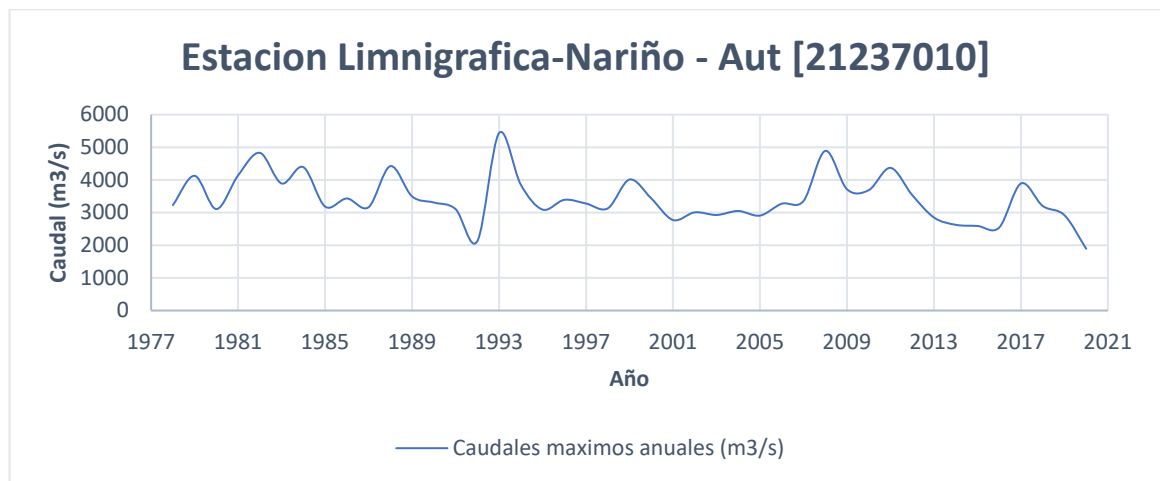
Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento se repite para cada estación elegida, dando como resultado los siguientes gráficos para un período de retorno de 100 años, para ver la totalidad de tablas y gráficas de cada estación ver anexo A.

10.1.13 CÁLCULO DE CAUDALES PROYECTADOS.

A partir de los datos de la estación limnigráfica de Nariño [21237010], dispuesta por el IDEAM, se obtienen los registros máximos multianuales del río Magdalena del año 1978 a 2020, como se observa en el Gráfico 11

Gráfico 11. Caudales máximos anuales estación Nariño [21237010].



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los registros obtenidos de la estación Nariño [21237010], se realiza un análisis probabilístico para calcular los caudales máximos en periodos de retorno de 2,5,10,20,50 y 100 años, se hace uso de dos métodos diferentes, como lo son Gumbel y Pearson tipo III. Con los resultados obtenidos por cada método se hará necesario realizar la prueba de chi 2, que mide la bondad y el ajuste de una distribución, eligiendo el método que no se encuentre en zona de rechazo o que tenga el menor valor, los resultados obtenidos se observan en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados probabilísticos caudal río Magdalena

RÍO MAGDALENA - ESTACIÓN LIMNIMÉTRICA NARIÑO		
Período de retorno (años)	Distribución probabilística	
	Gumbel (m3/s)	Log Pearson III (m3/s)
100.00	4472.7	5368.0
50.00	4080.4	5146.3
10.00	3152.3	4368.5
5.00	2730.7	3995.5
4.00	2587.9	3861.8
2.00	2093.8	3362.1
Prueba de Chi 2	8	4

Fuente: Elaboración propia

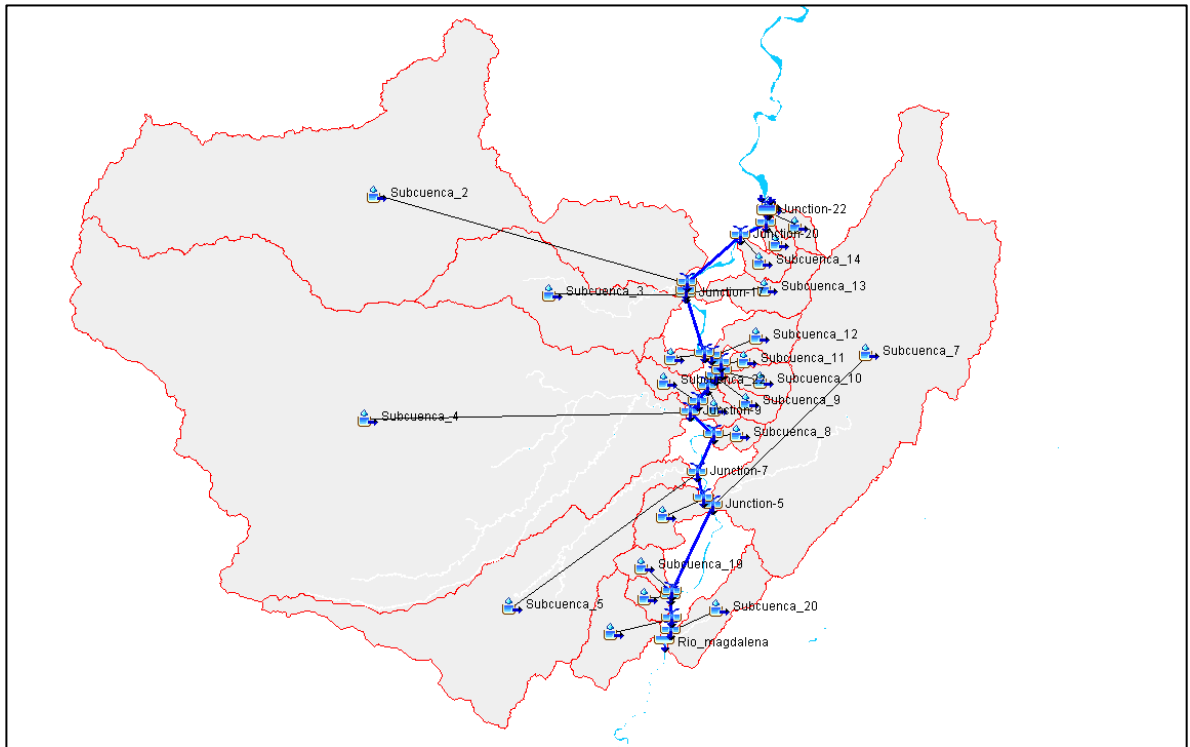
Al realizar la prueba de bondad de Chi^2 se obtiene que el mejor ajuste lo presenta el método de Log Pearson III, presentando el menor valor a comparación de Gumbel, a partir de este resultado se obtiene que el valor para el análisis del caudal del río Magdalena en un período de retorno de 100 años es de 5368.0 m3/s.

10.1.14 CONSTRUCCIÓN MODELO HEC-HMS.

10.1.14.1 ESTRUCTURA DEL MODELO HEC-HMS.

El punto de partida del modelo será la ubicación de las cuencas delimitadas en el área de estudio, ya que estas serán las generadoras de los hidrogramas de escorrentía dependiendo de sus parámetros hidrológicos, por otra parte, se deberá definir el cause principal que será el punto de descarga del caudal generado por cada una de las cuencas, de esta forma se obtiene la estructura del modelo como se evidencia en la Ilustración 17.

Ilustración 17. Modelo HEC-HMS



Fuente: Elaboración propia.

10.1.14.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS.

Es importante definir el método con el que se llevará a cabo el cálculo de la caracterización de la precipitación efectiva y la circulación de esta por la cuenca, por lo tanto, se deberá tener en cuenta el método para el volumen de escurrimiento y escurrimiento directo, en ambos casos se elige el método de SCS, que requerirá un valor de curva número (CN) y tiempo de retardo, cuyos valores se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Valor de área y parámetros hidrológicos da cada cuenca Tlag, CN.

Cuenca	Área (km2)	Tlag (min)	CN
Cuenca 2	778.94	276.06	65.51
Cuenca 3	171.72	135.03	52.31
Cuenca 4	1416.71	438.13	61.45
Cuenca 5	327.15	172.02	55.37
Cuenca 6	33.50	73.04	44.51
Cuenca 7	616.14	278.58	58.82
Cuenca 8	11.69	23.89	64.19
Cuenca 9	15.69	40.70	66.12
Cuenca 10	18.81	33.23	64.05
Cuenca 11	6.67	16.86	61.80
Cuenca 12	29.89	44.17	64.21
Cuenca 13	42.07	79.85	66.67
Cuenca 14	14.14	34.40	60.98
Cuenca 15	7.94	21.54	62.79
Cuenca 16	13.48	17.02	64.39
Cuenca 17	56.79	89.34	40.56
Cuenca 18	12.63	34.65	49.16
Cuenca 19	16.65	40.66	39.92
Cuenca 20	48.33	87.90	54.05
Cuenca 21	11.62	76.41	72.56
Cuenca 22	16.34	79.46	55.22
Cuenca 23	13.58	60.01	51.71
Cuenca de urbano	0.14	6.63	77.05
Cuenca de urbano 1	0.16	5.42	72.29

Fuente: Elaboración propia.

10.1.14.3 CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL.

Se define el método de ruta como Lag, este parámetro precisa el cálculo del tiempo de retardo para cada uno de los 23 tramos, que se generan a partir de la unión del cauce con una cuenca, para ello se requiere tener en cuenta las características geomorfológicas de cada tramo y de las cuencas que los anteceden.

Tabla 15. Valores de parámetros método de Lag para causes

Tramo Magdalena	Longitud tramo (km)	Tlag Tramo
Tramo 1	2.141026	94.7830523
Tramo 2	1.78601	101.291918
Tramo 3	2.455061	35.9847204
Tramo 4	0.411244	111.803168
Tramo 5	12.211747	283.232365
Tramo 6	1.23082	90.6259548
Tramo 7	3.231196	187.187725
Tramo 8	6.999316	39.8649397
Tramo 9	3.75057	442.430353
Tramo 10	1.51475	85.532255
Tramo 11	1.672405	81.412257
Tramo 12	1.815969	45.0763126
Tramo 13	0.829401	36.522524
Tramo 14	0.842398	23.5965399
Tramo 15	1.415273	46.3813043
Tramo 16	0.571614	126.418639
Tramo 17	7.949777	134.616398
Tramo 18	0.306382	83.2009461
Tramo 19	0.851006	297.561335
Tramo 20	8.428618	46.8559793
Tramo 21	3.024448	28.4821644
Tramo 22	1.508719	17.1554475
Tramo 23	1.543436	6.56963463

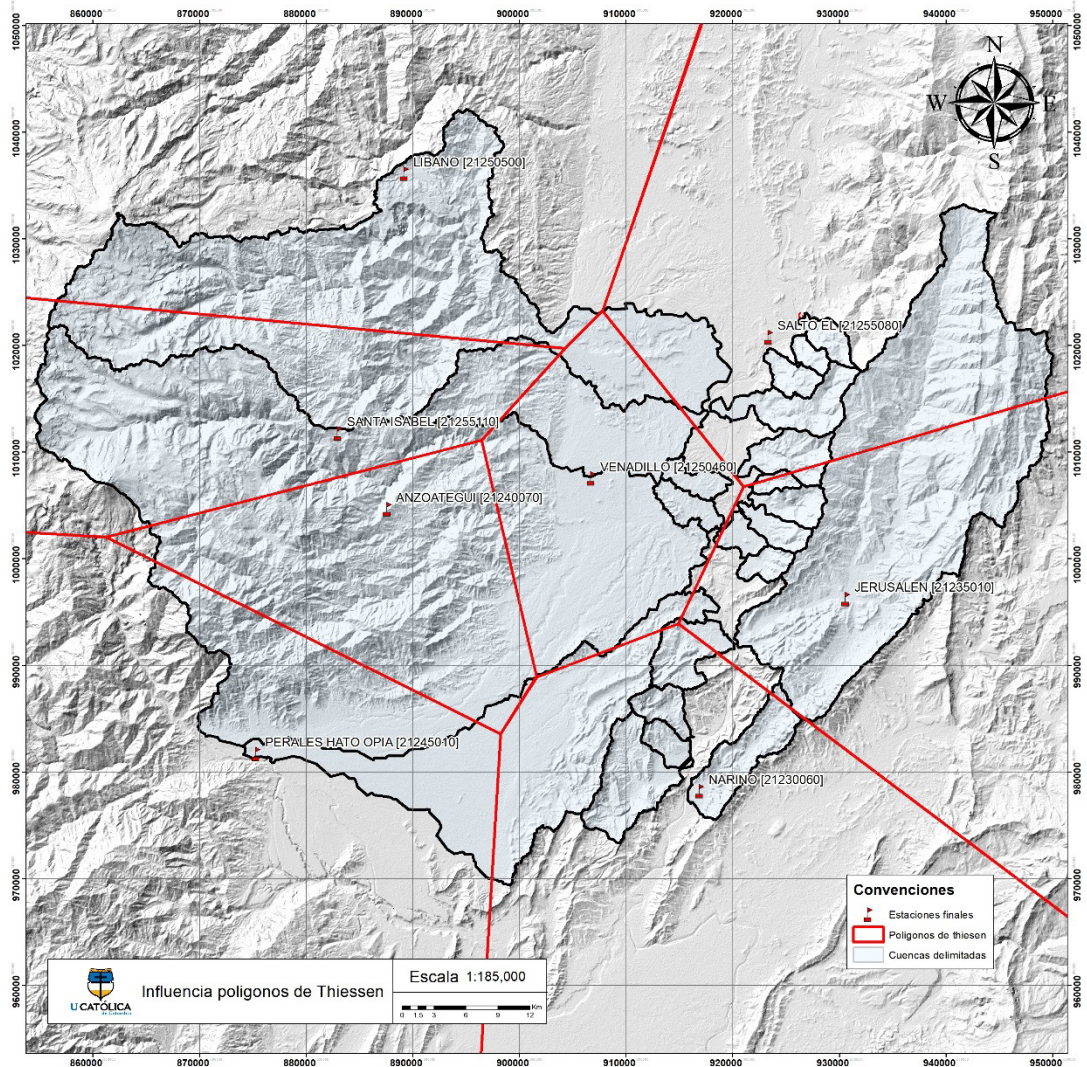
Fuente: Elaboración propia.

El caudal de entrada del cauce será de 5368.0 m³/s, este valor es el resultado probabilístico obtenido con anterioridad en los cálculos de análisis de caudal máximo, ver Tabla 13.

10.1.14.4 DEFINICIÓN DE PRECIPITACIÓN.

Para la definición del parámetro de precipitación en el software, se hace uso del método de hidrograma específico, en consecuencia, para cada cuenca se deberá definir un hidrograma, con base a la estación que tenga mayor área de influencia en cada cuenca, esto se determinará mediante el método de polígonos de Thiessen. En la Ilustración 18 se observa las áreas generadas a partir de este método.

Ilustración 18. Área de influencia determinada por polígonos de Thiessen.



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se obtiene la asignación de hidrograma para cada cuenca, como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Asignación de hietograma para cuencas en estudio.

Código de cuenca	Hietograma asignado
Cuenca 2	Libano [21250500]
Cuenca 3	Santa isabel [21255110]
Cuenca 4	Anzoategui [21240070]
Cuenca 5	Perales hato opia [21245010]
Cuenca 6	Narino [21230060]
Cuenca 7	Jerusalen [21235010]
Cuenca 8	Jerusalen [21235010]
Cuenca 9	Jerusalen [21235010]
Cuenca 10	Jerusalen [21235010]
Cuenca 11	Jerusalen [21235010]
Cuenca 12	Salto el [21255080]
Cuenca 13	Salto el [21255080]
Cuenca 14	Salto el [21255080]
Cuenca 15	Salto el [21255080]
Cuenca 16	Salto el [21255080]
Cuenca 17	Narino [21230060]
Cuenca 18	Narino [21230060]
Cuenca 19	Narino [21230060]
Cuenca 20	Narino [21230060]
Cuenca 21	Jerusalen [21235010]
Cuenca 22	Venadillo [21250460]
Cuenca 23	Venadillo [21250460]
Cuenca de urbano	Salto el [21255080]
Cuenca de urbano 1	Salto el [21255080]

Fuente: Elaboración propia.

A partir estos parámetros definidos, se podrá iniciar la simulación para el escenario de lluvia de la inundación en el caso urbano de Beltrán en un periodo de retorno de 100 años.

10.1.15 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE INUNDACIÓN.

10.1.15.1 GEOMETRÍA DEL MODELO.

La geometría del modelo hidráulico en dos dimensiones 2D, se realiza partiendo de una topobatimetría (Dem) realizada por la Corporación Autónoma Regional (CAR), en una resolución de 1m, que se ingresa HEC-RAS a través del módulo RAS MAPPER, este permite la gestión y manejo de información en formato raster y shape.

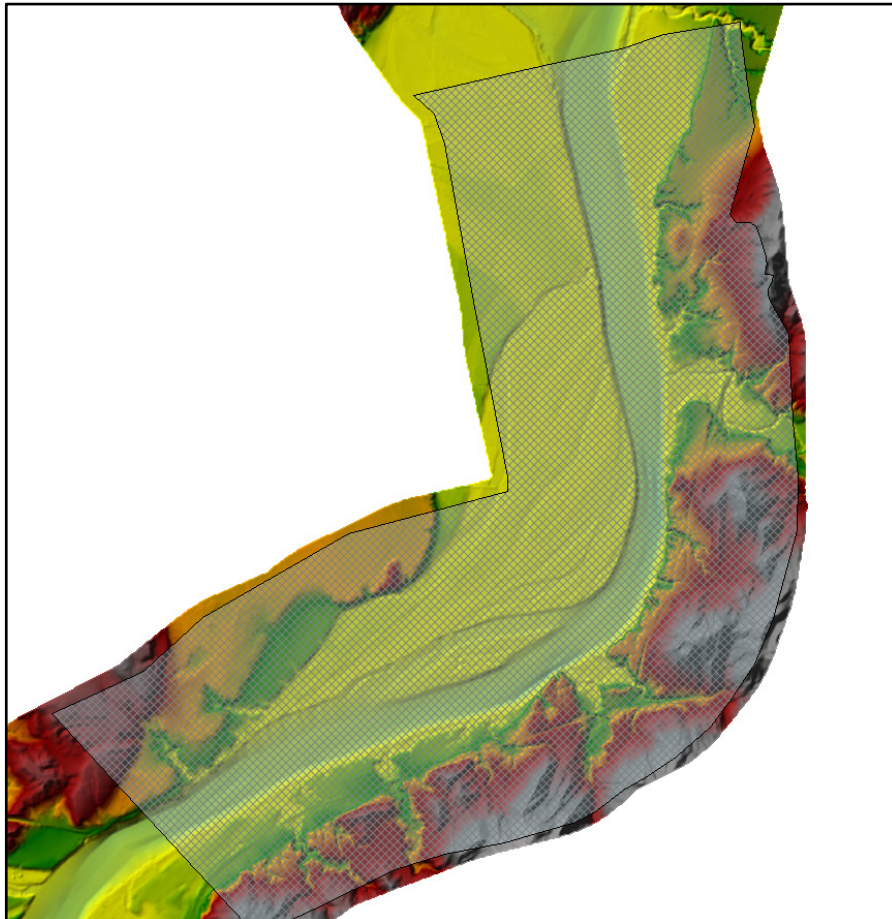
Posteriormente se usa la herramienta 2D Flow Área que permite definir el “boundary” o límite de la planicie en la que se hará el estudio de inundación, con el objetivo de que se realice los cálculos únicamente dentro de estos límites, en este caso para obtener un comportamiento de río más cercano a la realidad se define un

área de cuatro kilómetros aguas arriba de Beltrán y dos kilómetros aguas abajo del mismo.

A partir de estos límites definidos, se procede a la creación de la malla para la realización de los cálculos computacionales dentro de este límite, el objetivo de esta grilla es definir el nivel de detalle de los procesos de cálculo del software por medio del dimensionamiento del tamaño de los elementos individuales dentro de la malla, es decir el tamaño de la celda interna, cabe aclarar que las celdas no en todas ocasiones contarán con las mismas dimensiones ya que la malla se le deberá realizar un adecuado refinamiento en el borde del cauce, como de igual manera en el límite por su forma irregular generando variaciones en el tamaño.

Para generar la malla de 5x5 m, se tuvo en cuenta el tamaño del área de estudio y la resolución de la topobatimetría base, buscando un adecuado comportamiento de flujo y un buen nivel de detalle para los resultados.

Ilustración 19. Malla Computacional para inundación en el casco urbano Beltrán

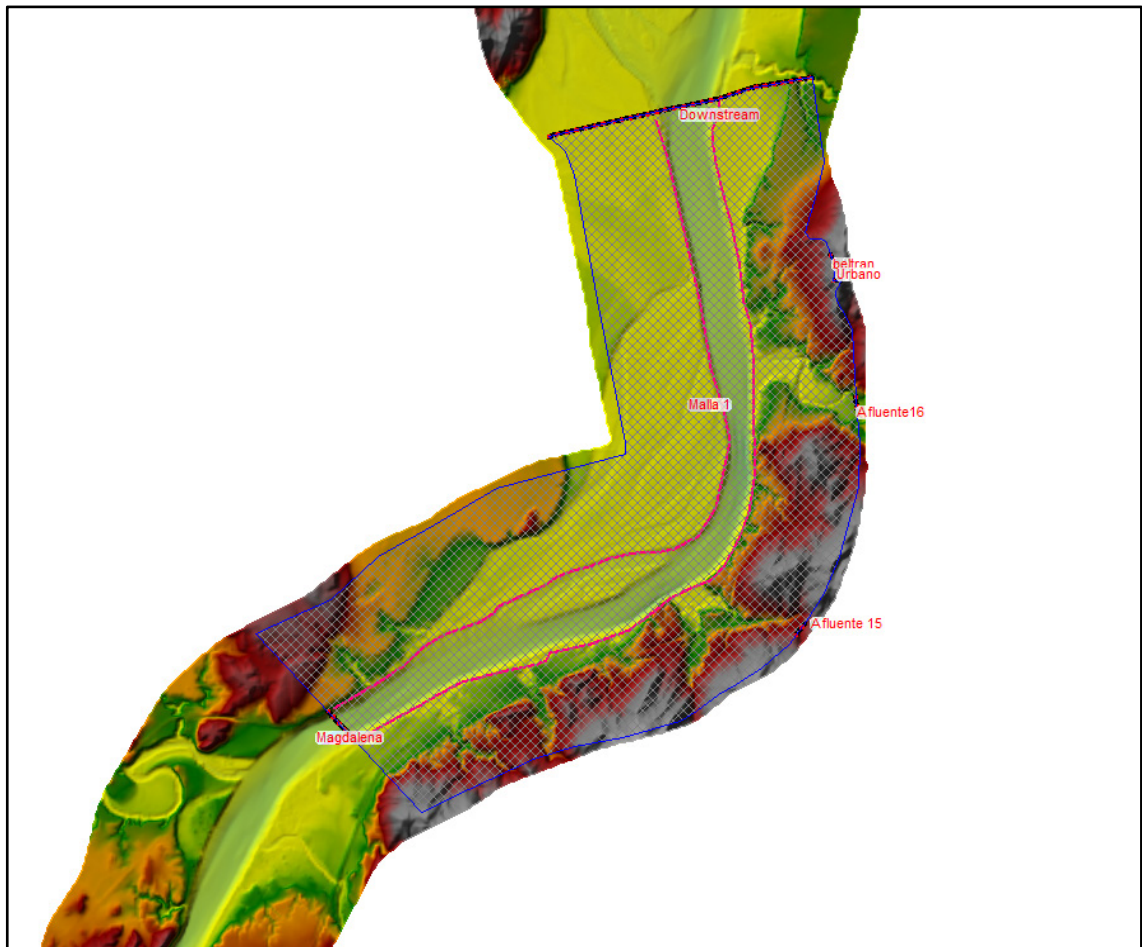


Fuente: Elaboración propia.

Las líneas de color rosado que se observan en la Ilustración 19, son para líneas de refinamiento de malla, que se recomienda emplear en el borde del cauce dado que

Para generar las condiciones de flujo externa se hace uso de la herramienta SA/2D Area BC Lines, que se integra a la geometría del modelo a partir del trazado de estas en los causes que tengan un aporte en el borde de área de la malla, se deberán identificar cuales corresponden a aportes y cuales, a salida, en el desarrollo del modelo de Beltrán se establecieron 5 condiciones de entrada, siendo 4 entradas de drenajes tributarios que desembocan al cause principal, siendo este el río Magdalena. En cuanto a las salidas, se define una para el río Magdalena, dos kilómetros aguas abajo del casco urbano de Beltrán, se puede observar las salidas y las entradas definidas en la malla en la Ilustración 20.

Ilustración 20. Condiciones de entrada y de salida.

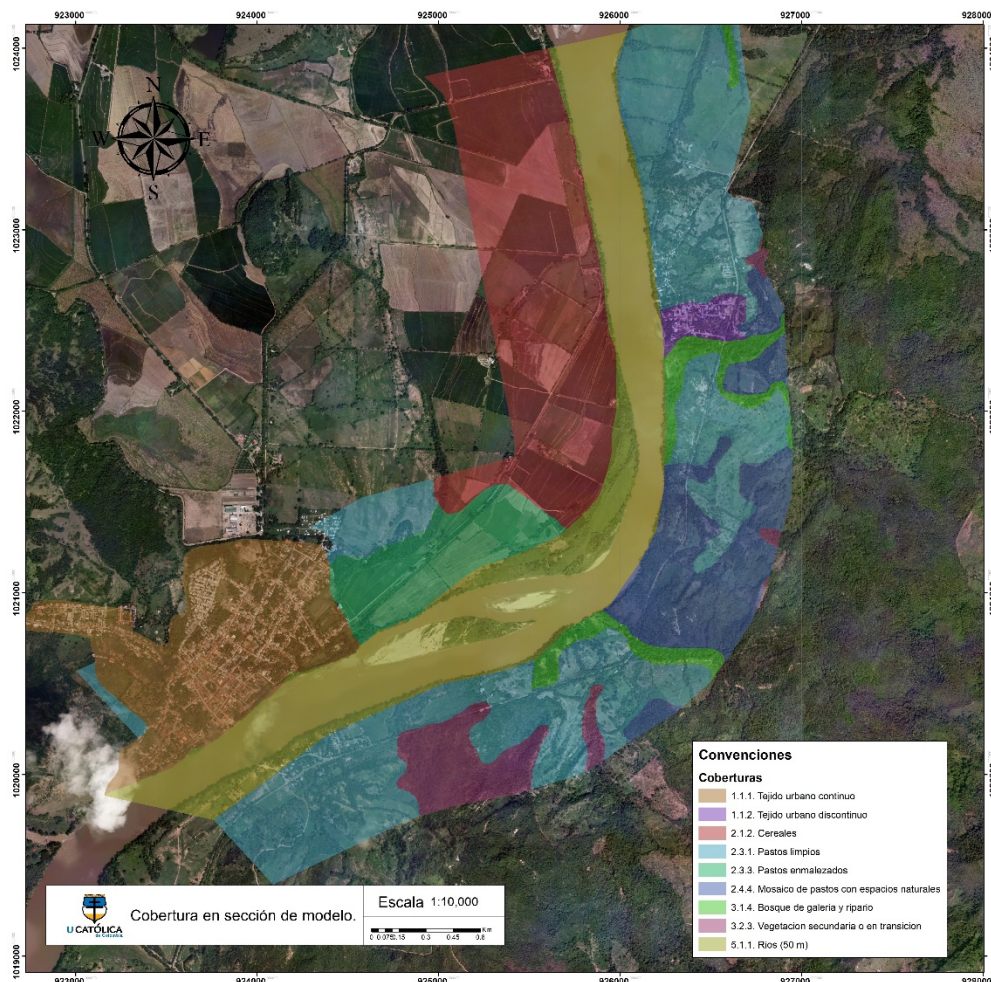


Fuente: Elaboración propia

10.1.15.2 DEFINICIÓN DE COEFICIENTE DE MANNING.

El coeficiente de Manning dependiendo de la cobertura de tierra es un valor que se deberá definir, para generar un modelo fiel a la dinámica natural, este valor que indica el coeficiente de rugosidad de una superficie puede generar variaciones en la velocidad y profundidad de flujo, para el modelo de Beltrán se hace uso del mapa de cobertura de tierra de 2010 del IDEAM, que usa la metodología de Corine Land Cover, de acuerdo a estas coberturas y haciendo uso de la tabla de coeficientes de Manning que se encuentra en el anexo C, tabla de coeficiente, se definen estos valores, como se observa en la tabla Tabla 17.

Ilustración 21. Coberturas en el área de simulación.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Coeficientes de Manning a partir de cobertura.

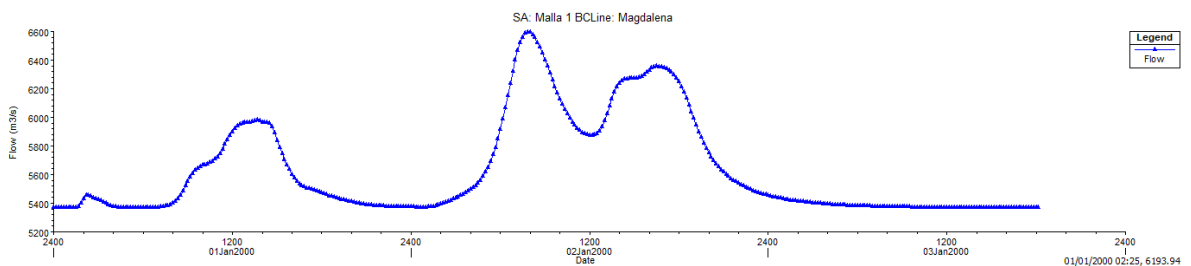
Leyenda	Coefficiente de Manning
1.1.1. Tejido urbano continuo	0.011
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0.013
2.3.1. Pastos limpios	0.03
2.3.1. Pastos limpios	0.03
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0.035
3.1.4. Bosque de Galería y ripario	0.045
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	0.04
3.1.4. Bosque de Galería y ripario	0.045
3.1.4. Bosque de Galería y ripario	0.045
2.3.1. Pastos limpios	0.03
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0.035
1.1.1. Tejido urbano continuo	0.011
2.3.3. Pastos enmalezados	0.03
2.3.1. Pastos limpios	0.03
3.2.3. vegetación secundaria o en transición	0.04
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0.035
2.3.1. Pastos limpios	0.03
3.2.3. vegetación secundaria o en transición	0.04
2.1.2. Cereales	0.04
5.1.1. Ríos (50 m)	0.033
5.1.1. Ríos (50 m)	0.033

Fuente: Elaboración propia

10.1.15.3 SERIES DE CAUDAL.

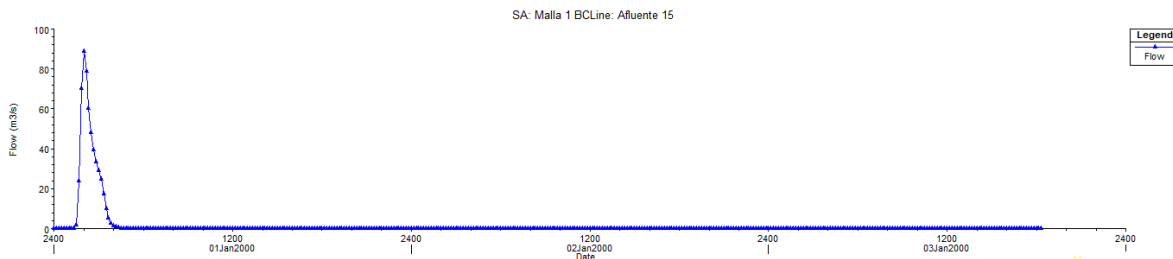
Los hidrogramas de caudal se obtienen del análisis realizado en el software HEC-HMS, para el período de retorno de 100 años, al ser un modelo de flujo no permanente, se deben incluir los datos a través de Unsteady Flow Data, para cada una de las condiciones de frontera definidas, estas se definirán como hidrogramas de caudal, que se les deberá de igual manera asignar una pendiente para la línea de energía, en este caso se asume del 2%, para la condición de salida en este caso se le asigna un valor promedio calculado a lo largo de la línea de 0.03%.

Ilustración 22. Caudal entrada río magdalena 4 km aguas arriba.



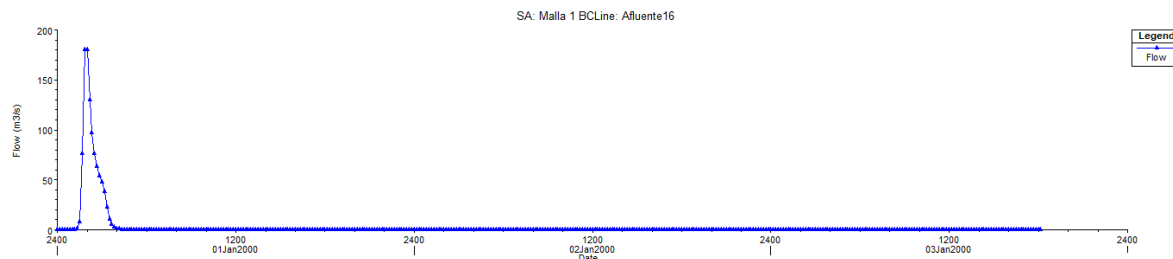
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23. Caudal de entrada afluente 15 1.9 km aguas arriba.



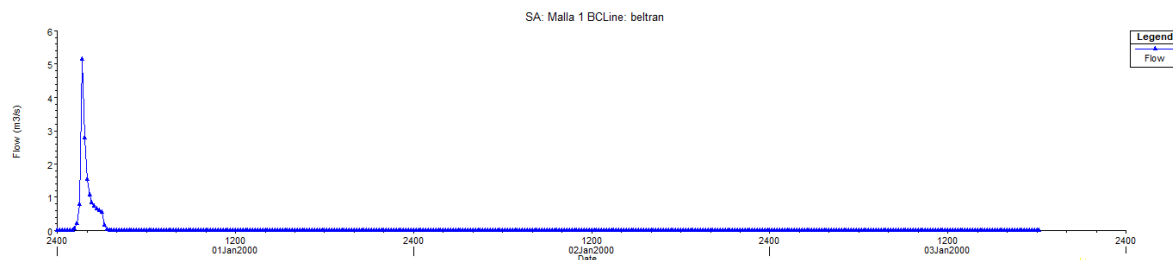
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. caudal de entrada afluente 16 0.6 km aguas arriba



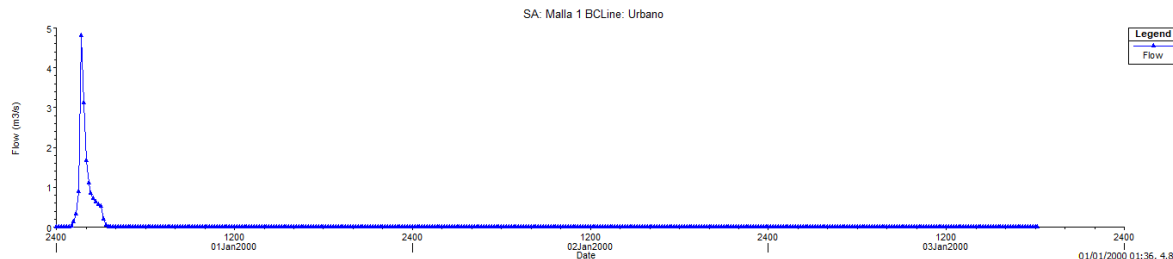
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25. Caudal de entrada cuenca casco urbano Beltrán



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Caudal de entrada cuenca contigua al casco urbano Beltrán



Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en cada entrada corresponde a un mismo evento, donde el pico de caudal del río Magdalena ocurre a las 9:30 horas del día dos, los picos de las cuencas que tienen un aporte al río ocurren a las dos horas del día primer día de simulación, esto se debe a que son cuencas de pequeño tamaño.

10.1.15.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.

Se deberán definir parámetros como intervalos de tiempo, tamaño de celda, tipo de ecuación y pendiente, estos parámetros definen el tiempo de que tardara la simulación y la precisión de este, esto con el fin de que los resultados sean coherentes a la realidad, y describan un fenómeno de inundación de manera precisa.

10.1.15.5 CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.

La amenaza por inundación dependerá principalmente por el comportamiento de la lámina de agua y velocidad del fluido, estos elementos se podrán combinar para categorizar en nivel de amenaza; existen diferentes metodologías para la zonificación de amenaza por inundación, que generalmente se determinan en tres niveles los cuales son alta, media y baja, en algunas ocasiones se agregan muy alta y extremo, dependiendo del método.

Desde esta perspectiva se realiza una revisión de las diferentes metodologías, en la que se evidencia el estudio de Gomez & Russo – “Criterios de riesgo asociados a escorrentía urbana”^{57, 29}, el cual se hace un resumen de diferentes métodos con sus alturas máximas de calado, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 18. Categorizaciones de amenaza por inundación.

Fuente	Referencia	Ymax (m)	justificación del criterio	Ámbito de estudio
Manual de Drenaje de la ciudad de Denver (EE. UU.)	Wright-Mc Laughlin, 1969	0.45	Altura Máxima en la que el vehículo empieza a perder adherencia con el pavimento y a flotar	Urbano
Monografía Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y puertos (España)	Témez, 1992	1	Altura máxima para una situación de peligro para individuos en cauces naturales y llanuras de inundación	Rural
Manual de Drenaje del condado de Clark	CCRFCD, 1999	0.3	Límite para que la escorrentía no sobrepase el bordillo	Urbano
Criterio de Mendoza (Argentina)	Nania, 1999	0.3	Altura máxima para evitar el ingreso de agua pluvial en viviendas y comercios	Urbano
Consejo para la Agricultura y la gestión de los Recursos (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2004	1.20-1.50	No se refiere sólo a la estabilidad de los individuos sino también a daños generales que la inundación puede provocar.	Urbano

⁵⁷ Valentin, M., Macchione, F. & Russo, B. Modelo físico para el estudio de los criterios de riesgo en zonas urbanas. (2010).

Riesgos hidrometeorológicos	Belleudy, 2004	0.00-1.00	Este criterio propone varios calados máximos en función del uso del suelo y se refiere a inundaciones provocadas por desbordamiento de ríos	Urbano/Rural
Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona 2007	CLABSA, 2007	0.06	Se admite, para una lluvia con periodo de retorno de 10 años, tener los dos carriles laterales inundados.	Urbano

Fuente: Extraído de Gomez & Russo.

En el año 2010 “Strategies of Urban Flood Risk Management” (SUFRI) a partir de los valores evidenciados de Gomez & Russo y una combinación de diversos criterios de vulnerabilidad, establecen cinco zonas de severidad para inundación⁵⁸, en lo que se tiene en cuenta diferentes valores de altura de lámina de agua y velocidad, con el fin de categorizar a partir de estos la estabilidad del peatón.³⁰

Tabla 19. Categorización SUFRI para categorización de amenaza.

	Nivel de severidad	Calado γ (m)	Velocidad v (m/s)
S0	No se esperan víctimas	<0.45	<1.50
S1	Severidad leve.	<0.80	<1.60
	Peatones pueden sufrir pérdida de estabilidad. Dificultades para caminar		
S2	Severidad media.	<1	<1.88
	El peatón puede sufrir pérdida de estabilidad, en la que los vehículos pierden adherencia y pueden llegar a flotar		
S3	Severidad elevada.	>1	<1.88
	Alto riesgo para personas situadas en el exterior. Arrastre		
S4	Severidad extrema.	>1	>1.88
	Severidad extrema. Daños estructurales a edificios.		

Fuente: Extraído de SUFRI-Strategies of Urban Flood Risk.

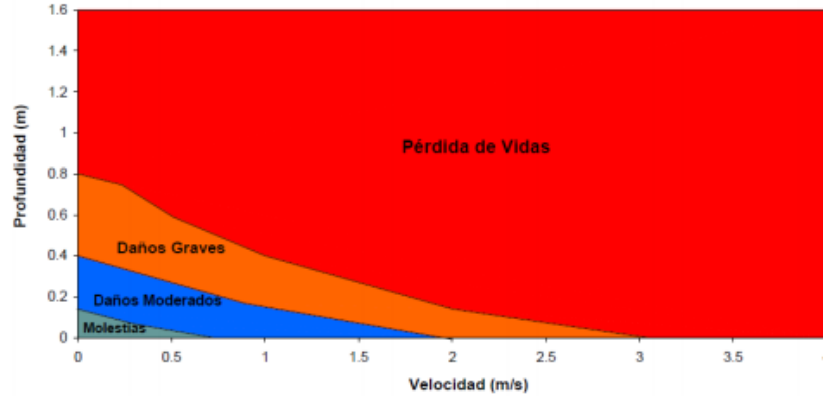
En el año 2004 el artículo de “Evaluación y riesgos en cuencas urbanas Criterios para la determinación de tipos de daños por inundación de” Vélez & Smith, establece un método que categoriza la amenaza fluvial a partir de diferentes

⁵⁸ Tobergte, D. R. & Curtis, S. Riesgos de inundación S.U.F.R.I. *Journal of Chemical Information and Modeling* **53**, (2013).

⁵⁹ Vélez Upegui, J. et al. Evaluación de riesgos en cuencas urbanas. *Av. en Recur. Hidraul.* 17–32 (2003).

velocidades y profundidad de flujo⁵⁹, ya que la velocidad está asociada al impacto del flujo, poder erosivo en edificaciones y pérdida de estabilidad en personas.

Ilustración 27. Categorización de amenaza por el método de Vélez & Smith.



Fuente: ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR INUNDACIONES A ESCALA 1:2.000 y 1:5.000

Con base a esta metodología planteada, se generarán los mapas de amenaza a partir de los resultados del modelo de inundación generado en HEC-RAS en un periodo de retorno de 100 años.

11 RESULTADOS Y ANÁLISIS.

A partir de la metodología descrita en el capítulo anterior, se obtienen los siguientes resultados más relevantes para el desarrollo del proyecto.

11.1 RESULTADOS GEOMORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS.

Se obtienen los siguientes resultados siguiendo la metodología descrita en el capítulo 10.1.4, para todas las cuencas en estudio como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados geomorfológicos de las cuencas.

Cuenca	Área (km ²)	perímetro (km)	Longitud del cauce (km)	Altura Máxima (m.s.n.m)	Altura mínima (m.s.n.m)	Pendiente media del cauce (%)	Pendiente media de la cuenca (%)
Cuenca 2	778.94	218.15	101.83	4520.69	244.00	4.20	39.94
Cuenca 3	171.72	83.17	35.69	1498.73	252.00	3.49	20.76
Cuenca 4	1416.71	213.46	89.64	693.00	259.29	0.48	36.93
Cuenca 5	327.15	136.87	43.78	1502.48	249.00	2.86	13.77
Cuenca 6	33.50	30.25	12.80	554.26	263.97	2.27	29.06
Cuenca 7	616.14	147.53	58.84	752.41	246.00	0.86	34.35
Cuenca 8	11.69	15.69	5.17	811.09	244.00	10.96	37.82
Cuenca 9	15.69	21.20	8.49	675.08	245.00	5.07	28.55
Cuenca 10	18.81	21.73	7.57	915.01	246.04	8.84	34.17
Cuenca 11	6.67	12.79	4.32	1182.33	240.05	21.80	28.48
Cuenca 12	29.89	29.11	10.00	835.95	233.00	6.03	31.33
Cuenca 13	42.07	44.35	17.96	877.98	240.83	3.55	27.89
Cuenca 14	14.14	18.41	7.69	843.07	239.73	7.85	27.56
Cuenca 15	7.94	12.92	4.04	529.39	246.10	7.02	35.40
Cuenca 16	13.48	19.04	5.96	4154.42	249.25	65.49	40.47
Cuenca 17	56.79	42.11	16.25	603.59	251.61	2.17	32.14
Cuenca 18	12.63	15.80	6.67	535.59	249.95	4.28	26.75

Cuenca 19	16.65	20.44	7.93	568.24	252.00	3.99	38.98
Cuenca 20	48.33	39.44	16.27	622.47	253.38	2.27	36.67
Cuenca 21	11.62	16.80	6.68	276.07	239.30	0.55	11.33
Cuenca 22	16.34	22.83	9.12	325.97	241.47	0.93	14.46
Cuenca 23	13.58	20.94	6.74	318.53	248.00	1.05	10.69
Cuenca de urbano	0.14	1.80	0.93	318.01	224.11	10.10	20.35
Cuenca de urbano 1	0.16	1.71	0.71	291.03	219.96	10.02	26.39

Fuente: Elaboración propia.

11.2 RESULTADOS CURVA NÚMERO.

Siguiendo la metodología propuesta en el capítulo 10.1.5, se obtiene el resultado del promedio ponderado de curva número para cada cuenca, como se puede observar en la Tabla 21, donde los resultados oscilan de 39.92 a 77.05, cabe aclarar que si el valor de la CN=1 la lluvia no tendrá escorrentía y se filtrará, si es valor es cercano a CN=100, toda la lluvia se escurre⁴⁸.

Tabla 21. Resultados Curva número.

N. Cuenca	CN
Cuenca 2	65.51
Cuenca 3	52.31
Cuenca 4	61.45
Cuenca 5	55.37
Cuenca 6	44.51
Cuenca 7	58.82
Cuenca 8	64.19
Cuenca 9	66.12
Cuenca 10	64.05
Cuenca 11	61.80
Cuenca 12	64.21
Cuenca 13	66.67
Cuenca 14	60.98
Cuenca 15	62.79
Cuenca 16	64.39
Cuenca 17	40.56
Cuenca 18	49.16
Cuenca 19	39.92
Cuenca 20	54.05
Cuenca 21	72.56
Cuenca 22	55.22
Cuenca 23	51.71
Cuenca de urbano	77.05
Cuenca de urbano 1	72.29

Fuente: Elaboración propia.

11.3 RESULTADOS TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Se obtienen los resultados de tiempo de concentración y tiempo de retardo, ver Tabla 22, estos valores se presentan en horas y minutos. Se evidencia que el mayor tiempo de concentración lo posee la cuenca 4, debido a que esta tiene un área de 1416.71 km² y una longitud de cauce de 89.64 km, provocando que sea una cuenca de un tamaño considerable aumentando sus tiempos de concentración, ya que el comportamiento del tiempo de concentración depende en gran manera del tamaño de la cuenca y la longitud del cauce, este comportamiento se puede evidenciar en la cuenca con menor área, urbano 1, donde al observar su geomorfología, ver Tabla 20, se evidencia que este posee el cauce con menor longitud, generando así mismo el menor tiempo de concentración. Es así como se observa que las cuencas con gran área poseen tiempos de concentración mucho mayores a las cuencas de menor área.

Tabla 22. Resultados tiempos de concentración y retardo.

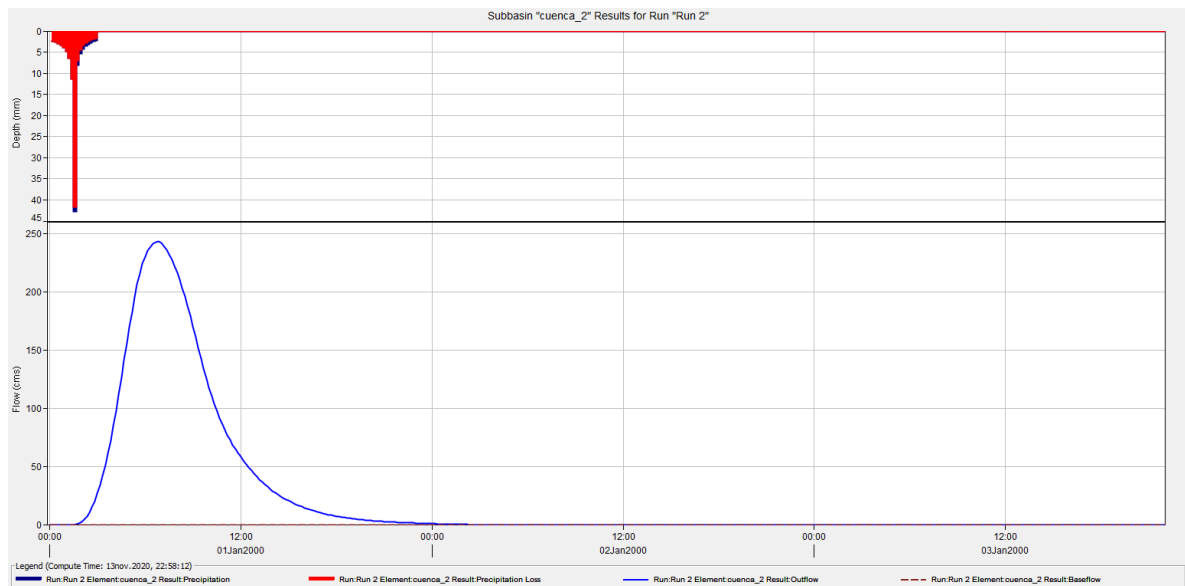
Cuenca	TC (hr)	Tlag (hr)	Tc (min)	Tlag (min)
Cuenca 2	7.67	4.60	460.11	276.06
Cuenca 3	3.75	2.25	225.04	135.03
Cuenca 4	12.17	7.30	730.22	438.13
Cuenca 5	4.78	2.87	286.71	172.02
Cuenca 6	2.03	1.22	121.73	73.04
Cuenca 7	7.74	4.64	464.29	278.58
Cuenca 8	0.66	0.40	39.82	23.89
Cuenca 9	1.13	0.68	67.83	40.70
Cuenca 10	0.92	0.55	55.39	33.23
Cuenca 11	0.47	0.28	28.10	16.86
Cuenca 12	1.23	0.74	73.62	44.17
Cuenca 13	2.22	1.33	133.08	79.85
Cuenca 14	0.96	0.57	57.33	34.40
Cuenca 15	0.60	0.36	35.90	21.54
Cuenca 16	0.47	0.28	28.36	17.02
Cuenca 17	2.48	1.49	148.90	89.34
Cuenca 18	0.96	0.58	57.74	34.65
Cuenca 19	1.13	0.68	67.77	40.66
Cuenca 20	2.44	1.47	146.50	87.90
Cuenca 21	2.12	1.27	127.36	76.41
Cuenca 22	2.21	1.32	132.43	79.46
Cuenca 23	1.67	1.00	100.01	60.01
Cuenca de urbano	0.18	0.11	11.05	6.63
Cuenca de urbano 1	0.15	0.09	9.03	5.42

Fuente: Elaboración propia.

11.4 RESULTADOS HIDROGRAMAS.

El resultado de la simulación a partir de la estructura generada por la metodología, del capítulo 10.1.14, genera hidrogramas de salida para cada cuenca, nodo y cause, en la que se muestra el pico de escorrentía generado a partir la precipitación como sus pérdidas, ver Ilustración 28, de igual manera se puede observar el comportamiento del caudal con los aportes a lo largo de los 23 tramos del río. Se realiza un análisis en el punto salida donde se obtiene la gráfica de comportamiento del cauce con todos los aportes generados por las cuencas, ver Ilustración 29.

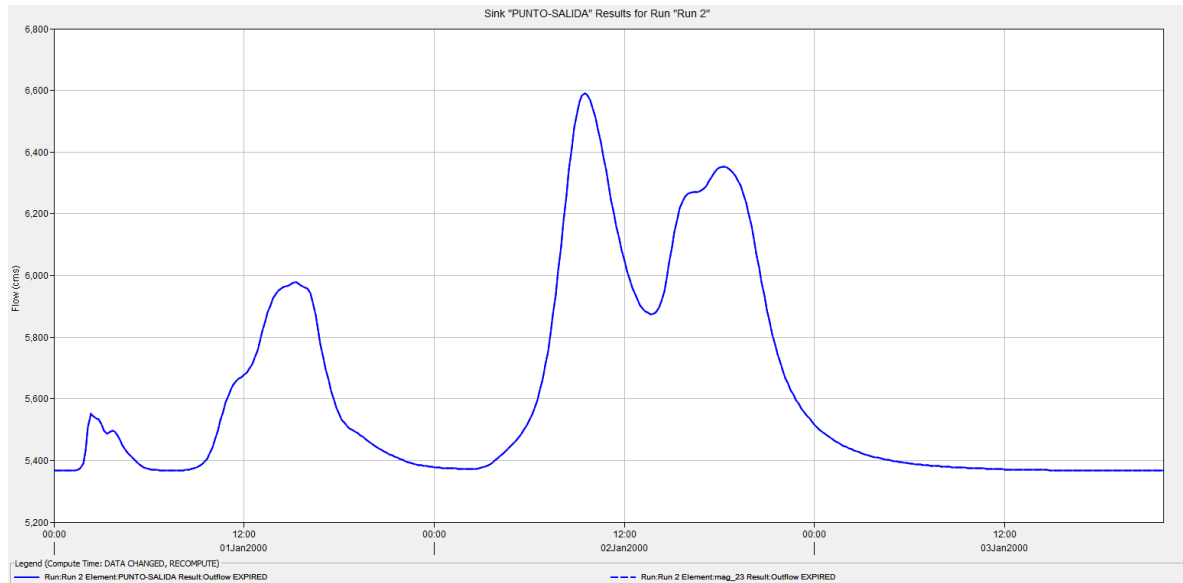
Ilustración 28. Hidrograma cuenca 2



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Ilustración 28 el pico de escorrentía generado por la precipitación se encuentra a las 6:50 horas del primer día de simulación, con un valor de 242.98 m³/s, posteriormente inicia su descenso hasta llegar a un valor de 0 en el día 2 a las 2:00 horas de la simulación, se evidencia en la parte superior de la Ilustración 30 la precipitación resultante y sus pérdidas durante el transcurso de tiempo. La totalidad de los hidrogramas (23) se presenta en el anexo B.

Ilustración 29. Comportamiento caudal punto de salida.



Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia cuatro picos de caudales, el primero pico se presenta 2:20 horas del día 1, con un caudal de 5549. El segundo pico se presenta a las 15:00 del día 1 con un caudal de 5975. El pico máximo de caudal en el punto de salida del río es de 6591 m³/s a las 9:30 horas del día 2 de la simulación, posterior a este pico se presenta otro similar con un caudal de 6352 m³/s a las 16:00 horas del día dos, a partir de este punto se observa un descenso en la curva hasta tomar una pendiente que tiende a cero, esto sucede el día 3 a las 18:10 horas de simulación, La totalidad de los comportamientos de caudal (23) se presenta en el Anexo B.

11.5 RESULTADO ESCENARIO DE INUNDACIÓN HEC-RAS.

Con todos los parámetros definidos como se presenta en el capítulo 10.1.15, se procede a iniciar la simulación. Este procesamiento tuvo una duración de tres horas, en la que no se mostraron errores de cálculo como se evidencia en la Ilustración 30.

Ilustración 30. Tabla de resultado de simulación.

Write Geometry Information
 Layer: Complete

Geometry Processor
 River: RS:
 Reach: Node Type: Storage Area
 IB Curve:

Unsteady Flow Simulation
 Simulation:
 Time: 66.1667 03JAN2000 18:10:00 Iteration (1D): Iteration (2D): 1
 Unsteady Flow Computations

Stored Map Generation
 Map:

Computation Messages

Geometric Preprocessor HEC-RAS 5.0.3 September 2016

Finished Processing Geometry
 Writing Event Conditions
 Event Conditions Complete

Performing Unsteady Flow Simulation HEC-RAS 5.0.3 September 2016

Finished Unsteady Flow Simulation

Writing Results to DSS
 1D Post Process Skipped (simulation is all 2D)

Computing Stored Results Maps
 There are no stored maps setup for this plan.

Computations Summary

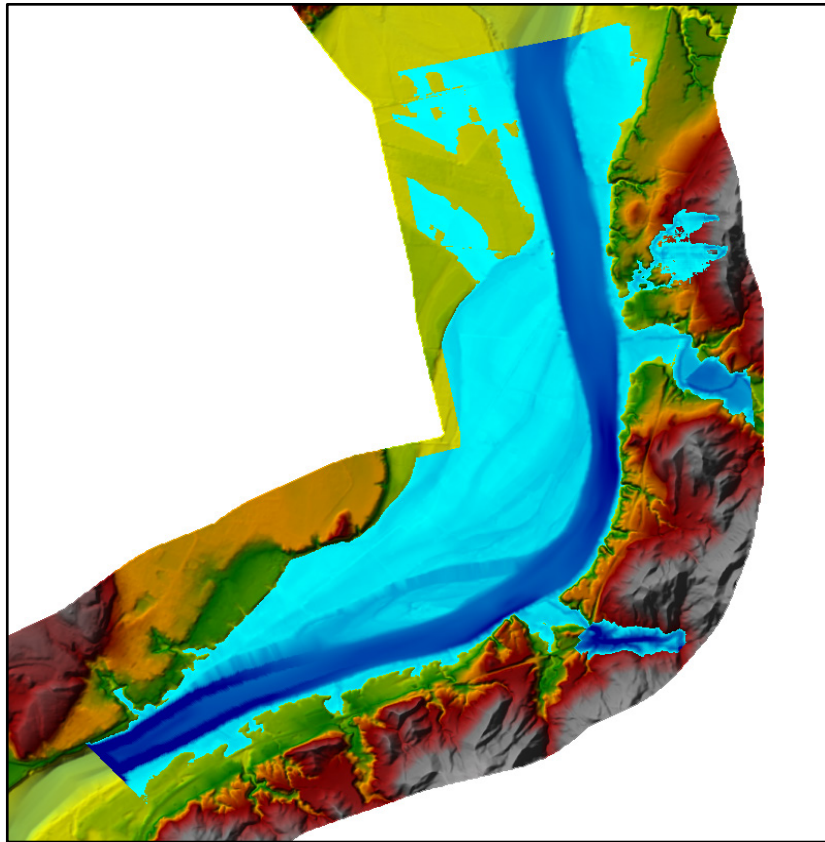
Computation Task	Time(hh:mm:ss)
Completing Geometry	20
Preprocessing Geometry(64)	5
Unsteady Flow Computations(64)	3:47:46
Writing to DSS(64)	1
Computing Maps	4
Complete Process	3:48:23

Pause Take Snapshot of Results Close

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de esta simulación arrojan el comportamiento del cauce durante 66 horas, que es el tiempo que dura el evento de inundación, estos resultados muestran profundidad de lámina de agua y velocidad de flujo, en intervalos de 30 minutos. En la Ilustración 31 se observa el resultado en bruto de esta simulación.

Ilustración 31. Profundidad Máxima de lámina de agua generado por HEC-RAS para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado preliminar que arroja el modelo muestra un comportamiento del cauce con todos sus caudales al máximo en el mismo instante, siendo algo alejado la realidad para la obtención de la mancha de inundación. Para obtener el momento donde la mancha de inundación se encuentra en su pico máximo con un comportamiento natural del cauce, se realiza un análisis con base en las horas pico del hidrograma de salida del río Magdalena, ver Ilustración 31, donde se contrasta con los resultados de HEC-RAS, observando el aumento de la mancha de inundación gradualmente hasta llegar a su pico y posteriormente el descenso de este. Como se observa en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 32. Mancha de inundación día 1 hora 1:00.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33. Mancha de inundación día 1 hora 2:00.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34. Mancha de inundación día 1 hora 3:00.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35. Mancha de inundación día 2 hora 9:30.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36. Mancha de inundación día 2 hora 16:00.

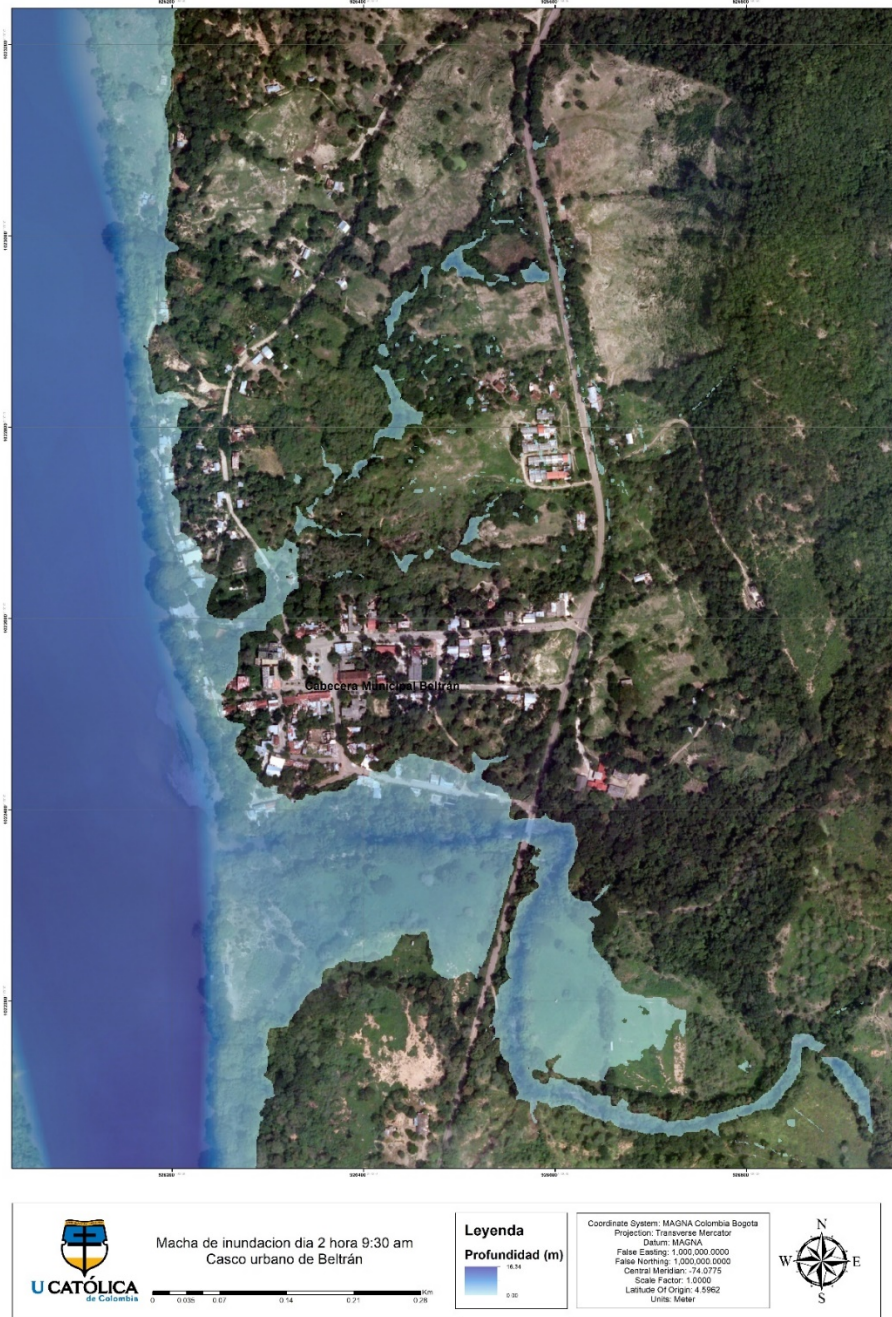


Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que la mancha de inundación cubre una mayor área a las 9:30 horas del día 2, por consecuencia que en este intervalo se presenta el caudal máximo, 6591 m³/s, posterior a esto se observa en el intervalo del día 2 a las 16:00

horas, una similitud en el área que cubre la mancha de inundación, no obstante, se identifica una disminución de esta aguas arriba de Beltrán en la zona de cultivos, ver Ilustración 36.

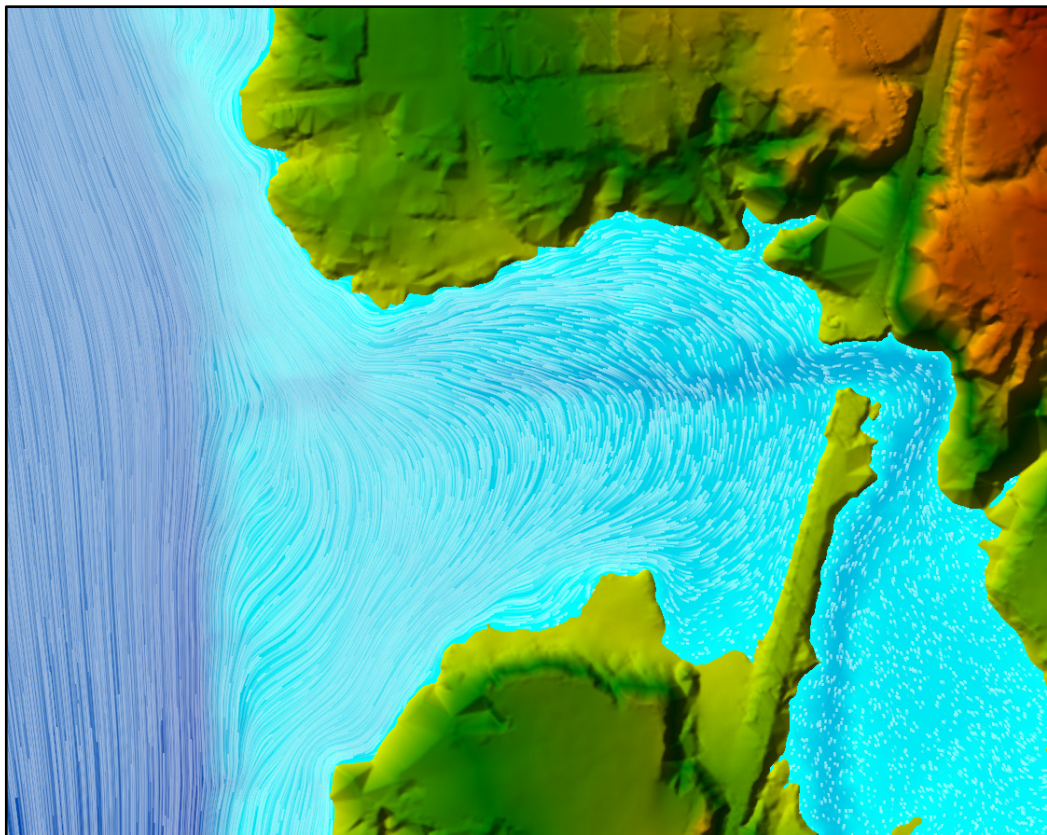
Ilustración 37. Mancha de inundación casco urbano de Beltrán.



Fuente: Elaboración propia.

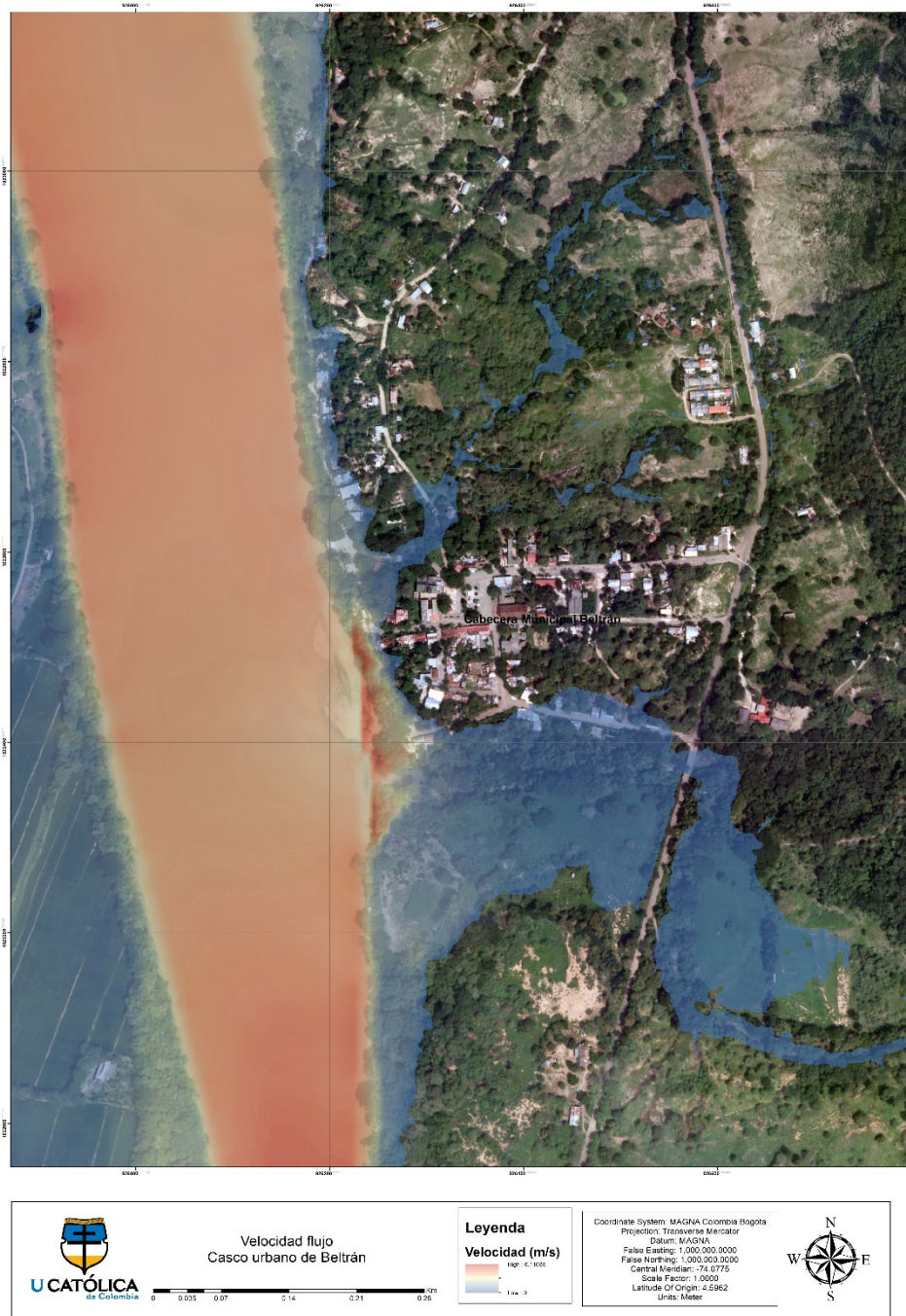
De acuerdo con estos resultados se procede a observar con mayor detalle el comportamiento máximo de lámina de agua en el casco urbano de Beltrán, ver Ilustración 37, donde se identifica a simple vista inundaciones en la margen del río, como un represamiento generado por la baja elevación topográfica del punto del drenaje de la quebrada Calacala, ubicada en la parte baja de Beltrán. Como se evidencia en la Ilustración 37, donde se observa el comportamiento de las partículas del flujo del río Magdalena encontrándose con las de la quebrada generando que la velocidad del flujo en este punto se encuentre cercana a cero como se observa en la Ilustración 41.

Ilustración 38. Comportamiento de partículas quebrada Calacala.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 39. Mapa de velocidad de flujo casco urbano Beltrán Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia

Al observar la inundación que se produce en el margen del río se ve una afectación directa a las edificaciones ubicadas en esta zona, como de igual manera a la vía que queda en este sitio, al generar una vista desde el Google maps, se puede evidenciar la cercanía de esta carretera y de las viviendas al borde del río, como se observa en la Ilustración 40.

Ilustración 40. Carrera 5a Beltrán Cundinamarca.



Fuente: Tomado de Google earth.

Esta cercanía con el río infringe el Decreto de rondas hídricas 1449, que regula que se debe respetar una faja paralela al cauce no inferior a 30 metros⁶⁰, al realizar una medición se evidencia que estas edificaciones y vías se encuentran aproximadamente a 20 m del borde del río.³¹

⁶⁰ CAR, C. A. R. de C., Protegidas, S. de A. de R. N. y Á. & Colombia, R. de. *GUIA METODOLÓGICA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RONDA EN LA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR.* (Colombia, 2015)

En la Ilustración 37 se identifica una afectación en el puente de la quebrada Calacala, al observar la topobatrimetría expuesta en la Ilustración 38, se observa que no se tiene en cuenta este puente, ya que ocurre un salto y lo que se evidencia es la topobatrimetría de la Quebrada, al tomar como referencia los extremos de las vías que tienen la misma elevación, ver Ilustración 41, se concluye que el puente de Calacala no está expuesto a amenaza.

Ilustración 41. Puente quebrada Calacala.



Fuente: Tomado de Google earth.

11.6 RESULTADOS CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA.

De acuerdo con los análisis realizados en el capítulo anterior se categoriza la amenaza con base a la mancha de inundación del día 2 de las 9:30 horas, a partir de la metodología Vélez & Smith⁵⁷, descrita en el capítulo 10.1.15.5. Dando como resultado finalmente el mapa de zonificación de amenaza del casco urbano del municipio Beltrán como se observa en la Ilustración 42.

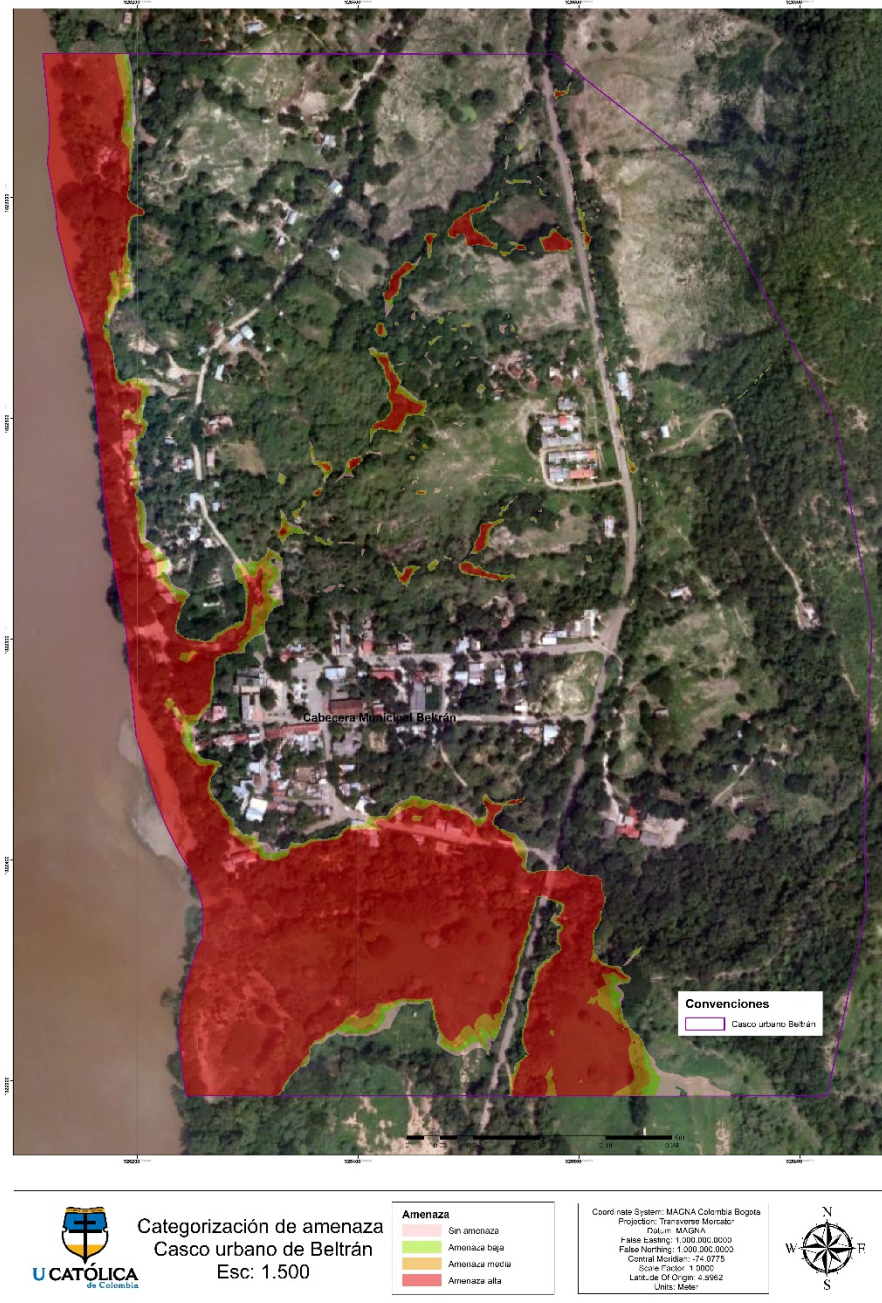
El casco urbano del municipio de Beltrán se encuentra en un total de 13.03 ha de amenaza alta, 2.33 ha de amenaza media, 2.37 ha de amenaza baja y 41.18 ha que no tendrán amenaza, de sus 58 ha, es decir que el 30.11% se encuentra bajo amenaza.

Tabla 23. Áreas de amenaza por inundación casco urbano de Beltrán.

Amenaza	Tipo de daño	Área (ha)	% Área en amenaza
Sin amenaza	Molestias	41.18	69.87
Amenaza baja	Daños moderados	2.37	4.03
Amenaza media	Daños graves	2.33	3.97
Amenaza alta	Perdidas de vida	13.03	22.11
Área total de Beltrán (ha)		58.9313	

Fuente: Elaboración propia.

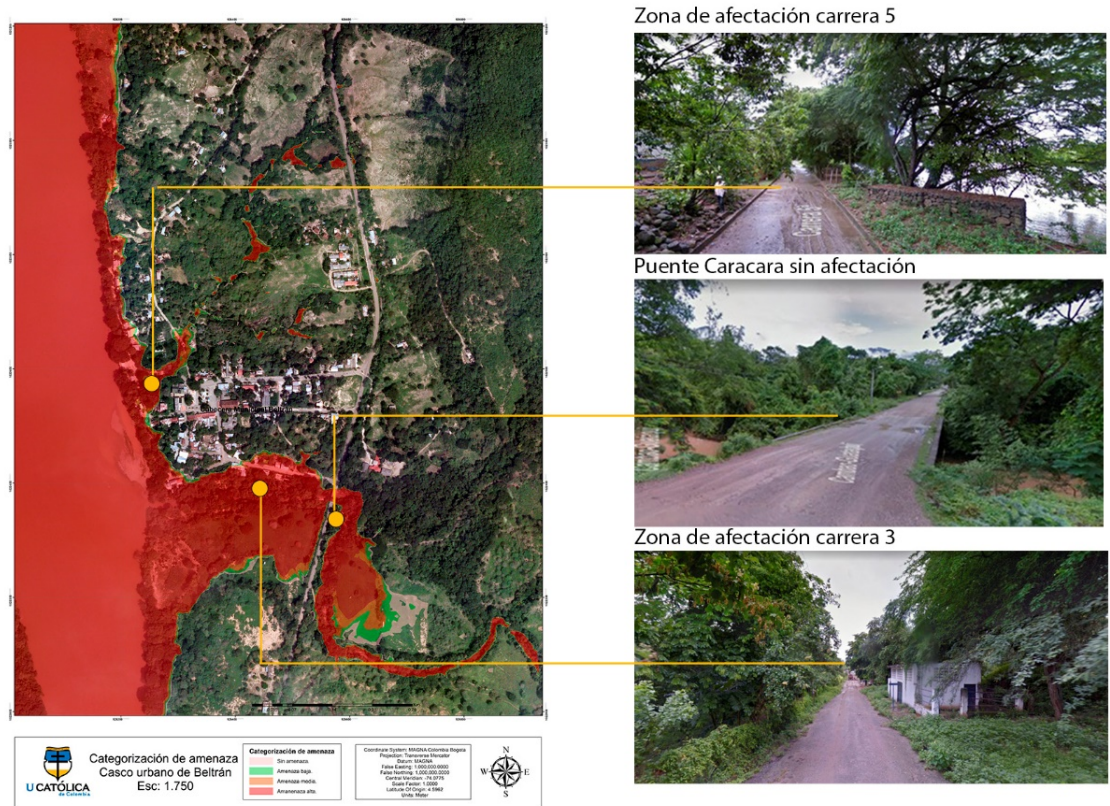
Ilustración 42. Mapa de amenaza por inundación casco urbano de Beltrán, escala 1:1750.



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Ilustración 45 los sitios que de acuerdo al mapa de amenaza tienen categoría de amenaza alta, estas zonas se encuentran en los márgenes del río y de la quebrada. Las zonas de encharcamiento dentro del casco urbano se encuentran en pequeños cauces que cruzan Beltrán, donde se evidencia que no afectan directamente edificaciones, ya que el flujo se concentra en sus propias rondas.

Ilustración 43. Sitios de afectación por amenaza.



Fuente: Elaboración propia.

12 CONCLUSIONES.

- El área del casco urbano de Beltrán que se encuentra bajo amenaza de inundación es del 30.11% el 69.89% restante no se encuentra bajo amenaza de inundación, esto debido a que el municipio se encuentra en una zona aledaña al río Magdalena topográficamente alta, exceptuando las zonas aledañas al río y a la quebrada Calacala, ya que estas zonas al estar en la margen del río tienen una elevación baja, aumentando su probabilidad de inundación.
- Se evidencia que Beltrán ha sufrido una expansión urbana, que no ha respetado los márgenes de los ríos ni quebradas, aumentando su susceptibilidad a una inundación, como se hizo evidenciar en el mapa de amenaza, donde los asentamientos en los márgenes se concentran en la mayor parte de la amenaza.
- Al realizar un análisis del alcance de la mancha de inundación en la margen del río Magdalena, se observa que esta inunda cerca de 80 metros desde la margen hacia el casco urbano, categorizando esta área como una amenaza alta, donde se evidencia la existencia de emplazamientos y vías a 20 metros del margen del río, se recomienda que las zonas que se encuentren con una categorización de amenaza alta no sean habitables, o que se desarrolle infraestructura para la mitigación de esta amenaza, como lo son los diques o jarillones.
- De acuerdo con la zonificación de amenaza, se concluye que, durante un evento de inundación, las vías de acceso principales no se verán afectadas, dado que estas se encuentran topográficamente por encima de las zonas inundables.
- A partir del inicio del evento de inundación al pico máximo de este, se tendrá un lapso de 33 horas, donde se evidencia que en el transcurso de ese tiempo existe un aumento considerable de la altura de la lámina de agua, es por eso por lo que se concluye que esta inundación es de tipo creciente súbita.
- Para definir la pendiente de gradiente hidráulico del río Magdalena en el modelo de HEC-RAS, se debieron generar 4 simulaciones variando este valor, esto con el fin de generar una simulación con un comportamiento similar al del cauce, que inundara zonas, donde se evidenciaba erosión. Ya que al generar una simulación con un valor de pendiente por encima de 0.01%, no se presentaban manchas de inundación en zonas topográficamente bajas o inundables.

- Para generar una simulación con un comportamiento cercano a la realidad, se deberá modelar todas las cuencas del tramo de 43km del río Magdalena, ya que gran parte del caudal que genere estas cuencas podrá quedar encharcado y perder caudal al llegar al río. En el presente proyecto no se logra generar este modelo debido a las limitaciones de procesamiento del computador utilizado.

- Para obtener un valor de curva número más exacto se deberán obtener imágenes actualizadas de alta resolución, con el fin de categorizar el uso del suelo de manera más precisa, de igual manera información acerca de la clasificación de suelo donde se harán necesarios estudios geológicos para obtener información certera acerca de la composición de los suelos que conformen las cuencas.

- La cobertura vegetal como característica morfológica del territorio y variable, afecta el cauce del río al haber un fenómeno de escorrentía. Se hace necesario precisar su importancia en la mitigación de áreas inundables ya que, al presentarse coberturas verdes, estas absorben gran parte de la escorrentía y con ello se logra disminuir el caudal de las fuentes hídricas.

13 RECOMENDACIONES.

- Al existir cuencas de gran tamaño se recomienda y convertirlas en la mayor cantidad de microcuencas, esto con el fin de generar un resultado mas preciso en la obtención de la curva número, tiempos de concentración y por consiguiente hidrogramas más cercanos al comportamiento real de la cuenca.
- Para generar menores tiempo de procesamiento en grandes áreas durante una simulación de HEC-RAS, se recomienda al generar la malla, una asignación de tamaño de celda no inferior a 15m.
- Al definir los parámetros de cálculo en HEC-RAS en una simulación 2d, Se recomienda definir intervalos de tiempo computo de 1 minuto cuando se tiene tamaños de celdas inferiores a 10m, para no obtener comportamientos erróneos en la lámina de agua.
- Para obtener valores preliminares para el gradiente hidráulico en HEC-RAS, se recomienda calcular la pendiente aguas arriba del rio en estudio cuando sea un cauce de gran tamaño.
- Al generar una malla para una simulación 2d en HEC-RAS se recomienda no delimitarla cerca a los bordes del modelo de elevación del terreno, ya que se podría generar errores durante la simulación.
- Para una modelación 2d en HEC-RAS se recomienda un refinado de malla por los bordes de los cauces, ya que el programa puede tener errores en calculo en cambios de pendiente abruptos, cuando no se genera un debido refinado de malla.
- Para comprobar la consistencia de datos de precipitación se recomienda generar una curva de doble masa, ya que visualmente se podrá reconocer errores en los registros, cuando exista un cambio de pendiente en esta recta.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Ministerio de Vivienda, C. y T. *Decreto 1807 de 2014*. 19 (2014).
2. Ministerio de Vivienda, C. y T. *DECRETO NÚMERO 1077 DE 2015*. 806 (2015).
3. Alcaldía de Beltrán. *Informe de Gestión. Municipio de Beltrán 53*, (2019).
4. Banco Mundial. *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres* (2012). doi:333.3109861/A56
5. Interamericano, B. & Comisi, B. I. D. *Valoración de daños y pérdidas del Fenomeno de la Niña. Banco Interamericano de Desarrollo - BID* (2011).
6. Tabares, R., Ingeniero, E. L. & Montalealegre, F. *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL. Municipio de Beltrán* (2007).
7. IDEAM. *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación, Colombia* (2017).
8. UNISDR. *Guidelines for Reducing Flood Losses. United Nations* (2002).
9. UNISDR. *Flood Hazard and Risk Assessment. Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment* (2017).
10. Vera Rodríguez, J. M. & Albarracin Calderón, A. P. *Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina 27*, (2017).
11. Tawatchai, T. & Yuddhana, K. A method for evaluating flood hazard and flood risk of east Bangkok plain, Thailand. *Proc. Inst. Civ. Eng. 172*, 385–392 (2019).
12. OEA, D. de D. R. y M. A. *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. (1991).
13. South America – Thousands Affected by Floods and Landslides in Paraguay, Peru, Ecuador and Bolivia – FloodList.
14. COSUDE. DIRECTRICES DE COSUDE SOBRE LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.
15. COSUDE. Reducción del Riesgo de Desastres en la Cooperación Internacional : La contribución Suiza a la protección de los medios de vida.
16. MAGDALENA, U. DEL. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MANZANARES Y EVALUACIÓN DE SU DISPONIBILIDAD HIDRICA. *Chest 25*, 1–14 (2006).
17. IDEAM - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Departamento de geociencias y medio ambiente facultad de minas 2013. (2013).
18. Gis, A. ¿Qué son los datos LIDAR?—Ayuda | ArcGIS Desktop. Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>. (Accessed: 17th November 2020)
19. Palacios, C. M. Moreno_Cristian_TrabajodeGrado_2016.
20. Riesgo, D. E. L. RECONOCIMIENTO DE CAMPO E IDENTIFICACIÓN DE SECCIONES 5 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE FENÓMENOS DE

INUNDACIÓN.

21. AMENAZAS INUNDACIÓN - IDEAM.
22. USDA-NRCS. National Engineering Handbook Chapter 15, Time of Concentration. in *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook* 1–15 (2010).
23. Mark, A. & Marek, P. Hydraulic Design Manual. *Texas Dep. Transp. Hydraul. Des. Man.* 293–351 (2019).
24. Uzoigwe, L. O., Mbajiorgu, C. & Alakwem, O. P. Development of Intensity Duration Frequency (IDF) Curve for Parts of Eastern Catchments Using Modern Arcview GIS Model. in 21 (2012).
25. Sachan, S., Kumar, A. & Singh, P. Hyetograph -hydrograph transformation model for uniform and non-uniform rainfall distribution patterns. *J. Soil Water Conserv.* (2015).
26. Republica de Colombia. Ministerio de transporte. *Manual de drenaje para carreteras. 1*, (2009).
27. Brunner, G. W. & CEIWR-HEC. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. US Army Corps of Engineers–Hydrologic Engineering Center. 1–790 (2016).
28. Sanchez, J. Hidrología Superficial (II): Hidrogramas. *Dpto. Geol. U. Salamanca* 1-10 pag (2015).
29. IDEAM. Definiciones Del Catálogo Nacional De Estaciones. 11–12 (2019).
30. SUESCÚN, L. L. D. & AFRICANO, J. G. A. ESTUDIO HIDROLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO PARA DETERMINAR LA OFERTA Y LA DEMANDA DE AGUA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA NISCOTA PARA UN ACUEDUCTO INTERVEREDAL EN NUNCHÍA, CASANARE. *Gastrointest. Endosc.* **10**, 279–288 (2018).
31. Feldman, A. D. Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrogeol. J. Hydrol. Model. Syst. Tech. Ref. Man.* 145 (2000).
32. IDEAM. GUIA_METODOLOGICA_MAPAS_INUNDACION_MARZO_2018.
33. MARTÍNEZ, N. O. V. *et al.* Protocolo_Modelacion_HH.
34. Rica, C. *et al.* GEOGRÁFICA EVOLUCIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA HACIA GEOGRAPHY AND GEOGRAPHIC INFORMATION THEORETICAL AND METHODOLOGICAL. (2012).
35. GLOSARIO - IDEAM. Available at: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#P>. (Accessed: 17th November 2020)
36. Influencia, Á. D. E., Tota, L. D. E., Los, D. E. A. C. O. N., Técnico, A. & Técnicas, E. Adquisición , Instalación Y Puesta En Funcionamiento De Siete (7) Estación Hidrometeorológicas Automática En La Jurisdicción Del Ao – 06 Con Sede En Duitama –. 8 (2016).
37. Ordóñez, J. ¿ Qué Es Cuenca Hidrológica ? *Soc. Geológica Lima* **1**, 1–44 (2011).
38. Francisco Javier Sánchez San Román. Hidrología e Hidrogeología. *Colomb. Pacífico* **1**, 120–134 (1993).
39. Bello, M. & Pino, M. Medición de Presion y caudal. *Inia* **28**, (2000).
40. Juncosa, R. Escorrentía. *Hidrol. ICiclo Hidrológico* 65–84 (2005).

41. Ibáñez, S., Moreno, H. & Gisbert, J. Morfología de las cuencas hidrográficas. *Univ. Politécnica Val.* 12 (2010).
42. esri. Modelos digitales de elevación—Conceptos relacionados | ArcGIS. Available at: <https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm>. (Accessed: 17th November 2020)
43. Maps, H. & Instruments, R.
44. Gis, A. Cómo funciona Rellenar. <https://desktop.arcgis.com> (2020). Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fill-works.htm>.
45. Wang, X., Kingsland, G., Poudel, D. & Fenech, A. Urban flood prediction under heavy precipitation. *J. Hydrol.* **577**, 123984 (2019).
46. Gis, A. how watershed works. <https://desktop.arcgis.com/> (2020). Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-watershed-works.htm>.
47. UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR & LANGBEIN, W. B. *TOPOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF DRAINAGE BASINS*. (1944).
48. SCS. CHAPTER 21. DESIGN HYDROGRAPHS. in *NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK 127 (NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK, 1965)*.
49. IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. *IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000.* Ideam (<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>, 2008).
50. USDA-NRCS. National Engineering Handbook Chapter 7 Hydrologic Soil Groups. in *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook 13* (United States Department of Agriculture, 2009).
51. Perdikaris, J., Gharabaghi, B. & Rudra, R. Reference Time of Concentration Estimation for Ungauged Catchments. *Earth Sci. Res.* **7**, 58 (2018).
52. Peláez, J. R. T. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. *Revista de Obras Públicas* **150**, 47–51 (2003).
53. Taghvaye Salimi, E., Nohegar, A., Malekian, A., Hosseini, M. & Holisaz, A. Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy Water Environ.* **15**, 123–132 (2016).
54. Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F. & Porfiri, M. Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrol. Sci. J.* **57**, 217–228 (2012).
55. Mudashiru, R., Abustan, I. & Baharudin, F. Methods of Estimating Time of Concentration: A Case Study of Urban Catchment of Sungai Kerayong, Kuala Lumpur. in 119–161 (Offa, Kwara State, Nigeria, 2020). doi:10.1007/978-3-030-32816-0_8
56. Mario Diaz-Granados O, R. V. m. Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia. **1**, 14 (1998).
57. Valentin, M., Macchione, F. & Russo, B. Modelo físico para el estudio de los criterios de riesgo en zonas urbanas. (2010).

58. Tobergte, D. R. & Curtis, S. *Riesgos de inundación S.U.F.R.I. Journal of Chemical Information and Modeling* **53**, (2013).
59. Vélez Upegui, J. *et al.* Evaluación de riesgos en cuencas urbanas. *Av. en Recur. Hidraul.* 17–32 (2003).
60. CAR, C. A. R. de C., Protegidas, S. de A. de R. N. y Á. & Colombia, R. de. *GUIA METODOLÓGICA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RONDA EN LA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR.* (Colombia, 2015).

14 ÍNDICE DE ANEXOS.

14.1 ANEXO.1 ANTEPROYECTO Y RUBRICA APROBADA.

14.2 ANEXO A. GRÁFICAS DE RESULTADOS PROBABILÍSTICOS.

14.3 ANEXO B. GRÁFICAS DE RESULTADOS HEC-HMS.

14.4 ANEXO C. TABLAS DE COEFICIENTES.

14.5 ANEXO D. DATOS CRUDOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN.

14.6 ANEXO E. DATOS CRUDOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO DE CAUDALES.

14.7 ANEXO F. MEMORIAS DE CÁLCULO TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN.

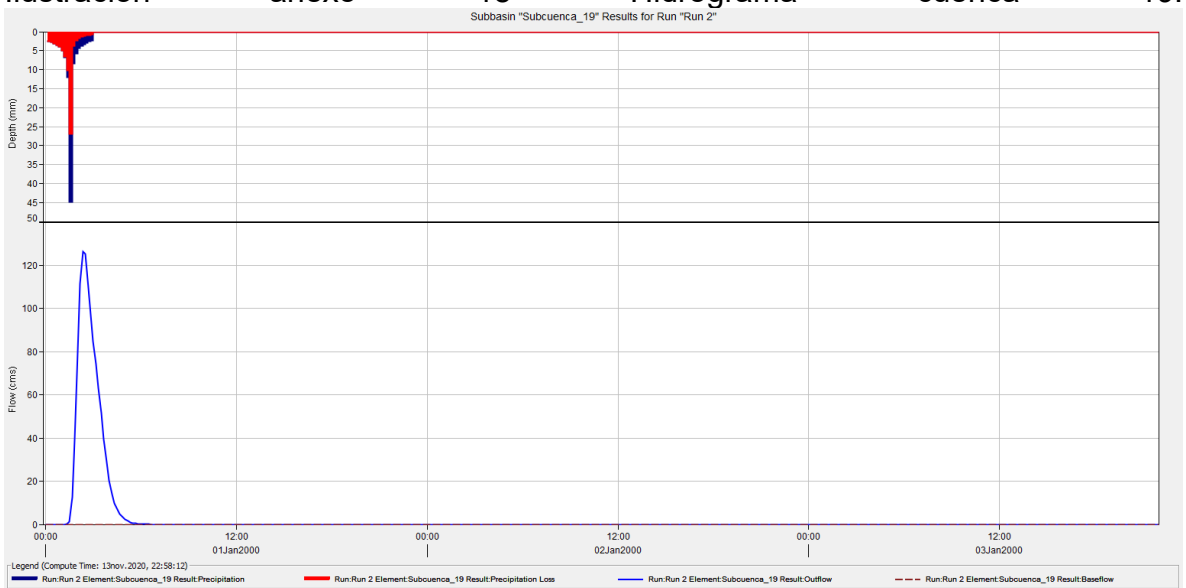
14.8 ANEXOS EN DOCUMENTO.

ÍNDICE DE ANEXO A GRÁFICAS RESULTADOS PROBABILÍSTICOS.

Gráfico anexo. 1 Curva Intensidad Duración Frecuencia Anzoategui.....	115
Gráfico anexo. 2 Curva Intensidad Duración Frecuencia Nariño.	115
Gráfico anexo. 3 Curva Intensidad Duración Frecuencia Venadillo.	116
Gráfico anexo. 4 Curva Intensidad Duración Frecuencia Perales Hato Opia.	116
Gráfico anexo. 5 Curva Intensidad Duración Frecuencia Santa Isabel.....	117
Gráfico anexo. 6 Curva Intensidad Duración Frecuencia Jerusalén.	117
Gráfico anexo. 7 Curva Intensidad Duración Frecuencia Libano.....	118
Gráfico anexo. 8 Curva Intensidad Duración Frecuencia Salto El.	118
Gráfico anexo. 9 Hietograma tr 100 años Venadillo.....	119
Gráfico anexo. 10 Hietograma tr 100 años Santa Isabel.	119
Gráfico anexo. 11 Hietograma tr 100 años Salto el.	120
Gráfico anexo. 12 Hietograma tr 100 años Nariño.....	120
Gráfico anexo. 13 Hietograma tr 100 años Libano.....	121
Gráfico anexo. 14 Hietograma tr 100 años Anzoategui.	121
Gráfico anexo. 15 Hietograma tr 100 años Jerusalen.....	122
Gráfico anexo. 16 Hietograma tr 100 años Perales Hato Opia.	122

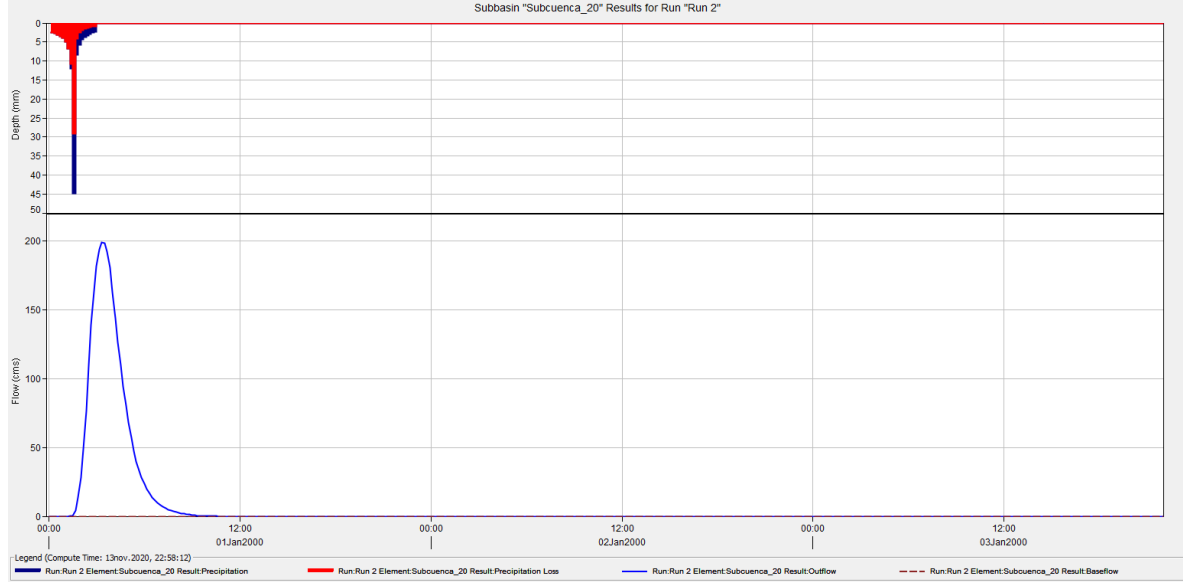
ÍNDICE DE ANEXO B. GRÁFICAS DE RESULTADOS HEC-HMS

Ilustración anexo 1. Hidrograma cuenca 2.....	123
Ilustración anexo 2. Hidrograma cuenca 3.....	123
Ilustración anexo 3 Hidrograma cuenca 4.....	124
Ilustración anexo 4 Hidrograma cuenca 5.....	124
Ilustración anexo 5 Hidrograma cuenca 6.....	125
Ilustración anexo 6 Hidrograma cuenca 7.....	125
Ilustración anexo 7 Hidrograma cuenca 8.....	126
Ilustración anexo 8 Hidrograma cuenca 9.....	126
Ilustración anexo 9 Hidrograma cuenca 10.....	127
Ilustración anexo 10 Hidrograma cuenca 11.....	127
Ilustración anexo 11 Hidrograma cuenca 12.....	128
Ilustración anexo 12 Hidrograma cuenca 13.....	128
Ilustración anexo 13 Hidrograma cuenca 14.....	129
Ilustración anexo 14 Hidrograma cuenca 15.....	129
Ilustración anexo 15 Hidrograma cuenca 16.....	130
Ilustración anexo 16 Hidrograma cuenca 17.....	130
Ilustración anexo 17. Hidrograma cuenca 18.....	131
Ilustración anexo 18 Hidrograma cuenca 19.....	132



132

Ilustración anexo 19 Hidrograma cuenca 20.



..... 132

Ilustración anexo 20 Hidrograma cuenca 21..... 133

Ilustración anexo 21 Hidrograma cuenca 22..... 133

Ilustración anexo 22 Hidrograma cuenca 23..... 134

Ilustración anexo 23 Hidrograma Urbano. 134

Ilustración anexo 24 Hidrograma Urbano 1. 135

Ilustración anexo 25 Hidrograma nodo unión 20..... 135

ÍNDICE DE ANEXO C. TABLAS DE COEFICIENTES.

Tabla anexo 1 Curva número de escorrentías para áreas urbanas.....	136
Tabla anexo 2 Coeficientes de Manning.....	139

ANEXO A GRÁFICAS DE RESULTADOS PROBABILÍSTICOS.

Gráfico anexo. 1 Curva Intensidad Duración Frecuencia Anzoategui.

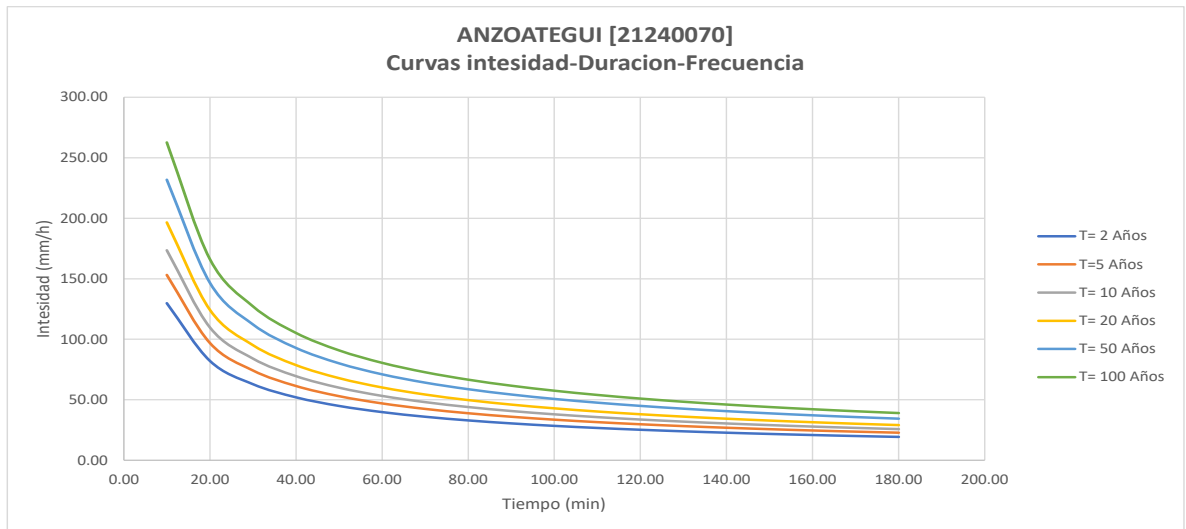


Gráfico anexo. 2 Curva Intensidad Duración Frecuencia Nariño.

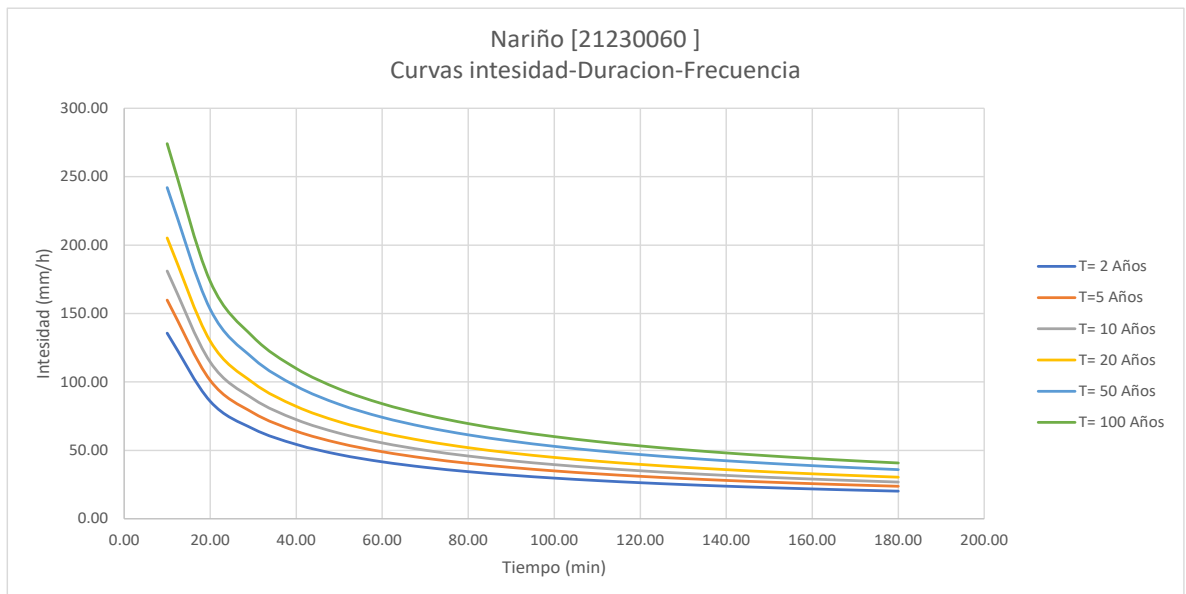


Gráfico anexo. 3 Curva Intensidad Duración Frecuencia Venadillo.

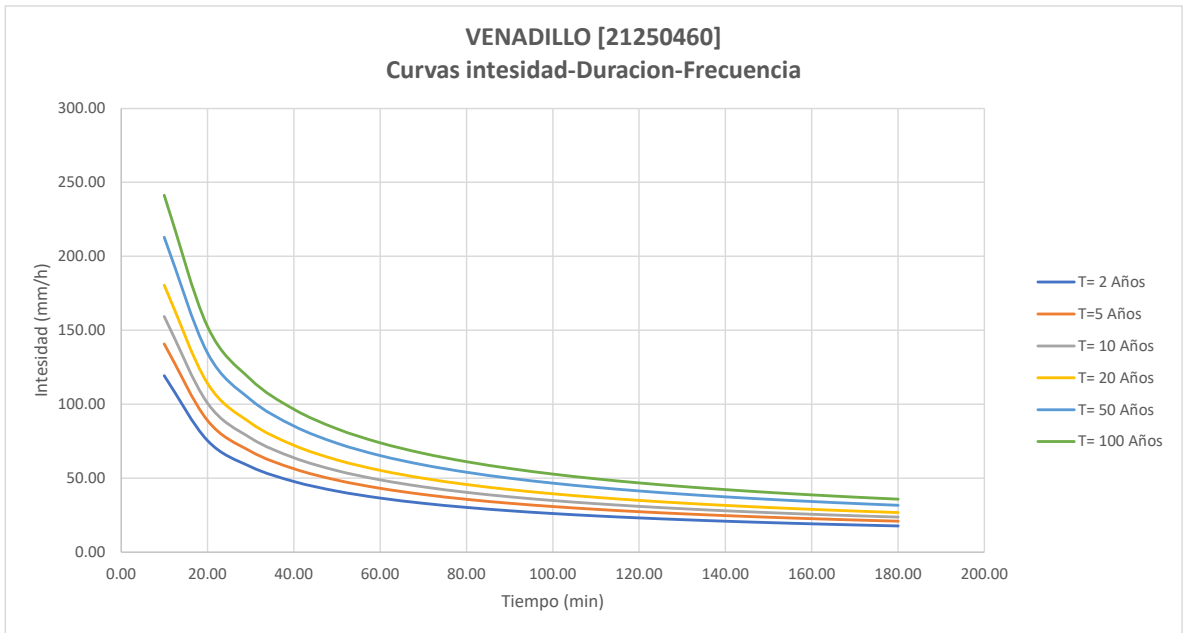


Gráfico anexo. 4 Curva Intensidad Duración Frecuencia Perales Hato Opia.

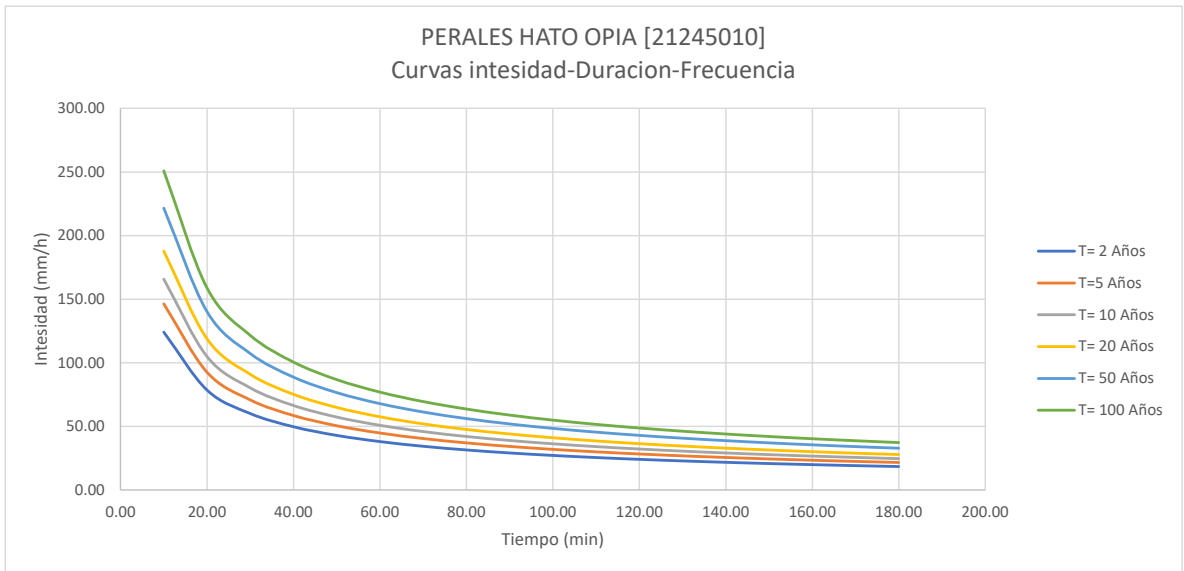


Gráfico anexo. 5 Curva Intensidad Duración Frecuencia Santa Isabel.

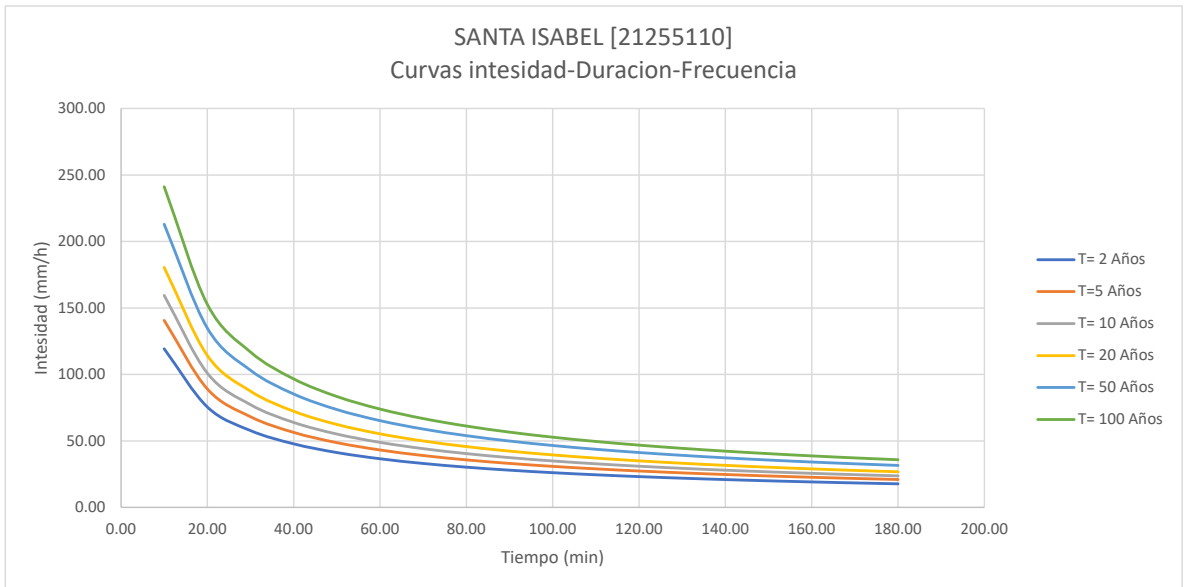


Gráfico anexo. 6 Curva Intensidad Duración Frecuencia Jerusalén.

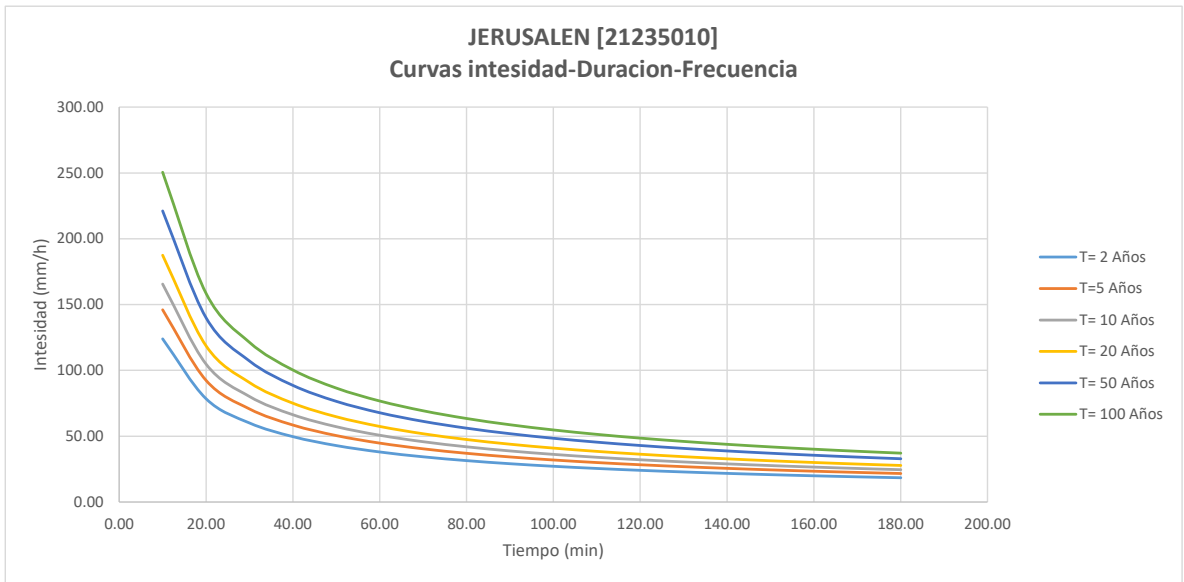


Gráfico anexo. 7 Curva Intensidad Duración Frecuencia Libano.

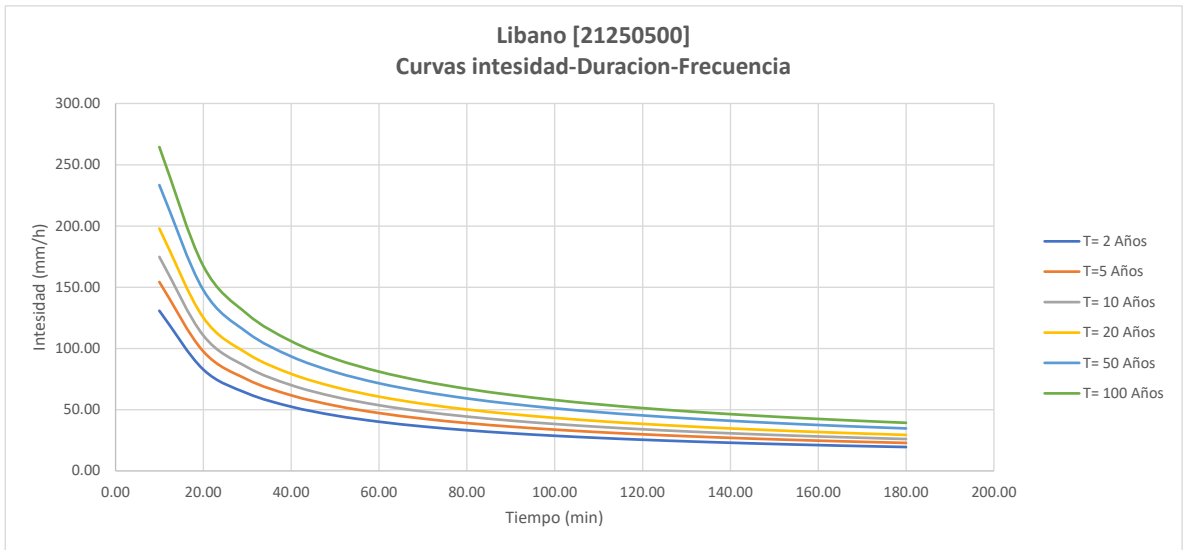


Gráfico anexo. 8 Curva Intensidad Duración Frecuencia Salto El.

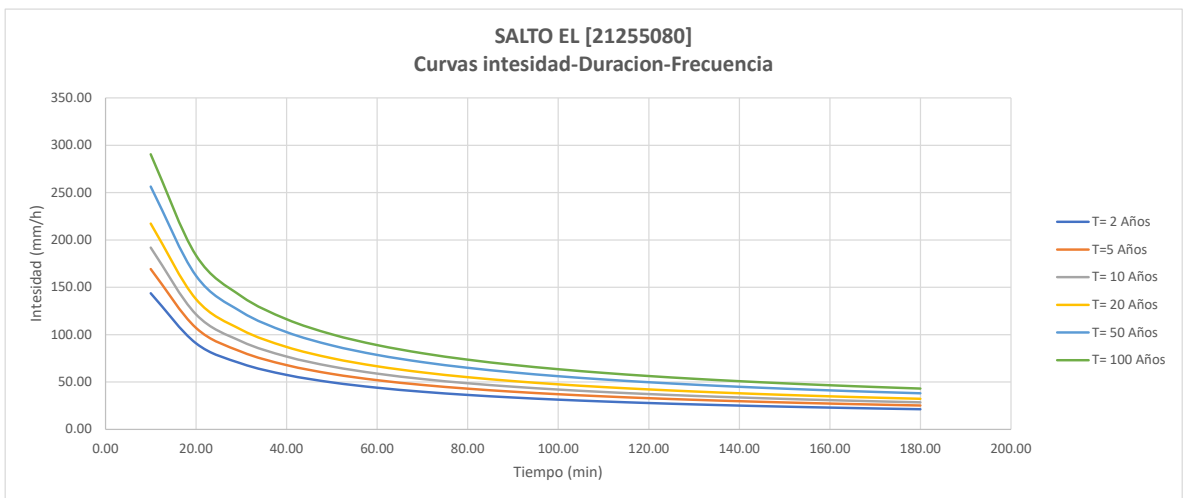


Gráfico anexo. 9 Hietograma tr 100 años Venadillo.

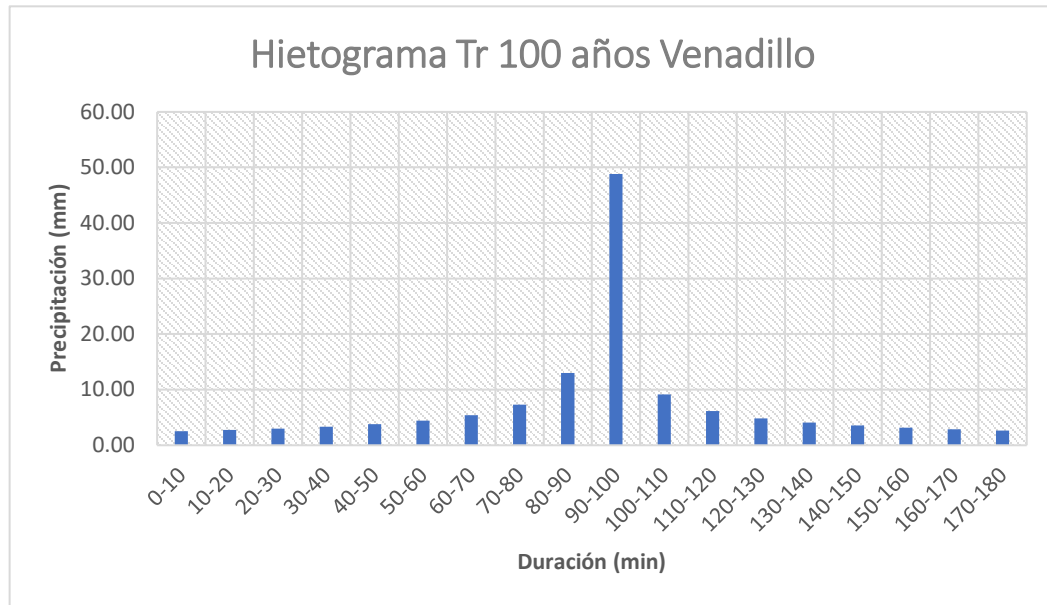


Gráfico anexo. 10 Hietograma tr 100 años Santa Isabel.

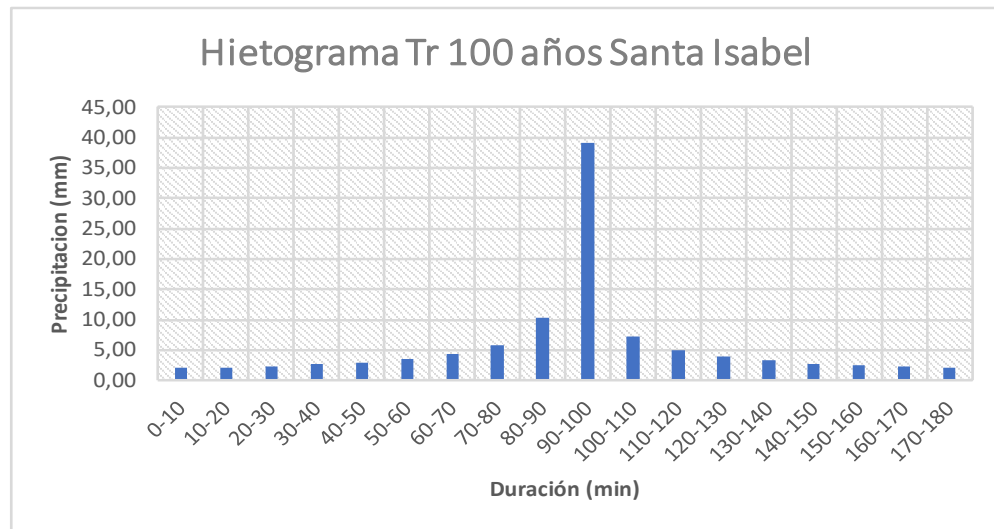


Gráfico anexo. 11 Hietograma tr 100 años Salto el.

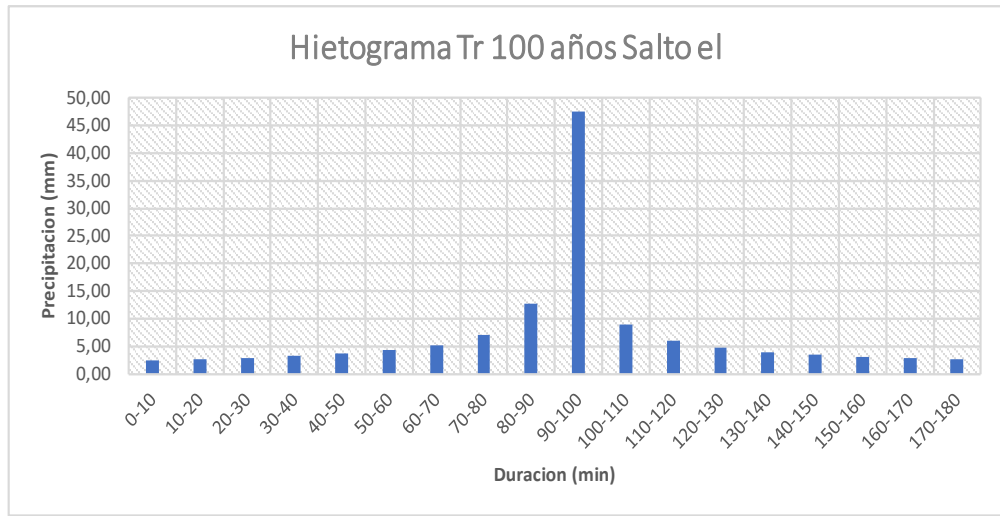


Gráfico anexo. 12 Hietograma tr 100 años Nariño.

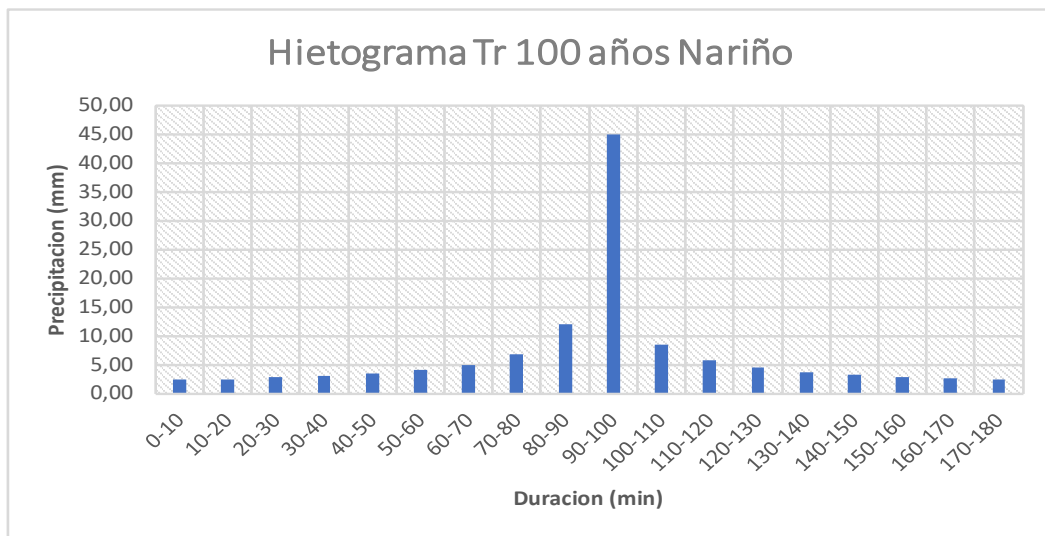


Gráfico anexo. 13 Hietograma tr 100 años Libano.

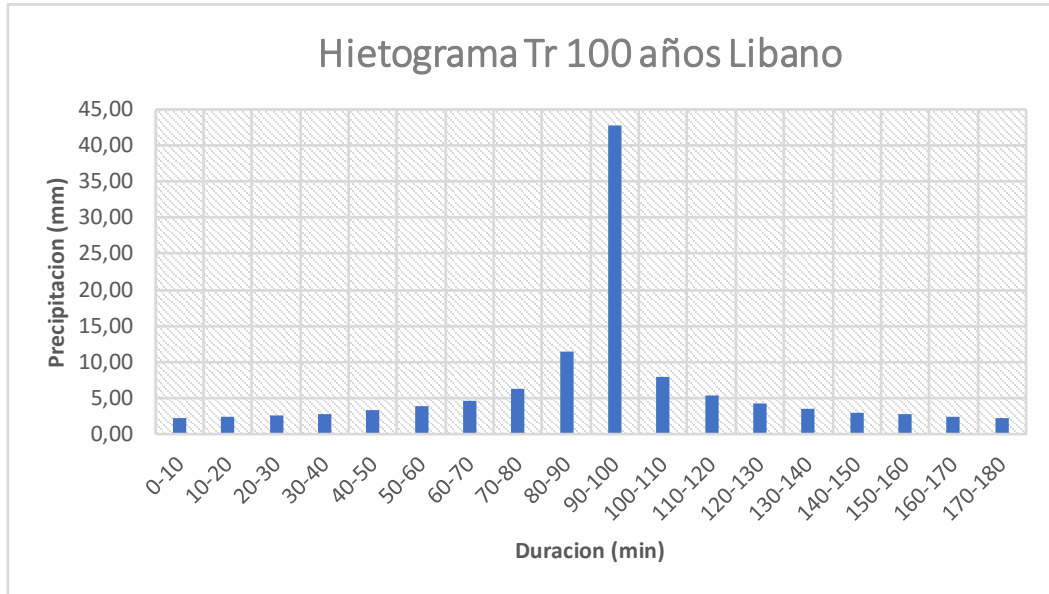


Gráfico anexo. 14 Hietograma tr 100 años Anzoategui.

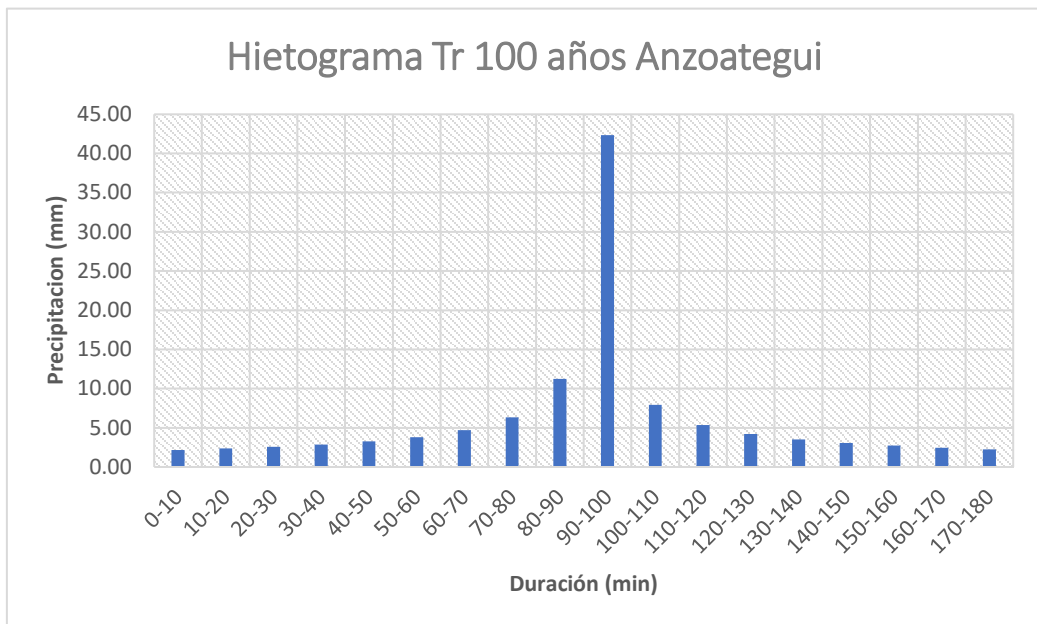


Gráfico anexo. 15 Hietograma tr 100 años Jerusalem.

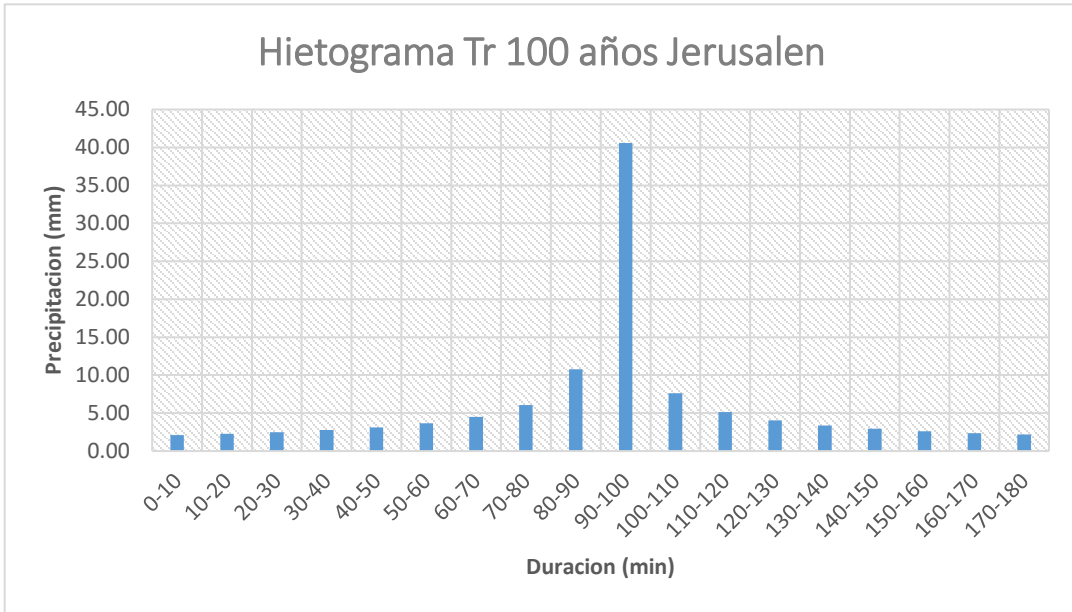
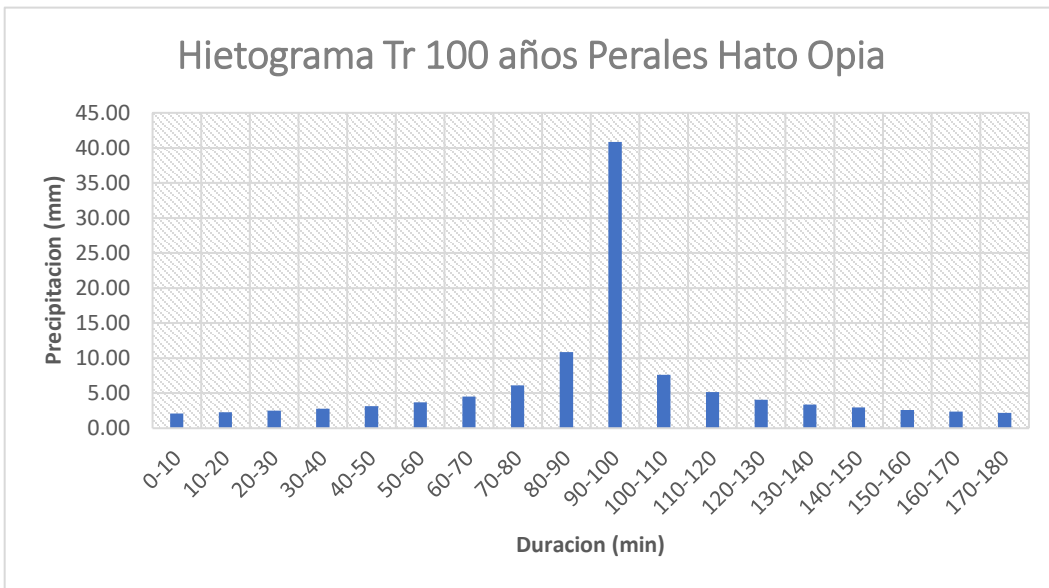


Gráfico anexo. 16 Hietograma tr 100 años Perales Hato Opa.



ANEXO B. RESULTADO HEC-HMS HIDROGRAMAS.

Ilustración anexo 1. Hidrograma cuenca 2.

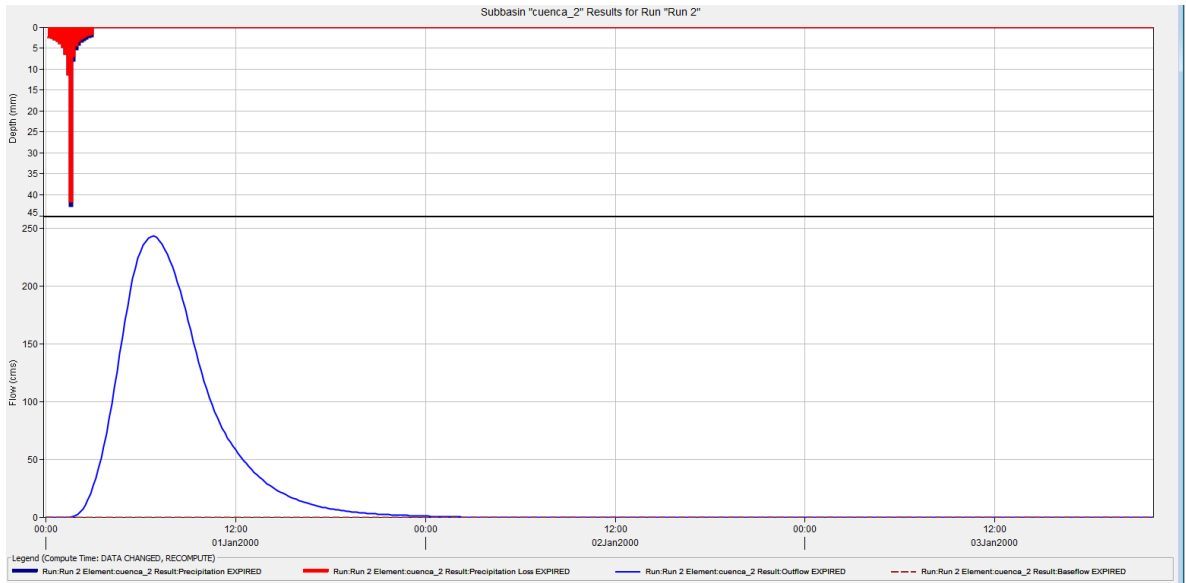


Ilustración anexo 2. Hidrograma cuenca 3.

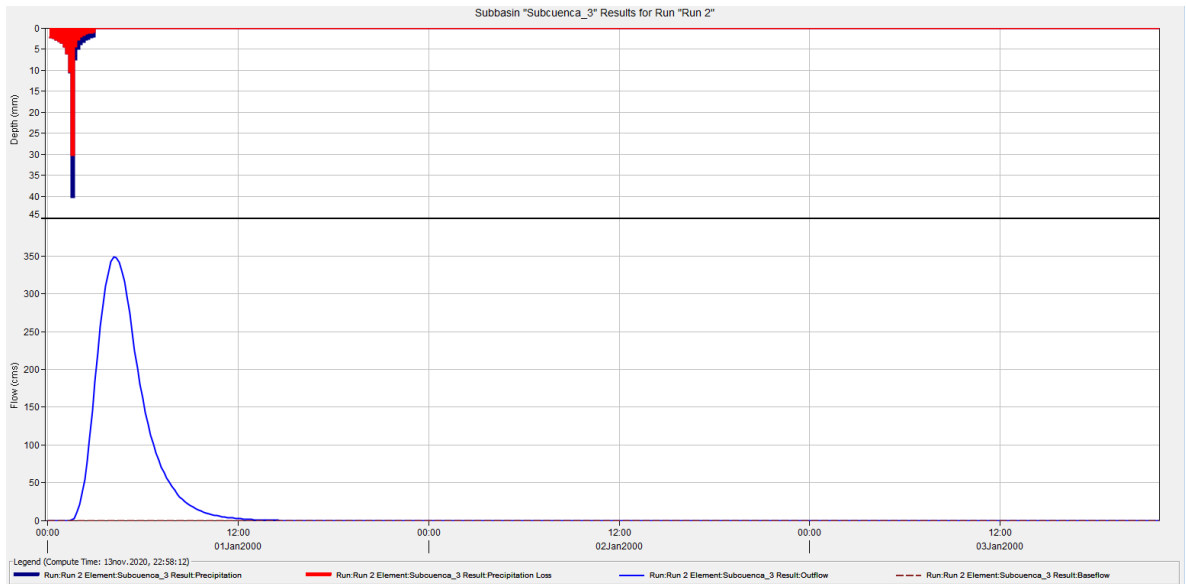


Ilustración anexo 3 Hidrograma cuenca 4.

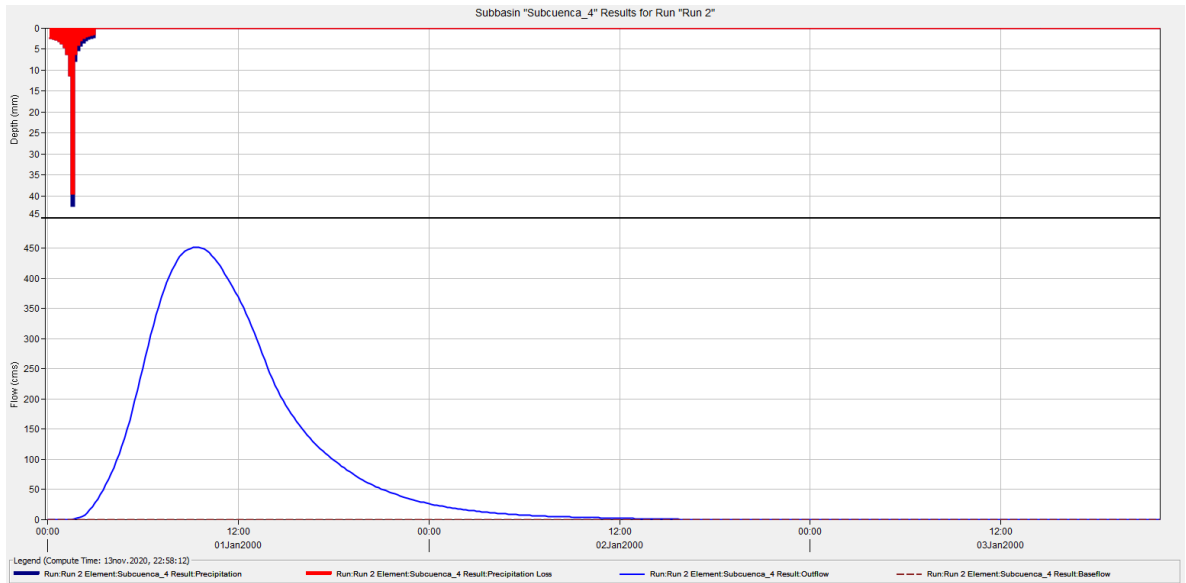


Ilustración anexo 4 Hidrograma cuenca 5.

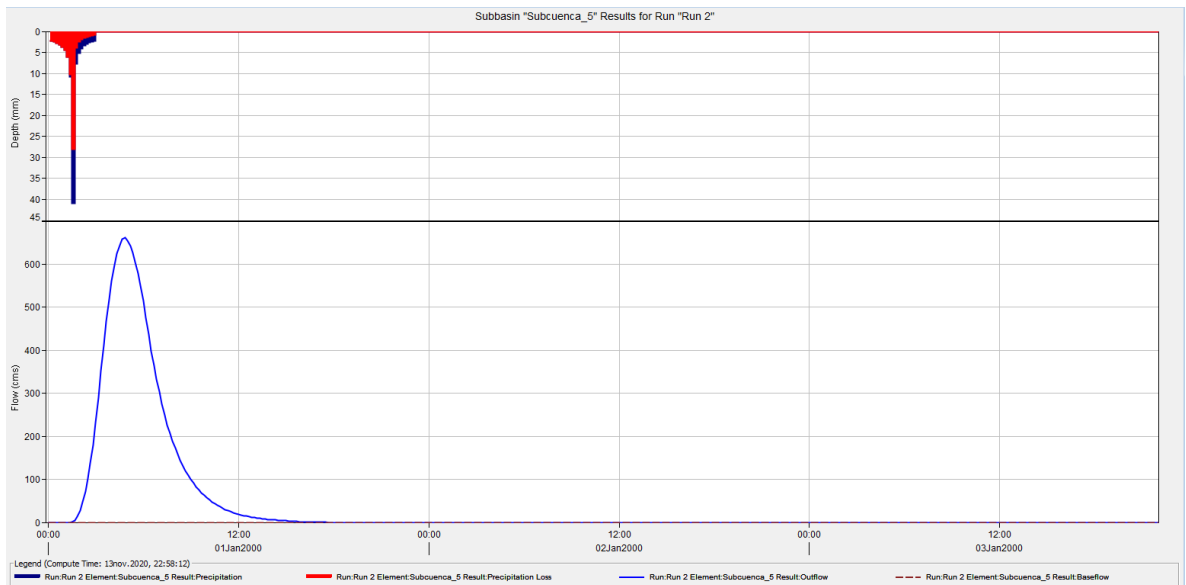


Ilustración anexo 5 Hidrograma cuenca 6.

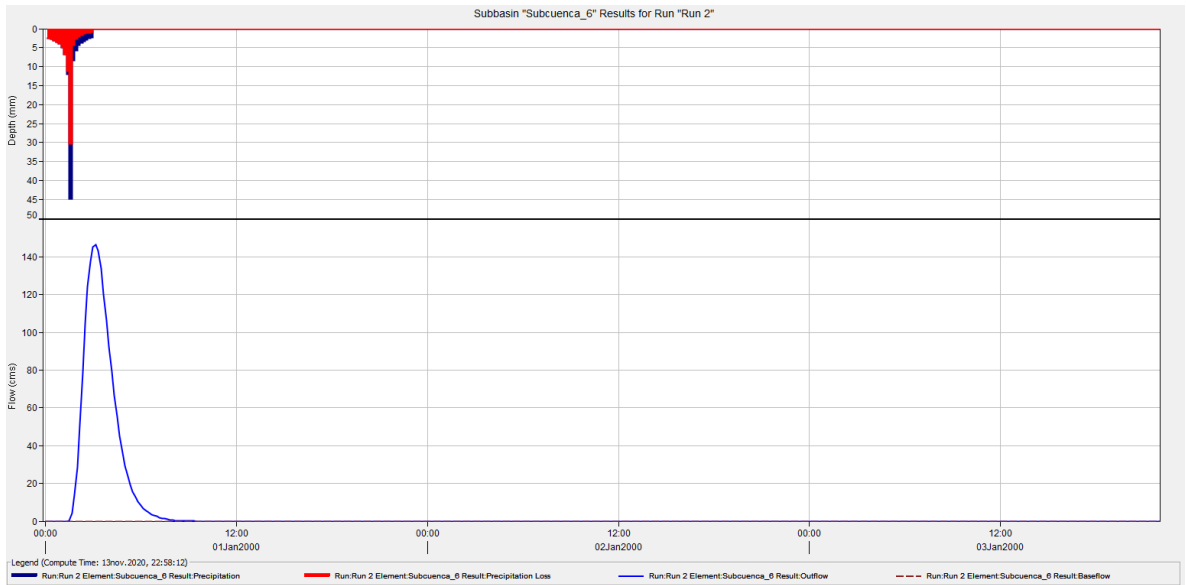


Ilustración anexo 6 Hidrograma cuenca 7.

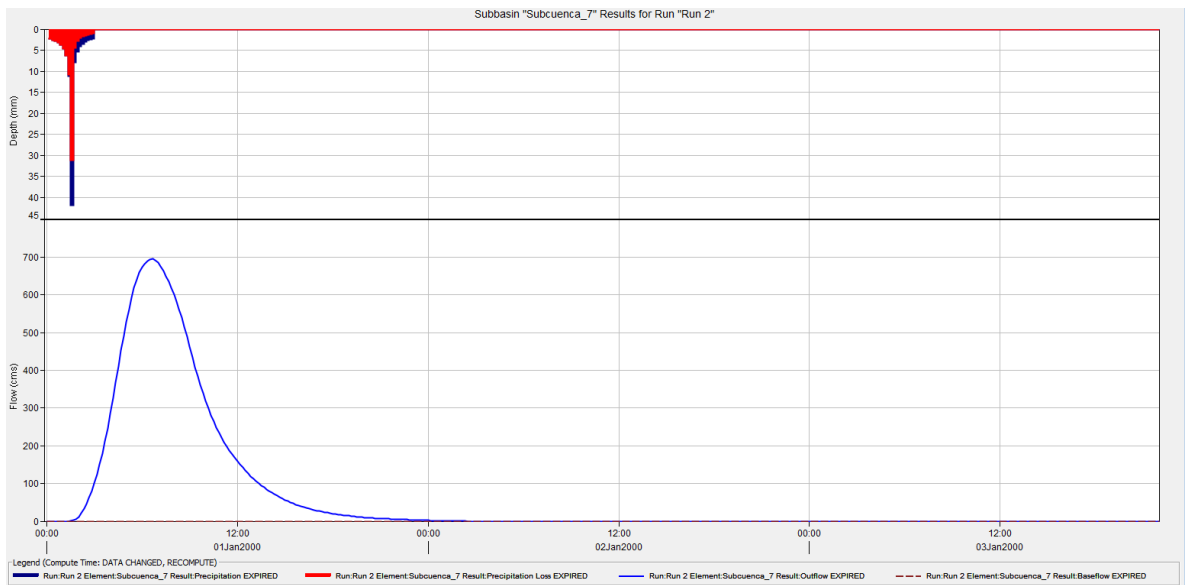


Ilustración anexo 7 Hidrograma cuenca 8.

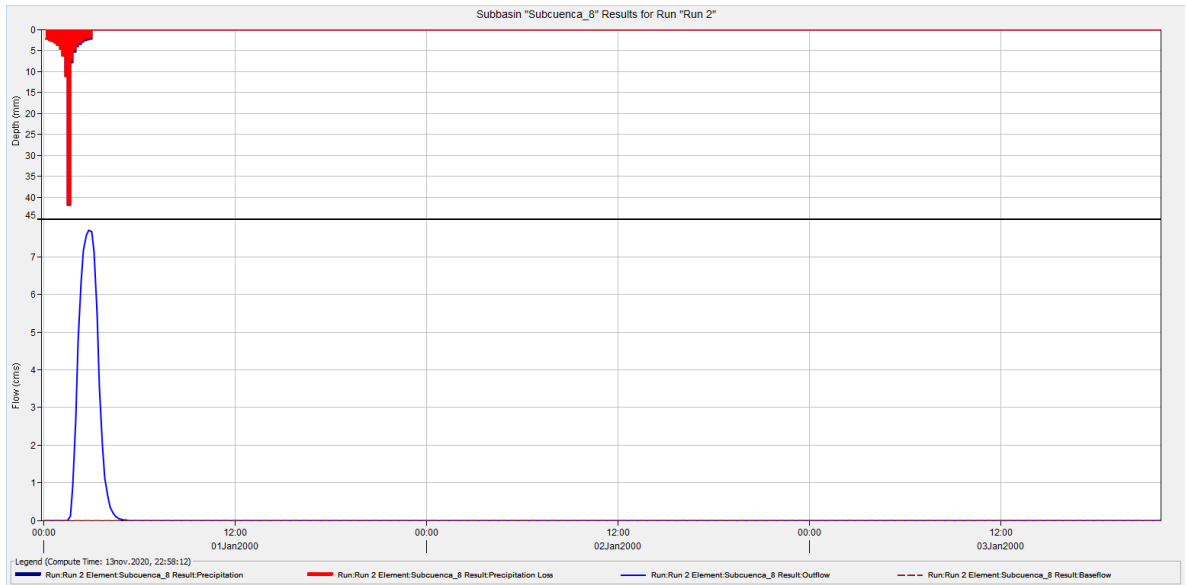


Ilustración anexo 8 Hidrograma cuenca 9.

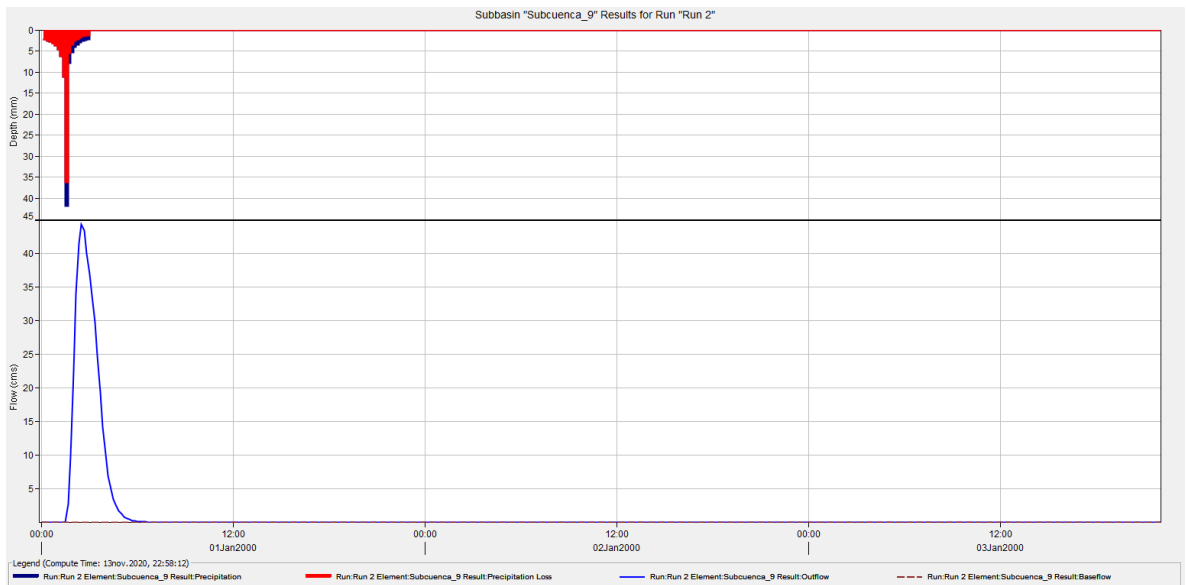


Ilustración anexo 9 Hidrograma cuenca 10

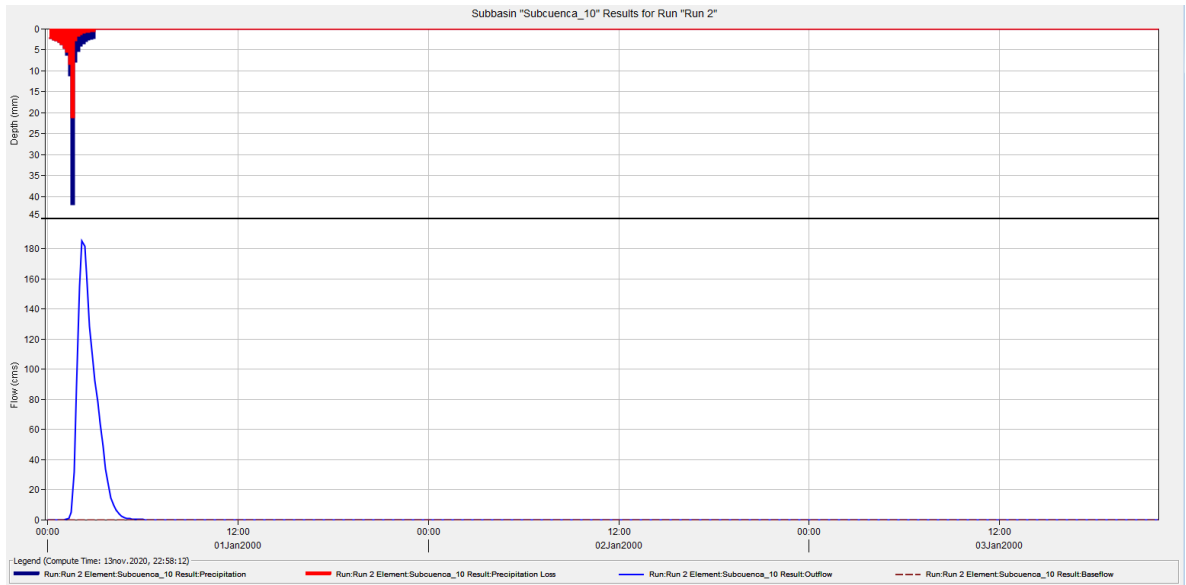


Ilustración anexo 10 Hidrograma cuenca 11.

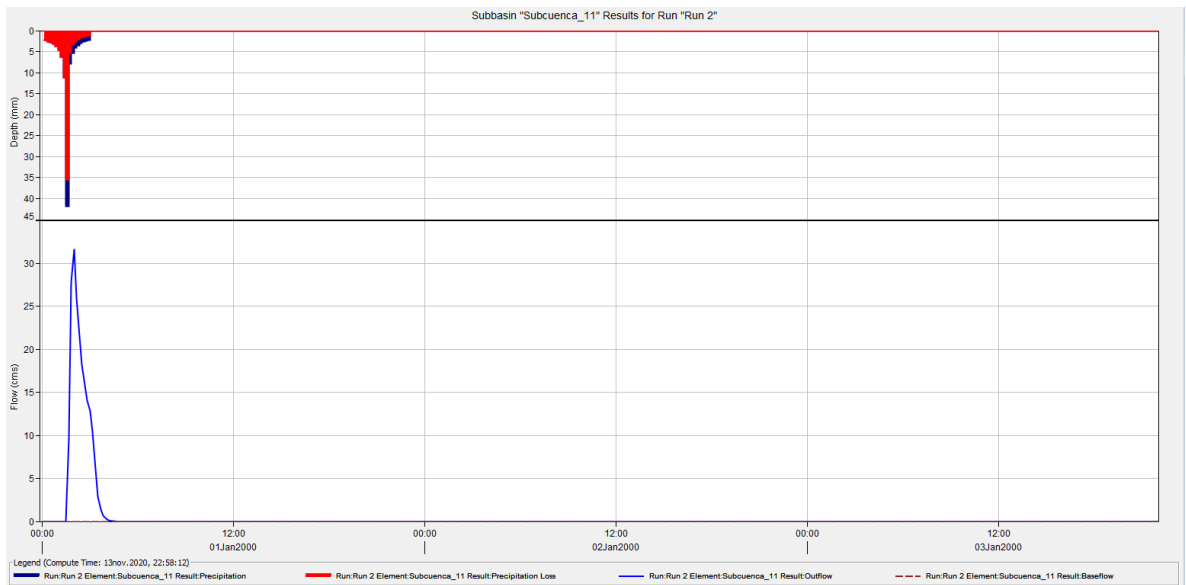


Ilustración anexo 11 Hidrograma cuenca 12.

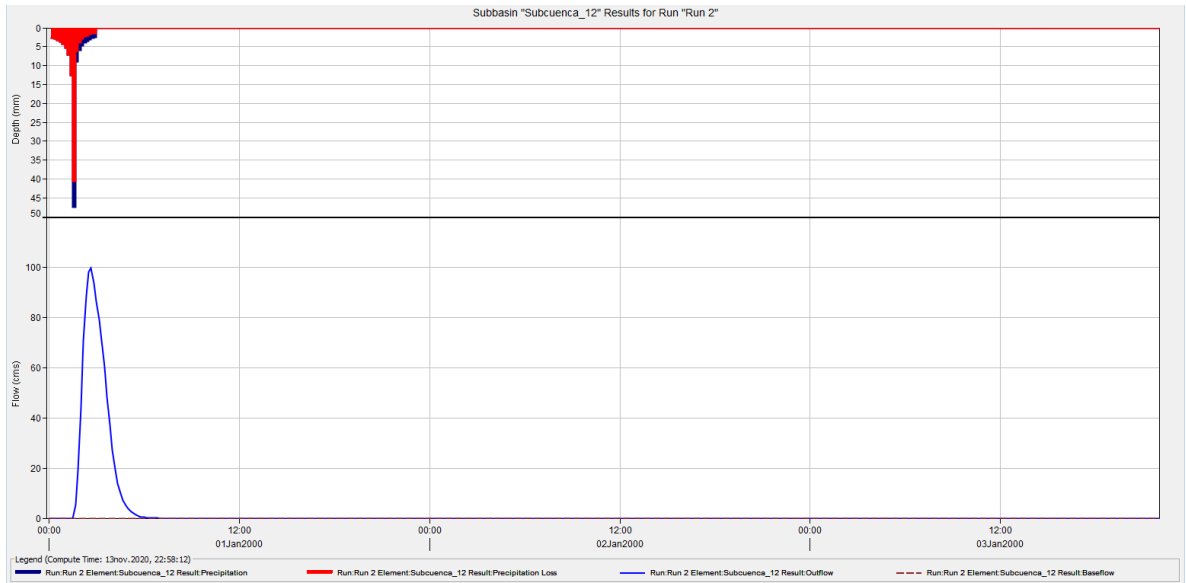


Ilustración anexo 12 Hidrograma cuenca 13.

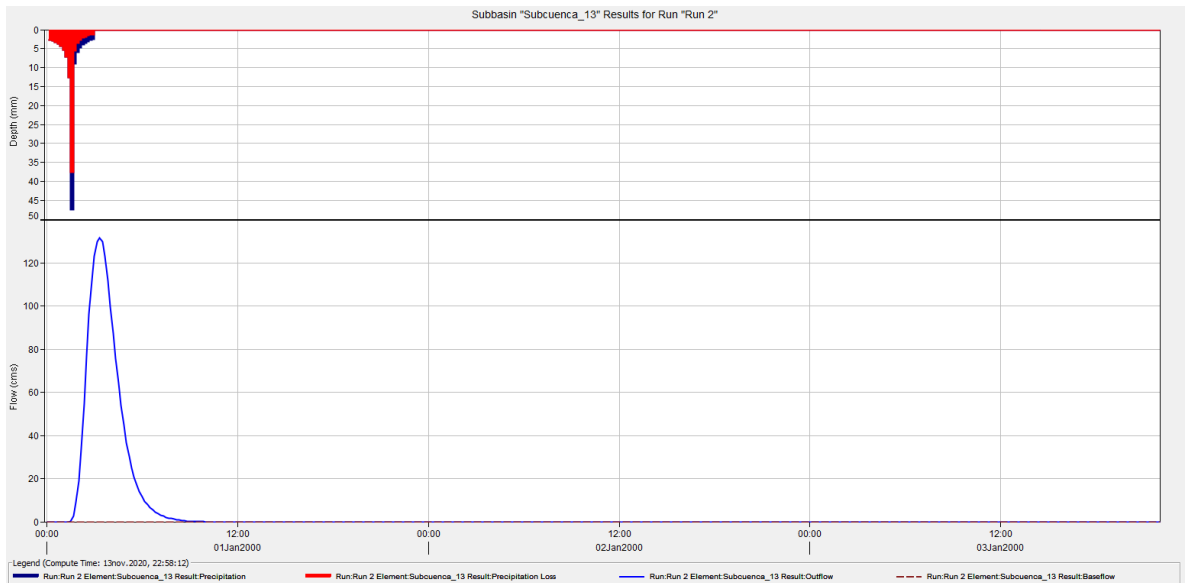


Ilustración anexo 13 Hidrograma cuenca 14.

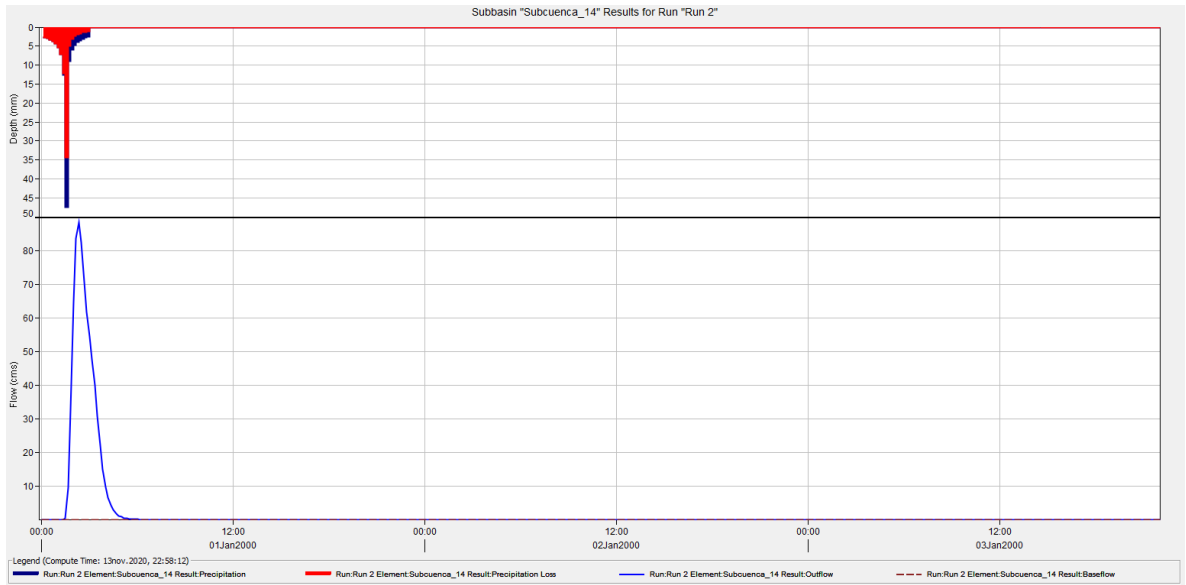


Ilustración anexo 14 Hidrograma cuenca 15.

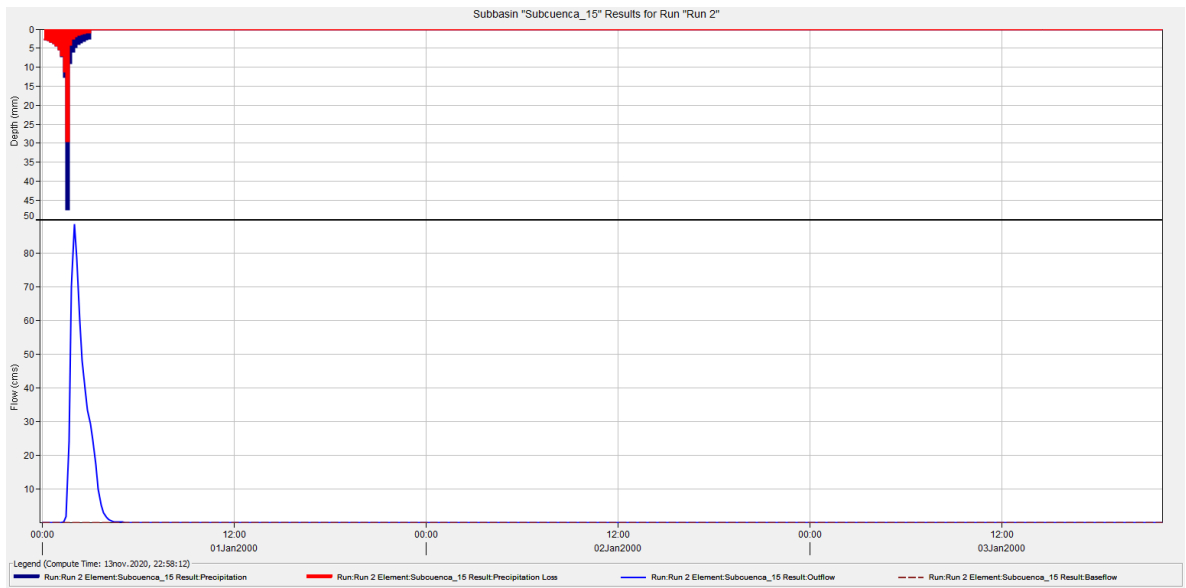


Ilustración anexo 15 Hidrograma cuenca 16.

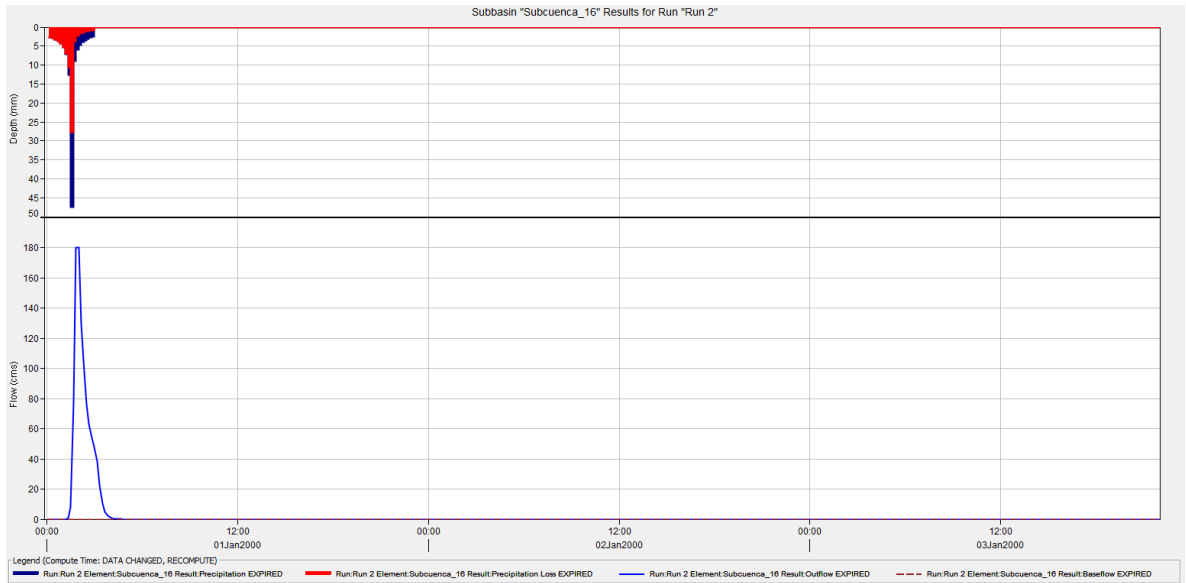


Ilustración anexo 16 Hidrograma cuenca 17.

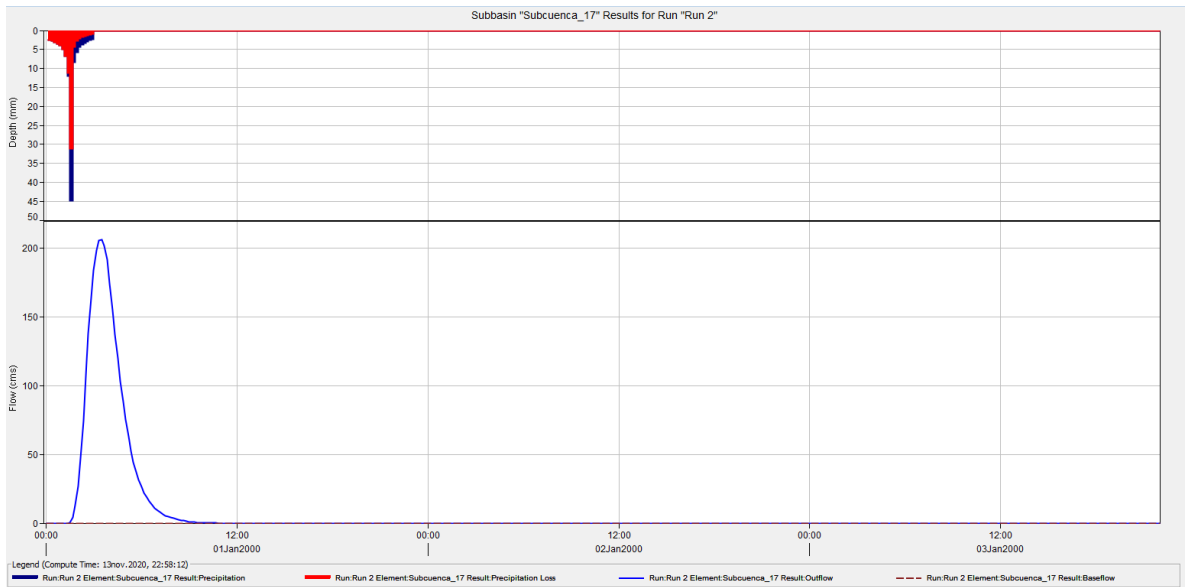


Ilustración anexo 17. Hidrograma cuenca 18.

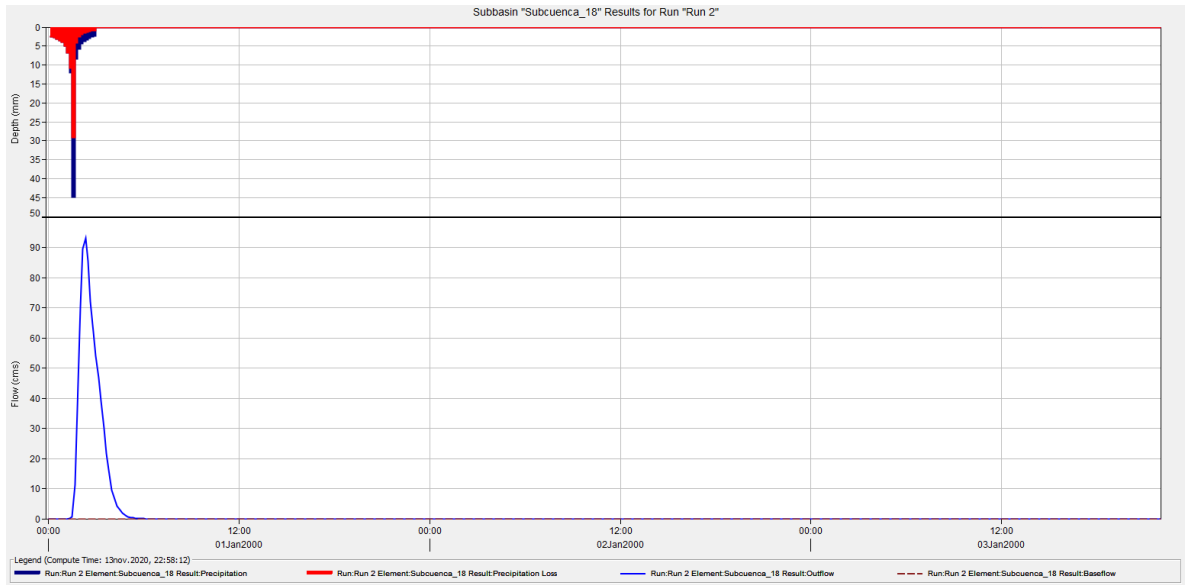


Ilustración anexo 18 Hidrograma cuenca 19.

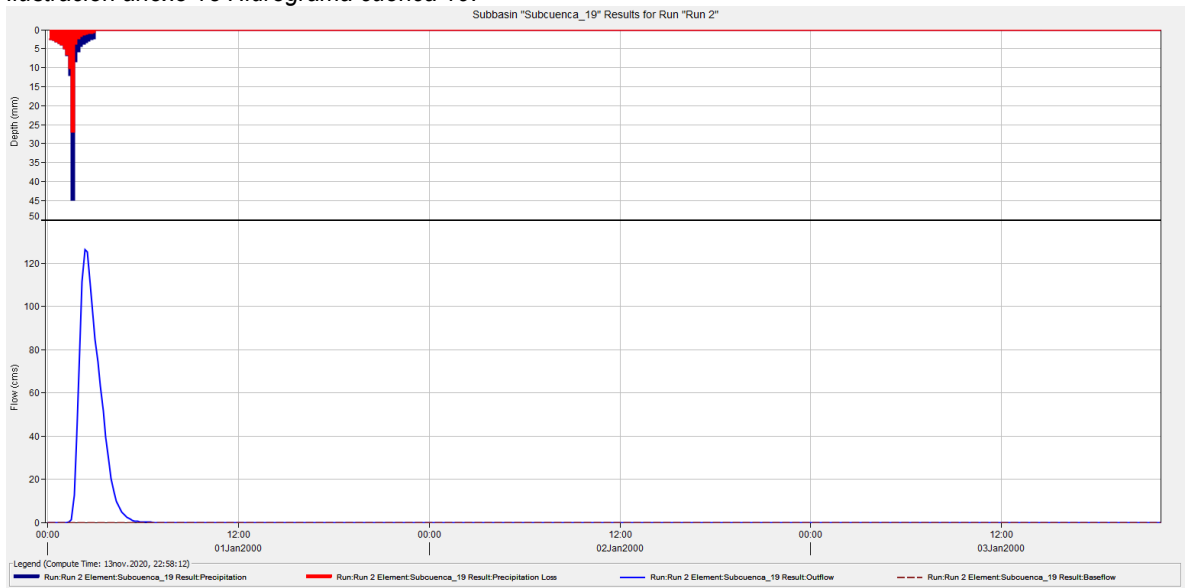


Ilustración anexo 19 Hidrograma cuenca 20.

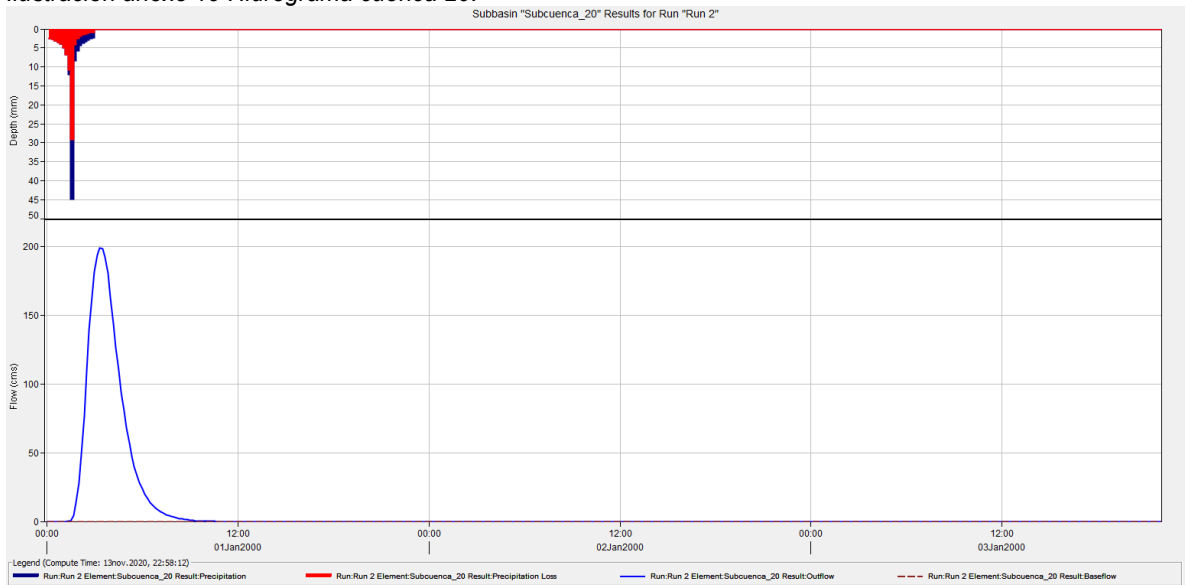


Ilustración anexo 20 Hidrograma cuenca 21.

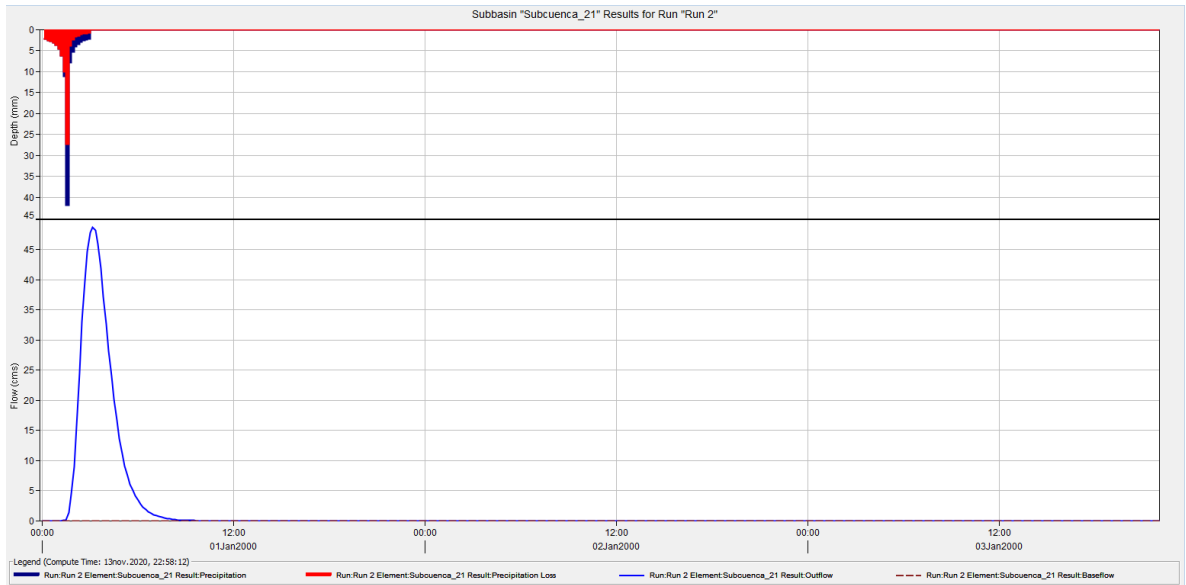


Ilustración anexo 21 Hidrograma cuenca 22.

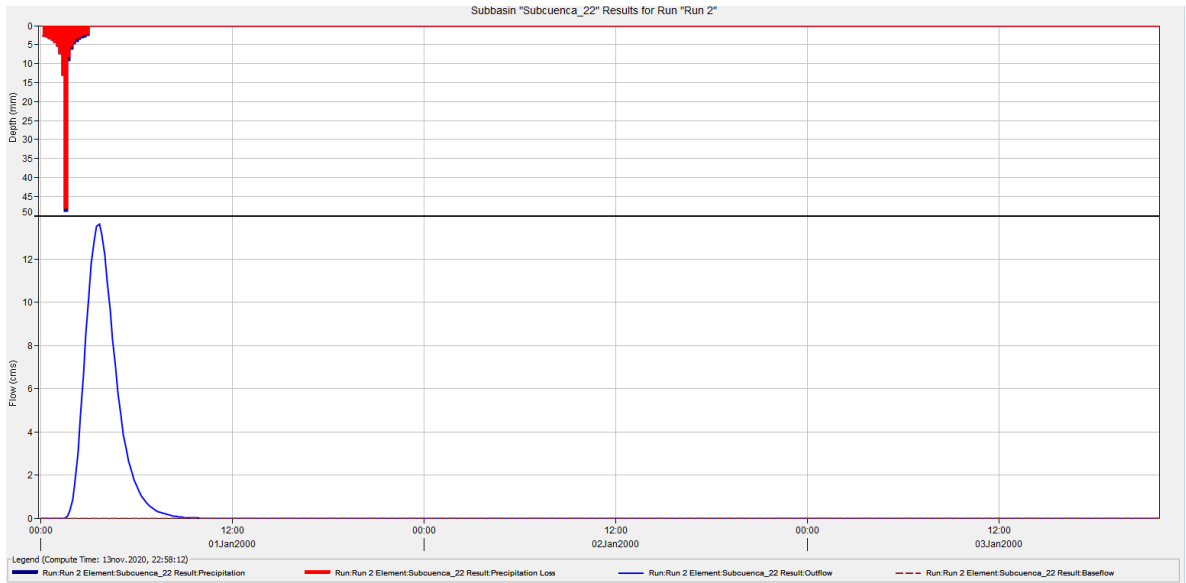


Ilustración anexo 22 Hidrograma cuenca 23.

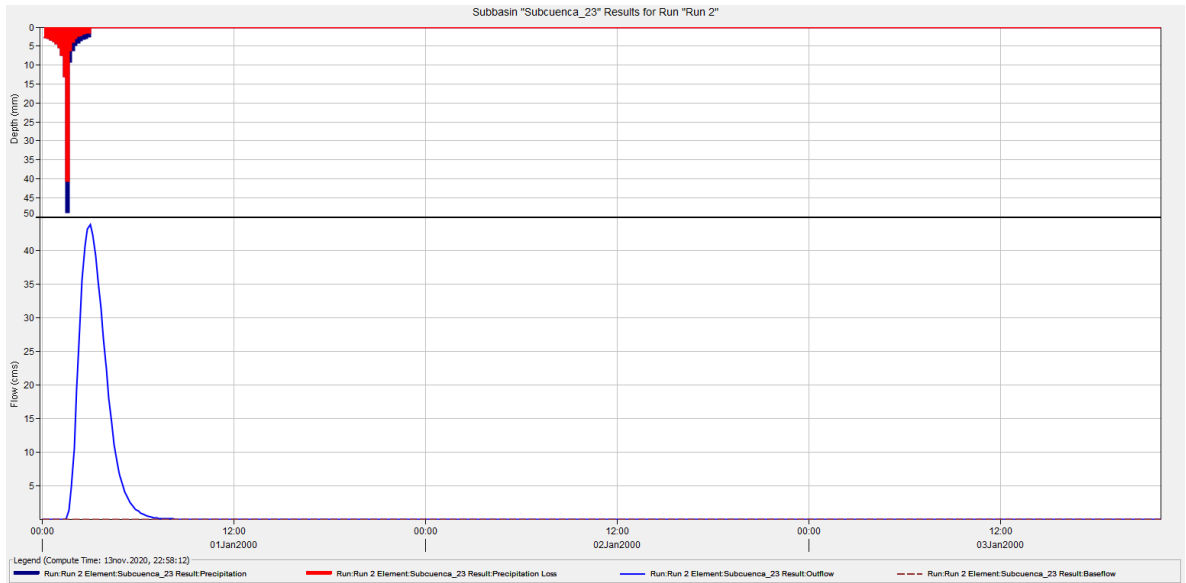


Ilustración anexo 23 Hidrograma Urbano.

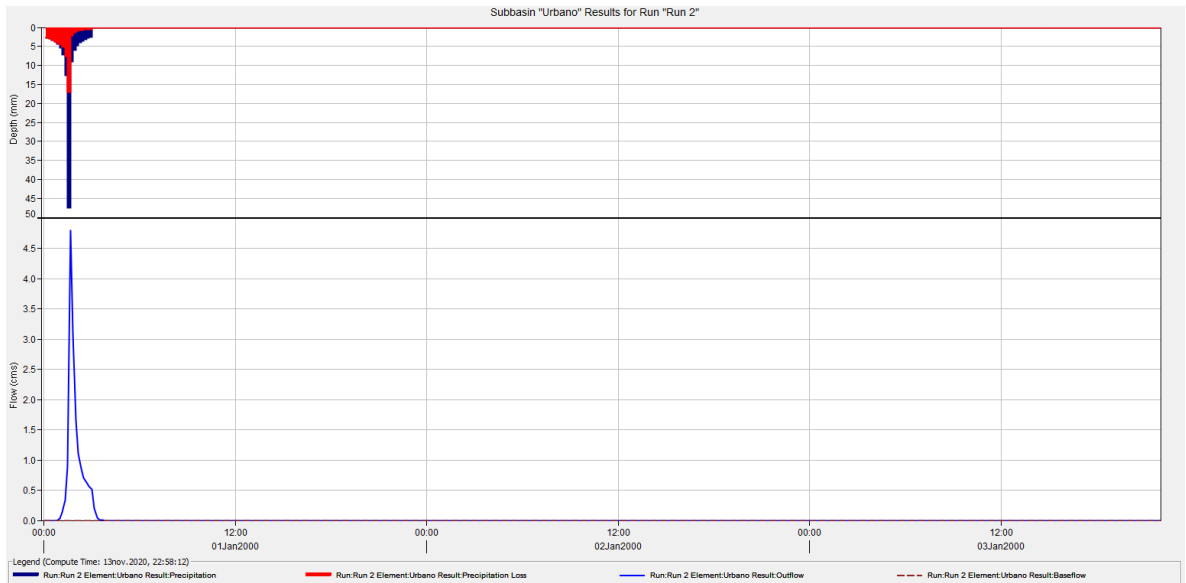


Ilustración anexo 24 Hidrograma Urbano 1.

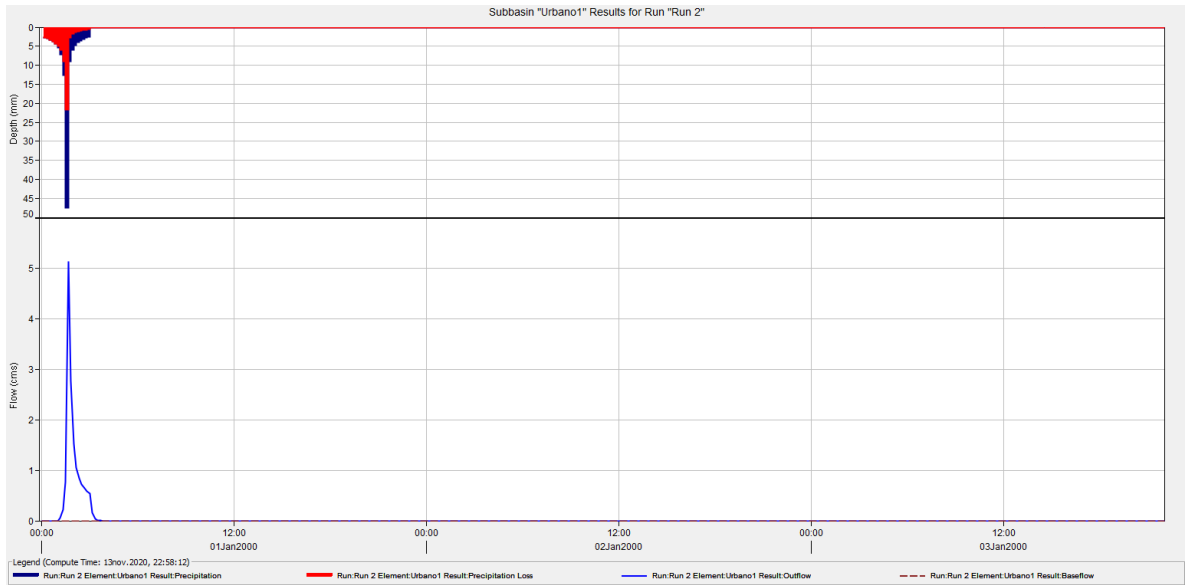
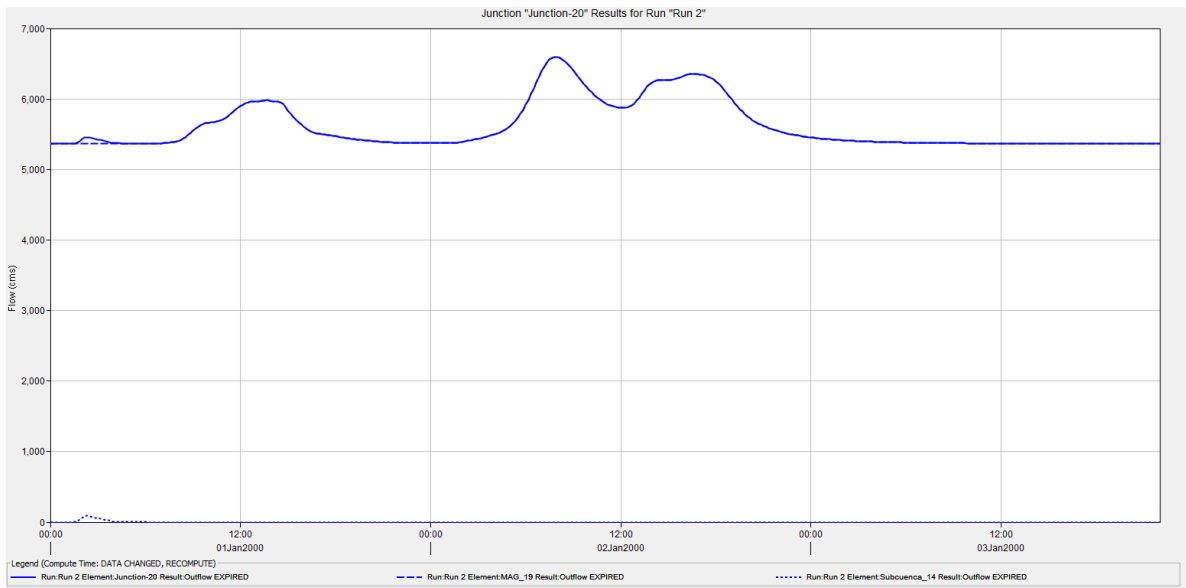


Ilustración anexo 25 Hidrograma nodo unión 20.



2.Tabla de valores para obtención de curva número.

Tabla anexo 1 Curva número de escorrentías para áreas urbanas.

CURVA NUMERO DE ESCORRENTÍAS PARA ÁREAS URBANAS				
LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	Grupos Hidrológicos de Suelo GHS			
	A	B	C	D
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS				
1.1. Zonas urbanizadas				
1.1.1. Tejido urbano continuo (superficie cubierta >80%	89	92	94	95
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	77	85	90	92
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación				
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	84	90	92	94
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	83	89	92	93
1.2.4. Aeropuertos	89	92	94	95
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras				
1.3.1. Zonas de extracción minera	77	86	91	94
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas				
1.4.1. Zonas verdes urbanas	63	77	85	88
1.4.2. Instalaciones recreativas	63	77	85	88
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS				
2.1. Cultivos transitorios				
2.1.1. Otros cultivos transitorios	74	83	88	90
2.1.2. Cereales (Arroz principalmente, maíz, cebada, trigo)	61	73	81	84
LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	Grupos Hidrológicos de Suelo GHS			
	A	B	C	D
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas (algodón)	67	78	85	89
2.1.5. Tubérculos (Papa)	72	81	88	91
2.2. Cultivos permanentes				
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos				
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos (plátano, banano, etc.)	66	77	85	89
2.2.1.2. Caña (Azúcar y/o panelera)	55	69	78	83
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos (café)	48	68	79	83

2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos				
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos (cítricos, palmas, mago, etc.)	30	55	70	77
2.2.4. Cultivos agroforestales (pastos o cultivos con árboles plantados Combinados)	49	69	79	84
2.3. Pastos				
2.3.1. Pastos limpios	49	69	79	84
2.3.2. Pastos arbolados	39	61	74	80
2.3.3. Pastos enmalezados	30	71	81	89
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas				
2.4.1. Mosaico de cultivos	55	69	78	83
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	49	69	79	84
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	51	67	76	80
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	35	56	70	77
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	35	56	70	77
3. BOSQUES NATURALES Y ÁREAS PARCIALMENTE INTERVENIDAS				
3.1. Bosques				
3.1.1. Bosque denso				
3.1.1.1 Bosque denso alto				
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	36	60	73	79
3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	30	55	70	77
3.1.1.2 Bosque denso bajo (de tierra firme)	36	60	73	79
3.1.2. Bosque abierto				
3.1.2.1 Bosque abierto alto				
3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	36	60	73	79
3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	30	55	70	77
3.1.2.2 Bosque abierto bajo				
3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	36	60	73	79
3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	30	55	70	77
3.1.3. Bosque fragmentado				
LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA			Grupos Hidrológicos de Suelo GHS	
			A	B
3.1.3.1 Bosque fragmentado con pastos y cultivos	45	66	77	83
3.1.3.2 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	43	65	76	82
3.1.4. Bosque de galería y ripario	30	55	70	77

3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	35	56	70	77
3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	49	69	79	84
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	49	69	79	84
3.2.1.2. Herbazal abierto (rocoso)	48	67	77	83
3.2.2. Arbustal				
3.2.2.1. Arbustal denso	30	48	65	73
3.2.2.2. Arbustal abierto	35	56	70	77
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición				
3.2.3.1 Vegetación secundaria alta	38	63	75	82
3.2.3.2 Vegetación secundaria baja	38	63	75	82
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación				
3.3.1. Zonas arenosas naturales (Playas - arenas)	63	77	85	88
3.3.2. Afloramientos rocosos	98	98	98	98
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	77	86	91	94
3.3.4. Zonas quemadas	45	66	77	83
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	100	100	100	100
4. ÁREAS HÚMEDAS				
4.1. Áreas húmedas continentales				
4.1.1. Zonas Pantanosas	30	58	71	78
4.1.2. Turberas	30	58	71	78
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	100	100	100	100
5. SUPERFICIES DE AGUA				
5.1. Aguas continentales				
5.1.1. Ríos (50 m)	100	100	100	100
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	100	100	100	100
5.1.3. Canales	100	100	100	100
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	100	100	100	100

Fuente: SCS 1964.

Tabla anexo 2 Coeficientes de Manning.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA – COLOMBIA			
	MANNING		
	Mínimo	Normal	Máximo
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS			
1.1. Zonas urbanizadas			
1.1.1. Tejido urbano continuo	0.01	0.011	0.013
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0.011	0.013	0.015
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de Comunicación			
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0.01	0.011	0.013
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0.016	0.016	
1.2.3. Zonas portuarias	0.01	0.011	0.013
1.2.4. Aeropuertos	0.01	0.011	0.013
1.2.5. Obras hidráulicas	0.013	0.013	
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras			
1.3.1. Zonas de extracción minera	0.016	0.018	0.02
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	0.016	0.018	0.02
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas			
1.4.1. Zonas verdes urbanas	0.025	0.03	0.035
1.4.2. Instalaciones recreativas	0.013	0.013	
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS			
2.1. Cultivos transitorios			
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.025	0.035	0.045
2.1.2. Cereales	0.03	0.04	0.05
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	0.025	0.035	0.045
2.1.4. Hortalizas	0.025	0.035	0.045
2.1.5. Tubérculos	0.025	0.035	0.045
2.2. Cultivos permanentes			
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	0.03	0.04	0.05

2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.03	0.04	0.05
2.2.1.2. Caña	0.03	0.04	0.05
2.2.1.3. Plátano y banano	0.03	0.04	0.05
2.2.1.4. Tabaco	0.03	0.04	0.05
2.2.1.5. Papaya	0.025	0.035	0.045
2.2.1.6. Amapola	0.025	0.035	0.045
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	0.03	0.04	0.05
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	0.03	0.04	0.05
2.2.2.2. Café	0.03	0.04	0.05
2.2.2.3. Cacao	0.03	0.04	0.05
2.2.2.4. Viñedos	0.03	0.04	0.05
2.2.2.5. Coca	0.03	0.04	0.05
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.03	0.04	0.05
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.03	0.04	0.05
2.2.3.2. Palma de aceite	0.03	0.04	0.05
2.2.3.3. Cítricos	0.03	0.04	0.05
2.2.3.4. Mango	0.03	0.04	0.05
2.2.4. Cultivos agroforestales	0.03	0.04	0.05
2.2.5. Cultivos confinados	0.03	0.04	0.05
2.3. Pastos			
2.3.1. Pastos limpios	0.025	0.03	0.035
2.3.2. Pastos arbolados	0.025	0.03	0.035
2.3.3. Pastos enmalezados	0.025	0.03	0.035
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas			
2.4.1. Mosaico de cultivos	0.03	0.04	0.05
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0.03	0.035	0.05
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.03	0.04	0.05
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0.03	0.035	0.05
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	0.03	0.04	0.05
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES			

3.1. Bosques			
3.1.1. Bosque denso	0.03	0.035	0.05
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	0.03	0.035	0.04
3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	0.04	0.05	0.06
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	0.04	0.05	0.06
3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	0.04	0.05	0.06
3.1.2. Bosque abierto	0.04	0.05	0.06
3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	0.03	0.035	0.05
3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	0.03	0.035	0.05
3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	0.03	0.035	0.05
3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	0.03	0.035	0.05
3.1.3. Bosque fragmentado	0.03	0.04	0.05
3.1.4. Bosque de galería y ripario	0.03	0.045	0.06
3.1.5. Plantación forestal	0.03	0.035	0.05
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva			
3.2.1.1. Herbazal denso			
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	0.03	0.04	0.05
3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	0.03	0.05	0.07
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	0.03	0.06	0.08
3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	0.03	0.05	0.07
3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	0.03	0.05	0.07
3.2.1.1.2.3. Arracachal	0.025	0.035	0.045
3.2.1.1.2.4. Helechal	0.025	0.035	0.045
3.2.1.2. Herbazal abierto	0.025	0.035	0.045

3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	0.03	0.05	0.07
3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	0.03	0.035	0.04
3.2.2.1. Arbustal denso	0.03	0.05	0.07
3.2.2.2. Arbustal abierto	0.03	0.04	0.05
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	0.03	0.04	0.05
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación			
3.3.1. Zonas arenosas naturales	0.03	0.04	0.05
3.3.2. Afloramientos rocosos	0.03	0.035	0.04
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	0.035	0.05	0.07
3.3.4. Zonas quemadas	0.03	0.04	0.05
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	0.011	0.013	0.015
4. ÁREAS HÚMEDAS			
4.1. Áreas húmedas continentales			
4.1.1. Zonas Pantanosas	0.045	0.07	0.11
4.1.2. Turberas	0.045	0.07	0.11
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0.045	0.07	0.11
4.2. Áreas húmedas costeras			
4.2.1. Pantanos costeros	0.045	0.07	0.11
4.2.2. Salitral	0.045	0.07	0.11
4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	0.045	0.07	0.11
5. SUPERFICIES DE AGUA			
5.1. Aguas continentales			
5.1.1. Ríos (50 m)			
limpio, recto, etapa completa, sin grietas o piscinas profundas	0.025	0.03	0.033
lo mismo que arriba, pero más piedras y malezas	0.03	0.035	0.04
limpio, sinuoso, algunas piscinas y bancos de arena	0.033	0.04	0.045
lo mismo que arriba, pero algunas malezas y piedras	0.035	0.045	0.05

igual que el anterior, etapas inferiores, pendientes y secciones más ineficaces	0.04	0.048	0.055
lo mismo que "d" con más piedras	0.045	0.05	0.06
alcances lentos, malezas, estanques profundos	0.05	0.07	1.06
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0.05	0.07	0.08
5.1.3. Canales			
Cemento	0.011	0.013	0.015
Revestimiento vegetal	0.03		0.5
limpio, recientemente completado	0.016	0.018	0.02
limpio, después de la intemperie	0.018	0.022	0.025
grava, sección uniforme, limpia	0.022	0.025	0.03
con hierba corta, pocas malezas	0.022	0.027	0.033
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	n/a	0.07	n/a

Fuente: scs 1964

15. FIRMAS DE ACEPTACIÓN.

Firma Estudiante 1

Jonathan Steven Arias López

Correo: jsarias29@ucatolica.edu.co

Código: 506229

Firma Estudiante 2

Juan David Correa Ospino

Correo: jdcorrea91@ucatolica.edu.co

Código: 506291

Firma Asesor del Anteproyecto

Henry Alberto Córdoba Romero

Correo: hacordoba@ucatolica.edu.co

BOGOTÁ, D. C., 17 DE NOVIEMBRE DE 2020