

**MODELACIÓN HIDROLOGICA A LA CUENCA EL HATO (CUNDINAMARCA)  
COMPARANDO LOS DIFERENTES RESULTADOS DE PERDIDAS POR  
INFILTRACIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL HEC-HMS**

**PEDRO ALEJANDRO RAMÍREZ LÓPEZ  
KAREN DAHYANA VELASCO MATEUS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
19 DE MAYO  
2019**

**MODELACIÓN HIDROLOGICA A LA CUENCA EL HATO (CUNDINAMARCA)  
COMPARANDO LOS DIFERENTES RESULTADOS DE PERDIDAS POR  
INFILTRACIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL HEC-HMS**

**PEDRO ALEJANDRO RAMÍREZ LÓPEZ**

**KAREN DAHYANA VELASCO MATEUS**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de  
Ingeniería civil**

**DIRECTOR**

**DIEGO ALEJANDRO PULGARIN MONTOYA**

**INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C.**

**19 DE MAYO**

**2019**



## 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.

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

<b>LISTA DE ECUACIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>2. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>11</b>
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 JUSTIFICACION .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.4.1 Objetivo General.....	13
2.4.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>2.5 DELIMITACIÓN.....</b>	<b>14</b>
2.5.1 Alcances .....	14
2.5.2 Limitaciones .....	14
<b>3. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
3.1.1 Balance hídrico.....	16
3.1.2 Modelos de balance hídrico .....	18
3.1.2.1 Modelo Témez .....	18
3.1.2.2 Modelo Abcd .....	18
3.1.2.3 Modelo T .....	19
3.1.2.4 Modelo P.....	19
3.1.3 Métodos de pérdida.....	19
3.1.3.1 Modelos tipo SMA (Soil Moisture Accounting).....	20
3.1.3.1.1 Canopy – interception storage .....	20
3.1.3.1.2 Surface - interception storage.....	20
3.1.3.1.3 Soil - profile storage .....	21
3.1.3.1.4 Groundwater storage.....	21
3.1.4 SOFTWARE.....	22
3.1.4.1 HEC-HMS .....	22
3.1.4.2 Fases de trabajo del Hec-Hms.....	23
<b>3.2 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>24</b>
3.2.1 CARACTERIZACION DE LA CUENCA.....	25
3.2.1.1 Recolección De Información.....	25
3.2.1.2 Caracterización Del Suelo.....	25
3.2.1.3 Caracterización De La Cobertura Vegetal .....	25

3.2.1.4	Caracterización fisiográfica.....	26
3.2.2	ANALISIS PROCESOS LLUVIA-ESCORRENTIA.....	26
3.2.2.1	Análisis lluvia.....	26
3.2.2.2	Análisis caudal.....	26
3.2.2.3	Análisis Lluvia-Escorrentía.....	26
3.2.3	APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO.....	27
3.2.3.1	Descripción básica para implementar cada modelo.....	27
3.2.3.2	Procesos de optimización.....	27
3.2.3.3	Modelaciones computacionales para cada uno de los modelos perdida.....	27
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>28</b>
4.1	ETAPA PREPARATORIA.....	29
4.1.1	Fases (1 y 2) Obtención de datos espaciales y Datos puntuales de precipitación y caudal.....	29
4.1.2	Fase (3) Modelo de cuenca.....	29
4.1.2.1	Delimitación de cuenca.....	29
4.1.2.2	Análisis morfométrico.....	30
4.1.2.3	Mapa de suelos y vegetación.....	30
4.1.3	Fase (4 y 5) Procesamiento de Datos meteorológicos e hidrológicos.....	30
4.2	Etapa final.....	30
4.2.1	Fase (6) Modelo hidrológico en HEC-HMS.....	30
4.2.1.1	Modelo de cuenca (Basin Model).....	31
4.2.1.1.1	Canopy Method.....	31
4.2.1.1.2	Surface Method.....	31
4.2.1.1.3	Loss Method.....	32
4.2.1.1.4	Transform Method.....	32
4.2.1.2	Modelo Meteorológico (Meteorologic Model).....	33
4.2.1.3	Especificaciones de control (Control Specifications).....	33
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
5.1	DELIMITACION DE LA CUENCA.....	34
5.2	MORFOLOGIA Y FISIOGRAFIA DE LA CUENCA.....	35
5.2.1	Área de la cuenca.....	36
5.2.2	Perímetro.....	37
5.2.3	Longitud máxima.....	37
5.2.4	Longitud del cauce principal.....	37
5.2.5	Ancho de la cuenca.....	37
5.2.6	Desnivel altitudinal.....	38
5.2.7	Cota máxima y mínima.....	38
5.2.8	Pendiente del cauce principal (%).....	38
5.2.9	Factor de forma.....	38
5.2.10	Coeficiente de compacidad.....	39
5.2.11	Índice de Alargamiento.....	39
5.2.12	Coeficiente de circularidad.....	40
5.2.13	Curva Hipsométrica.....	40
5.2.14	Orden de la cuenca.....	42
5.2.15	Densidad de Drenajes.....	43
5.2.16	Tiempos de concentración.....	43

5.2.17	Pendiente media en la cuenca .....	44
5.2.18	Elevación de la cuenca .....	45
5.3	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO .....	46
5.4	CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL .....	48
5.5	DISEÑO DE TORMENTA DEL PROYECTO.....	49
5.6	ESTUDIO DE CAUDALES .....	65
5.6.1	Curvas de Duración de caudal .....	66
5.7	MODELO HIDROLÓGICO.....	67
5.7.1	Modelo de la cuenca (Basin models).....	67
5.7.2	Modelo meteorológico (Meteorologic Models).....	68
5.7.3	Modelo hidrológico SCS Curva Number.....	69
5.7.4	Modelo hidrológico Soil Moisture Accounting.....	69
5.7.5	Modelo hidrológico Initial and Constant .....	70
5.7.6	Resultados Modelo hidrológico del número de curva (SCS CURVER NUMBER):..	70
5.7.7	Resultados modelo hidrológico Soil Moisture Accounting (SMA) .....	71
5.7.7.1	Calibración y validación de resultados:.....	73
5.7.8	Resultados modelo hidrológico Initial Loss and Constant: .....	74
6.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	77
7.	CONCLUSIONES.....	83
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
9.	ANEXOS.....	88

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 4-1 Métodos a aplicar a las subcuencas .....</i>	31
<i>Tabla 5-1 Parámetros fisiográficos y morfológicos .....</i>	35
<i>Tabla 5-2 Clasificación de cuencas de acuerdo a su área.....</i>	37
<i>Tabla 5-3 Forma de la cuenca de acuerdo al índice de.....</i>	39
<i>Tabla 5-4 Pendiente Max, Min, Med de la cuenca El Hato .....</i>	44
<i>Tabla 5-5 Área total del tipo de suelos en la cuenca .....</i>	47
<i>Tabla 5-6 Área total del tipo de cobertura vegetal en la cuenca .....</i>	49
<i>Tabla 5-7 Estaciones con influencia en la cuenca.....</i>	50
<i>Tabla 5-8 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	50
<i>Tabla 5-9 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	50
<i>Tabla 5-10 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	51
<i>Tabla 5-11 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	51
<i>Tabla 5-12 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	51
<i>Tabla 5-13 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	52
<i>Tabla 5-14 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	52
<i>Tabla 5-15 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	52
<i>Tabla 5-16 Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de.....</i>	53
<i>Tabla 5-17 Calculo de la precipitación media en la cuenca del Rio El Hato.....</i>	54
<i>Tabla 5-18 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato El.....</i>	56
<i>Tabla 5-19 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 1.....</i>	57
<i>Tabla 5-20 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 2.....</i>	58
<i>Tabla 5-21 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 3.....</i>	59
<i>Tabla 5-22 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 4.....</i>	60
<i>Tabla 5-23 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 5.....</i>	61
<i>Tabla 5-24 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 6.....</i>	62
<i>Tabla 5-25 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 7.....</i>	63
<i>Tabla 5-26 Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 8.....</i>	64
<i>Tabla 5-27 Valores medios, máximos y mínimos de Caudales (m<sup>3</sup>/s). Estación El Hato -2401798</i>	65
<i>Tabla 5-28 Valores medios, máximos y mínimos de Caudales (m<sup>3</sup>/s). Estación Corralejas 24017100.....</i>	65
<i>Tabla 5-29 Subcuencas – Cuenca del río El Hato.....</i>	68
<i>Tabla 5-30 Rango de parámetros usados para los modelos del HEC-HMS.....</i>	69
<i>Tabla 5-31 Resultados globales del modelamiento hidrológico scs curver number.....</i>	71

*Tabla 5-32 Serie de datos de caudal* ..... 73

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1-1 Obtenida de google maps. Embalse El Hato.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3-1 Esquema del proceso hidrológico .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3-2 Estructura general del HEC-HMS .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3-3 Fases del trabajo en HEC-HMS.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3-4 Fases para la obtención de datos e implementación en el software. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3-5 HEC-HMS Technical Reference Manual (US Army Corps of Engineers, 2000).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4-1 Esquema metodológico del proyecto .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5-1 Delimitación cuenca del río El Hato .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5-2 Curva Hipsométrica del Río El Hato.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5-3 Interpretación de curva Hipsométrica.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5-4 Orden de la cuenca del río El Hato .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5-5 Mapa de pendientes de la cuenca del río El Hato .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5-6 Mapa 3D de elevaciones en la cuenca.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5-7 Mapa de elevaciones y red hídrica en la cuenca.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5-8 Mapa de tipos de suelo en la cuenca.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5-9 Tipos de cobertura vegetal en la cuenca.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5-10 Polígono de Thiessen – Cuenca del Rio El Hato.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5-11 Curva IDF obtenida para la estación Hato El.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5-12 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato El.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5-13 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 1 .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5-14 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 2 .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5-15 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 3 .....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-16 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 4 .....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-17 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 5 .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-18 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 6 .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-19 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 7 .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-20 Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 8 .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5-21 Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s). Estación Corralejas 24017100 .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 5-22 Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s). Estación Hato 2401798.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 5-23 Modelo básico trazado - Cuenca del Río El Hato .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5-24 Resultados modelo scs curver number .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 5-25 Resultados modelo Soil Moisture Accounting (SMA).....</i>	<i>72</i>

<i>Figura 5-26 Resultado calibración Soil Moisture Accounting (SMA) .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5-27 Resultados modelo Initial Loss and Constant.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 6-1 hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo scs curver number.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 6-2 hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo scs curver number.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 6-3 hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo initial loss and constant</i>	<i>80</i>
<i>Figura 6-4 hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo initial loss and constant</i>	<i>81</i>
<i>Figura 6-5 comparaciones de hietogramas en pérdidas por infiltración .....</i>	<i>81</i>

## LISTA DE ECUACIONES

	<i>Pág.</i>
<i>Ecuación 4-1 Ecuación Curve Number CN</i> .....	32
<i>Ecuación 5-1 Pendiente del cauce principal</i> .....	38
<i>Ecuación 5-2 Factor de forma</i> .....	38
<i>Ecuación 5-3 Coeficiente de compacidad</i> .....	39
<i>Ecuación 5-4 Índice de Alargamiento</i> .....	40
<i>Ecuación 5-5 Coeficiente de circularidad</i> .....	40
<i>Ecuación 5-6 Densidad de Drenajes</i> .....	43
<i>Ecuación 5-7 Kirpich (Tc)</i> .....	43
<i>Ecuación 5-8 California (Tc)</i> .....	43
<i>Ecuación 5-9 Cálculo de la precipitación media en la cuenca</i> .....	54
<i>Ecuación 5-10 Ecuación representativa de curva IDF HATO 2</i> .....	58
<i>Ecuación 5-11 Ecuación representativa de curva IDF HATO 3</i> .....	59
<i>Ecuación 5-12 Ecuación representativa de curva IDF HATO 4</i> .....	60
<i>Ecuación 5-13 Ecuación representativa de curva IDF HATO 5</i> .....	61
<i>Ecuación 5-14 Ecuación representativa de curva IDF HATO 6</i> .....	62
<i>Ecuación 5-15 Ecuación representativa de curva IDF HATO 7</i> .....	63
<i>Ecuación 5-16 Ecuación representativa de curva IDF HATO 8</i> .....	64

## 1. INTRODUCCIÓN

Un modelo lluvia escorrentía, en términos generales, busca simular los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca como lo son: infiltración, evaporación, flujo subsuperficial y flujo subterráneo. Donde se abordan e implementan modelos matemáticos de humedad del suelo para una cuenca determinada, en este caso la que se va a estudiar, la cuenca del río El Hato. De acuerdo a lo mencionado, con los modelos lluvia-escorrentía se puede lograr descontar las pérdidas de precipitación y a su vez representar los procesos de transporte vertical del agua, los almacenamientos temporarios y la variación del contenido de humedad del suelo, donde se ingresan en el software la serie de datos históricos de precipitación, condiciones climáticas y caudales para calibrar nuestro modelo y simular las condiciones de la cuenca a futuro.

La zona a estudiar está localizada en el departamento de Cundinamarca en jurisdicción del municipio de Carmen de Carupa, aproximadamente a 10 kilómetros de la zona urbana del municipio de Ubaté, tomando la carretera que conduce a Carmen de Carupa. Se analizará la parte alta de La cuenca del río El Hato, excluyendo el embalse. La cuenca se extiende entre las coordenadas 1°013.202 m E., 1°067.192 m N., 1°019.161 m E. y 1°078.060 m N., puntos correspondientes a la cuenca del río El Hato. (CAR).

**Figura 1-1** Obtenida de google maps. Embalse El Hato



**Fuente: Google Maps.**

## **2. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO**

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades.

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Actualmente en la cuenca del río El Hato hasta el punto de entrega que es el embalse El Hato, cuenta con estructuras para el suministro de agua al municipio de Carmen de Carupa, Estructuras antiguamente construidas por parte de la CAR.

El embalse El Hato fue construido a comienzos de la década de los 90 por Armando Polito Mendoza y Carlos Alberto Gómez Arboleda y puesto en funcionamiento a principios de 1992, financiada por la CAR con el objeto de suministrar agua para los acueductos de los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté, al igual que para regular las crecientes del río El Hato en su parte alta y poder abastecer los requerimientos de agua en épocas de verano.

En cuanto a estudios hidrológicos se refiere en El Hato, ya cuenta con una caracterización ambiental, estudio hidrológico y también cuenta con la investigación en la aplicación de un modelo matemático (USLE) para determinación del aporte del suelo del embalse del río el Hato. Investigaciones realizadas por la Universidad Católica de Colombia, Universidad Santo tomas y la CAR.

El caso de implementación de los modelos hidrológicos por infiltración a la cuenca del río El Hato, no cuenta con este tipo de estudios hídricos para el pronóstico de la capacidad del volumen de agua que puede producir la cuenca. Este sistema de pronósticos y alertas tempranas para la gestión integral del recurso hídrico, fortalece la gestión en las cuencas para atender eventos súbitos como crecientes, inundaciones o avalanchas y planear a mediano plazo la operación de embalses, calidad de agua, oferta y demanda del recurso [5].

#### **2.2 JUSTIFICACION**

Teniendo en cuenta los antecedentes en cuanto a la prevención de desastres y determinación de pérdidas por infiltración de una cuenca, con los modelos

hidrológicos aplicados en diferentes países. Se evidencia muy poca implementación en Colombia de los mismos y los pocos estudios realizados a la cuenca Hato hace importante evaluar la capacidad de los modelos de pérdida en la cuenca.

### **2.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA**

En los últimos años a nivel mundial debido a cambios climáticos y desastres naturales el recurso más preciado que es el agua dulce para el consumo humano de ha visto disminuido, ocasionando la afectación en áreas sociales como salud y mala distribución del recurso en comunidades entre otros. Por ello es importante realizar la aplicación de estos modelos en cuanto a la prevención de lo antes mencionado para desarrollar estados de alerta de vulnerabilidad y riesgo ante desastres naturales, debido a la gran severidad actual que poseemos también ante inundaciones, deslizamientos y grandes crecientes en ríos, afectando económica y socialmente a comunidades.

El estudio de los modelos hidrológicos para el pronóstico de lluvia-escorrentía, son de gran importancia puesto que se utilizan para obtener el comportamiento del proceso de escurrimiento de los efluentes pertenecientes a una cuenca, con el propósito de regularizar el uso del agua y darles solución a problemas de ingeniería, ambientales y socio-económicos.

Dado que usualmente no se dispone de toda la información sobre el estado de las aguas, así como el conocimiento de la relación entre el agua y las condiciones socioeconómicas en una población de habitantes y usuarios de agua de una cuenca, este conocimiento se deberá obtener en un proceso progresivo que incluya la recopilación de datos cuantitativos para controlar y evaluar la incidencia del sistema de gestión de la cuenca sobre el estado y los usos del agua. Por lo que se propone estudiar los datos de precipitación y caudal de las estaciones de monitoreo pertenecientes a la cuenca del río El Hato. Con el fin de calibrar, comparar, validar y simular modelos hidrológicos de proceso lluvia-escorrentía con el fin de obtener información acerca del comportamiento de la cuenca del río El Hato.

¿De qué manera pueden los modelos hidrológicos compilar datos de la cuenca y arrojar información de utilidad, permitiendo reconocer el estado a futuro de nuestra zona de estudio en cuanto a las pérdidas por infiltración se refiere en la cuenca del río El Hato?

## **2.4 OBJETIVOS**

### **2.4.1 Objetivo General**

Modelación del comportamiento hidrológico en la cuenca del río El Hato (Cundinamarca) comparando los resultados de 3 modelos de pérdida por infiltración incorporados en el software HEC-HMS.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar física y ambientalmente la cuenca de estudio perteneciente al río El Hato en el departamento de Cundinamarca.
- Analizar los procesos lluvia-escorrentía que se generan en la cuenca con base en la información cartográfica, Meteorológica e hidrológica disponible.
- Realizar una modelación hidrológica comparando los diferentes modelos de pérdida por infiltración incorporados el en software HEC-HMS

## **2.5 DELIMITACIÓN**

### **2.5.1 Alcances**

Dadas las características del presente proyecto y los recursos disponibles para su ejecución, los alcances del mismo son los que a continuación se plantean:

- Lograr la implementación de mínimo 3 modelos hidrológicos de pérdida incorporados en el programa HEC-HMS.
- Estudiar los procesos lluvia-escorrentía de la zona de estudio y comparar las pérdidas por infiltración de los modelos.
- Lograr una caracterización ambiental detallada de la cuenca.
- Para lograr el objetivo de este proyecto, será llevado a cabo en la parte alta donde desemboca el río El Hato, los análisis y cálculos se realizarán con los softwares correspondientes.
- Para el desarrollo del proyecto se contará únicamente con el tiempo correspondiente al primer semestre académico del año 2019, fecha en la cual ya se debe tener el documento final donde se consigne toda la información recolectada y procesada, así como también los resultados durante la ejecución del proyecto.

### **2.5.2 Limitaciones**

Los aspectos limitantes que pueden generar retrasos e inconvenientes en el óptimo desarrollo del proyecto son:

- Acceso a escasa información de datos meteorológicos de la cuenca por parte de las entidades para tenerla en cuenta en la modelación.

- Acceso limitado a la información que tiene el municipio, en cuanto al río se refiere.
- Escasez de información secundaria, razón por la cual en algunos aspectos se deberán plantear suposiciones; esto podría limitar la aplicación de los resultados obtenidos, debido a las incertidumbres en los mismos.
- La escala espacial de los planos del terreno ofrecidos por las entidades no es de óptima resolución.

### **3. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1 MARCO TEÓRICO**

##### **3.1.1 Balance hídrico**

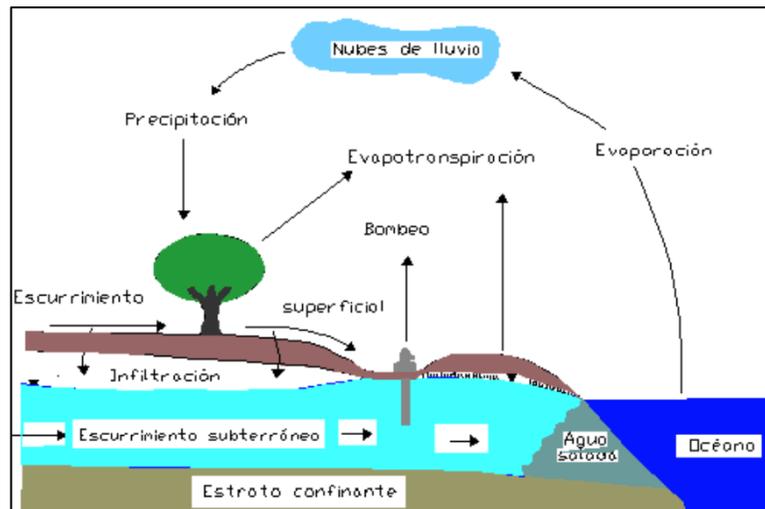
El agua, aunque se encuentra en un movimiento cíclico continuo, es cuantificable y debido a los requerimientos actuales del hombre, es necesario conocer con exactitud ese movimiento y definirlo, para aprovechar de forma racional los recursos hídricos y que no se modifiquen de forma irreversible, los componentes que intervienen en el ciclo del agua.

El balance hídrico tiene por objeto cuantificar los recursos y volúmenes de agua del ciclo hidrológico, también permite establecer relaciones entre las distintas variables hidrológicas. El establecimiento del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre:

- El volumen anual o diario de escurrimiento o excedentes.
- El período en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero.
- Período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua para riego en ese período.

El establecimiento de un balance supone la medición de flujos de agua (caudales) y almacenamientos de la misma (niveles). Se pueden establecer balances de forma general, incluyendo: aguas superficiales, subterráneas, parciales de un acuífero y parciales del agua del suelo, etc. En cualquier caso, a la hora de establecer el balance se examinarán las entradas y las salidas del sistema analizado.

**Figura 3-1** Esquema del proceso hidrológico



**Fuente:** Edición propia con base en información de la CAR.

Para establecer el balance hídrico se necesitan los datos de:

- Las precipitaciones medias anuales (con una serie de 5-10 años) del máximo de estaciones meteorológicas disponibles.
- La evapotranspiración potencial media anual (de la misma serie de años).
- La reserva de agua útil (RU) o el agua que puede almacenar el suelo y utilizar las plantas. Depende de:
  - El tipo de suelo
  - La capacidad de campo (Cc): grado de humedad de una muestra que ha perdido toda su agua gravitacional.
  - El punto de marchitez (Pm): grado de humedad de una muestra tal que la fuerza o succión que ejercen las raíces sobre el agua ya no les permite sacar más agua. Esto quiere decir que la fuerza de succión de las raíces no supera a la fuerza con la que dicho suelo retiene el agua.

- La profundidad de las raíces.
- La densidad aparente del suelo.

Estos datos se pueden obtener experimentalmente o mediante tablas conociendo el tipo de suelo.

### **3.1.2 Modelos de balance hídrico**

Los modelos hidrológicos más importantes y completos son los modelos hidrológicos distribuidos basados en procesos físicos. Estos modelos consideran la distribución espacial de parámetros, ecuaciones y pueden ser aplicados a cuencas con redes complejas de canales con variada distribución de uso de suelo, tipo de suelo y cobertura de vegetación con complejo sistema de acuífero debajo del suelo, etc.

Los avances en el modelamiento hidrológico actual permiten el acoplamiento con datos espaciales de radares, satélites y modelos geológicos. La aplicabilidad de los enfoques distribuidos basados en procesos, pueden ser aplicados en temas ambientales como el transporte geoquímico reactivo, la contaminación de la agricultura y la erosión del suelo. El trabajo de modelamiento hidrológico comprende la conceptualización del modelo, la calibración con valores observados, la simulación de efectos antropogénicos en el uso de suelo, tipo de cobertura, factores climáticos de inundación, sequía y cambio climático. (Parámetros del método Soil Moisture Accounting (SMA) en HEC-HMS, gidahatari).

#### **3.1.2.1 Modelo Témez**

El modelo Témez es un modelo de tanques que se divide en dos zonas; en la primera, la lluvia se almacena en forma de humedad y en ella, dependiendo de la humedad, de la capacidad máxima de almacenamiento y de la evapotranspiración potencial se origina un excedente que consta de dos componentes, la escorrentía superficial y la infiltración que se almacena en el acuífero. (Ocampo, 2014).

#### **3.1.2.2 Modelo Abcd**

El modelo hídrico agregado de balance (Abcd), ha sido aplicado para la gestión de los recursos hídricos y el estudio de la evolución de los regímenes hidrológicos en el largo plazo. Está dividido en tres tanques: el primero corresponde al

almacenamiento superficial, el segundo a la zona no saturada, el último es la zona saturada donde se presenta el almacenamiento subterráneo. (Ocampo, 2014).

### **3.1.2.3 Modelo T**

El Modelo T es simple de un único tanque, que representa el suelo. La capacidad de almacenamiento de humedad del suelo depende de la precipitación, de la humedad y la evapotranspiración potencial (ETP). El exceso se convierte en escorrentía y parte del agua almacenada se infiltra a capas más profundas del suelo. (Ocampo, 2014).

### **3.1.2.4 Modelo P**

El Modelo P es similar al modelo T, pero divide el suelo en dos tanques; la capa o tanque superior se humedece primero que la capa inferior, la cual no puede modificarse hasta que la humedad superior se sature. La evapotranspiración se produce en primera instancia en la capa superior y luego es posible la evapotranspiración desde la capa inferior. En el momento que se presente en el límite inferior de las dos capas una capacidad máxima de almacenamiento de humedad se origina la escorrentía. (Ocampo, 2014).

### **3.1.3 Métodos de pérdida**

Los métodos que representan diferentes cálculos de la pérdida de agua por medio de la infiltración dentro del área de una subcuenca y en conjunto son llamados modelos de pérdida. En total, el programa trabaja con doce tipos de modelos diferentes de los cuales sólo se mencionarán los más usados. (Parámetros del método Soil Moisture Accounting (SMA) en HEC-HMS, gidahatari).

- Deficit and constant loss
- Exponential loss
- Green and Ampt loss
- Gridded deficit constant loss

- Gridded Green and Ampt loss
- Soil Moisture Accounting

### **3.1.3.1 Modelos tipo SMA (Soil Moisture Accounting)**

El modelo SMA representa la cuenca como un “sistema de tanques”, de almacenamiento distribuido en varias capas, que permiten almacenar un volumen determinado de agua por tanque (Figura 2-5). La Figura enunciada representa las pérdidas de agua que presenta el sistema hidrológico de la cuenca por la influencia del tipo de suelo. Una vez se satisfaga el 100% de la capacidad de almacenamiento de cada una de estas capas, se genera un flujo superficial causando exceso de precipitación que se ve evidenciado en el incremento del caudal con respecto al flujo base de la cuenca. Este contenido de almacenamiento actual es calculado durante la simulación y varía continuamente dependiendo la serie histórica de precipitación. (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms).

Las diferentes capas de almacenamiento en el modelo SMA son:

#### **3.1.3.1.1 Canopy – interception storage**

Representa la precipitación capturada en la vegetación superficial (árboles, arbustos y pasto) y no alcanza a tocar la superficie del suelo. La precipitación es la única entrada de agua dentro de esta capa. Cuando se llena y satura esta capa una vez sucedida la precipitación, el agua sobrante queda disponible para las siguientes capas de almacenamiento. El agua almacenada en la capa es retenida hasta que es removida por la evapotranspiración. (Ortega, 2014).

#### **3.1.3.1.2 Surface - interception storage**

Es el volumen de agua proveniente de la anterior capa (Canopy) cuando excede su capacidad de almacenamiento y genera una tasa de infiltración, siendo este el único flujo de entrada de esta capa. La salida de flujo o pérdida de agua en esta capa, puede darse por infiltración y evapotranspiración. Una vez la capa exceda el almacenamiento, significa que la capa está llena, provocando que este exceso de agua contribuya a la escorrentía superficial. (Ortega, 2014).

#### **3.1.3.1.3 Soil - profile storage**

Representa el agua almacenada en la capa más alta del suelo. Su entrada está dada por la infiltración proveniente de la capa anterior. Sus salidas de flujo incluyen la percolación a capas de agua subterráneas y a la evapotranspiración. Esta capa de perfil de suelo, es dividida en dos regiones, la zona superior representa el agua retenida en los poros del suelo y el agua que puede perderse por la percolación y la evapotranspiración. La zona de tensión representa el agua que está unida a las partículas del suelo generando una pérdida de agua solo por evapotranspiración. (Ortega, 2014).

#### **3.1.3.1.4 Groundwater storage**

Representan los procesos de interflujo horizontal, depósitos subterráneos de almacenamiento de agua en el suelo. Según las circunstancias, sirven para representar el flujo hipodérmico y el flujo base. (Ortega, 2014).

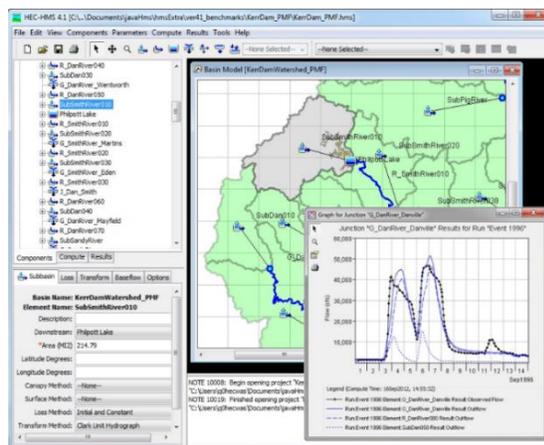
### 3.1.4 SOFTWARE

#### 3.1.4.1 HEC-HMS

El Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas de unidades y enrutamiento hidrológico. HEC-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua, incluida la evapotranspiración, el deshielo y la contabilidad de la humedad del suelo. También se proporcionan capacidades avanzadas para la simulación de escorrentía en cuadrícula utilizando la transformación de escorrentía cuasi distribuida lineal (ModClark). Se proporcionan herramientas de análisis complementarias para la optimización del modelo, el flujo de flujo de pronóstico, la reducción del área de profundidad, la evaluación de la incertidumbre del modelo, la erosión, el transporte de sedimentos y la calidad del agua.

El software cuenta con un entorno de trabajo completamente integrado que incluye una base de datos, utilidades de ingreso de datos, motor de cómputo y herramientas de reporte de resultados. Una interfaz gráfica de usuario que permite al usuario fácil manejo. Los resultados de la simulación se almacenan en HEC-DSS (Sistema de almacenamiento de datos) y se pueden usar junto con otro software para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de flujo, impacto de urbanización futura, diseño de aliviaderos del embalse, reducción de daños por inundación, regulación de planicies aluviales y Operación de sistemas. (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms).

**Figura 3-2** Estructura general del HEC-HMS

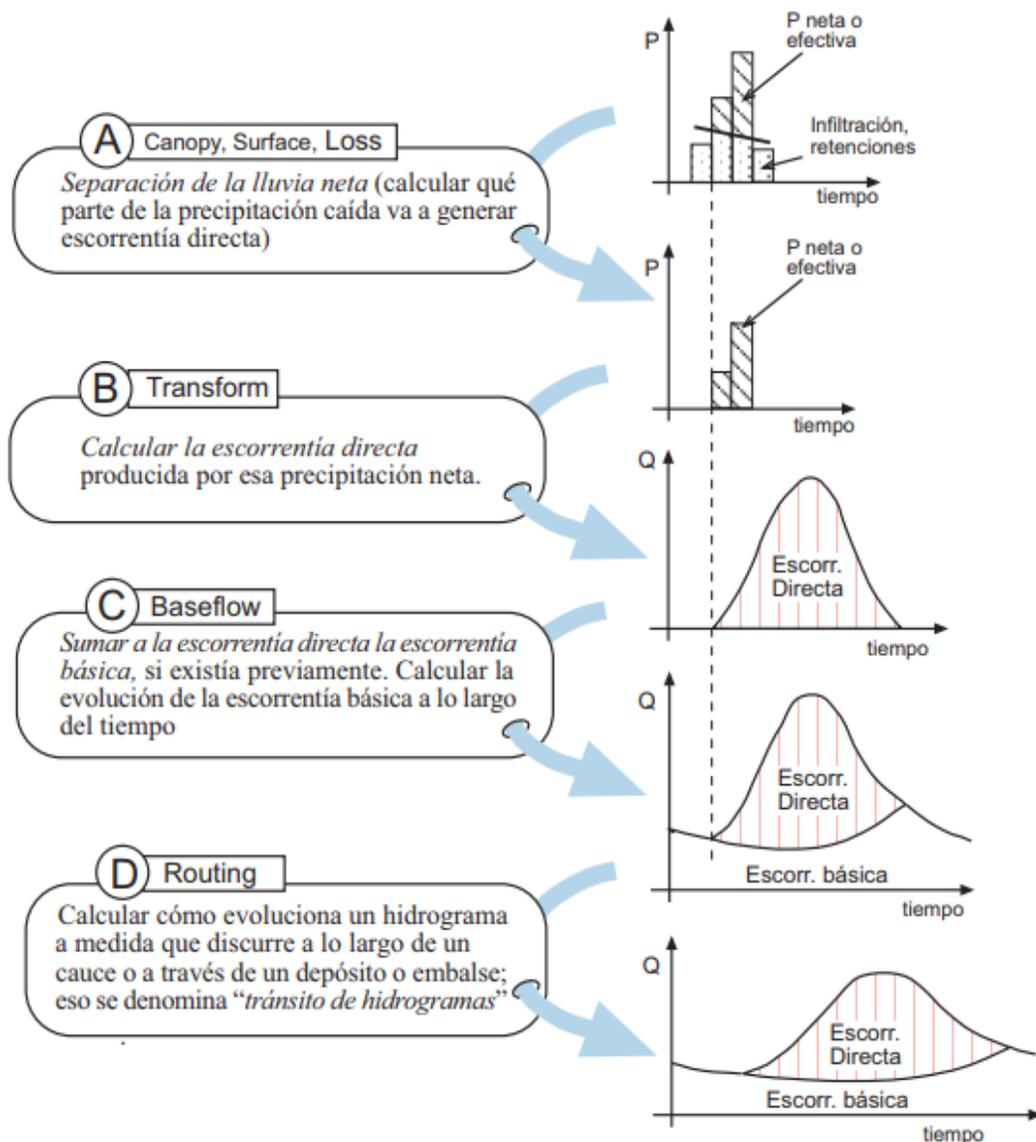


**Fuente:** (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms).

### 3.1.4.2 Fases de trabajo del Hec-Hms

Las diversas fases de trabajo del programa se representan así: Referenciado de (Francisco Javier Sánchez San Román).

Figura 3-3 Fases del trabajo en HEC-HMS



Fuente: Hidrojing.

## 3.2 MARCO CONCEPTUAL.

Figura 3-4 Fases para la obtención de datos e implementación en el software.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.1 CARACTERIZACION DE LA CUENCA**

La caracterización de una cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales, pero también para identificar los problemas presentes y potenciales.

La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje etc. Algunos de estos parámetros sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres. (Imperial College London).

#### **3.2.1.1 Recolección De Información**

La recolección de la información depende en gran medida del tipo de investigación y el problema que se estudia. Esta fase del trabajo incluye: seleccionar o recopilar datos válidos y confiables.

#### **3.2.1.2 Caracterización Del Suelo**

El suelo se caracteriza por su estructura, color, consistencia, textura y presencia de raíces, rocas y carbonatos. Estas propiedades hacen posible interpretar cómo funciona el ecosistema para dar un uso óptimo del suelo que genere un impacto mínimo en el ecosistema. Con los datos de caracterización del suelo se puede determinar si a futuro habrá posibles sequías o inundaciones, además de determinar los tipos de vegetación y uso de la tierra más adecuado de un lugar. También ayuda a explicar la tendencia de la humedad del suelo.

#### **3.2.1.3 Caracterización De La Cobertura Vegetal**

Se puede definir como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales.

#### **3.2.1.4 Caracterización fisiográfica**

Se refiere a definir los parámetros característicos de mayor interés como lo son: área de la cuenca, tipo de drenaje, corriente principal, corrientes tributarias, longitud de la cuenca, ancho de la cuenca, orientación y pendiente. Información necesaria para tener una idea del comportamiento de la cuenca.

### **3.2.2 ANALISIS PROCESOS LLUVIA-ESCORRENTIA**

Se hace una revisión de los métodos utilizados habitualmente en la estimación de precipitaciones y caudales en procesos de lluvia-escorrentía. Estos métodos abarcan para nuestro caso modelos SMA (Soil Moisture Accounting).

#### **3.2.2.1 Análisis lluvia**

Describe el flujo del agua-lluvia sobre la tierra y es un componente principal del ciclo del agua.

#### **3.2.2.2 Análisis caudal**

Evalúa la cantidad de fluido que circula a través de una sección del río. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Uno de los casos más comunes en la evaluación de caudales se hace con las curvas de duración de caudal.

#### **3.2.2.3 Análisis Lluvia-Escorrentía**

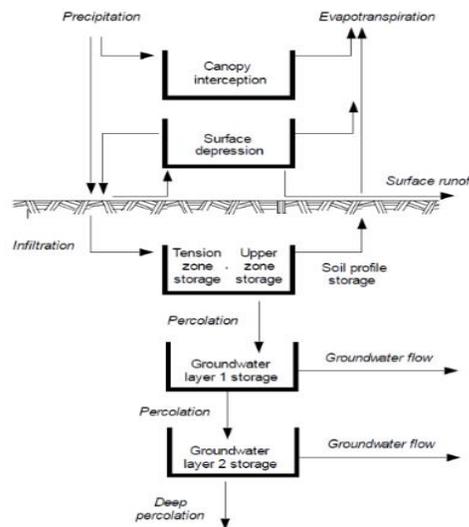
Permite determinar la forma de escorrentía superficial en toda la cuenca de estudio, así como las velocidades en los causes principales de la cuenca, permitiendo definir las zonas de mayor riesgo de inundación.

### 3.2.3 APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO

#### 3.2.3.1 Descripción básica para implementar cada modelo

El método hidrológico de pérdida considera la existencia de tres capas (capa de suelo, capa de agua subterránea 1 y capa de agua subterránea 2) las cuales permiten representar la dinámica del movimiento del agua entre ellas. (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms).

**Figura 3-5** HEC-HMS Technical Reference Manual (US Army Corps of Engineers, 2000)



Fuente: (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms)

#### 3.2.3.2 Procesos de optimización

La optimización de un modelo involucra el ajuste de parámetros de manera que los datos simulados se ajusten con los flujos observados tanto como sea posible. (Hydrologic Engineering Center, Hec Hms).

#### 3.2.3.3 Modelaciones computacionales para cada uno de los modelos pérdida

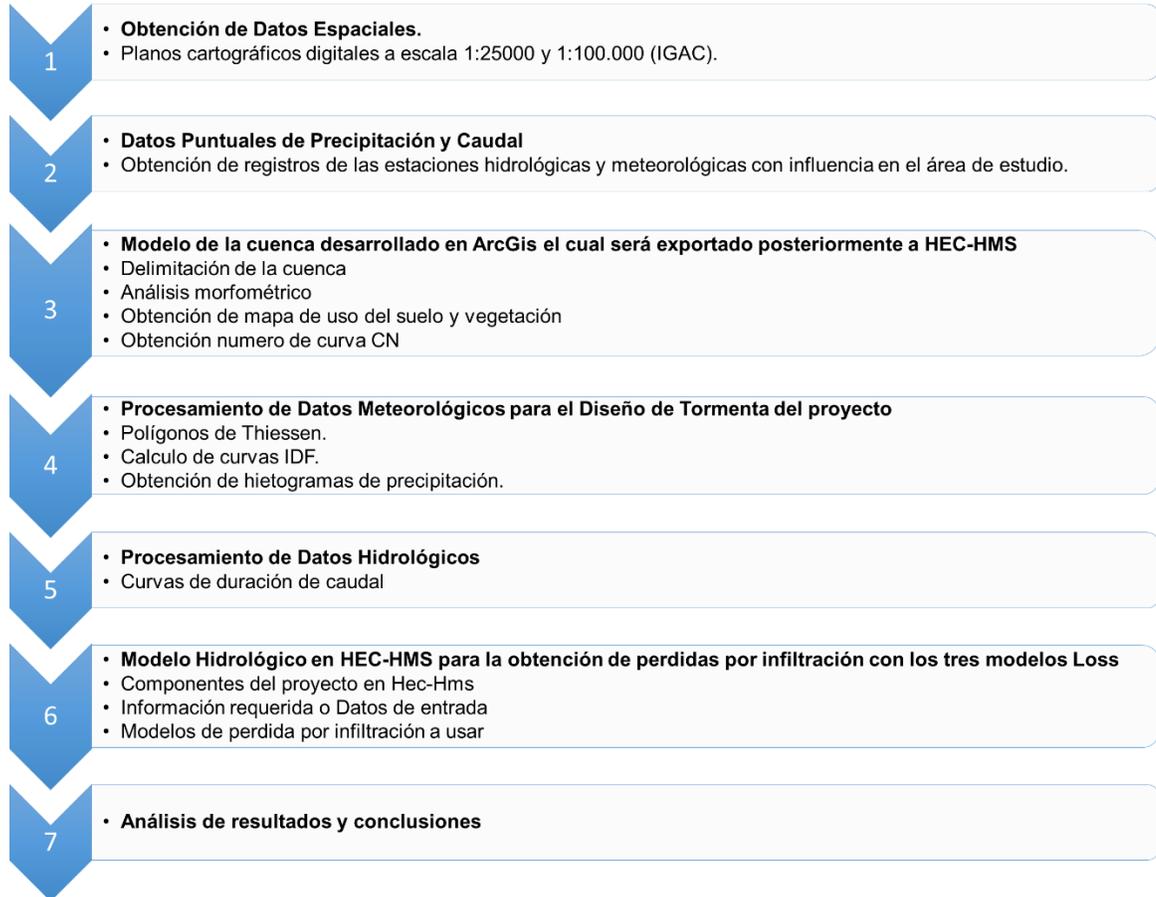
Al implementar los diferentes tipos de modelos hidrológicos se identifican los parámetros de la cuenca.

## 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el esquema metodológico implementado para el desarrollo del proyecto de grado, el cual tiene como objetivo principal comparar las perdidas por infiltración de tres modelos contenidos en el HEC-HMS, resultados basados en la integración de datos necesarios para correr los modelos.

La metodología propuesta se estableció tomando como base las capacidades de modelación del programa para estimar las perdidas por infiltración y acorde a las recomendaciones para modelación en HEC-HMS, se determinan las siguientes fases.

**Figura 4-1** Esquema metodológico del proyecto



**Fuente:** Elaboración propia.

## **4.1 ETAPA PREPARATORIA**

En esta fase y cumpliendo con los objetivos establecidos, se determinó la cartografía del área a estudiar elaborada por el IGAC. A partir de la cartografía de la zona, se ubican las estaciones meteorológicas e hidrológicas con influencia en el área, para proseguir con el análisis de la información en ArcGis y obtener los parámetros de acuerdo al análisis morfológico, caracterización de suelo y vegetación, y número de curva CN.

Por otra parte, se realiza el procesamiento de los datos meteorológicos e hidrológicos obtenidos, para la determinación de polígonos de Thiessen, curvas IDF, hietogramas de precipitación y curvar de duración de caudal. A fin de contar con los elementos necesarios para la etapa final.

### **4.1.1 Fases (1 y 2) Obtención de datos espaciales y Datos puntuales de precipitación y caudal**

Se obtuvo información cartográfica del área de drenaje de la cuenca del río El Hato en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), cartografía básica de suelos y vegetación, planchas a escala 1:25.000 y 1:100.000. Con la información obtenida se procedió a realizar la digitalización y procesamiento en ArcGis, plataforma utilizada para la delimitación del drenaje de estudio y posterior implementación en el HEC-HMS.

Las estaciones meteorológicas e hidrológicas obtenidas del área de estudio, nos permiten estimar caudales y precipitaciones máximos. Estos datos fueron obtenidos en el IDEAM.

### **4.1.2 Fase (3) Modelo de cuenca**

#### **4.1.2.1 Delimitación de cuenca**

La delimitación se llevó a cabo en la cuenca del río El Hato, de acuerdo con los planos cartográficos obtenidos del IGAC y se realizó una delimitación del área de estudio teniendo en cuenta:

- Identificación de la red de drenaje del río El Hato.

- Curvas de nivel, desde el nacimiento del río El Hato hasta el punto de entrega donde inicia el embalse, se cortó perpendicularmente de acuerdo a los puntos de mayor nivel topográfico.
- Corte perpendicular de las curvas de nivel de acuerdo a los puntos de mayor nivel topográfico, teniendo en cuenta las divisorias.
- Delimitación de cuenca teniendo en cuenta los procedimientos anteriores.

#### **4.1.2.2 Análisis morfométrico**

Información obtenida del análisis y requerida para conocer la naturaleza y comportamiento de una cuenca.

#### **4.1.2.3 Mapa de suelos y vegetación**

En cuanto al uso del terreno es requerida la información de los diferentes usos que pueden tener los suelos de la cuenca, para realizar la determinación del número de curva CN.

#### **4.1.3 Fase (4 y 5) Procesamiento de Datos meteorológicos e hidrológicos**

1. De acuerdo a los polígonos de Thiessen, la finalidad es determinar la precipitación media en la cuenca y poder asignar a cada estación un peso proporcional a su área de influencia.
2. A partir de las curvas IDF se obtienen los hietogramas para el diseño de tormenta del proyecto con la información de precipitación máxima en 24h de las estaciones y su área de influencia.

### **4.2 ETAPA FINAL**

#### **4.2.1 Fase (6) Modelo hidrológico en HEC-HMS**

La modelación hidrológica en HEC-HMS está diseñada para simular el proceso de precipitación-escorrentía en cuencas. En el programa encontraremos algunos métodos desarrollados para el cálculo, en nuestro caso a aplicar el de pérdidas por infiltración. El HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelo de la cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada.

#### 4.2.1.1 Modelo de cuenca (Basin Model)

Utilizado para representar la parte física de la cuenca, aquí agregamos información de las distintas subcuencas y sus características.

- Subcuenca (Subbasin)
- Los canales o tramos de río (reach)
- Unión (Junction)
- Fuente (source)
- Sumidero (Sink)
- Salida (Sink)
- Embalse (reservoir)
- Desviación (Diversion)

Definidas las subcuencas, definimos los métodos de cálculo para cada subcuenca:

**Tabla 4-1** Métodos a aplicar a las subcuencas

<b>Tipo de Modelo</b>	<b>Método</b>
Canopy Method	Simple Canopy
Surface Method	Simple Surface
Loss Method	Initial and Constant SCS Curve Number Soil Moisture Accounting
Transform Method	SCS Unit Hydrograph

**Fuente:** Elaboración propia.

##### 4.2.1.1.1 Canopy Method

Representa la cantidad de precipitación retenida por la cubierta vegetal para evaporarse posteriormente.

##### 4.2.1.1.2 Surface Method

Precipitación retenida en pequeñas depresiones superficiales, para infiltrarse o evaporarse.

#### 4.2.1.1.3 Loss Method

Perdidas por infiltración de la precipitación en el terreno, por lo cual es importante evaluar junto con los dos aspectos anteriores.

- **Initial and constant Loss:** Requiere de una pérdida inicial para representar el almacenamiento de precipitación acumulado en las pequeñas depresiones del suelo y las plantas, las pérdidas generadas por esta representación son infiltradas o evaporadas antes de que ocurra el evento de escorrentía.
- **SCS Curve Number:** El método está en función del CN y se estima según la cobertura del suelo, uso del suelo y humedad antecedente del suelo. Usando las tablas publicadas por el SCS las cuales se encuentran adjuntas en el anexo (A.5). Para una cuenca que consta de varios tipos de suelos, el CN promedio es calculado como:

#### Ecuación 4-1 Ecuación Curve Number CN

$$CN = \frac{\sum A_i * CN_i}{A_i}$$

$A_i$  = Área de subcuenca  
CN = De subcuenca

- **Soil Moisture Accounting (SMA):** El método es un modelo continuo lo que significa que simula el comportamiento de la cuenca, tanto en clima húmedo como seco. Es representado por una serie de capas en las cuales se mueve el agua en el suelo. Simulando como la precipitación puede ser retenida o almacenada en la vegetación, superficie y acuíferos. Es muy importante tener en cuenta que debe utilizarse en conjunto con Canopy y Surface.

#### 4.2.1.1.4 Transform Method

Representa la precipitación neta que se transformara en escorrentía. Para nuestro caso se basa en el parámetro T-Lag, calculado a partir del tiempo de concentración.

#### **4.2.1.2 Modelo Meteorológico (Meteorologic Model)**

El modelo meteorológico calcula la entrada de precipitación requerida para cada subcuenca asignando a cada pluviómetro las precipitaciones reales o bien pueden ser las tormentas de diseño. (Los pluviómetros se crean previamente y se introducen los datos en Time-Series Data Manager) y en método (Gate Weights), que permite asignar pesos a las estaciones meteorológicas.

#### **4.2.1.3 Especificaciones de control (Control Specifications)**

Definimos el tiempo de duración para la simulación, además de la fecha de inicio y fecha de finalización para efectuar los cálculos.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 DELIMITACION DE LA CUENCA

La cuenca del río El Hato, hace parte de la subcuenta del río alto Ubaté y limita al sur con el municipio de Tausa, al norte con las subcuencas del río Simijaca y río Susa y el municipio Carmen de Carupa, al oriente con las subcuencas del río Suta y al occidente con el municipio de San Cayetano.

La delimitación de la cuenca se lleva a cabo con ayuda de las curvas de nivel donde se tendrán en cuenta la red de drenajes y sus ramificaciones que la conforman, vale aclarar que para esta delimitación no se tendrá en cuenta el embalse.

A continuación, se muestra el esquema generado en ArcGIS (Figura 4-1).

**Figura 5-1** Delimitación cuenca del río El Hato



**Fuente:** Elaboración propia con base en información de la CAR

## 5.2 MORFOLOGIA Y FISIOGRAFIA DE LA CUENCA

La cuenca del río El Hato a nivel fisiográfico y morfológico a simple vista nos describe características muy importantes en cuanto a su topografía espacial se refiere, determinando su estructura básica acerca de su comportamiento a lo largo del tiempo, permitiéndonos identificar inicialmente que la red de drenajes de nuestra cuenca se caracteriza por ser de corta longitud y su formación es de tipo natural.

A continuación, se presenta aspectos físicos calculados para la cuenca del río El Hato, posteriormente se describe el desarrollo de cada uno de los parámetros encontrados en la (Tabla 5-1).

**Tabla 5-1** Parámetros fisiográficos y morfológicos

<b>Parámetros</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Área (km <sup>2</sup> )	A	38.080
Perímetro (km)	P	29.059
Longitud máxima (km)	LM	10.297
Longitud cauce principal (km)	LCP	16.072
Ancho de la cuenca	AC	3.698
Desnivel altitudinal (m)	DA	900
Cota máxima en cauce principal y cuenca (m.s.n.m)	cmax	3750
Cota mínima en cauce principal y cuenca (m.s.n.m)	cmin	2850
Altitud media (m.s.n.m)	Am	3258
Altitud más frecuente (m.s.n.m)	Af	3675

Continuación tabla 5-1.

Pendiente del cauce principal (%)	Smad	5.6
Factor forma	FF	0.359
Coefficiente de compacidad	Kc	1.319
Coefficiente de circularidad	CC	0.567
Orden de la cuenca	Dc	5
Longitud total de drenajes (km)	Lt	144.044
Densidad de drenajes	Dd	3.783
Frecuencia de drenajes	F	Categorizada con textura fina
<b><i>Tiempos de concentración</i></b>		
California culverts Practices 1942 (minutos)	Tc	94.037
Kirpich (minutos)	Tc	102.367

**Fuente:** Elaboración propia con base en la información analizada en el ArcGis y QGis

### 5.2.1 Área de la cuenca

Se ha determinado un área de 38.1 km<sup>2</sup>, teniendo en cuenta la divisoria de aguas realizada en la delimitación de nuestra cuenca.

Acorde al área calculada se define nuestra cuenca como pequeña, según la bibliografía consultada y mostrada en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2** Clasificación de cuencas de acuerdo a su área

<b>Tamaño de la cuenca (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Descripción</b>
< 25	muy pequeña
25 a 250	pequeña
250 a 500	intermedia-pequeña
500 a 2500	intermedia-grande
2500 a 5000	grande
> 5000	muy grande

Fuente: (Aguirre, 2007)

### **5.2.2 Perímetro**

El perímetro es de 29.06 km y corresponde a la longitud del área delimitada que envuelve a la cuenca.

### **5.2.3 Longitud máxima**

Es la longitud paralela al cauce principal de divisoria a divisoria a lo largo de una línea recta del área delimitada de nuestra cuenca. La cuenca del Rio El Hato tiene una longitud de 10.3 km.

### **5.2.4 Longitud del cauce principal**

Distancia que corresponde al recorrido entre la cota más alta donde nace la cuenca, siguiendo la dirección de drenaje hasta el punto de entrega del embalse. El Río El Hato tiene una longitud de 16.07 Km.

### **5.2.5 Ancho de la cuenca**

Para la cuenca del Rio El Hato corresponde a 3.7 km y hace referencia a la longitud en el sentido ortogonal al eje del cauce principal.

### 5.2.6 Desnivel altitudinal

Es el valor correspondiente a la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y más baja de la cuenca, obteniendo un resultado de 900 m.

### 5.2.7 Cota máxima y mínima

Altitud del extremo más alto de las corrientes que forman su parte superior y el punto más bajo de las mismas en la cuenca. Para la corriente principal del Río El Hato, se obtuvieron con datos en información escala 1:25000 del IGAC. Desde la parte más alta de la cuenca hasta el punto de entrega en el embalse el Hato las son: HMax = 3750 m. HMin = 2850 m.

### 5.2.8 Pendiente del cauce principal (%)

Se calcula como la cota mayor menos la cota inferior dividido la longitud del cauce principal y su importancia radica en que con este parámetro podemos tener un índice de velocidad de la escorrentía superficial, poder de arrastre y erosión en la cuenca del Río El Hato.

**Ecuación 5-1** Pendiente del cauce principal

$$S(\%) = \frac{H_{max} - H_{min}}{LCP * 1000} * 100 = \frac{3750m - 2850m}{16.01km * 1000} * 100 = 5.6 \%$$

### 5.2.9 Factor de forma

Relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud del cauce principal. También llamado relación de forma de Horton.

**Ecuación 5-2** Factor de forma

$$Rf = \frac{A}{LCP^2} = \frac{38.1 km^2}{(16.01km)^2} = 0.36$$

El valor calculado mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas. En nuestro caso nuestra cuenca es de tipo alargada lo que indica tiempos de viaje del agua mayor, los picos de crecidas son menos súbitos.

### 5.2.10 Coeficiente de compacidad

Relación entre el perímetro y la longitud de circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca. Este coeficiente, está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración de del sistema hidrológico.

**Ecuación 5-3** Coeficiente de compacidad

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{29.06 \text{ km}}{2\sqrt{\pi * 38.1 \text{ km}^2}} = 1.32$$

**Tabla 5-3** Forma de la cuenca de acuerdo al índice de

Clase de Forma	Índice de Compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - Redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 ó más de 2	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

**Fuente:** Caracterización y clasificación de la red hidrográfica de la cuenca en base a (Campos, 1992)

De acuerdo a la tabla 3, nuestra cuenca es de clase II de forma Oval redonda a Oval oblonga lo que significa que nuestra cuenca es alargada con gastos pico más atenuados y recesiones más prolongadas.

### 5.2.11 Índice de Alargamiento

Propuesto por Horton, este parámetro relaciona la longitud máxima de la cuenca y el ancho de la misma.

**Ecuación 5-4** Índice de Alargamiento

$$IA = \frac{LM}{AC} = \frac{10.297 \text{ km}}{3.698 \text{ km}} = 2.78$$

Evidentemente el cálculo de este parámetro confirma que nuestra cuenca tiene características alargadas por tener un valor superior a uno, de haber sido menor o igual a uno sería de tipo achatada. Así mismo podemos concluir que por ser alargada tiene valores altos de tiempos de concentración, por lo que pueden presentarse inundaciones.

### 5.2.12 Coeficiente de circularidad

Parámetro conocido también como coeficiente de Miller, relaciona el área de la cuenca entre el perímetro de la misma y varía de 0 a 1. Lo que indica que valores cercanos a uno indican morfologías ensanchadas y cercanos a cero morfologías alargadas.

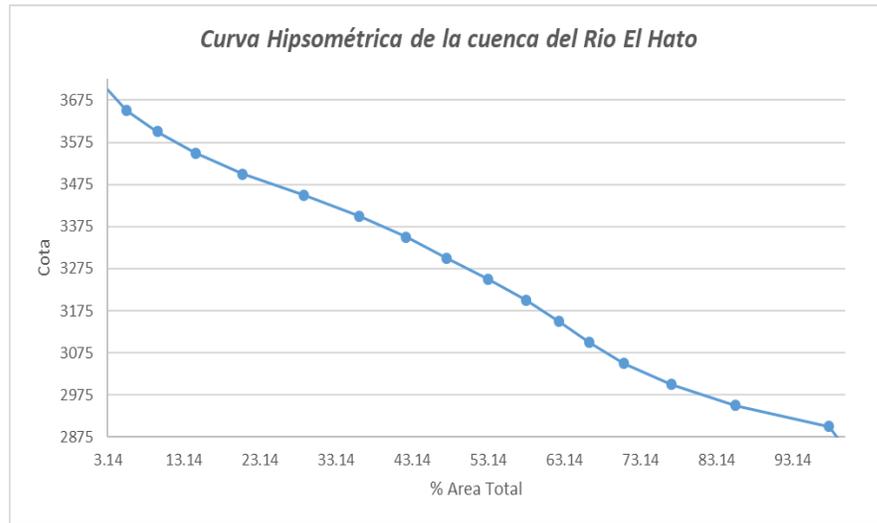
**Ecuación 5-5** Coeficiente de circularidad

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2} = \frac{38.01 \text{ km}}{29.06 \text{ km}} = 0.56$$

### 5.2.13 Curva Hipsométrica

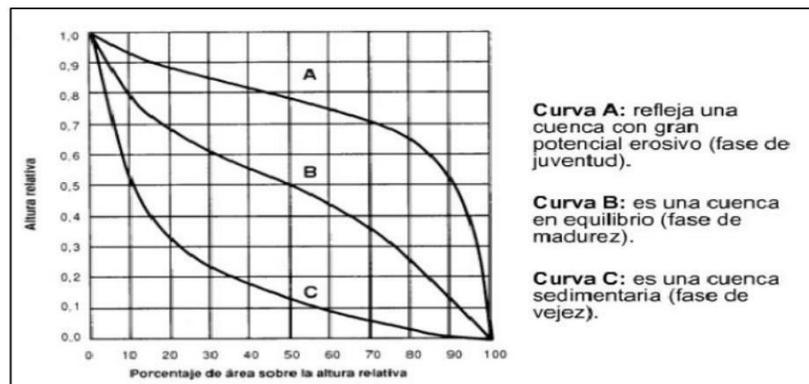
La curva hipsométrica representa la variación de altitudes en la cuenca, relacionando cotas y porcentaje de áreas entre cotas teniendo como resultado gráficamente la distribución de la cuenca por tramos de altura.

**Figura 5-2** Curva Hipsométrica del Río El Hato



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5-3** Interpretación de curva Hipsométrica



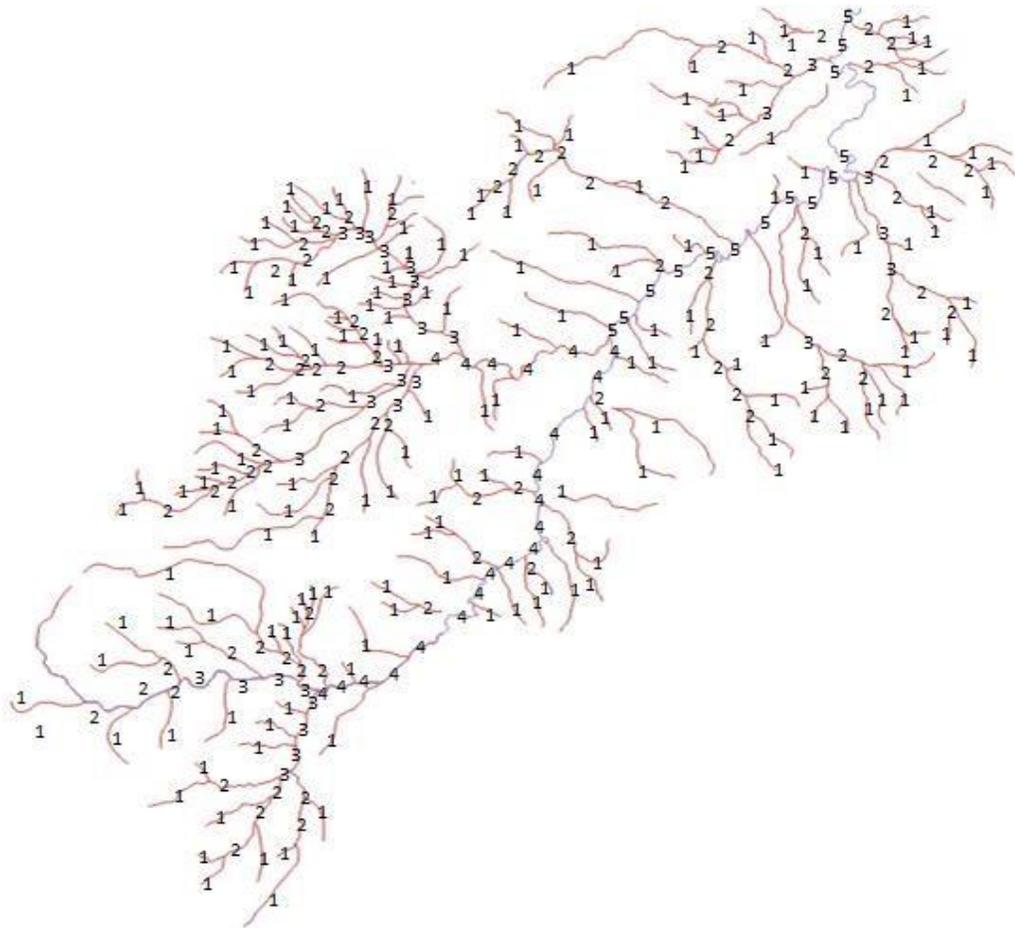
**Fuente:** Rojas, 2015

La cuenca del Río El Hato se encuentra entre las cotas 3750 m y 2850 m con una relación hipsométrica en equilibrio y pendientes casi uniformes. Se encuentra en su etapa de madurez, de erosión y sedimentación media con posibles eventos a generar inundaciones en caso de presentarse temporadas altas de lluvia.

### 5.2.14 Orden de la cuenca

Categorizada con orden 5, topografía de relieve montañoso y terreno escarpado presentando irregularidad en pendientes uniformes y altas, a lo largo de sus cauces.

Figura 5-4 Orden de la cuenca del rio El Hato



Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.15 Densidad de Drenajes

Definida por Horton como la longitud total de drenajes entre el área de superficie de la cuenca.

**Ecuación 5-6** Densidad de Drenajes

$$Dd = \frac{Lt}{A} = \frac{144.04 \text{ km}}{38.1 \text{ km}^2} = 3.78 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

De acuerdo al índice de clasificación por Horton, la cuenca es categorizada como bien drenada.

### 5.2.16 Tiempos de concentración

Denominado como el tiempo que tarda la lluvia en moverse desde el punto más distante de la cuenca hasta la salida de la misma. Se realizó el procedimiento para la ecuación de Kirpich y California Culverts Practice.

**Ecuación 5-7** Kirpich ( $T_c$ )

$$\text{Kirpich } (T_c) = 60 * 0.06628 * \left( \frac{LCP}{S^{0.5}} \right)^{0.77} = 102 \text{ minutos}$$

Dónde: LCP = Longitud del cauce principal de la cuenca (m); S = Pendiente de la cuenca (m/m)

**Ecuación 5-8** California ( $T_c$ )

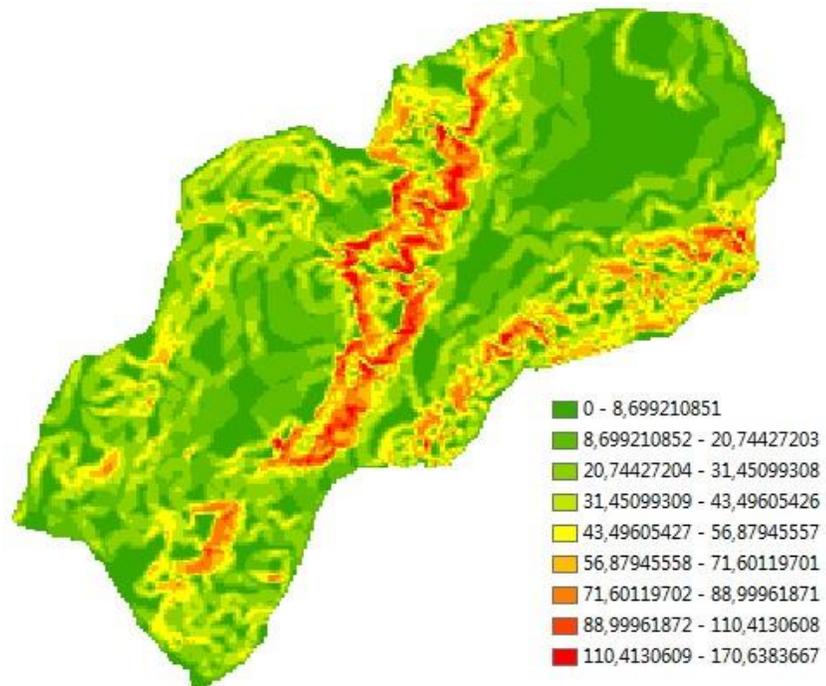
$$\text{California } (T_c) = 60 * 0.87 * \left( \frac{LCP^3}{DA} \right)^{0.385} = 94 \text{ minutos}$$

Dónde: LCP = Longitud del cauce principal de la cuenca (m); DA = Desnivel altitudinal (m)

### 5.2.17 Pendiente media en la cuenca

Esta característica nos da a conocer donde se genera mayor escorrentía. En la siguiente ilustración se pueden observar las diferentes pendientes en la cuenca.

**Figura 5-5** Mapa de pendientes de la cuenca del río El Hato



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-4** Pendiente Max, Min, Med de la cuenca El Hato

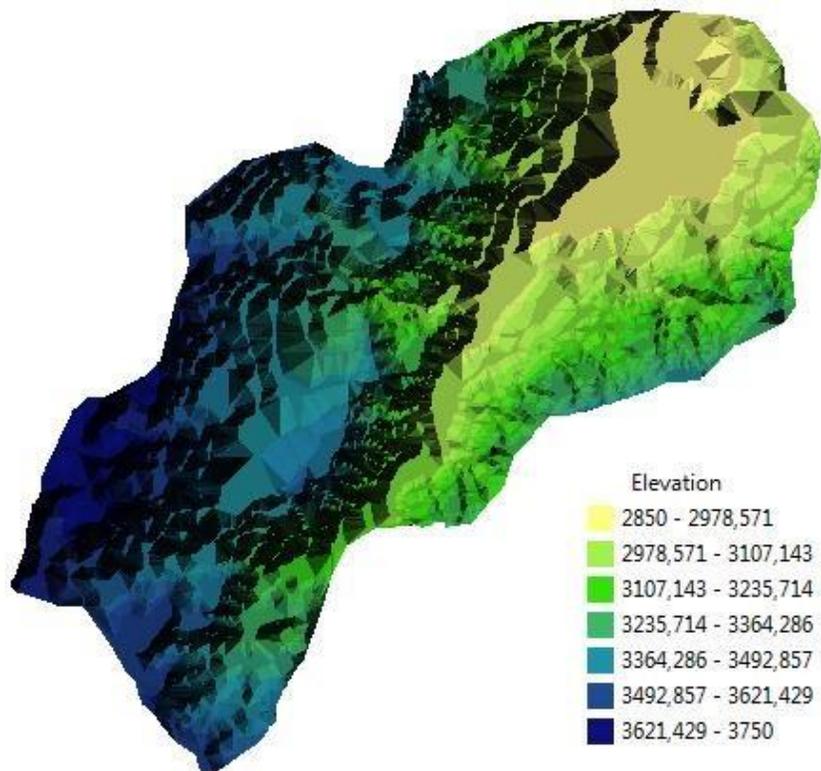
PENDIENTE	%
Min	0
Max	170
Med	29

**Fuente:** Elaboración propia.

### 5.2.18 Elevación de la cuenca

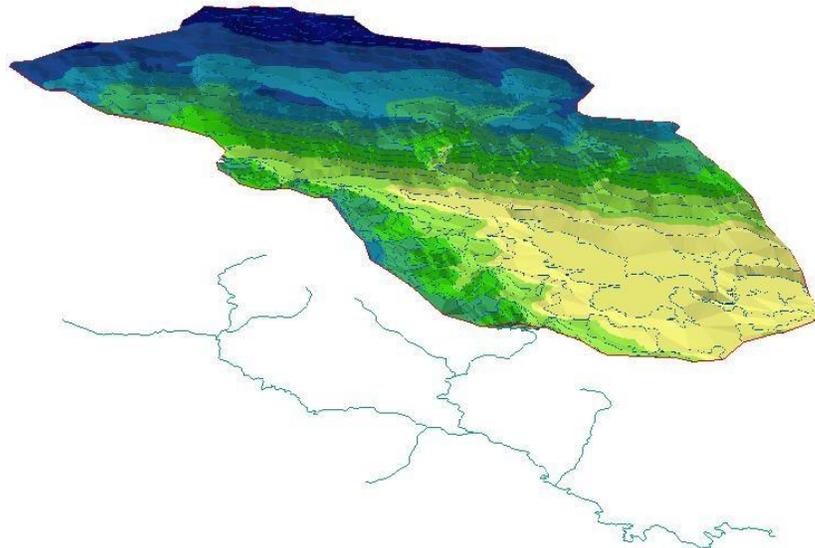
Determinar la elevación de la cuenca es importante ya que con esta información se puede determinar la mayor y menor altura en la cuenca y así analizar en qué altitud nace y desemboca la cuenca. A continuación, se ilustra el mapa de elevación de la cuenca del Río El Hato.

**Figura 5-6** Mapa 3D de elevaciones en la cuenca



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5-7** Mapa de elevaciones y red hídrica en la cuenca



**Fuente:** Elaboración propia.

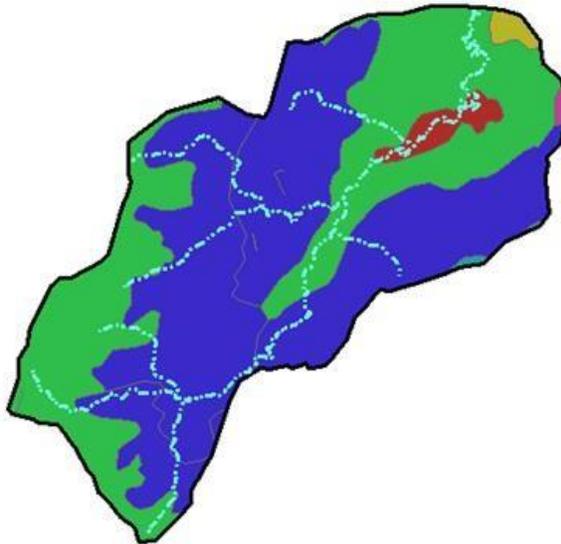
Una vez determinados los parámetros morfométricos de la cuenca del Río El Hato, se realizó un análisis de los tipos de suelo, cobertura y uso, para calcular el número de curva de escorrentía (CN) ponderado de la cuenca.

### **5.3 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**

Las características que componen el suelo de la cuenca del Río El Hato son importantes a la hora de implantar los modelos hidrológicos, ya que con esta información se puede definir qué capacidad tiene el suelo de retener y almacenar humedad, tanto el coeficiente de escorrentía (CN).

Para realizar dicho objetivo se obtienen los mapas de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:100.000.

**Figura 5-8** Mapa de tipos de suelo en la cuenca



**Fuente:** Elaboración propia.

La cuenca del Río El Hato está conformada por 6 tipos de suelos (Ilustración 7), caracterizados por ser moderadamente drenados, de textura finas a gruesas. Suelos que pueden ser profundos a superficiales. En la siguiente tabla se muestra.

**Tabla 5-5** Área total del tipo de suelos en la cuenca

<b>TIPO DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RIO EL HATO</b>		
No.	Suelo	Área (km <sup>2</sup> )
1	Depósitos clásticos hidrogénicos y gravigenicos	0.883
2	Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas, limo arcillosas	0.095
3	Rocas clásticas arenosas y limo arcillosas	15.137

Continuación tabla 5-5

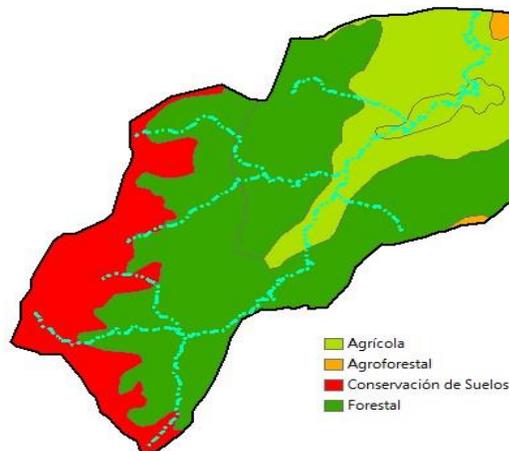
4		Rocas clásticas arenosas, limo arcillosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica	0.098
5		Rocas clásticas limo arcillosas y arenosas	21.562
6		Rocas clásticas limo arcillosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica	0.336
TOTAL AREA:			<b>38.1</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4 CARACTERIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL

Mapa de cobertura vegetal que compone la cuenca para determinar qué cantidad de precipitación almacena la vegetación superficial.

Figura 5-9 Tipos de cobertura vegetal en la cuenca



Fuente: Elaboración propia.

La cuenca el hato se compone de 4 tipos de vegetación como lo son:

**Tabla 5-6** Área total del tipo de cobertura vegetal en la cuenca

<b>TIPO DE VEGETACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO EL HATO</b>			
<b>No.</b>	<b>Vegetación</b>	<b>Pendientes</b>	<b>Área (km2)</b>
1	Agrícola	1 - 7 %	9.273
2	Agroforestal	25 - 75 %	0.431
3	Conservación de suelos	> 25 %	6.744
4	Forestal	25 - 75 %	21.66
TOTAL AREA:			<b>38.1</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.5 DISEÑO DE TORMENTA DEL PROYECTO

Una vez obtenida la caracterización de la cuenca de Rio El Hato, se calcularon los hietogramas o tormentas de diseño en función de los registros de valores totales mensuales de precipitación, máxima en 24 horas (mm), anuales en las estaciones de influencia sobre la cuenca.

A partir de la información suministrada por la CAR, se identificaron en total 9 estaciones distribuidas en la zona de la cuenca del Rio El Hato, en el municipio del Carmen de Carupa de las cuales 8 son de categoría pluviométricas y un pluviógrafo (Tabla 4-7).

**Tabla 5-7** Estaciones con influencia en la cuenca

ID	ESTACION	NOMBRE	ALTITUD	Utm_X	Utm_Y	CAT
1	2401035	HATO EL	2900	620504.3909	585351.486	PG
2	2401052	HATO 1	3067	619246.5469	584612.2252	PM
3	2401053	HATO 2	2967	619020.3029	581915.3929	PM
4	2401054	HATO No 3 EL	3398	615622.0565	581550.3149	PM
5	2401055	HATO No 4 EL	3465	614266.1409	578599.8352	PM
6	2401056	HATO No 5 EL	3360	615330.6157	577216.5341	PM
7	2401057	HATO 6	3274	616278.4284	577503.7183	PM
8	2401058	HATO 7	3059	619539.9682	576913.4363	PM
9	2401059	HATO No 8 EL	2963	621348.6169	581449.5523	PM

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-8** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO EL

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	131	78	209	241	183	165	86	123	132	190	264	154	963
MED	26	36	72	100	84	49	41	44	52	99	98	48	746
MIN	0	1	5	24	33	4	1	5	0	16	33	4	524

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-9** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 1

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	139	123	223	387	222	118	154	146	186	244	294	203	1898
MED	35.21	50.86	94.54	121.87	103.27	52.80	50.09	45.38	66.09	124.78	109.29	61.35	915.54
MIN	0	0	14.8	8.5	20.9	2.6	4.9	7.1	0	12	9.6	0	225.1

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-10** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 2

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	121	129	201	466	250	122	220	112	150	286	293	141	1573
MED	19	41	78	113	88	44	36	32	49	109	94	47	719
MIN	0	0	0	0	2	3	5	2	0	0	5	0	244

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-11** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 3

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	187	188	169	205	180	161	176	221	244	304	241	169	1676
MED	43	61	96	114	112	90	94	99	105	132	138	70	1154
MIN	0	11	11	4	40	35	34	42	28	32	40	13	709

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-12** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 4

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	147	151	169	214	269	270	164	140	212	238	259	158	1446
MED	39	64	95	128	126	103	91	86	106	130	114	62	1144
MIN	0	7	28	63	65	44	31	41	14	52	13	0	796

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-13** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 5

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	154	271	312	362	288	434	341	323	447	512	390	295	2896
MED	63	97	135	196	150	179	150	142	156	226	174	83	1752
MIN	0	0	0	81	30	35	33	32	33	40	10	0	1061

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-14** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 6

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	163	238	193	325	217	200	247	330	232	282	231	214	2161
MED	46	70	118	142	123	116	114	105	99	140	132	75	1280
MIN	0	7	22	39	18	34	26	26	22	27	33	0	703

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-15** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 7

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	149	158	214	364	240	207	160	196	286	281	255	136	1513
MED	37	57	107	128	125	82	80	69	78	134	121	66	1085
MIN	0	5	16	10	20	27	20	20	10	15	24	10	363

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5-16** Valores medios, máximos y mínimos totales multianuales de precipitación. Estación HATO 8

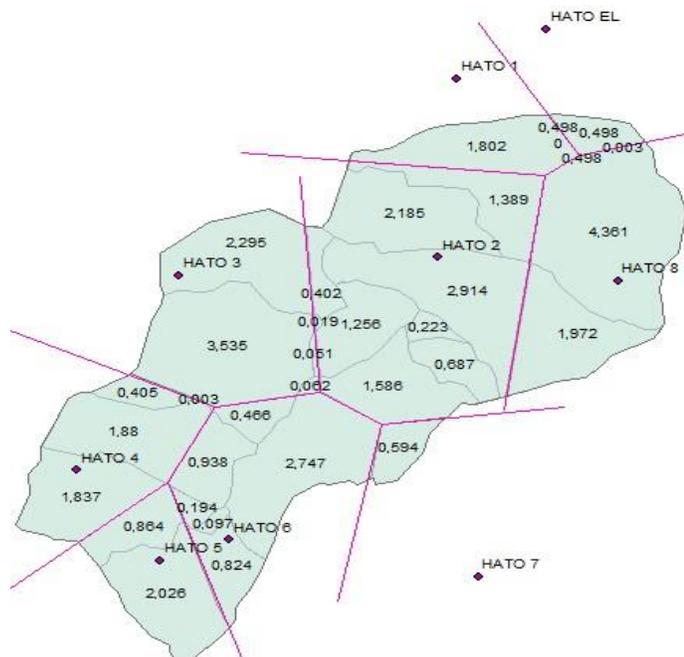
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAX	135	165	197	290	237	280	162	240	260	297	292	222	1480
MED	39	43	93	129	111	67	53	65	75	129	131	74	1010
MIN	0	0	0	10	10	10	6	0	0	0	0	0	415

**Fuente:** Elaboración propia.

Como resultado del análisis de la precipitación de todas las estaciones seleccionadas, se identificó los meses con mayor precipitación los cuales son abril, septiembre y octubre. También se pudo identificar los meses más secos en la cuenca, los cuales son enero, Julio y agosto.

La precipitación promedio a nivel multianual para toda la cuenca, se obtiene ponderando la lluvia neta media de cada estación en función del área de influencia sobre la cuenca.

**Figura 5-10** Polígono de Thiessen – Cuenca del Rio El Hato



**Fuente:** Elaboración propia con base en información de la CAR

Este procedimiento permitió determinar la precipitación media de la cuenca, que es igual a 1052 mm, la cual se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 5-17** Calculo de la precipitación media en la cuenca del Rio El Hato

<i>ESTACIÓN</i>	<i>PRECIPITACION ACUM. ANUAL (mm)</i>	<i>AREA</i>		<i>PRECI*AREA</i>
		<i>KM2</i>	<i>%</i>	
HATO EL	746	0.50	1.31%	9.75
HATO 1	916	1.80	4.73%	43.31
HATO 2	719	10.66	27.97%	201.12
HATO 3	1154	5.94	15.59%	179.95
HATO 4	1144	4.13	10.82%	123.82
HATO 5	1752	2.89	7.58%	132.85
HATO 6	1280	5.27	13.82%	176.86
HATO 7	1085	0.59	1.56%	16.91
HATO 8	1010	6.33	16.62%	167.83
<b>TOTAL</b>		<b>38.11</b>	<b>100%</b>	<b>1052</b>

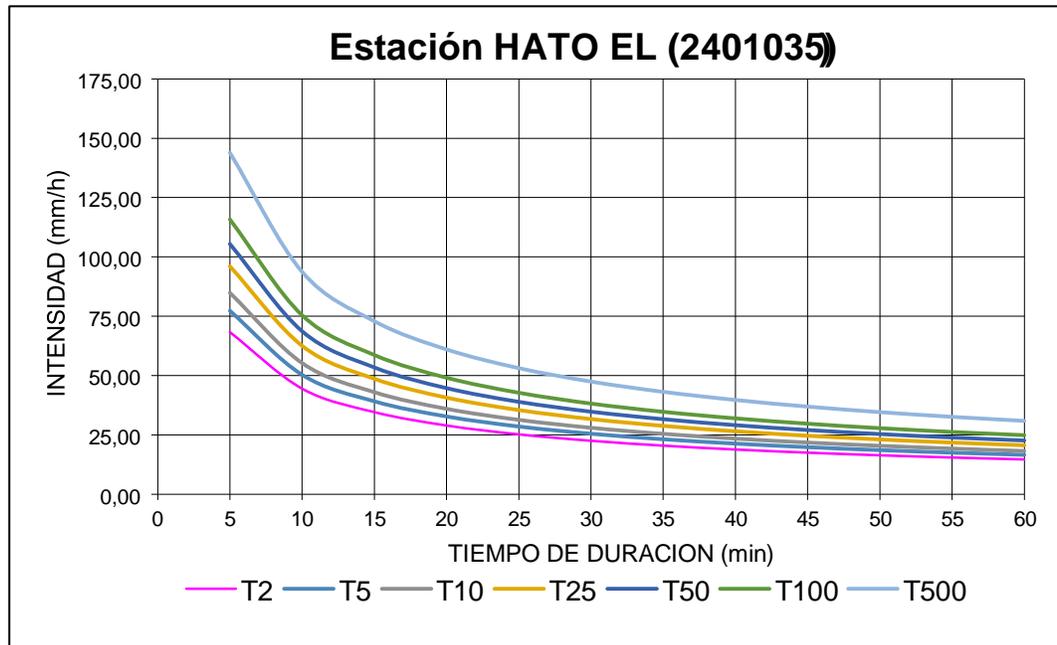
**Fuente:** Elaboración propia con base en información de la CAR

**Ecuación 5-9** Cálculo de la precipitación media en la cuenca

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

Una vez calculada la precipitación media de la cuenca y por estaciones se procedió a generar las curvas IDF para cada estación con periodos de retorno de (2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500). Una de las curvas aproximadas obtenida, se muestra a continuación y en nuestro caso se obtuvieron 9 curvas IDF.

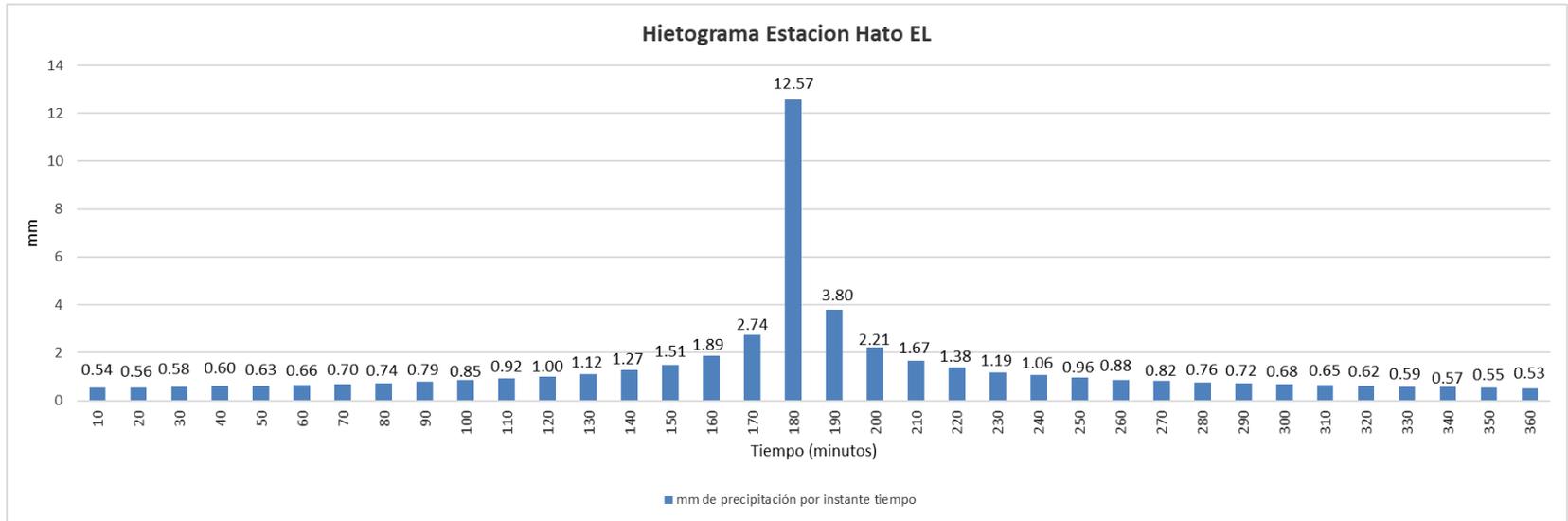
**Figura 5-11** Curva IDF obtenida para la estación Hato El



**Fuente:** Elaboración propia con información de la CAR y el profesor Oliveras Ferret (Hidrojing)

Posteriormente, se calcularon los hietogramas de los aguaceros puntuales respectivos, para periodos de retorno de 100 años con intervalos cada 10 minutos. Hietogramas Adjuntos a continuación.

**Figura 5-12** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato El



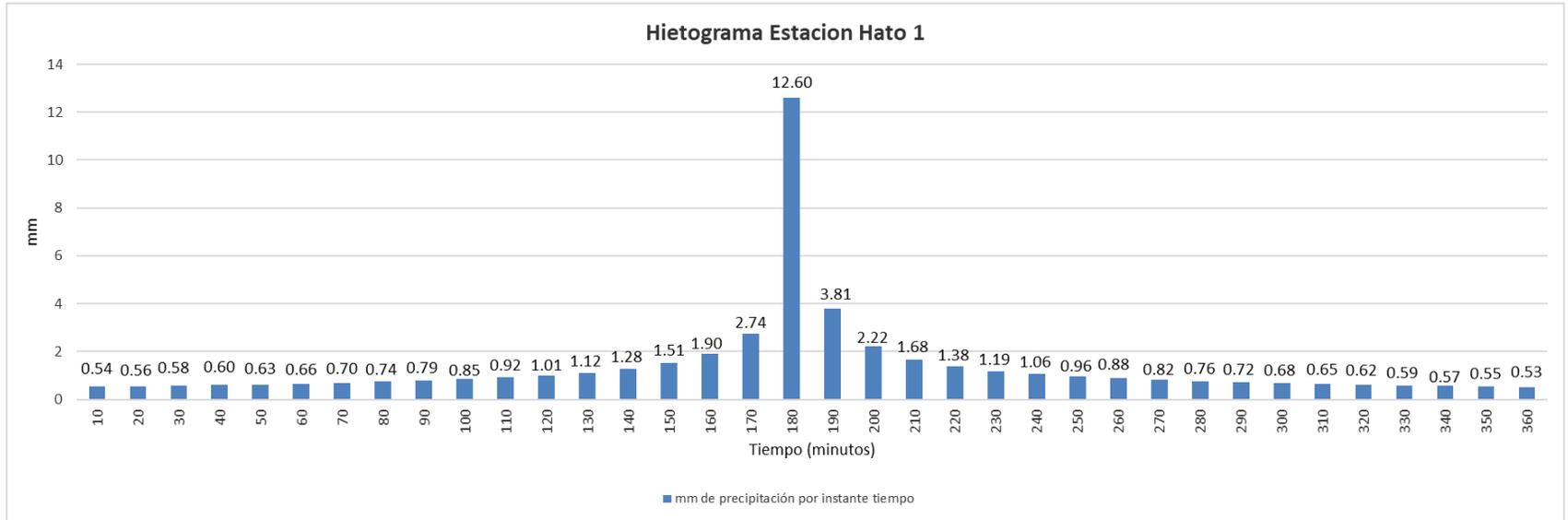
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-18** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato El

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	<b>6</b>
Intesidad de lluvia (mm/h)	<b>8.21</b>
Precipitación en 24 horas (mm)	<b>49.26</b>
Intervalos de tiempo (min)	<b>10</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-13** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 1



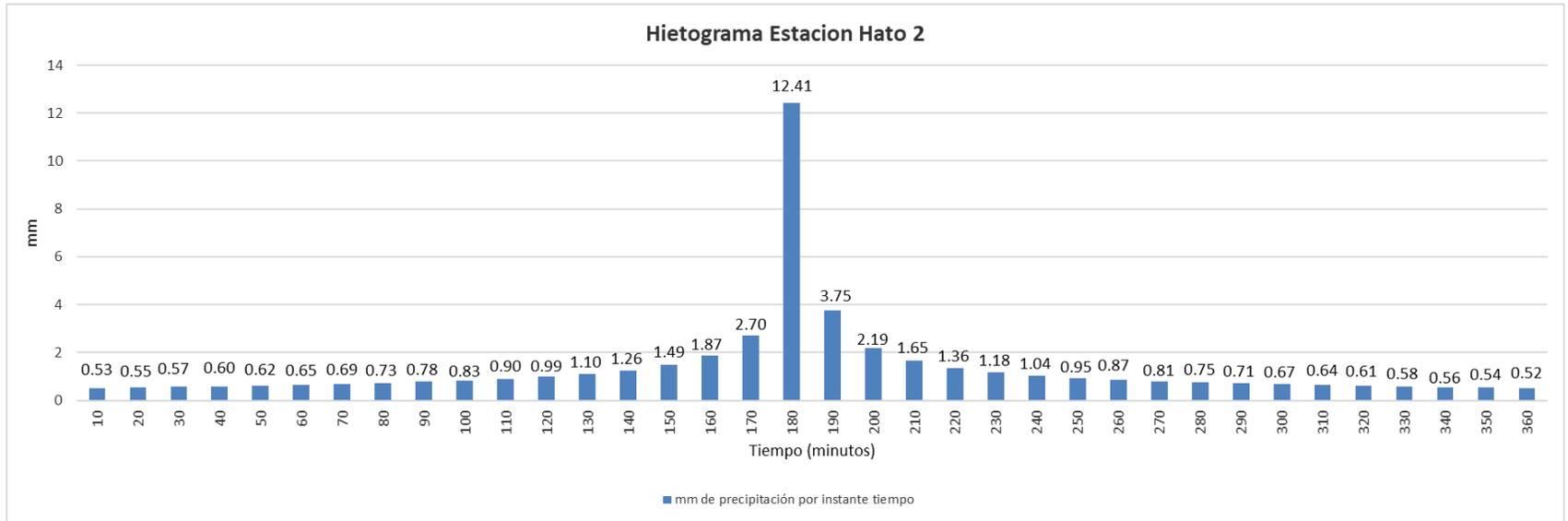
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-19** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 1

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	<b>6</b>
Intesidad de lluvia (mm/h)	<b>8.23</b>
Precipitación en 24 horas (mm)	<b>49.40</b>
Intervalos de tiempo (min)	<b>10</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-14** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 2



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-20** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 2

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intesidad de lluvia (mm/h)	8.23
Precipitación en 24 horas (mm)	49.40
Intervalos de tiempo (min)	10

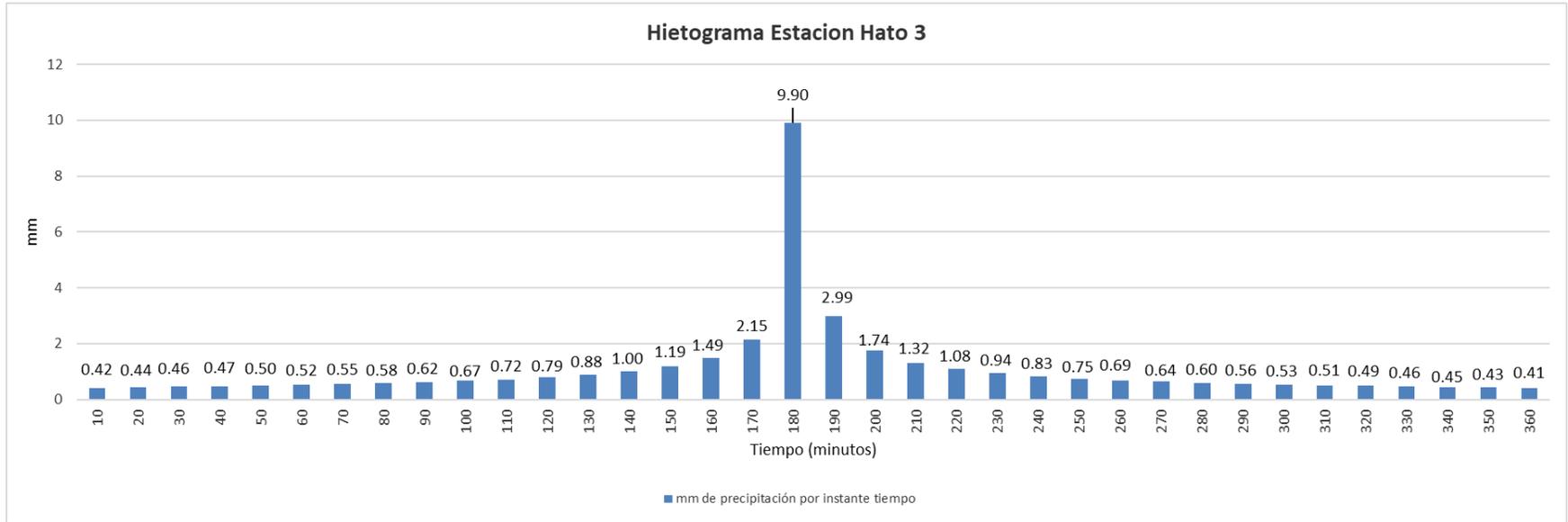
Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-10** Ecuación representativa de curva IDF HATO 2

$$I = \frac{159.4901 * T^{0.144093}}{t^{0.61885}}$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-15** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 3



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-21** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 3

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intensidad de lluvia (mm/h)	6.46
Precipitación en 24 horas (mm)	38.78
Intervalos de tiempo (min)	10

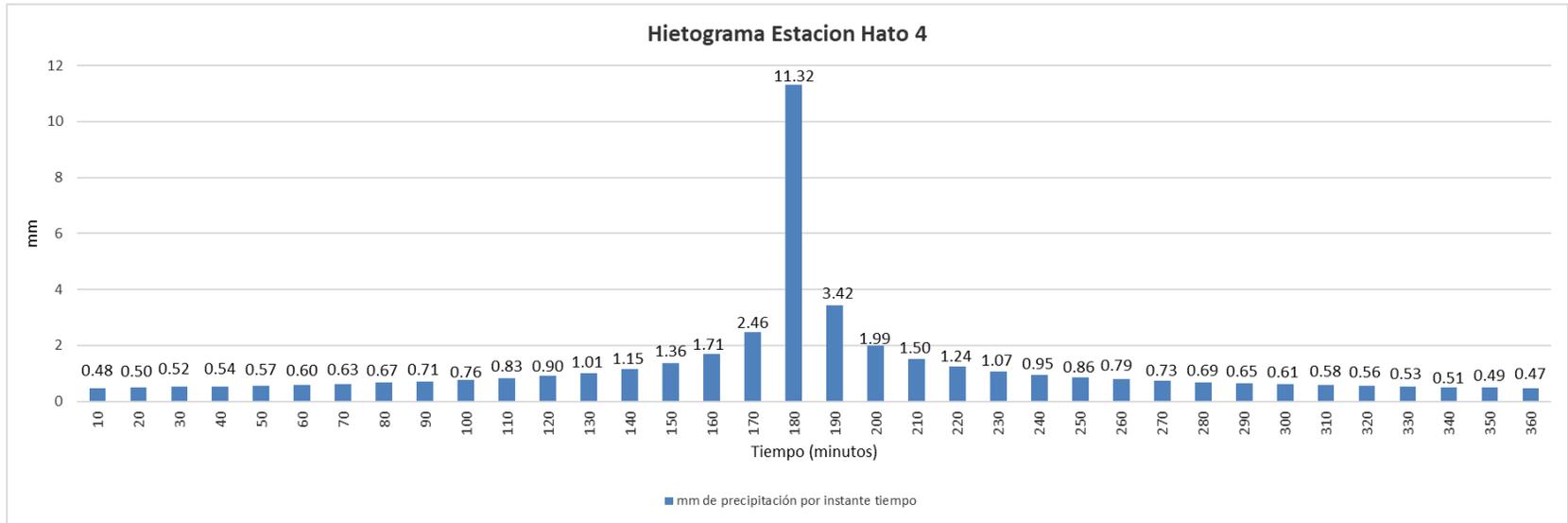
Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-11** Ecuación representativa de curva IDF HATO 3

$$I = \frac{154.1772 * T^{0.102228}}{0.61885 t}$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-16** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 4



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-22** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 4

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intesidad de lluvia (mm/h)	7.40
Precipitación en 24 horas (mm)	44.38
Intervalos de tiempo (min)	10

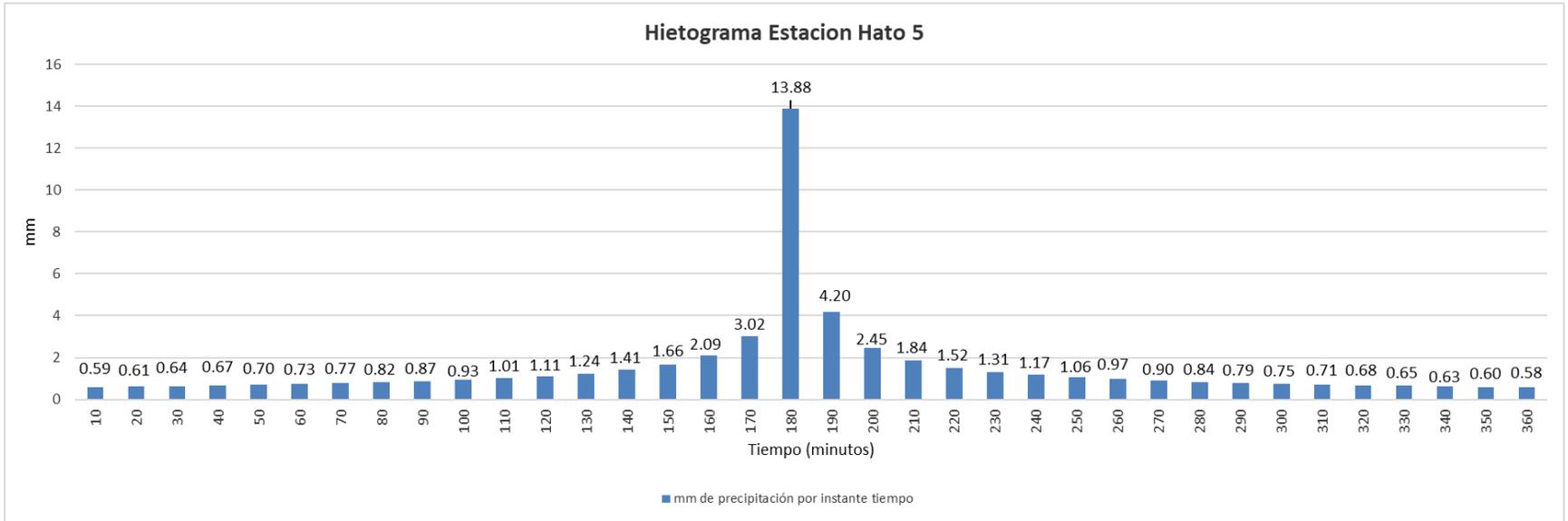
Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-12** Ecuación representativa de curva IDF HATO 4

$$I = \frac{136.2533 * T^{0.158323}}{0.61885 t}$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-17** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 5



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-23** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 5

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intensidad de lluvia (mm/h)	9.07
Precipitación en 24 horas (mm)	54.40
Intervalos de tiempo (min)	10

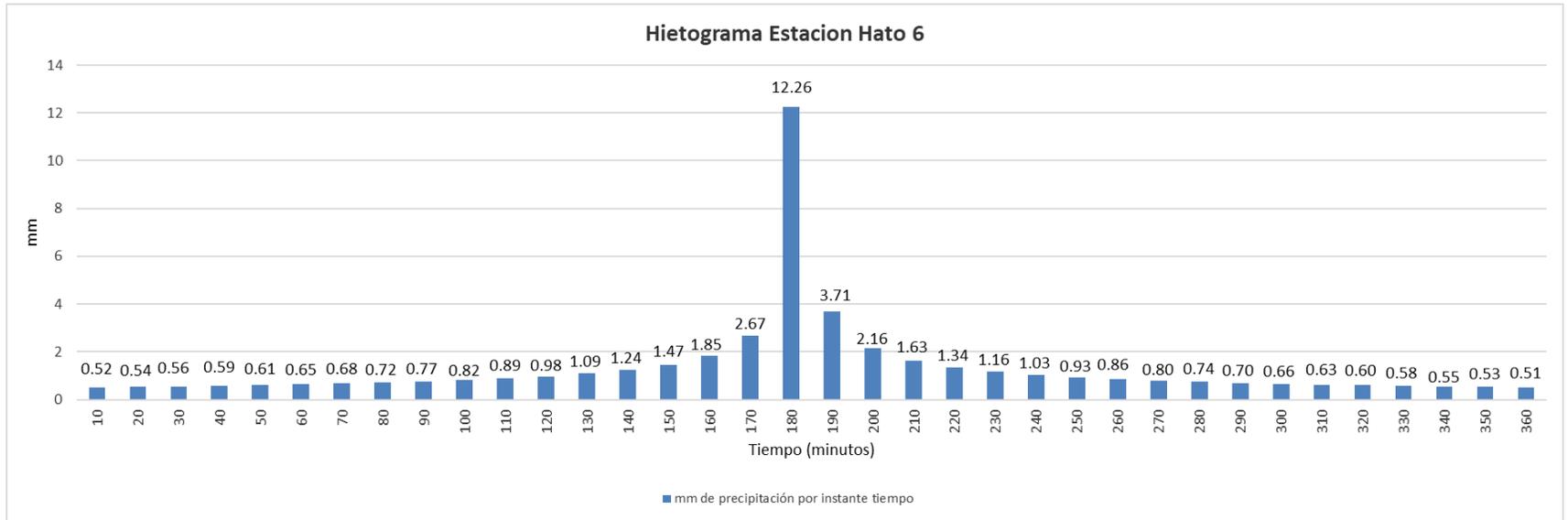
Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-13** Ecuación representativa de curva IDF HATO 5

$$I = \frac{143.7815 * T^{0.190872}}{0.61885 t}$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-18** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 6



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-24** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 6

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intensidad de lluvia (mm/h)	8.01
Precipitación en 24 horas (mm)	48.05
Intervalos de tiempo (min)	10

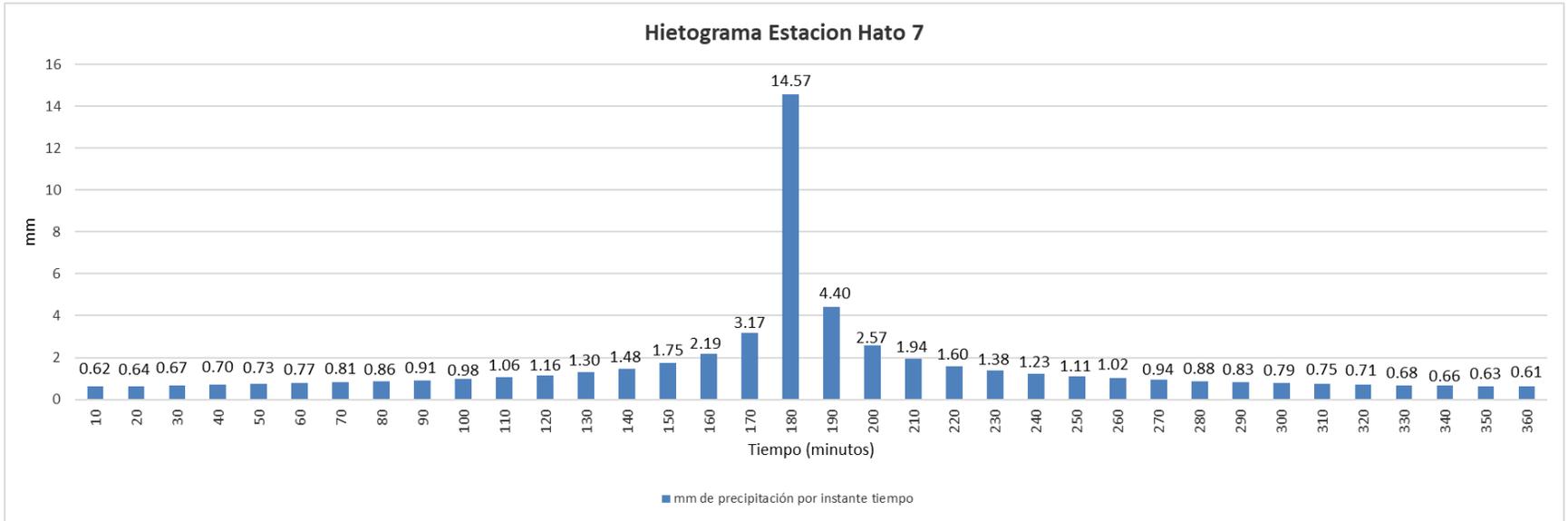
Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-14** Ecuación representativa de curva IDF HATO 6

$$I = \frac{142.3767 * T^{0.166030}}{0.61885 t}$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-19** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 7



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-25** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 7

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intensidad de lluvia (mm/h)	9.51
Precipitación en 24 horas (mm)	57.09
Intervalos de tiempo (min)	10

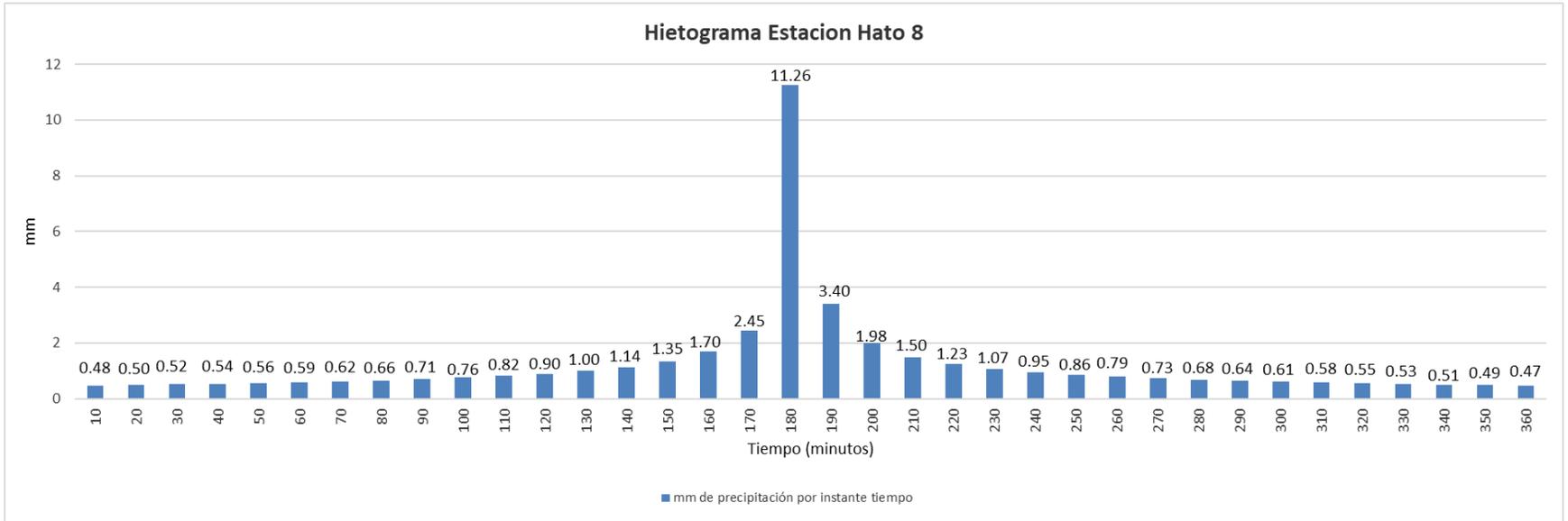
Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-15** Ecuación representativa de curva IDF HATO 7

$$I = \frac{157.9348 * T^{0.180942}}{0.61885 t}$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-20** Hietograma de precipitación obtenido para la estación Hato 8



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-26** Datos Hietograma de precipitación obtenidos para la estación Hato 8

<b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS</b>	
Duración de la tormenta (h)	6
Intensidad de lluvia (mm/h)	7.35
Precipitación en 24 horas (mm)	44.13
Intervalos de tiempo (min)	10

Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación 5-16** Ecuación representativa de curva IDF HATO 8

$$I = \frac{151.3447 * T^{0.134275}}{0.61885 t}$$

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 ESTUDIO DE CAUDALES

Para el estudio de caudales, se utilizó la información de la estación El Hato [2401798] y Corralejas [24017100] de tipo Limnimétrica. Las estaciones registran los Caudales Medios Mensuales multianuales (m<sup>3</sup>/s) de entrada al embalse en la corriente del Río Ubaté.

**Tabla 5-27** Valores medios, máximos y mínimos de Caudales (m<sup>3</sup>/s). Estación El Hato -2401798

EL HATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
Medios	0.29	0.30	0.38	0.62	0.70	0.54	0.53	0.42	0.43	0.56	0.75	0.49
Máximo	0.63	1.26	1.18	2.34	1.95	1.51	1.37	0.83	1.08	1.62	1.76	0.96
Mínimo	0.09	0.10	0.11	0.11	0.13	0.16	0.18	0.23	0.24	0.17	0.14	0.10

**Fuente:** Elaboración propia con base en información de la CAR.

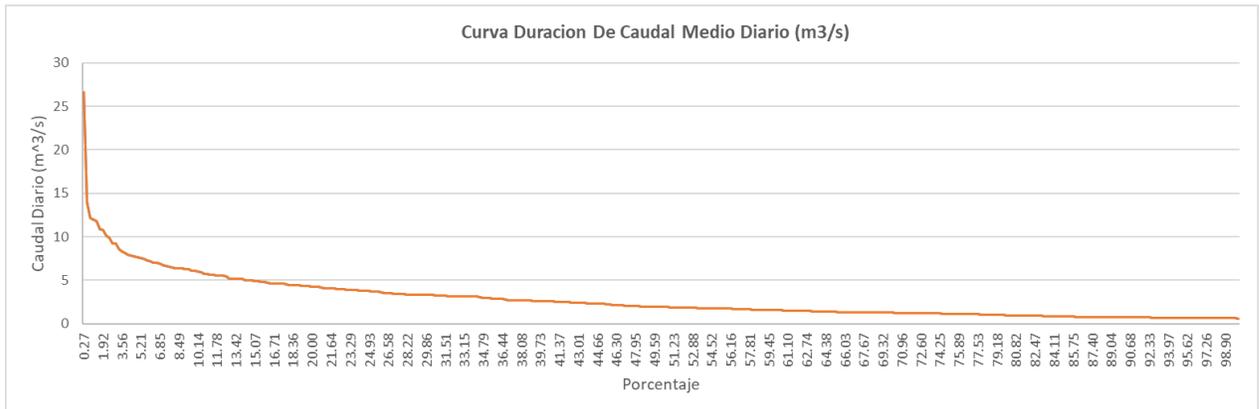
**Tabla 5-28** Valores medios, máximos y mínimos de Caudales (m<sup>3</sup>/s). Estación Corralejas 24017100

Corralejas	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIOS	0.37	0.3	0.34	0.81	0.86	0.63	0.5	0.44	0.5	0.77	1.21	0.6
MAXIMO	10.8	2.9	6.32	8.33	10.9	12	9.9	4.97	8.5	10.1	26.6	6.3
MINIMO	0.09	0.1	0.09	0.06	0.05	0.09	0.1	0.09	0.1	0.1	0.03	0

**Fuente:** Elaboración propia con base en información de la CAR.

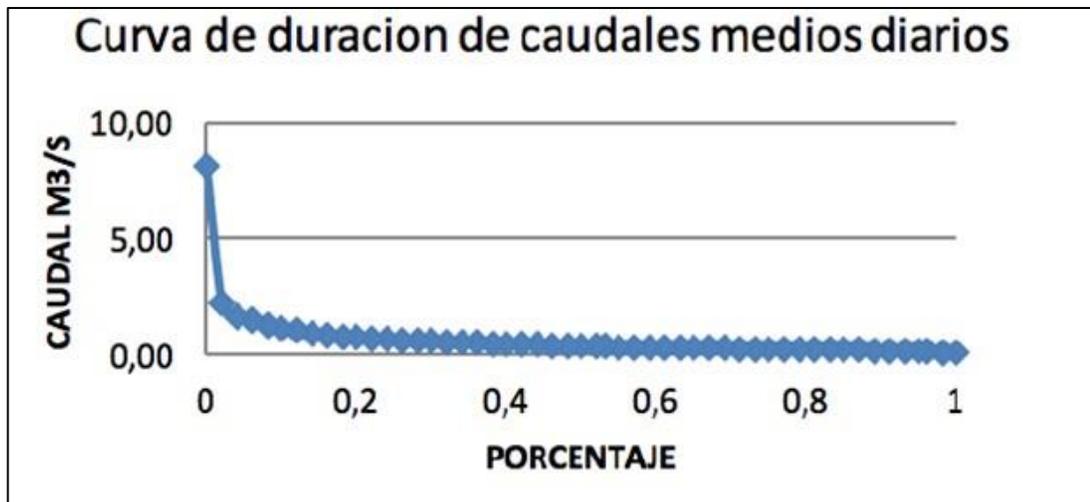
### 5.6.1 Curvas de Duración de caudal

**Figura 5-21** Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s). Estación Corralejas 24017100



**Fuente:** Elaboración propia con base en información del IDEAM

**Figura 5-22** Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s). Estación Hato 2401798



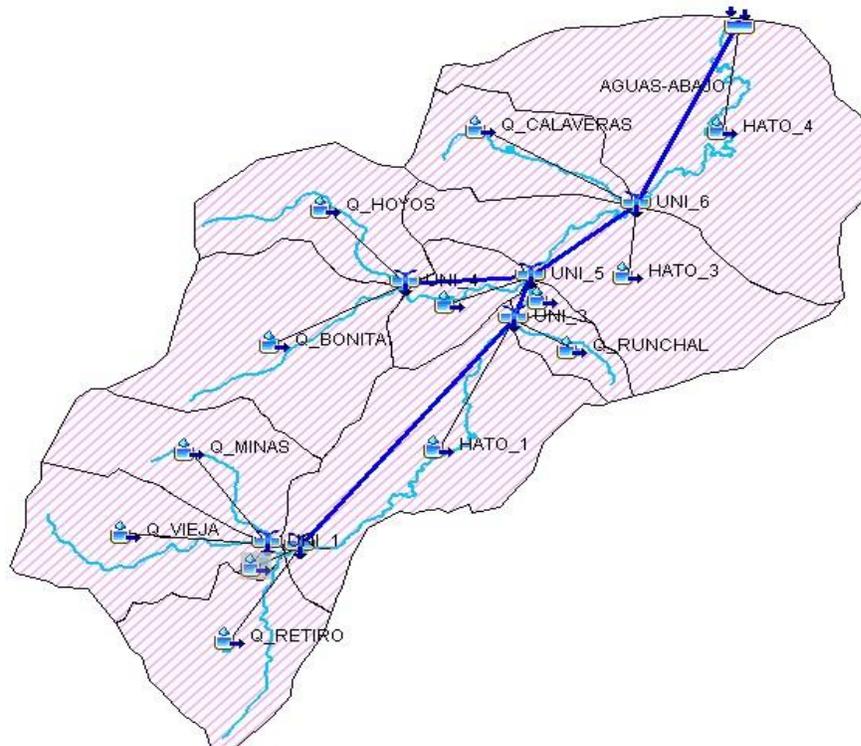
**Fuente:** (Coporación autónoma regional)

Se puede establecer analizando los datos que los caudales en la cuenca presentan valores pico en los meses de abril, mayo y noviembre. También se presentan valores bajos durante los meses de enero y febrero. Así mismo, la importancia de estudiar las dos estaciones de caudal, radica en que con ellas haremos la calibración del modelo hidrológico.

## 5.7 MODELO HIDROLÓGICO

### 5.7.1 Modelo de la cuenca (Basin models)

Figura 5-23 Modelo básico trazado - Cuenca del Río El Hato



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4-7 se observa la elaboración de los shapes para el modelo base del HEC-HMS que se realizaron con en el ArcGIS. Para este caso se utilizó el mapa de subcuencas y red de drenajes (anexo 2 y 3). Los procesos de caracterización realizados son de gran importancia para conocer la dirección del flujo de la cuenca para llevar un orden lógico desde el punto más alto hasta el punto de salida de la cuenca. La cuenca el hato se compone de 9 subcuencas hidrográficas que estas a su vez se unen para componer la red hídrica de la cuenca El Hato, posteriormente drenan sus aguas hacia la zona baja del cauce principal desembocando el agua hasta el sitio de presa en el embalse.

### 5.7.2 Modelo meteorológico (Meteorologic Models)

Se ingresan los datos de hietogramas correspondientes a las tormentas de diseño, a cada subcuenca de acuerdo al área de influencia, parte de la información calculada en anexo (A.2, A.3, A.4).

#### Datos de entrada:

Los datos obligatorios de entrada que necesita el modelo para cada subcuenca son resultados obtenidos por ArcGIS y cálculos manuales de Tc.

A continuación, se presenta una tabla de resúmenes con los datos de entrada obtenidos para cada subcuenca:

**Tabla 5-29** Subcuencas – Cuenca del río El Hato

NOMBRE	AREA(KM2)	LONGITUD (KM)	Tc(min)
Q_RETIRO	2,85	2,58	19
Q_VIEJA 1	2,9	3	21
Q_MINAS	2,82	2,14	14
Q_VIEJA 2	0,1	0,23	2
C_H1	4,99	4,99	44
Q_HOYOS	2,7	3,2	19
Q_BONITA	4,43	2,77	16
Q_CHORRERA	1,31	1,81	17
Q_RUNCHAL	0,69	1,43	10
C_H2	0,22	0,63	8
C_H3	4,89	1,92	27
Q_CALAVERAS	2,19	2,58	17
C_H4	8,05	5,31	87

Fuente: Elaboración propia.

### 5.7.3 Modelo hidrológico SCS Curva Number

De acuerdo con la información de la CAR, el área de la cuenca tiene un valor de almacenamiento para todos los suelos de 50 mm, también con la información de suelos se pondero el CN para toda la cuenca en este caso el valor es de 74. La máxima infiltración se tomó en función del tipo de suelo y su capacidad para permitir el flujo a través de él.

En cuanto al porcentaje de impermeabilidad, se tomó como 0 debido a que el mayor porcentaje de área de la cuenca es rural. En cuanto a los modelos de perdida usados para correr el modelo utilizamos:

### 5.7.4 Modelo hidrológico Soil Moisture Accounting

En la tabla siguiente se presentan los parámetros usados para la calibración y rango de valores por defecto de este modelo hidrológico ya que no se encuentra información ni estudios realizados para estos parámetros donde se tomó como referencia la siguiente tabla.

**Tabla 5-30** Rango de parámetros usados para los modelos del HEC-HMS

	PARÁMETROS	CONDICIONES INICIALES	SIGNIFICADO	RANGOS DE VARIACIÓN POR DEFECTO (PARÁMETROS)
CANOPY	Max Storage (mm)	Initial Storage (%)	Almacenaje máximo, Almacenaje inicial	0.001 - 1500
SURFACE	Max Storage (mm)	Initial Storage (%)	Almacenaje máximo, Almacenaje inicial	0.001 - 1500
LOSS	Max infiltration (mm/hr)	Soil (%)	Infiltración máxima, Suelo	0.01 - 500
	Impervious (%)	Groundwater 1 (%)	Zonas impermeables, agua subterránea 1	0 - 100
	Soil Storage (mm)		Almacenaje del suelo	0.01 - 1500
	Tension Storage (mm)		Almacenaje en zona de tensión	0.01 - 1500
	Soil Percolation (mm/hr)		Percolación del suelo	0.01 - 500
	GW 1 Storage (m)		Almacenaje en agua subterránea 1	0.01 - 1500
	GW 1 Percolation (mm/hr)		Percolación en agua subterránea 1	0.01 - 500
TRANSFORM	GW 1 Coefficient (hr)		Coefficiente en agua subterránea 1	0.01 - 10000
	Time of Concentration (hr)		Tiempo de concentración	0.0167 - 1000
	Storage Coefficient (hr)		Coefficiente de almacenaje	0.01 - 1000
BASEFLOW	GW 1 Storage Coefficient (hr)	GW 1 Initial (%)	Coefficiente de almacenaje en agua subterránea 1, Cantidad inicial en agua subterránea 1	0.01 - 10000

**Fuente:** Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo

### 5.7.5 Modelo hidrológico Initial and Constant

Según el manual técnico del software HEC-HMS presenta una tabla, adjunta en el anexo (A.5) para determinar el valor promedio en toda la cuenca, según el mapa de suelos presente en el documento. Se considera que el suelo está en una clasificación tipo C en un rango de 5 mm valor que se ingresa en modelo.

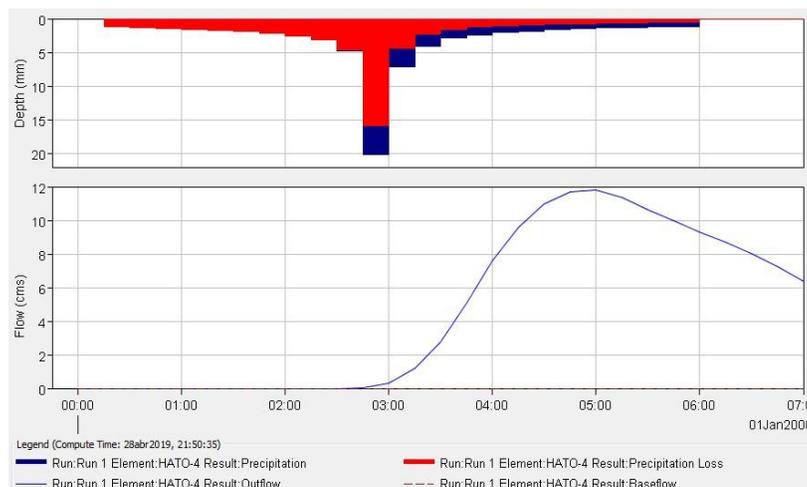
### 5.7.6 Resultados Modelo hidrológico del número de curva (SCS CURVER NUMBER):

Este modelo desarrolla una función importante en la cuenca de estudio ya que realiza una clasificación por tipo de suelo, cobertura vegetal y humedad del suelo, dando como resultando un numero de curva que representa esta clasificación; transformando datos de precipitación en precipitaciones de exceso o netas y determinando los diferentes tipos de perdida que se presentan con esta información.

A continuación, realizaremos un análisis de los resultados que se presentaron al implementar el modelo del número de curva que se realizó en la cuenca El Hato.

En la cuenca el hato se incluyó las 9 estaciones meteorológicas de acuerdo a la información recopilada, estas estaciones se ingresaron con una duración de tormenta de 6 horas y un intervalo de tiempo de cada 10 minutos dando como resultado la siguiente información:

**Figura 5-24** Resultados modelo scs curver number



Fuente: Software HEC-HMS

**Tabla 5-31** Resultados globales del modelamiento hidrológico scs curver number

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)
01ene2000	00:15	1,17	1,16	0,0	0,6
01ene2000	00:30	1,24	1,19	0,0	0,6
01ene2000	00:45	1,33	1,24	0,0	0,6
01ene2000	01:00	1,41	1,28	0,1	0,6
01ene2000	01:15	1,54	1,36	0,1	0,6
01ene2000	01:30	1,67	1,42	0,2	0,6
01ene2000	01:45	1,88	1,55	0,4	0,6
01ene2000	02:00	2,11	1,67	0,7	0,6
01ene2000	02:15	2,54	1,91	1,0	0,6
01ene2000	02:30	3,10	2,21	1,4	0,6
01ene2000	02:45	4,71	3,13	2,0	0,6
01ene2000	03:00	20,16	10,85	3,3	0,6
01ene2000	03:15	7,10	3,07	5,7	0,6
01ene2000	03:30	4,02	1,60	9,3	0,6
01ene2000	03:45	2,86	1,09	13,8	0,6
01ene2000	04:00	2,39	0,88	17,9	0,6
01ene2000	04:15	2,02	0,72	20,6	0,6
01ene2000	04:30	1,82	0,63	21,9	0,6
01ene2000	04:45	1,62	0,55	21,8	0,6
01ene2000	05:00	1,50	0,50	20,9	0,6
01ene2000	05:15	1,38	0,45	19,0	0,6
01ene2000	05:30	1,30	0,42	17,0	0,6
01ene2000	05:45	1,21	0,38	15,3	0,6
01ene2000	06:00	1,16	0,36	13,9	0,6
01ene2000	06:15	0,00	0,00	12,6	0,6
01ene2000	06:30	0,00	0,00	11,4	0,6
01ene2000	06:45	0,00	0,00	10,1	0,6
01ene2000	07:00	0,00	0,00	8,7	0,6

Fuente: Software HEC-HMS

En cuanto al volúmenes simulados se puede observar que la cuenca sufre un caudal máximo de 11,8 m<sup>3</sup>/s donde ocurre a las 5:00 en punto, en el mismo instante que deja de llover, la cuenca tiene una pérdida de infiltración por suelo de 53,61 mm y una escorrentía superficial de 17,65 mm esto representa a su vez un exceso de volumen en el instante que el caudal alcanza su máxima descarga; En cuanto a nuestro tipo de suelo tiene un alto porcentaje de infiltración ya que representa la mayor pérdida sobre la cuenca.

### 5.7.7 Resultados modelo hidrológico Soil Moisture Accounting (SMA)

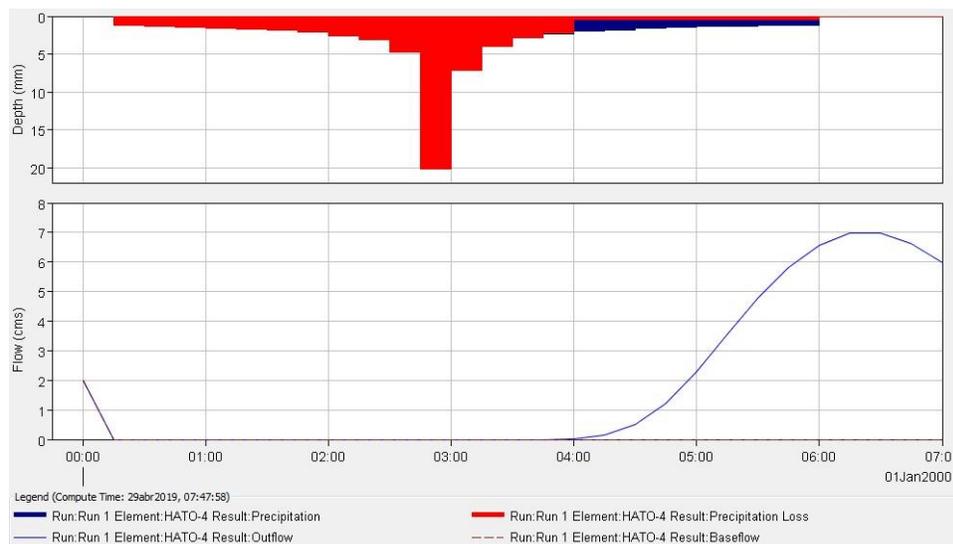
Este modelo es el más complejo de todos los métodos de pérdida que presenta el programa HEC-HMS ya que este a su vez realiza un análisis muy detallado en las diferentes capas de almacenamiento por infiltración que se generan por parte la cobertura vegetal, tipo se suelos, almacenamiento superficial y

almacenamiento subterráneo, transformando la información de precipitación en tasas de infiltración que son generadas por cada capa.

A continuación, se realizará un análisis de los resultados que se presentaron al implementar el modelo Soil Moisture Accounting (SMA) que se realizó en la cuenca El Hato.

Para este modelo se presenta la misma precipitación que se ha venido trabajando a lo largo del proyecto: duración de tormenta de 6 horas en intervalos de tiempo de cada 10 minutos, dando como resultado la siguiente información:

**Figura 5-25** Resultados modelo Soil Moisture Accounting (SMA)



**Fuente:** Software HEC-HMS

En cuanto al volúmenes simulados se puede observar que la cuenca obtiene un caudal máximo de 7,0 m<sup>3</sup>/s donde ocurre a las 6:00 en punto, en el instante que no se genera lluvia sobre la cuenca, en este instante todas las capas están saturadas de caudal generando una escorrentía superficial de 8,47 mm y una pérdida de volumen por infiltración de 62,78mm esto a su vez representa que la respectiva caracterización vegetal y de suelo que se realizó respecto a la cuenca EL HATO, nos resume que tiene alta capacidad de infiltración.

### 5.7.7.1 Calibración y validación de resultados:

En el modelo Soil Moisture Accounting (SMA) es necesario calibrar los datos, ya que no se encuentra información detallada sobre el almacenamiento en el perfil del suelo, por lo tanto, se tomaron datos de la tabla 9 como datos iniciales y así poder obtener una simulación con dicho modelo.

Para que los resultados obtenidos en esta simulación representen confiabilidad es necesario realizar una calibración, validación y análisis de los datos ingresados. Para llevar a cabo este proceso se necesitan datos de precipitación y caudal en el mismo intervalo de tiempo y así realizar una búsqueda de los datos que más se ajusten en el hidrograma observado y simulado.

Se obtuvo de la página del IDEAM un registro de caudal en el mismo intervalo de tiempo de los datos de precipitación y se presentan en la siguiente tabla, esta información se ingresa al programa como una estación de caudal que está ubicada en la cuenca el ható 4.

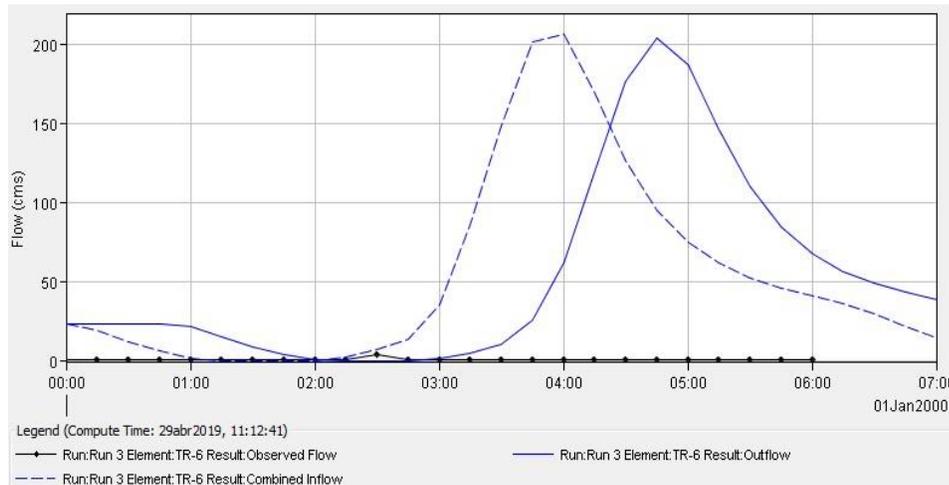
**Tabla 5-32** Serie de datos de caudal

minutos	Caudal m3/seg	minutos	Caudal m3/seg
00:10	1,04	03:10	0,91
00:20	1,04	03:20	0,91
00:30	0,98	03:30	1
00:40	1,12	03:40	1
00:50	1,22	03:50	0,98
01:00	1,2	04:00	1
01:10	0,99	04:10	0,98
01:20	1,08	04:20	1
01:30	1,12	04:30	1
01:40	1,11	04:40	1
01:50	1,11	04:50	1,01
02:00	1,1	05:00	0,98
02:10	0,98	05:10	1,2
02:20	1,15	05:20	1,19
02:30	4,74	05:30	1,19
02:40	1,88	05:40	1,32
02:50	0,98	05:50	1,37
03:00	0,97	06:00	1,37

Fuente: IDEAM

A continuación, se ilustra el hidrograma generado en el momento de realizar la calibración con la información de caudal que se ingresó:

**Figura 5-26** Resultado calibración Soil Moisture Accounting (SMA)



**Fuente:** software HEC-HMS

De acuerdo a la validación de datos que se realizó respecto al registro de caudal y precipitación en el presente modelo podemos observar que se presenta una anomalía, en estos resultados arrojan un cambio fuerte respecto al caudal observado de 4,7 m<sup>3</sup>/s y el caudal simulado de 206, 3 m<sup>3</sup>/s en el intervalo de tiempo de horas, se puede considerar que en este resultado se arrojan valores de caudales que no se consideran aceptables para periodos de caudal y precipitación de tiempo tan corto, por lo tanto estos resultados se consideran como no aceptables para la aprobación de un modelo hidrológico y por ende no resulta apropiado para ser utilizado con fines hidrológicos.

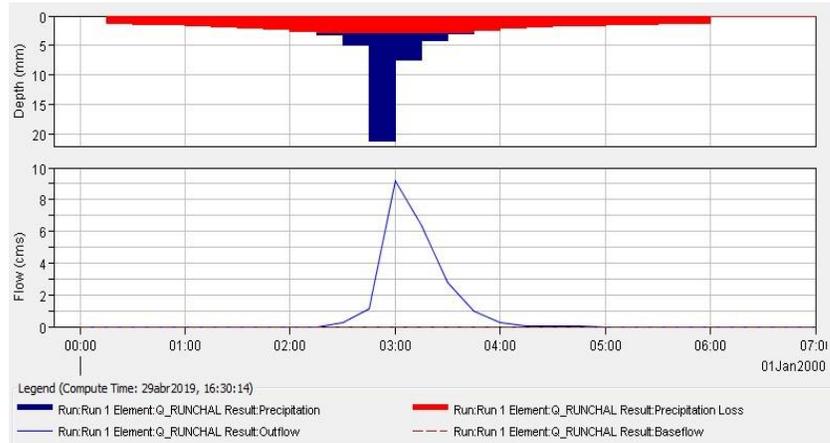
### 5.7.8 Resultados modelo hidrológico Initial Loss and Constant:

Este modelo representa un análisis muy importante en la Cuenca de estudio ya que representa una clasificación por la caracterización que componen el suelo y valores iniciales de pérdida con el fin de generar una precipitación neta, esto quiere decir que este modelo no va a presentar precipitaciones de exceso, obteniendo como resultado las pérdidas por infiltración en el suelo iniciales que satisfacen esta capa asumiendo a su vez una tasa constante de pérdida.

A continuación, realizaremos un análisis de los resultados que se presentaron al implementar el modelo del número de Initial Loss and Constant.

En la cuenca el hato se incluyó las 9 estaciones meteorológicas de acuerdo a la información recopilada, estas estaciones se ingresaron con una duración de tormenta de 6 horas y un intervalo de tiempo de cada 10 minutos dando como resultado la siguiente información:

**Figura 5-27** Resultados modelo Initial Loss and Constant



**Fuente:** Software HEC-HMS

**Tabla 5-5** Resultados globales del modelamiento hidrológico Loss and Constant

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2000	00:15	1,17	1,17	0,6	0,6
01ene2000	00:30	1,24	1,24	0,6	0,6
01ene2000	00:45	1,33	1,33	0,6	0,6
01ene2000	01:00	1,41	1,41	0,6	0,6
01ene2000	01:15	1,54	1,54	0,6	0,6
01ene2000	01:30	1,67	1,67	0,6	0,6
01ene2000	01:45	1,88	1,88	0,6	0,6
01ene2000	02:00	2,11	2,11	0,6	0,6
01ene2000	02:15	2,54	2,54	0,6	0,6
01ene2000	02:30	3,10	2,75	0,6	0,7
01ene2000	02:45	4,71	2,75	0,6	0,8
01ene2000	03:00	20,16	2,75	0,6	2,5
01ene2000	03:15	7,10	2,75	0,6	6,0
01ene2000	03:30	4,02	2,75	0,6	11,5
01ene2000	03:45	2,86	2,75	0,6	18,6
01ene2000	04:00	2,39	2,39	0,6	24,1
01ene2000	04:15	2,02	2,02	0,6	26,8
01ene2000	04:30	1,82	1,82	0,6	27,0
01ene2000	04:45	1,62	1,62	0,6	24,8
01ene2000	05:00	1,50	1,50	0,6	21,5
01ene2000	05:15	1,38	1,38	0,6	17,1
01ene2000	05:30	1,30	1,30	0,6	13,1
01ene2000	05:45	1,21	1,21	0,6	10,1
01ene2000	06:00	1,16	1,16	0,6	8,0
01ene2000	06:15	0,00	0,00	0,6	6,4
01ene2000	06:30	0,00	0,00	0,6	5,0
01ene2000	06:45	0,00	0,00	0,6	4,0
01ene2000	07:00	0,00	0,00	0,6	3,3

**Fuente:** Software HEC-HMS

En cuanto al volumen simulado se puede observar que la cuenca obtiene un caudal máximo de 9,2 m<sup>3</sup>/s donde ocurre a las 3:00 empunto, en el instante de lluvia, en este instante la capa del suelo está totalmente saturada generando una tasa constante de pérdida por infiltración de 74,68 mm en la cuenca, ya que las pérdidas del suelo has sido saturadas generando una esorrentía superficial de 8,9 mm, esto a su vez representa un suelo con alta capacidad de infiltración.

## 6. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo se realizará un análisis con base a los resultados obtenidos referente a la metodología planteada en este documento.

Como se puede evidenciar en los resultados del modelamiento hidrológico en el programa HEC-HMS realiza una simulación global de toda la cuenca arrojando un único valor como resultado de toda la cuenca, este punto se ubica donde desembocan todas las aguas llamado el Hato 4 (anexo 2), como podemos observar en el mapa de caracterización del suelo en la figura 4-8 en esta zona hay un tipo de suelo que tiene un área total de 21,562 km<sup>2</sup> sobre el área delimitada de la cuenca EL HATO, está conformado por suelos de Rocas clásticas limo arcillosas y arenosas, estos suelos se caracterizan por ser suelos profundos a superficiales, bien a excesivamente drenados, con texturas finas a moderadamente gruesas, tienen una reacción extremada a fuertemente ácida, saturación mediana de aluminio y fertilidad moderada a baja. Por otro lado, el mapa de cobertura vegetal que podemos observar en la figura 4-9 donde este tipo de vegetación es agroforestal, tiene un área de 0,431 km<sup>2</sup> sobre la cuenca delimitada, esta zona se caracteriza por tener un paisaje montañoso, un tipo de relieve crestones y se considera Relieve fuertemente quebrado a moderadamente escarpado con pendientes de 25 a 75%, afectado en sectores por erosión hídrica moderada y severa.

De acuerdo a las características morfológicas y fisiográficas de la cuenca el Hato representan una alta sensibilidad a lluvias de alta intensidad y corta duración y en la cual predominan las características del suelo y cobertura vegetal ya mencionadas anteriormente esto a su vez se representa porque es considerada como una cuenca pequeña y sus drenajes son de corta longitud, ya que esta cuenca se encuentra en su fase de madurez en el momento que se presenten lluvias intensas se pueden presentar altos porcentajes de infiltración en el suelo generando así erosiones en el suelo y a su vez y generar inundaciones.

Se aclara que la información anterior es base de datos de los mapas en formato shapefile descargados por la página del IGAC y son estudios que ellos mismo han realizado

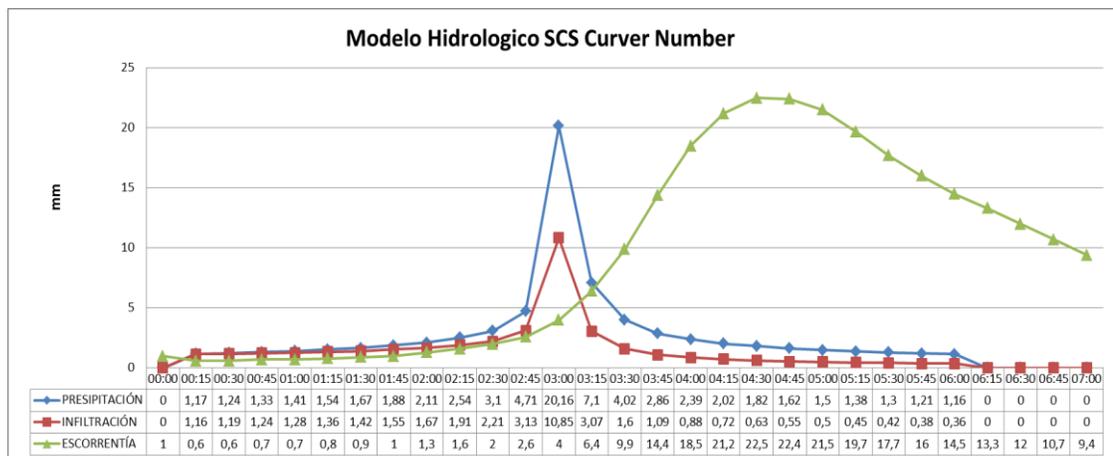
A continuación, se analizarán los resultados de perdidos por infiltración correspondientes a simulación de cada modelo hidrológico y se observara si la aplicación del mismo son resultados de confiabilidad para su uso. En este análisis no se tendrá en cuenta el modelo hidrológico Soil Moisture Accounting (SMA) ya que sus datos fueron calibrados porque no se encontraba información de estudios que pedía dicho modelo, por ende se realizó su respectiva calibración con el caudal presentado en la (tabla 5-3) para que los datos fueran confiables como se puede observar en el numeral 4.7.2, pero este modelo arrojó resultado de caudales que

no se consideran aceptables para periodos de caudal y precipitación de tiempo tan corto, por lo tanto, estos resultados se consideran como no aceptables para la aprobación de un modelo hidrológico y por ende no resulta apropiado para ser utilizado con fines hidrológicos.

Basados en los resultados que arrojó el modelo scs curver number observados en el ítem 4.7.1 se puede observar en la tabla 5-3 los resúmenes globales referente a toda la cuenca, con esta información se realizara un análisis más detallado con forme a esta base de datos arrojado por la modelación correspondiente.

Se puede observar en la figura 6-1 los resultados que se van a presentar a continuación referente al comportamiento de la precipitación, infiltración y escorrentía con base al modelo simulado.

**Figura 6-1** hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo scs curver number



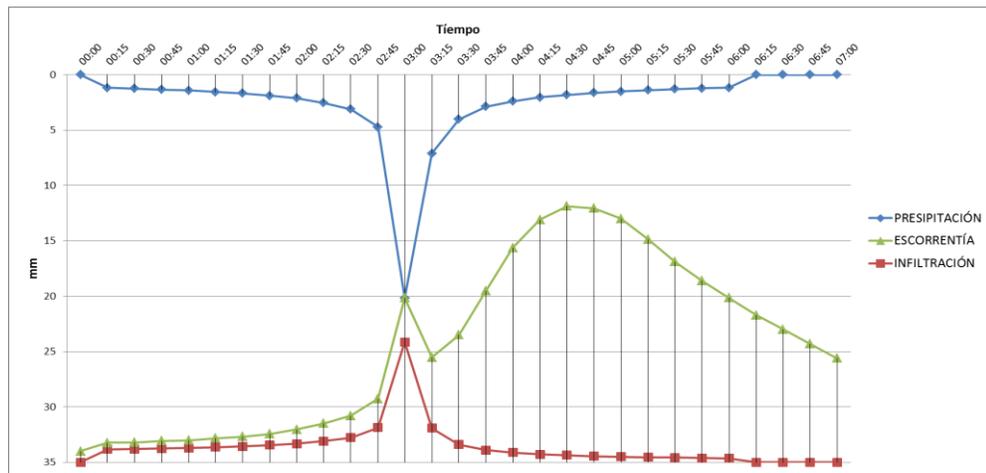
**Fuente:** Elaboración propia con base en información de los resultados del modelamiento hidrológica

En la figura 6-2 se realizó el comportamiento más real con base a los datos que se han venido trabajando arrojados por el programa, se considera que el hietograma de precipitación con una duración de tormenta de 6 horas en un intervalo de tiempo de cada 15 minutos tiene un comportamiento en la cuenca de la siguiente manera:

Durante el periodo de lluvia se mantuvo una infiltración constante, en el momento que esta capa es saturada debido a la capacidad que tiene el suelo de almacenar y retener agua, Pero a las 3:00 se presenta un pico de lluvia intensa en este

instante el suelo presenta una mayor infiltración de 10,85 mm casi la mitad de la lluvia generada en ese instante, se puede observar que el suelo en este instante llego a su saturación máxima convirtiendo el exceso de lluvia sobrante en una acumulación de caudal de 4 m<sup>3</sup>/s y a su vez produciendo una escorrentía superficial de 9,9 m<sup>3</sup>/s justo en instante que deja de llover y así acrecentando la escorrentía con un pico máximo de 21,5 m<sup>3</sup>/s de caudal.

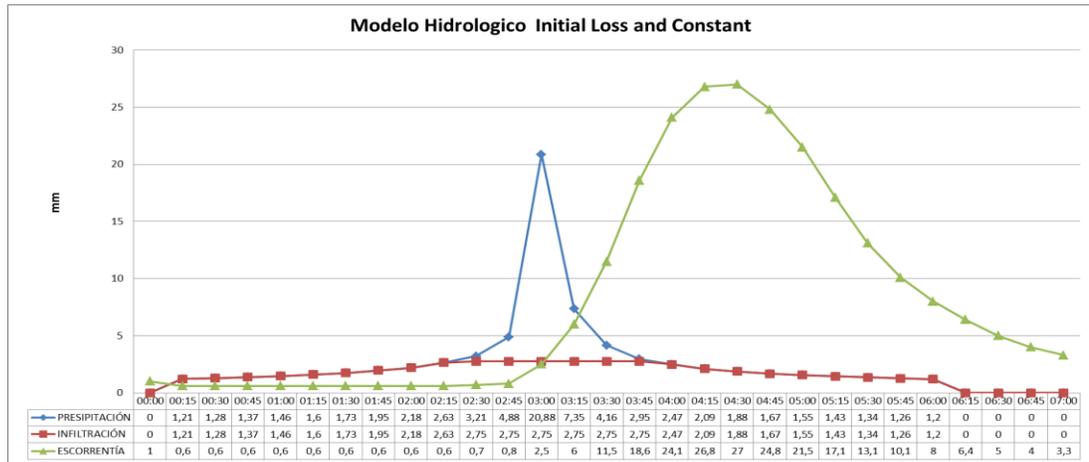
**Figura 6-2** hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo scs curver number



**Fuente:** Elaboración propia con base en información de los resultados del modelamiento hidrológica

Basados en los resultados que arrojó el modelo initial loss and constant observados en el ítem 4.7.3 se puede observar en la tabla 5-5 los resúmenes globales referente a toda la cuenca, con esta información se realizara un análisis más detallado con forme a esta base de datos arrojado por la modelación correspondiente

**Figura 6-3** hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo initial loss and constant

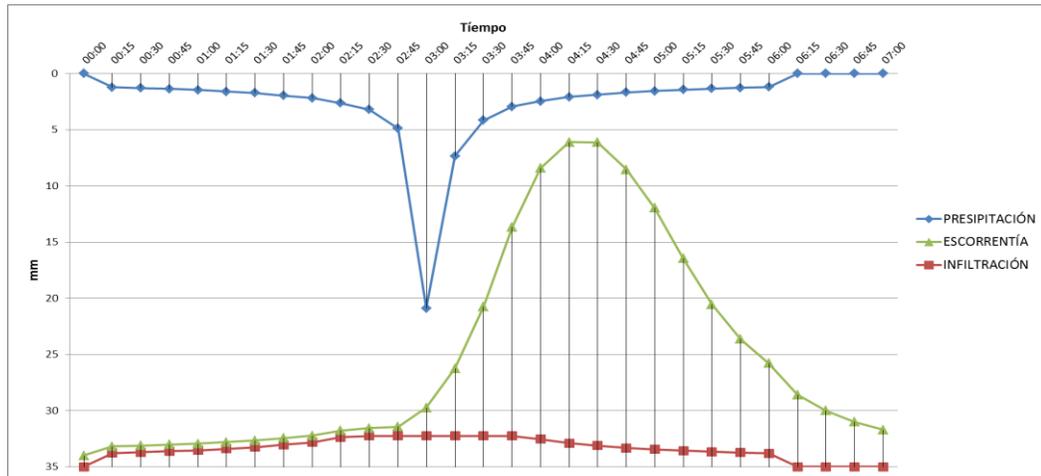


**Fuente:** Elaboración propia con base en información de los resultados del modelamiento hidrológica

En la gráfica 6-4 se realizó el comportamiento más real con base a los datos que se han venido trabajando arrojados por el programa, se considera que el hietograma de precipitación con una duración de tormenta de 6 horas en un intervalo de tiempo de cada 15 minutos tiene un comportamiento en la cuenca de la siguiente manera:

Durante el periodo de lluvia se puede observar que este modelo arroja una infiltración neta sobre todo la cuenca en un intervalo de 0 a 2,75 mm, esto quiere decir que este modelo no va arrojar valores de infiltración máximos como el modelo scs curver number ya que una vez saturada toda la capa del suelo el modelo asume una tasa constante de perdida, pero si genera una acumulación de flujo de 11,5 mm a las 3:30 justo en el momento que la precipitación alcanza su pico máximo de lluvia generando así una escorrentía superficial más grande que el modelo scs curver number y alcanzando un pico máximo de 27 mm.

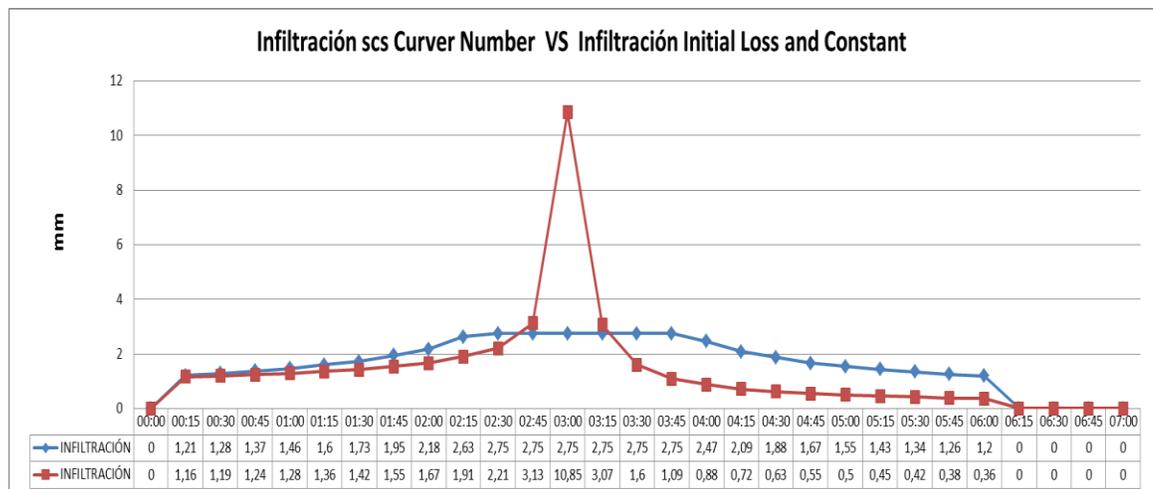
**Figura 6-4** hietogramas de precipitación, infiltración y escorrentía modelo initial loss and constant



**Fuente:** Elaboración propia con base en información de los resultados del modelamiento hidrológica

Posteriormente de a ver realizado el análisis de los resultados obtenidos respecto a la modelación hidrológica de cada modelo para identificar y comparar los diferentes resultados de perdida por infiltración en un mismo plano, buscando determinar que comportamiento influye la cuenca, como se presenta a continuación:

**Figura 6-5** comparaciones de hietogramas en pérdidas por infiltración



**Fuente:** Elaboración propia con base en información de los resultados del modelamiento hidrológica

La figura 6-5 presenta los valores obtenidos de infiltración por los dos modelos hidrológicos respecto a las estaciones meteorológicas determinando la capacidad que tiene el suelo de retener y almacenar agua. Se observa que en el intervalo de tiempo de la lluvia, el modelo curver number arroja su mayor capacidad infiltración de 10,85mm a las 3:00 horas, en cambio el modelo initial loss and constant representa una infiltración constante en su mayor capacidad de infiltración de 2,75 mm desde las 2:00 hasta las 4:00 horas, se puede considerar que las pérdidas por infiltración generadas por cada modelo hidrológico representan un volumen moderado de almacenamiento en el suelo y la cobertura vegetal, estos resultados de pérdidas por infiltración tienen una variación de diferencia esto se debe a que cada modelo utiliza una capa diferente para determinar dicha pérdida.

## 7. CONCLUSIONES

La aplicación del software ArcGIS es una herramienta de vital importancia ya que con ella se obtuvo la mayoría de resultados respecto a la caracterización física y ambiental de la cuenca el Hato, basados en los datos cartográficos y topográficos, a partir de este análisis surge una consideración que clasifica sus parámetros en una estructura física y territorial con el fin de definir sus recursos naturales y limitaciones como se evidencio en el presente trabajo, gracias a este proceso de caracterización se obtuvieron datos de entrada para realizar la modelación hidrológica para fines del comportamiento en cuanto estaciones meteorológicas en la zona.

Con base a la información meteorológica e hidrológica suministrada por la CAR, se realizó los correspondientes diseños de tormenta y curvas IDF con un periodo de retorno de cada 100 años para cada una de las estaciones meteorológicas, con el fin de obtener aguaceros puntuales de 6 horas en intervalos de tiempo de cada 10 minutos y reflejar este resultado en hietogramas de precipitación.

Los resultados obtenidos en la aplicación de los modelos de pérdidas por infiltración incorporados en el software HEC-HMS realizan un enfoque hidrológico respecto a la cuenca el Hato donde se deduce en el comportamiento de las estaciones meteorológicas transformadas en hietogramas de precipitación para el comportamiento y evaluación de la misma y así determinando la capacidad que tiene el suelo de retener y almacenar agua que conforman la cuenca en tiempos de lluvia. En este aspecto los modelos curver number y initial loss and constant ayudan a evaluar la efectividad de almacenamiento sobre los suelos limo arcilloso y arenosos respecto al análisis morfológico y fisiográfico, considerando a su vez que estos suelos tienen bajas tasas de capacidad de infiltración y generando tasas altas de esorrentía en periodos de lluvias intensas.

Las modelaciones higrológicas tienen una alta estimación en el factor hidrológico e hídrico, donde permite ser un gran apoyo para el análisis y evaluación de los cambios naturales o producidos por acciones del hombre.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Imperial College London. from <https://www.imperial.ac.uk/>

Ocampo, O., de, J. V.-R. I. U., & 2014. Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. *Revistas.Udem.Edu.Co.*

MORENO, P. J. B., CAICEDO, S. E. R., ESCOBAR, C. D. C., & HÍDRICOS, P. D. E. E. E. N. R. *ESTUDIO HIDROLOGICO Y DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL EMBALSE EL HATO COMO ALTERNATIVA DE CAPTACION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE UBATE.*

Wagener, T., McIntyre, N., Lees, M. J., Wheater, H. S., & Gupta, H. V. (2003). Towards reduced uncertainty in conceptual rainfall-runoff modelling: dynamic identifiability analysis. *Hydrological Processes*, 17(2), 455–476.

Wagener, T., Boyle, D. P., Lees, M. J., Wheater, H. S., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (2001). A framework for development and application of hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5(1), 13–26.

Wagener, T., & Kollat, J. (2007). Numerical and visual evaluation of hydrological and environmental models using the Monte Carlo analysis toolbox. *Environmental Modelling & Software*, 22(7), 1021–1033.

Wheater, H., Sorooshian, S., & Sharma, K. D. (Kapil D. (2008). *Hydrological modelling in arid and semi-arid areas.* Cambridge University Press.

Wagener, T., Lees, M., large, H. W.-M. models of, & 2001. A toolkit for the development and application of parsimonious hydrological models. *Engr.Psu.Edu.* Retrieved from

Deckers, D. L. E. H., Booij, M. J., Rientjes, T. H. M., & Krol, M. S. (2010). Catchment Variability and Parameter Estimation in Multi-Objective Regionalisation of a Rainfall–Runoff Model. *Water Resources Management*, 24(14), 3961–3985.

Vargas-Castañeda, G., Ibáñez-Castillo, L. A., & Arteaga-Ramírez, R. (2015). Development, classification and trends in rainfall-runoff modeling. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 7(1), 5–21.

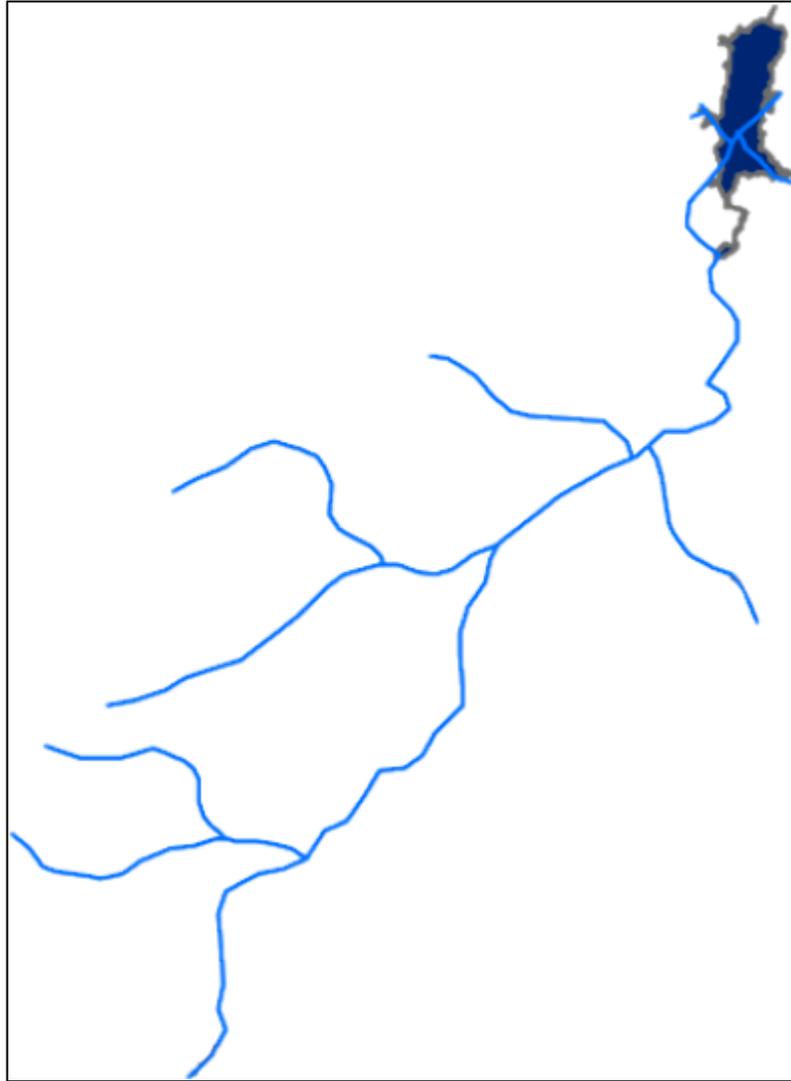
- Ecología Efraín, P., Domínguez Calle, E., Rivera, H., Vanegas Sarmiento, R., Moreno, P., Domínguez Calle, R., & Vanegas, R. (2008). ... DEMANDA-OFERTA DE AGUA Y EL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO COLOMBIANO. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 32, 195–212.
- Moreno, P. B., & Caicedo, S. R. (2017). *Estudio hidrológico y diagnóstico ambiental de la cuenca del Embalse el Hato como alternativa de captación del sistema de acueducto del municipio de Ubaté*.
- Sánchez, A. 2016, undefined. Techniques and Technologies for Countrymen, Case Study: Coca-Coffee Growers in Miranda (Cauca, Colombia). *Scielo.Org.Co*.
- Méndez, W., Gil, H., ... S. R.-... de G. R., & 2015, undefined. Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza. *Dialnet.Unirioja.Es*.
- Parámetros del método Soil Moisture Accounting (SMA) en HEC-HMS — gidahatari.
- Infiltración del agua - Ciclo hidrológico (del agua). from [https://www.ciclohidrologico.com/infiltracin\\_del\\_agua](https://www.ciclohidrologico.com/infiltracin_del_agua)
- SOKOLOV, A. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico guía internacional de investigación y métodos*.
- Ortega, E. M. (2014). *Modelación hidrológica de la cuenca alta del río Atrato mediante HEC-HMS, para la determinación de caudales máximos*.
- Gómez Elorza, Á. J. *Herramientas de modelación y monitoreo para la hidrología de Alta Montaña Colombiana-Cuenca de la Quebrada Calostros–PNN Chingaza*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Leeder, M. (2001). B URBANK, DW & A NDERSON, RS 2000. Tectonic Geomorphology. x+ 274 pp. Oxford: Blackwell Science. Price£ 52.50 (paperback). ISBN 0 632 04386 5. *Geological Magazine*, 138(5), 619–630.
- Mier, R., & Mesias, M. (2018). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de*.
- Gonzalez, L. M., & Ortiz, J. P. del aporte de sedimentos al embalse El Hato en el municipio de Carmen de Carupa-Cundinamarca, a través de la ecuación universal de pérdida de suelo. *Repository.Usta.Edu.Co*.

- Viessman, W., & Lewis, G. L. (2012). *Introduction to hydrology*.
- Montalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. H. (1977). *Hidrología para ingenieros*.
- Martines, E., metrología, L. L.-S. de, & 2010. Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. *Academia.Edu*.
- CAR, 2019. from <https://www.car.gov.co/>
- IDEAM, 2019. from <http://www.ideam.gov.co/>
- Agud, R. (2011). *Nuevos Modelos de Probabilidad de la Precipitación: Aplicación E España, Y en Particular, Al País Vasco*.
- Alfaomega, G. M. S.-, Colombia, undefined, & 1999. Hidrología en la Ingeniería. *Dspace.Ucbscz.Edu.Bo*.
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc-Graw Gill*.
- Rubio, R., Mora, D., ... R. J.-M. D., & 2017. Estimación de las pérdidas de la precipitación en una cuenca hidrográfica urbana de la Ciudad de Cuenca. *Academia.Edu*.
- Alonso Nore, F. L., Diaz Arias, U. A., & Guacaneme Prieto, D. F. (2017). *Estimación de caudales máximos para el sector hidrológico de la quebrada El Diamante, mediante modelación con HEC-HMS*.
- Salinas Talero, A. C. (2017). *Modelación hidrológica del río San Francisco en la cuenca abastecedora al embalse el Sisga en el municipio de Chocontá, Cundinamarca*.
- Ortega, (2014). *Modelación hidrológica de la cuenca alta del rio Atrato mediante HEC-HMS, para la determinación de caudales máximos*.
- Gómez, (2002). Módulo: Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. *Bases.Bireme.Br*.
- Bermeo Artunduaga, S. A., León Hernández, A. R., & López López, H. E. (n.d.). *Estimación de los caudales máximos y caracterización morfométrica de la microcuenca del cauce en el sector hidrodependiente del municipio de San Francisco – Cundinamarca*.

- Martínez Wilches, S. M., Pérez Molano, O. G., & Vargas Camargo, M. L. *Modelación hidrológica de La Microcuenca del Río Bosque, sector Sisa, Municipio de Úmbita, Departamento de Boyacá.*
- Vásquez Rangel, C. A., Herrera López, D. M., & Gutiérrez Rey, Y. P. *Caracterización morfológica de la cuenca de la quebrada Tatamaco del municipio Villavieja del departamento del Huila mediante el uso de la herramienta HEC-GEOHMS.*
- Becerra Vargas, O. R., & Quiroga Garzón, D. M. *Estudio hidrológico de la cuenca del río Chipalo.*
- Cala Amado, R. E., & Grillo González, J. C. *Determinación del impacto del proceso urbanizador sobre la respuesta hidrológica de la subcuenca del Canal Salitre mediante el método de curva número.*
- Rodríguez Torres, S. M., & García Rojas, L. J. *Modelación de la capacidad máxima de asimilación de contaminantes de la Quebrada Chaguaní por vertimientos de aguas de una estación de servicio en Sylvania Cundinamarca.*
- Barroso, P. (2016). *Improved rainfall-runoff approach using lumped and conceptual modelling.*
- Balarezo, J. C. (2017). *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo.*
- López, Y. R., Técnicas, N. M. de L.-R. C., & 2010. Metodología para la simulación hidrológica de eventos extremos máximos en ausencia de datos hidrométricos a escala horaria.
- Cadena, C. B., & Martínez, J. P. Aplicación del Modelo de Simulación Hidrológica e Hidráulica HEC-HMS y HEC-RAS para la estimación de manchas de inundación a una escala 1: 25.000 en la. *Repository.Usta.Edu.Co.*
- Francisco Javier Sánchez San Román. Hidrología e Hidrogeología. from Departamento de Geología. Universidad de Salamanca (España)
- Hydrologic Engineering Center Home Page.
- Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. *Universidad Nacional de Loja.*
- Rojas, P. (2015). ¿Qué es una curva hipsométrica? Recuperado a partir de <https://www.ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

## 9. ANEXOS

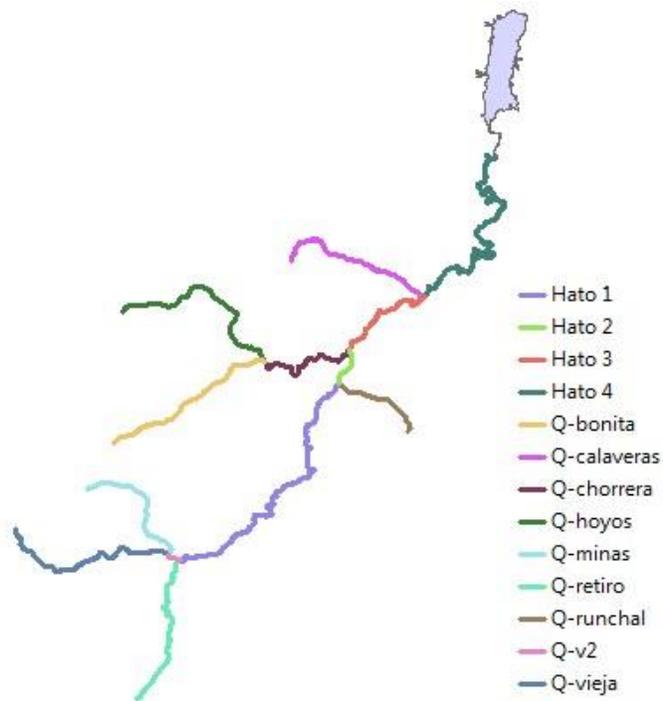
### A. 1. Cuenca del río El Hato



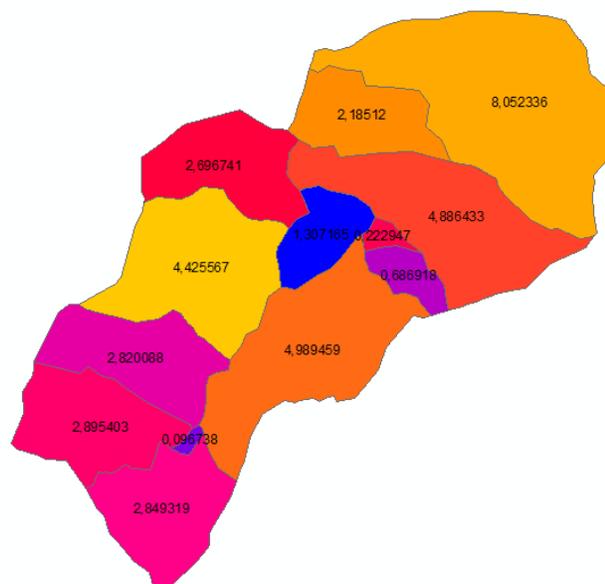
**A. 2. Calculo de influencia de las estaciones en las subcuencas**

SUBCUENCAS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	TOTAL CUENCA	
	HATO EL (KM2)	HATO 1 (KM2)	HATO 2 (KM2)	HATO 3 (KM2)	HATO 4 (KM2)	HATO 5 (KM2)	HATO 6 (KM2)	HATO 7 (KM2)	HATO 8 (KM2)		
Q_RETIRO						2.026	0.824			2.85	OK
Q_VIEJA 1					1.837	0.864	0.194			2.895	OK
Q_MINAS					1.883		0.938			2.821	OK
Q_VIEJA 2							0.097			0.097	OK
C_H1			1.586	0.062			2.747	0.594		4.989	OK
Q_HOYOS			0.402	2.295						2.697	OK
Q_BONITA			0.019	3.535	0.405		0.466			4.425	OK
Q_CHORRERA			1.256	0.051						1.307	OK
Q_RUNCHAL			0.687							0.687	OK
C_H2			0.223							0.223	OK
C_H3			2.914						1.972	4.886	OK
Q_CALAVERAS			2.185							2.185	OK
C_H4	0.498	1.802	1.389						4.361	8.05	OK

**A. 3. Causas principales que compone la cuenca el hato**



#### A. 4. Áreas y subcuencas de la cuenca el hato



#### A. 5. Tabla SCS para el cálculo del número de curva

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9  
2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.  
3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.  
4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.  
5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

A. 6. Dato de estaciones meteorológicas

ESTACIÓN : 2401052 HATO No 1 EL													
Latitud	0517 N		X=N=1077060		Departamento		CUNDINAMARCA		Corriente	R. EL HATO	Categoría	PM	
Longitud	7355 W		Y=E=1017125		Municipio		CARMEN DE CARUPA		Cuenca	R. EL HATO			
Elevación	2985 m.s.n.m				Oficina Provincial		14 UBATÉ						
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
1975	1	13	30	24	25	17	17	8	18	34	29	30	246
1978	0	14	43	25	28	9	7	6	25	20	27	8	212
1980	28	11	10	27	10	7	4	7	15	12	9	13	153
1981	34	12	15	16	30	12	5	8	10	12	35	45	234
1982	31	12	47	40	30	4	15	10	25	30	15	20	279
1983	15	8	29	25	26	5	10	10	5	34	26	20	213
1984	11	28	29	30	18	24	10	27	25	41	20	15	278
1985	10	0	16	20	30	7	15	10	25	30	30	29	222
1986	10	20	20	22	15	11	15	20	23	20	25	0	201
1991	4	20	45	15	20	5	20	10	5	10	20	25	199
1992	10	15	15	23	10	12	4	15	40	5	32	26	207
1993	15	20	25	20	40	1	10	7	11	10	25	7	191
1994	40	20	15	45	22	20	10	3	25	28	40	5	273
1995	15	19	30	22	15	21	34	21	10	20	20	20	247
1996	20	25	42	22	22	23	20	10	0	30	30	14	258
1997	20	1	20	25	5	15	5	3	20	15	10	10	149
1998	1	20	3	2	4	1	1	2	12	5	3	8	62
1999	18	20	13	42	32	15	8	19	32	37	13	15	264
2000	5	20	17	10	20	35	15	9	23	25	78	20	277
2001	5	60	9	3	21	22	5	8	19	11	16	25	204
2002	0	0	20	42	23	19	10	8	29	31	13	15	210
2003	5	26	10	30	10	10	5	8	9	18	15	18	164
2004	10	14	22	24	27	9	21	3	14	20	30	5	199
2005	10	11	12	8	23	4	29	30	17	27	30	12	213
2006	30	10	34	30	20	28	5	5	10	22	28	15	237
2007	8	5	15	15	10	10	15	24	5	34	12	14	167
2008	14	15	18	13	49	18	22	13	33	30	26	15	266
2009	17	23	23	25	20	14	7	10	11	13	18	10	191
2010	5	10	10	44	46	20	30	8	20	17	38	15	263
2011	11	26	25	34	34	21	22	12	15	31	39	19	289
2012	25	22	24	42	16	10	15	12	12	21	18	24	241
2013	3	16	25	26	26	8	7	10	7	20	21	11	180
2014	8	22	6	30	25	7	3	5	5	12	15	21	159
2015	5	8	12	15	3	8	5	6	6	10	6	6	90
2016	10	2	30	35	19	6	5	6	12	8	25	15	173
2017	17	30	35	19	12	21	9	40	23	44	23	15	288
<b>PROM</b>	<b>13.08</b>	<b>16.61</b>	<b>22.06</b>	<b>24.72</b>	<b>21.83</b>	<b>13.31</b>	<b>12.22</b>	<b>11.47</b>	<b>16.56</b>	<b>21.86</b>	<b>23.89</b>	<b>16.25</b>	<b>213.86</b>

ESTACIÓN : 2401053 HATO No 2 EL													
Latitud	0516 N		X=N=1074650		Departamento		CUNDINAMARCA			Corriente	R. EL HATO	Categoría	PM
Longitud	7355 W		Y=E=1017138		Municipio		CARMEN DE CARUPA			Cuenca	R. EL HATO		
Elevación	2974 m.s.n.m				Oficina Provincial		14 UBATÉ						
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
1975	0	15	33	15	35	12	14	8	19	32	23	25	231
1978	0	20	40	39	45	12	5	4	25	21	20	6	237
1980	8	14	20	10	15	18	5	7	19	30	16	22	184
1981	40	30	5	36	34	12	5	15	13	26	30	15	261
1982	20	20	36	30	20	6	11	15	15	35	15	9	232
1983	5	3	9	23	25	2	10	3	24	4	14	18	140
1984	19	25	25	18	20	30	8	12	18	20	25	15	235
1985	4	12	15	20	20	10	5	4	35	35	32	18	210
1986	15	25	18	17	12	18	12	4	37	40	28	0	226
1991	0	9	35	15	1	10	7	4	10	0	30	0	121
1992	0	1	0	12	10	2	28	8	2	2	22	24	111
1993	22	20	20	14	50	3	9	10	23	20	30	9	230
1994	30	25	20	56	20	10	10	7	5	15	35	6	239
1995	6	20	30	28	20	6	28	30	0	18	12	20	218
1996	2	22	40	27	28	41	18	11	2	40	4	30	265
1997	4	1	11	25	15	25	12	5	32	40	5	0	175
1998	1	30	30	25	46	11	11	25	9	15	35	15	253
1999	19	37	22	41	10	9	8	2	23	53	11	11	246
2000	6	20	25	5	10	20	15	15	25	60	10	28	239
2001	0	30	13	0	17	25	5	7	18	13	15	25	168
2002	0	0	20	16	23	21	15	8	7	22	25	17	174
2003	0	28	15	40	5	11	12	4	15	18	13	13	174
2004	0	18	12	25	15	10	20	10	22	30	40	13	215
2005	22	9	21	15	30	3	8	31	10	28	35	15	227
2006	4	15	25	52	28	35	9	10	10	38	35	15	276
2007	4	5	20	20	10	10	25	25	3	50	15	25	212
2008	12	18	13	18	45	21	25	11	35	46	28	28	300
2009	9	20	22	28	27	26	10	10	10	17	18	8	205
2010	5	8	10	52	34	25	41	10	17	22	54	19	297
2011	10	19	45	59	36	29	10	15	13	32	32	15	315
2012	12	31	10	52	12	12	8	11	11	25	10	32	226
2013	0	22	22	25	28	4	10	10	15	15	22	28	201
2014	3	15	22	25	35	15	3	9	3	11	22	20	183
2015	1	20	15	10	10	12	10	5	5	8	8	6	110
2016	4	0	35	32	12	12	7	8	15	15	25	22	187
2017	15	26	42	22	9	20	15	10	12	42	33	18	264
<b>PROM</b>	<b>8.39</b>	<b>17.58</b>	<b>22.11</b>	<b>26.31</b>	<b>22.56</b>	<b>15.22</b>	<b>12.61</b>	<b>10.64</b>	<b>15.47</b>	<b>26.06</b>	<b>22.97</b>	<b>16.39</b>	<b>216.31</b>

ESTACIÓN : 2401057 HATO No 6 EL													
Latitud	0514 N		X=N=1070440		Departamento		CUNDINAMARCA			Corriente	R. EL HATO	Categoría	PM
Longitud	7356 W		Y=E=1015450		Municipio		CARMEN DE CARUPA			Cuenca	R. EL HATO		
Elevación	3105 m.s.n.m				Oficina Provincial		14 UBATÉ						
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
1975	4	12	19	22	20	19	14	19	20	24	24	29	226
1978	0	13	23	30	12	10	9	11	18	28	30	10	194
1980	10	20	46	13	10	30	4	13	21	20	19	22	228
1981	36	15	16	27	24	12	14	18	14	23	23	19	241
1982	17	25	23	25	26	15	18	15	21	33	16	11	245
1983	80	16	21	22	13	20	20	11	13	21	16	17	270
1984	17	20	18	19	20	20	18	19	26	30	25	15	247
1985	12	11	16	12	19	21	17	16	30	31	34	18	237
1986	16	22	22	21	26	17	12	20	22	22	22	16	238
1991	0	10	18	14	16	11	21	15	19	20	13	8	165
1992	10	8	20	17	9	8	40	13	2	2	23	24	176
1993	25	15	32	30	45	17	16	15	22	18	32	9	276
1994	25	24	32	25	25	25	27	18	28	34	34	5	302
1995	0	25	33	28	25	22	27	42	20	26	35	19	302
1996	18	25	20	35	22	20	32	20	30	30	29	27	308
1997	28	28	32	21	20	23	25	25	24	23	20	0	269
1998	0	19	22	24	27	19	21	25	12	24	25	22	240
1999	22	25	22	35	16	23	19	25	25	28	22	12	274
2000	24	24	45	15	19	30	16	16	18	52	18	0	277
2001	0	17	30	0	15	20	10	11	13	22	17	20	175
2002	6	23	33	21	30	35	10	17	13	18	15	16	237
2003	0	26	25	25	4	12	17	0	16	26	30	30	211
2004	0	22	10	25	23	11	29	16	25	27	42	13	243
2005	40	8	23	12	26	3	11	50	12	25	37	15	262
2006	7	14	23	25	19	11	12	14	14	15	11	12	177
2007	2	7	13	13	10	11	12	17	15	20	16	16	152
2008	14	13	13	13	22	15	15	20	20	22	24	22	213
2009	17	8	17	15	17	13	14	14	8	30	10	6	169
2010	5	5	7	32	30	14	30	12	17	20	57	15	244
2011	11	16	20	18	18	10	22	32	17	25	18	14	221
2012	29	10	18	45	18	20	23	14	10	19	42	20	268
2013	15	13	30	25	18	8	15	8	10	13	14	30	199
2014	13	5	35	15	22	19	19	12	7	7	20	20	194
2015	10	11	22	17	5	12	10	8	7	10	10	7	129
2016	10	5	24	30	22	20	11	5	33	22	26	15	223
2017	30	31	30	18	14	18	18	15	18	22	25	25	264
<b>PROM</b>	<b>15.36</b>	<b>16.42</b>	<b>23.69</b>	<b>21.78</b>	<b>19.64</b>	<b>17.06</b>	<b>18.00</b>	<b>17.25</b>	<b>17.78</b>	<b>23.11</b>	<b>24.28</b>	<b>16.08</b>	<b>230.44</b>

ESTACIÓN : 2401058 HATO No 7 EL													
Latitud	0514 N		X=N=1071875		Departamento		CUNDINAMARCA			Corriente	R. EL HATO	Categoría	PM
Longitud	7355 W		Y=E=1017488		Municipio		CARMEN DE CARUPA			Cuenca	R. EL HATO		
Elevación	3271 m.s.n.m				Oficina Provincial		14 UBATÉ						
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	ANUAL
1975	4	17	35	34	24	30	29	9	16	33	28	20	279
1978	0	20	50	35	30	7	10	10	20	30	12	17	241
1980	16	16	24	16	18	20	12	9	27	22	22	22	224
1981	55	29	8	43	35	12	11	14	12	22	16	24	281
1982	32	21	33	21	20	9	12	12	12	33	10	10	225
1983	7	6	12	20	22	2	12	3	26	20	15	21	166
1984	10	30	12	15	22	29	8	14	15	24	33	34	246
1985	7	7	10	10	27	10	15	5	20	29	30	37	207
1986	12	19	15	25	13	14	10	5	30	40	26	2	211
1991	3	20	40	17	20	7	20	10	10	12	23	30	212
1992	10	13	26	20	10	6	10	21	22	14	25	20	197
1993	16	11	26	20	45	7	15	10	17	24	25	5	221
1994	30	32	35	63	30	12	11	9	20	21	22	7	292
1995	12	16	30	20	22	15	20	25	6	20	37	20	243
1996	23	10	40	30	26	14	19	15	5	19	11	17	229
1997	15	5	11	17	8	10	20	10	27	20	18	7	168
1998	6	16	25	30	43	9	20	20	7	25	26	29	256
1999	11	31	22	34	7	10	10	17	26	37	10	15	230
2000	10	27	31	17	17	30	6	12	22	39	15	15	241
2001	5	12	15	4	12	22	9	5	21	14	15	19	153
2002	7	6	30	22	30	22	7	16	23	11	21	17	212
2003	7	25	10	32	14	9	10	7	15	17	25	20	191
2004	7	16	34	10	10	14	27	7	31	25	49	16	246
2005	6	17	60	10	27	11	20	27	11	20	24	16	249
2006	16	11	34	40	20	40	7	7	15	30	32	20	272
2007	11	7	14	22	13	7	24	21	13	40	12	23	207
2008	6	20	30	22	42	20	21	13	25	36	32	30	297
2009	13	20	26	15	20	21	10	11	11	19	18	8	192
2010	4	8	5	35	36	32	39	10	34	39	70	13	325
2011	18	21	45	35	37	42	18	15	24	18	26	12	311
2012	15	24	20	88	6	4	21	12	5	25	13	25	258
2013	9	22	20	19	20	12	12	12	14	17	20	10	187
2014	7	32	20	20	29	10	5	5	6	17	27	15	193
2015	10	17	12	10	5	7	4	7	2	3	5	10	92
2016	3	3	22	22	10	6	3	15	6	18	22	10	140
2017	20	17	49	27	10	22	18	9	7	27	32	10	248
<b>PROM</b>	<b>12.31</b>	<b>17.33</b>	<b>25.86</b>	<b>25.56</b>	<b>21.67</b>	<b>15.39</b>	<b>14.58</b>	<b>11.92</b>	<b>16.75</b>	<b>23.89</b>	<b>23.53</b>	<b>17.39</b>	<b>226.17</b>

CAT CÓDIGO	CAT CÓDIGO	ESTADO	TIPO:	CAT	ESTACION	CUENCA	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	OFICINA	LATITUD				LONGITUD				ELEVACION	NORTE SICLICA	ESTE SICLICA	FECHA INSTAL SICLICA	FECHA SUSP.
											GRA	MIN	SEG	DIR	GRA	MIN	SEG	DIR					
2120189	2120189	SUSP	CONV	PG	ALISO EL	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	17	11	N	73	55	12.3	W	3000	1076013.858	1017836.858	1/01/1992	1/03/1994
2401035	2401035	SUSP	CONV	PG	EL HATO	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	17	40.9	N	73	54	45.2	W	2900	1076933.843	1018671.393	1/10/1962	1/11/1999
2401052	2401052	ACTIVA	CONV	PM	HATO 1	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	17	16.9	N	73	55	26.1	W	3067	1076196.356	1017412.618	1/10/1972	
2401053	2401053	ACTIVA	CONV	PM	HATO 2	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	15	49.1	N	73	55	33.6	W	2967	1073499.276	1017182.337	1/10/1972	
2401054	2401054	SUSP	CONV	PM	HATO No 3 EL	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	15	37.4	N	73	57	24	W	3398	1073138.913	1013783.566	1/10/1972	1/03/1998
2401055	2401055	SUSP	CONV	PM	HATO No 4 EL	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	14	1.4	N	73	58	8.2	W	3465	1070188.954	1012421.604	1/10/1972	1/03/1998
2401056	2401056	SUSP	CONV	PM	HATO No 5 EL	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	13	16.3	N	73	57	33.7	W	3360	1068803.964	1013483.554	1/10/1972	1/03/1998
2401057	2401057	ACTIVA	CONV	PM	HATO 6	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	13	25.6	N	73	57	2.9	W	3274	1069090.668	1014433.443	1/10/1972	
2401058	2401058	ACTIVA	CONV	PM	HATO 7	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	13	6.2	N	73	55	17	W	3059	1072181.609	1017693.825	1/10/1972	
2401059	2401059	SUSP	CONV	PM	HATO No 8 EL	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	15	33.8	N	73	54	18	W	2963	1074873.862	1019509.348	1/10/1972	1/03/1998
2401534	2401534	ACTIVA	CONV	CO	REPRESA EL HATO	R. SUÁREZ	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	18	13.3	N	73	54	18.4	W	2850	1077929.39	1019496.721	1/10/1962	
2401755	2401755	ACTIVA	CONV	LM	MALILLA LA	R. EL HATO	R. CARUPA	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	19	40.4	N	73	53	43.5	W	2814	1070606.06	1020569.799	1/03/1967	
2401780	2401780	ACTIVA	CONV	LM	CORRALEJAS	R. EL HATO	Q. EL MOLINO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	18	33.8	N	73	54	32.1	W	2850	1078557.605	1019073.902	1/04/1992	
2401798	2401798	ACTIVA	CONV	LM	HATO EL	R. EL HATO	R. EL HATO	CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	14 - UBATÉ	5	16	34.3	N	73	54	44.6	W	2881	1074889.275	1018691.111	1/06/1992	

### A. 7 Cálculos para curva hipsométrica

No.	Cota intervalos ( m.s.n.m)		Cota Media ( m.s.n.m)	Area Parcial (km2)	% Area acumulada por encima	% del Total	% Altitudes
1	2850	2900	2875	0.803	38.064	100.00	2
2	2900	2950	2925	4.666	37.261	97.89	13
3	2950	3000	2975	3.210	32.595	85.63	10
4	3000	3050	3025	2.378	29.385	77.20	8
5	3050	3100	3075	1.734	27.007	70.95	6
6	3100	3150	3125	1.505	25.273	66.40	6
7	3150	3200	3175	1.663	23.768	62.44	7
8	3200	3250	3225	1.894	22.105	58.07	9
9	3250	3300	3275	2.093	20.211	53.10	10
10	3300	3350	3325	1.994	18.118	47.60	11
11	3350	3400	3375	2.357	16.124	42.36	15
12	3400	3450	3425	2.778	13.767	36.17	20
13	3450	3500	3475	3.045	10.989	28.87	28
14	3500	3550	3525	2.363	7.944	20.87	30
15	3550	3600	3575	1.893	5.581	14.66	34
16	3600	3650	3625	1.541	3.688	9.69	42
17	3650	3700	3675	0.953	2.147	5.64	44
18	3700	3750	3725	1.194	1.194	3.14	1

### A. 8 Histograma de frecuencias

