

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO TEUSACÁ MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-HMS



ERIKA AMAYA MALDONADO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2018**

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO TEUSACÁ MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-HMS

ERIKA AMAYA MALDONADO

**DOCUMENTO MODALIDAD DE GRADO DE PASANTÍA EN LA ALCALDÍA
MUNICIPAL DE LA CALERA PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**Director
Darwin Mena Rentería
Ingeniero Ambiental y Sanitario
Magister en Evaluación de Recursos Hídricos**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2018**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	7
2. INTRODUCCIÓN	7
3. OBJETIVOS	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
4. MARCO REFERENCIAL	9
4.1. Marco contextual	9
4.1.1. Ubicación municipio de La Calera	9
4.1.2 Características climatológicas de La Calera	10
4.1.3 Economía	11
4.2 Marco teórico	13
4.2.1 Río Teusacá: Problemática y estado actual	13
4.2.1 Modelación hidrológica de cuencas	14
4.3 Marco conceptual	19
4.4 Marco legal	22
5. METODOLOGÍA	24
5.1 Recopilación de información	24
5.2 Modelo de cuenca	24
5.2.1 Número de curva	24
5.2.2 Abstracción inicial	26
5.2.3 Porcentaje de impermeabilización	27
5.3 MODELO METEOROLÓGICO	27
5.3.1 Análisis espacial y temporal	27
6. RESULTADOS OBTENIDOS	30
6.1 Obtención del modelo de cuenca	30
6.1.1 Delimitación del área de estudio	30
6.1.2 Subdivisión de la cuenca	33
6.1.3 Obtención de parámetros morfométricos	34
6.1.4 Obtención del Número de curva	34
6.1.5 Obtención de abstracción inicial	37

6.1.6 Obtención porcentaje de impermeabilización	37
6.2 Obtención del modelo meteorológico	39
6.2.1 Especificaciones de control	40
6.2.2 Modelación hidrológica	40
6.3 Análisis y resultados del modelo hidrológico.....	41
6.3.1 Microcuenca 1	44
6.3.2 Microcuenca 2	45
6.3.3 Microcuenca 3	45
6.3.4 Microcuenca 4	46
6.4 Conclusiones.....	48
6.5 Recomendaciones	49
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
8. ANEXOS	53

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama Alcaldía Municipal de La Calera	13
Figura 2 Modelo de cuenca HEC - HMS.....	16
Figura 3 Modelo meteorológico HEC-HMS.....	17
Figura 4 Especificaciones de control HEC-HMS.....	18
Figura 5 Modelo meteorológico	40
Figura 6 Especificaciones de control	40
Figura 7 Esquema subcuenca Teusacá	41
Figura 8 Resultados modelación	41

CONTENIDO DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Histograma caudales medios	28
Gráfica 2 Histograma caudales mínimos	28
Gráfica 3 Histograma caudales máximos.....	29
Gráfica 4 Curva de duración caudales medios	30
Gráfica 5 Modelo de un Hidrograma.....	42
Gráfica 6 Gráfico general de caudales	43
Gráfica 7 Caudales medios Microcuenca 1	44
Gráfica 8 Caudales medios Microcuenca 2	45
Gráfica 9 Caudales medios Microcuenca 3	46
Gráfica 10 Caudales medios Microcuenca 4	47

CONTENIDO DE MAPAS

Mapa 1 Ubicación La Calera.....	9
Mapa 2 Delimitación Río Teusacá.....	31
Mapa 3 Delimitación microcuencas.....	33
Mapa 4 Uso del Suelo Río Teusacá	38

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Datos históricos del tiempo La Calera	11
Tabla 2 Normatividad legal aplicable al proyecto	22
Tabla 6 Determinación Número de Curva microcuenca 1.....	35
Tabla 7 Determinación Número de Curva microcuenca 2.....	36
Tabla 8 Determinación Número de Curva microcuenca 3.....	36
Tabla 9 Determinación Número de Curva microcuenca 4.....	36
Tabla 10 Abstracción inicial para cada microcuenca.....	37
Tabla 11 % de impermeabilización	39

1. RESUMEN

El desarrollo de metodologías empleadas para calcular los distintos comportamientos del recurso hídrico, se ha creado como prioridad dentro de los estudios ambientales gracias a su amplia capacidad de aporte de información y predicciones en el tiempo. Este tipo de estudios, aportan una gran cantidad de información a distintos campos de estudio, es por esto que es importante aportar al impulso de ellos mediante la solución de problemáticas básicas, como el cálculo de vertimientos, calidad de agua, oferta hídrica, entre otros.

La subcuenca del río Teusacá, ubicada en los municipios de Sopó, La calera y Guasca, hace parte de la cuenca del río Bogotá, actualmente cuenta con pocos estudios realizados con el fin de entender su comportamiento hídrico y su capacidad de respuesta en el momento de realizar actividades de aprovechamiento, es por esto, que en el presente trabajo se empleará la modelación hidrológica con el fin de estimar los caudales medios del río Teusacá con el software HEC-HMS, aportando así al uso de esta información para estudios posteriores en la misma.

2. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que, a pesar de contar con grandes extensiones hidrográficas, presenta grandes problemáticas en cada una de ellas ya sea por planeación, ordenamiento o aprovechamiento inadecuado de los recursos. Actualmente, se han ido desarrollando distintas metodologías con el fin de evidenciar e identificar las afectaciones que presentan las cuencas hidrográficas del país, para así plantear soluciones a las mismas.

A pesar del deterioro actual que se evidencia en las cuencas hidrográficas del país, se sabe que no se cuenta con información suficiente que permita comprender el comportamiento de estas, por lo que se dificulta la realización de una gestión sostenible del recurso hídrico. (Muñoz S. B., 2010)

A raíz de la necesidad de un manejo sostenible de los recursos, surgen iniciativas de investigación enfocadas a evaluar el comportamiento de los cuerpos hídricos teniendo en cuenta las interrelaciones entre el clima y la hidrología, lo que se conoce actualmente como la modelación hidrológica. (Vásquez, 2010)

La modelación hidrológica, se conoce hoy en día como una de las alternativas informáticas para la solución de problemáticas hidrológicas e hidráulicas. Esta alternativa, permite comprender la cuenca como un sistema conjunto y su capacidad de respuesta, a partir de lo cual se pueden realizar predicciones. (Cabrera, 2012)

La subcuenca del río Teusacá, es uno de los afluentes más importantes de la cuenca del río Bogotá, de la cual se abastecen aproximadamente siete municipios colindantes o utilizan sus aguas para distintas actividades y asimismo realizan vertimientos de aguas residuales sobre el río. (Muñoz L. B., 2010) Asimismo, actualmente la subcuenca se está viendo afectada gracias al cambio en el uso del suelo, lo que afecta directamente su oferta hídrica.

Debido a esto, la Secretaria de Medio Ambiente y desarrollo rural de la Alcaldía Municipal de la Calera, ha establecido el desarrollo de nuevos estudios con el fin de comprender el comportamiento de los procesos hidrológicos que se producen en la subcuenca, su comportamiento espacio temporal y su capacidad de respuesta, para lo cual se realiza una modelación hidrológica de la subcuenca del río Teusacá con el fin de estimar sus caudales medios y aportar información útil a la municipalidad para la realización de diferentes estudios que requieran de la misma.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar los caudales medios de la subcuenca del río Teusacá mediante la herramienta de modelación HEC-HMS.

Objetivos específicos

- Identificar y recopilar la información necesaria para la creación del modelo hidrológico.
- Establecer el modelo de cuenca y el modelo metereológico para realizar la modelación de la sub cuenca del río Teusacá en HEC HMS mediante herramientas SIG.
- Implementar la metodología utilizada mediante HEC-HMS para la obtención de caudales medios.
- Analizar el modelo hidrológico obtenido.

4. MARCO REFERENCIAL

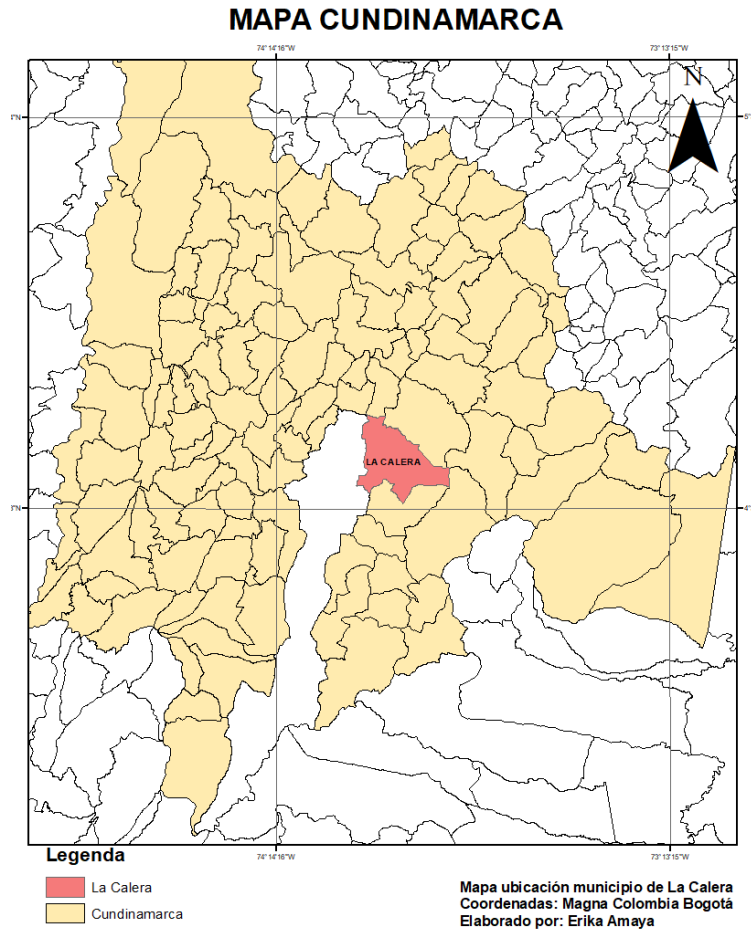
4.1. Marco contextual

4.1.1. Ubicación municipio de La Calera

El municipio de la Calera se encuentra ubicado al oriente del departamento de Cundinamarca y al noroeste de Bogotá. Su cabecera está localizada a los 4°43'17" de latitud norte y 73°58' de longitud oeste de Greenwich; con respecto a la ciudad de Bogotá en arco 0°06'29" este.

El Municipio limita al norte con los municipios de Guasca, Sopó y Chía, al oriente con Guasca, al occidente con Bogotá y al sur con el municipio de Choachí. La calera cuenta con una extensión total de 31.686.06 km² de los cuales 144.34 km² son área urbana y 31.541.172 km² son de área rural. Se encuentra a una altitud de 2.718 msnm y su temperatura media es de 14°C. (Alcaldía de la calera, 2016)

Mapa 1 Ubicación La Calera



Fuente: Autora

4.1.2 Características climatológicas de La Calera

El municipio de la calera, se caracteriza por su clima frío-templado con oscilaciones muy bajas de temperatura. Gracias a su ubicación orográfica se le atribuye la presencia de vientos fuertes en algunas épocas del año, con probabilidad de precipitaciones del 22% y una humedad relativa de 87%.

a) Precipitación

Según registros históricos de precipitación en el municipio, se presentan las mayores cantidades de lluvia en el mes de octubre con un aproximado de 124 mm. Por otro lado, las menores precipitaciones se presentan en el mes de enero, con un promedio de 36 mm. La variación en las precipitaciones entre los meses más húmedos y más secos es de 88 mm. (OpenStreetMap contributors, 2017)

b) Temperatura

Los datos históricos registrados de temperatura presentan un promedio entre los 6°C y 19°C. Las épocas con mayor temperatura es durante el mes de marzo presentando un promedio aproximado de 13.4 °C; Mientras que el mes del año que presenta la temperatura más baja, es julio con temperaturas por debajo de 10°C. (OpenStreetMap contributors, 2017)

Tabla 1 Datos históricos del tiempo La Calera

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	12.6	12.8	13.4	13.4	13.2	12.6	12.4	12.4	12.6	12.8	12.9	12.6
Temperatura mín. (°C)	6.2	6.7	7.8	8.6	8.7	8.5	8.1	7.9	7.7	7.9	7.9	7
Temperatura máx. (°C)	19	19	19	18.3	17.7	16.8	16.7	16.9	17.5	17.8	18	18.3
Temperatura media (°F)	54.7	55.0	56.1	56.1	55.8	54.7	54.3	54.3	54.7	55.0	55.2	54.7
Temperatura mín. (°F)	43.2	44.1	46.0	47.5	47.7	47.3	46.6	46.2	45.9	46.2	46.2	44.6
Temperatura máx. (°F)	66.2	66.2	66.2	64.9	63.9	62.2	62.1	62.4	63.5	64.0	64.4	64.9
Precipitación (mm)	36	53	70	115	102	79	59	52	58	124	112	58

Fuente: (OpenStreetMap contributors, 2017)

4.1.3 Economía

En los últimos años, la economía de la Calera ha sido soportada en gran parte por la agricultura y labores rurales debido a la gran cantidad de área rural con la que cuenta el municipio. Asimismo, el municipio funciona económicamente gracias a grandes empresas que funcionan actualmente allí como lo son Manantial, Winter, Cemex, Tecnoconcreto, Pasteurizadora la Pradera y varias microempresas pequeñas.

Actualmente, el municipio se encuentra en recuperación económica debido a que en el pasado este dependía de la explotación minera realizada por la empresa de cemento SAMPER, de donde aproximadamente tres mil personas adquirían empleo directo e indirecto. Esto no bastó para evitar el cierre de las plantas de cemento luego de muchos años de funcionamiento, lo que causó un impacto significativo sobre la economía de La Calera del cual hasta ahora se está recuperando. (Alcaldía de la calera, 2016)

4.1.4 Hidrografía

La hidrografía de La Calera pertenece a las vertientes del Magdalena y del Meta. El territorio se encuentra distribuido en dos sistemas hidrográficos: El sector occidental pertenece a la cuenca del río Teusacá, el cual es tributario del Río Bogotá, y este del río Magdalena. Y en el costado oriental pertenece a la cuenca del río Blanco, triutario del río Negro el cual desemboca en el río Meta. (Concejo municipal de la calera, 2010)

La cuenca del río Teusacá se encuentra ubicada en un valle plano, rodeado por cerros alargados los cuales generan una topografía escarpada. El valle en el que se encuentra ubicada la cuenca, es utilizado para realizar ganadería extensiva, y en los cerros se encuentran ubicados mosaicos de vegetación arbórea y arbustiva. La cabecera municipal de La Calera se ha ido extendiendo a lo largo de los años sobre el valle aluvial del río Teusacá, aguas abajo del embalse San Rafael. (Concejo municipal de la calera, 2010)

El sector de la cuenca del río Blanco presenta una topografía abrupta, con vertientes largas enmarcadas por materiales arcillosos y areniscas, asimismo se encuentra rodeada por amplios valles en los que se han ido desarrollando caseríos rurales durante los últimos años.

El Municipio de La Calera, está surcado por el Río Teusacá y el Río Blanco. El Municipio siempre ha sido caracterizado por una riqueza hídrica bastante notoria, pero que a su vez se ha visto expuesta a distintas amenazas durante los últimos años. (Alcaldía La calera, 2016)

Las lagunas más importantes que se encuentran enriqueciendo el municipio se encuentran la de Buitrago, La Brava y la de los Patos. (Alcaldía de la calera, 2016)

Por otro lado, el municipio cuenta con una de las fuentes hídricas más importantes para el abastecimiento de Bogotá, la cual es el embalse San Rafael.

4.1.5 Geología

El suelo y subsuelo de los municipios colindantes a Bogotá, pertenecen a la formación de suelos de Guaduas, la cual se divide en tres conjuntos, los cuales están formados por gredas, mantos inexplotables de carbón, y bancos de areniscas y grano.

El sudeste de la Calera, se encuentra compuesto por suelos de carbón, suelos que son explotables. En la parte media del municipio hay mantos de carbón, areniscas y arcillas. (Alcaldía de la calera, 2016)

4.1.6 Secretaría de medio ambiente y desarrollo rural

La alcaldía del Municipio de La Calera, creó la UMATA (Unidad Municipal de Asistencia Técnica y Agropecuaria) inicialmente, con el objetivo de establecer un departamento directamente encargado de los temas ambientales y el cuidado del medio ambiente en las áreas más afectadas del municipio, así como también para brindar apoyo al sector ganadero y agropecuario.

A partir del año 2016 bajo el Acuerdo No. 01 la Alcaldía Municipal de La Calera establece una secretaría general encargada estrictamente de los temas de medio ambiente en el municipio, con el fin de extender el trabajo de la UMATA y ampliar sus alcances y labores, bajo el nombre de Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. (Alcaldía La calera, 2016)

El trabajo de la Secretaría de medio ambiente y desarrollo rural es primordial dentro de la planificación del municipio de la Calera, ya que gracias a su asistencia y colaboración de todos sus trabajadores el municipio se rige bajo los buenos principios ambientales dentro de los cuales se resguarda el bienestar tanto de los campesinos como del medio ambiente, se enseña mediante educación ambiental, y se protegen los recursos con los que cuenta el municipio, tales como ríos, quebradas, embalses, montañas, bosques y parte del páramo Chingaza.

Uno de los principales aportes de la Secretaría de medio ambiente y desarrollo rural, es realizar el seguimiento y monitoreo en áreas afectadas por la realización de distintas actividades no permitidas en el sector o realizadas bajo un mal manejo, mediante visitas de asistencia técnica a partir de las cuales se realizan informes de denuncia donde se establece el daño ambiental ocasionado, el lugar y el responsable, con el fin de detener estas actividades y asimismo dar a conocer a la comunidad una manera responsable con el medio ambiente de realizar estas actividades.

Figura 1 Organigrama Alcaldía Municipal de La Calera



Fuente: (Alcaldía La calera, 2016)

4.2 Marco teórico

4.2.1 Río Teusacá: Problemática y estado actual

La subcuenca del río Tiesacá se encuentra ubicada en la parte central de la cordillera oriental, ubicación topográfica que le brinda a la cuenca una estabilidad ambiental y ecológica gracias a que está rodeada de montañas y laderas que protegen su área.

Se encuentra ubicada a una altitud de 2283 msnm, y nace en los altos El verjón y Los Tunjos, dirigiéndose por el costado sur de la ciudad de Bogotá para desembocar en el río Bogotá. El río Teusacá, es de gran importancia debido a que es el mayor enclave natural próximo a Bogotá, y gracias a este la ciudad es abastecida en bienes y servicios ecológicos tales como: regulación hídrica, climática, descontaminación atmosférica, protección de suelos, conservación de la biodiversidad y abastecimiento de agua. (Muñoz S. B., 2010)

En la subcuenca se localizan las áreas urbanas, o parte de ellas, de los municipios de La Calera, Sopó, Chía, Choachí, Guasca, Tocancipá y Ubaque. Estos procesos de urbanización que se han ido desarrollando en la ronda del río, han causado que actualmente la subcuenca presente altas concentraciones de coliformes debido al vertimiento de aguas negras, así como también han generado pérdida de cobertura vegetal. Gracias a esto y a que la cuenca es una conformación también perteneciente al distrito capital, es importante garantizar un uso sostenible del recurso hídrico de la misma, así como también del suelo y demás recursos con el fin de controlar y evitar su degradación. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2013)

En el pasado, solamente se realizaban actividades agropecuarias en las zonas aledañas a la cuenca, pero gracias a que se han venido presentando distintos procesos evolutivos en el municipio de La Calera, lo que ha generado la aparición de procesos industriales, procesos de urbanización y parcelación, provocando distintas afectaciones sobre los suelos de la cuenca lo cual ha logrado causar un impacto ambiental negativo sobre la calidad del suelo y agua de la cuenca del río Teusacá.

Actualmente, las actividades que están causando los mayores impactos sobre la subcuenca están asociadas a actividades agropecuarias intensivas, en especial cultivos de para y flores y actividades de ganadería extensiva. Debido a esto, dentro del POT de La Calera, se ha establecido como objetivo fomentar actividades agrícolas y pecuarias intensivas las cuales asegurarán un aprovechamiento sostenible del suelo del río Teusacá, y para la recuperación del sistema hídrico se establecen actividades de revegetalización. (Muñoz S. B., 2010)

Previamente se han realizado estudios hidrológicos en la subcuenca con el fin de determinar el régimen de caudales, estudios que han contribuido a la determinación del estado actual de la cuenca y así mismo para calcular probabilidades de ocurrencia, caudal ecológico, balance hídrico, entre otros.

Ligado a estas problemáticas, surge la necesidad del municipio de La Calera de consolidar el área de protección del territorio, dentro de lo que se encuentra como prioridad el desarrollo de estudios que provean información importante para la resolución de problemáticas existentes, dentro de lo cual se puede resaltar, que es importante la realización de estudios para la obtención de caudales medios mensuales en la cuenca, debido a que esta información proporciona la información básica para determinar la disponibilidad de agua en la misma.

4.2.1 Modelación hidrológica de cuencas

Gracias a los diferentes servicios que brindan las cuencas al ser humano, estas han logrado tener un rol importante dentro de los recursos, ya que además de brindar servicios hidrológicos en calidad y cantidad, ayudan a mantener el balance de los ecosistemas, brindan beneficios al suelo y proveen la estabilidad de este. (Duque, 2015)

A pesar de la importancia que radica el estudio hidrológico de las cuencas, se sabe que este ámbito ha sido muy poco estudiado, lo que dificulta el camino para realizar una gestión sostenible del recurso hídrico. (Duque, 2015) En este contexto, surge la modelación hidrológica como respuesta al desarrollo de la investigación hidrológica, una herramienta informática capaz de representar de manera simple y numérica el comportamiento de un cuerpo hídrico a partir de parámetros básicos, permitiendo evaluar su respuesta bajo distintos escenarios.

La modelación hidrológica es afectada en situaciones asociadas a la escasez de datos, lo que impide una representación adecuada del modelo hidrológico a efectuar. Asimismo, este tipo de herramienta, permite la utilización de análisis estadísticos los cuales pueden solucionar dichas incertidumbres.

Dentro de la necesidad de generar nuevas soluciones al cambio y afectación de las cuencas hidrográficas, surge la utilización de modelos hidrológicos que permitan analizar los cambios efectuados y proyectados, a partir de información climatológica, geográfica, topográfica y demás, las cuales permitan comprender los procesos hidrológicos dentro de la cuenca y asimismo realizar un análisis a distintas escalas de espacio y tiempo, lo cual permitirá intervenir en la toma de decisiones dentro de una proyección de desarrollo sostenible. (Mendoza, 2002)

Es así, como la modelación de cuencas es ampliamente utilizada en la actualidad gracias a que ha demostrado precisión y utilidad en distintas áreas, ya sea para la evaluación del cambio en el uso del suelo, cambio climático, calidad de agua, oferta y demanda hídrica, balances hídricos, abastecimiento, entre otros.

4.2.1.1 HEC – HMS

El modelo hidrológico HEC HMS ("Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System" por sus siglas en inglés), fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos con el fin de simular los procesos de lluvia-escorrentía en un sistema de cuenca. Este software, utiliza los procesos analíticos tradicionales para la evaluación de los sistemas modelados tales como eventos de infiltración, hidrogramas unitarios, hietogramas, entre otros. (US army corps of engineers)

HEC-HMS es un modelo de parámetros distribuidos, lo cual quiere decir que se caracteriza por subdividir una cuenca en unidades menores y a las cuales se les aplica un modelo global, y la respuesta de la cuenca está compuesta por las contribuciones de cada una de estas subdivisiones. (Aragón L. C., 2008) Este software generalmente es utilizado para simular la respuesta hidrológica de una cuenca y como parámetros para dicha simulación incluye el modelo de cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada los cuales deben ser definidos previamente a la simulación.

El modelo trabaja desarrollando las siguientes fases :

- I. Separación de la lluvia neta, es decir, separación de la parte de la precipitación que escurre directamente.
- II. Cálculo del escurrimiento directo producido por la lluvia neta.
- III. Suma del escurrimiento directo y la base (si había base previamente).
- IV. Cálculo de la evolución del hidrograma a medida que discurre en el cauce.

El producto final del programa es un hidrograma de salida de la cuenca en donde se puede observar el cálculo de los caudales generados y transitados a lo largo del recorrido de la cuenca. (US Army, 2015)

4.2.2.1.1 Componentes

a. Modelo de Cuenca

El modelo de cuenca se refiere a la formación física de la cuenca, en la cual se hace uso de las herramientas proporcionadas por el programa para la formación de esta, los elementos que pueden ser utilizados son: subcuencas, tramos de tránsito, uniones, embalses, fuentes, sumideros y derivaciones. Asimismo, durante esta etapa se establecen las subcuencas y su área, el método para la obtención del hidrograma, número de curva y el tiempo de retraso.

Figura 2 Modelo de cuenca HEC - HMS

Subbasin	Loss	Options
Basin Name: Subcuenca1 Element Name: Subcuenca1		
Initial Abstraction (MM) 5		
*Curve Number: 60		
*Impervious (%) 2		
Downstream: --None--		
*Area (KM2) 34		
Latitude Degrees:		
Latitude Minutes:		
Latitude Seconds:		
Longitude Degrees:		
Longitude Minutes:		
Longitude Seconds:		
Canopy Method: --None--		
Surface Method: --None--		
Loss Method: SCS Curve Number		
Transform Method: --None--		
Baseflow Method: --None--		

Fuente: HEC-HMS.

b. Modelo meteorológico

La creación del modelo meteorológico, hace referencia a los datos de precipitaciones que se utilizarán para la modelación los cuales se pueden ingresar dependiendo el modo de obtención de los mismos, ya sea por medidores de lluvia, precipitación en malla, etc. Asimismo, se realiza la creación de pluviógrafos con sus respectivos datos de fecha, hora y precipitación y se asigna cada uno a la cuenca correspondiente.

Figura 3 Modelo meteorológico HEC-HMS

Table	Graph
Time-Series Gage	Time Window
Gage Name: Pluv 1	
*Start Date (ddMMYYYY)	01mar2010
*Start Time (HH:mm)	12:00
*End Date (ddMMYYYY)	01mar2010
*End Time (HH:mm)	16:00

Time-Series Gage		Time Window
Table		Graph
Time (ddMMYYYY,...)	Precipitation (MM)	
01mar2010, 12:00		
01mar2010, 13:00	3.00	
01mar2010, 14:00	4.00	
01mar2010, 15:00	2.00	
01mar2010, 16:00	5.00	

Specified Hyetograph		
Met Name: Met 1		
Subbasin Name	Gage	Total Depth ...
Subcuenca1	Pluv 1	

Fuente: HEC-HMS

c. Especificaciones de control

Las especificaciones de control son el tiempo en el que se desea realizar la simulación, en esta etapa se realiza el ingreso de fecha y hora del inicio de la lluvia y del final de esta, así como también el incremento/intervalo de tiempo para el cual queremos que el programa realice los cálculos, entre menos sea el intervalo más datos serán identificados en la tabla de datos obtenida y el gráfico.

Figura 4 Especificaciones de control HEC-HMS

Control Specifications	
Name: Control 1	
Description:	
*Start Date (ddMMYYYY)	01mar2010
*Start Time (HH:mm)	12:00
*End Date (ddMMYYYY)	01mar2010
*End Time (HH:mm)	20:00
Time Interval:	1 Hour

d. Datos de entrada

Finalmente, se introduce en el programa la información que necesita para realizar el cálculo mediante los diferentes métodos, y realizar la simulación, la cual se resume en precipitación histórica, características del suelo, información morfométrica, datos del proceso de transformación de lluvia en escorrentía y características hidráulicas en caso de ser necesarias.

4.3 Marco conceptual

Dentro del desarrollo del presente trabajo, se hace necesaria la conceptualización base para abordar el tema de la modelación hidrológica con el fin de establecer una claridad de los objetivos a lograr mediante el proyecto desarrollado y asimismo lograr una mejor comprensión del mismo. Los conceptos mencionados a continuación han sido previamente consultados en fuentes de información confiables especializadas en el tema. (UNESCO, 2013) (IDEAM, 2014)

- **Caudal base:** Caudal que se incorpora en una corriente de agua, procedente principalmente de aguas subterráneas aunque también de lagos y glaciares, durante períodos largos en los que no se produce ni precipitación ni fusión de nieve.

En la modelación para HEC – HMS el caudal base se tiene en cuenta dentro del modelo de cuenca, y en ciertas modelaciones es calculado mediante distintos métodos, tales como el método linear reservoir, opciones que están disponibles en el modelo bajo el nombre de Baseflow Method. (US army corps of engineers)

- **Caudal medio mensual:** El caudal medio mensual, se conoce como la media aritmética de todos los caudales mensuales para un mes dado, en el período considerado.

Los caudales medios mensuales, son generalmente utilizados para obtener la oferta hídrica de un cuerpo de agua determinado, así como también para estimar la potencialidad del mismo, y la capacidad que tiene para proyecciones futuras.

- **Caudal pico:** Caudal máximo instantáneo de una determinada corriente de agua representado en un hidrograma de caudales para un fenómeno específico. Este caudal nos indica el caudal mayor que alcanzó la corriente de agua en el período de estudio seleccionado, por lo que es útil en estudios realizados con el fin de analizar inundaciones y otros fenómenos naturales.

Generalmente, el caudal pico representa la punta de un hidrograma unitario, lo cual quiere decir que es el caudal máximo de la representación dada. (Coloma, 2015)

- **Ciclo hidrológico:** Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la misma: evaporación del agua del suelo, del mar y de las aguas continentales, condensación en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación.

Lo que se intenta realizar con una modelación hidrológica es simplificar de la forma más exacta la manera en como el ciclo hidrológico funciona y cómo afecta los diferentes tipos de cuerpos hídricos

- **Hidrograma:** Gráfico que muestra la variación temporal de variables hidrológicas tales como el nivel del agua, el caudal, la velocidad y la carga de sedimento, los hidrogramas son un factor primordial en los estudios hidrológicos, gracias a que proveen el resumen de la información solicitada.

Generalmente, cuando se va a realizar una modelación en la cual no se cuenta con información histórica real, el modelo meteorológico se puede realizar a partir de la realización de hidrogramas sintéticos, los cuales se realizan a partir de un modelo idealizado que representa el flujo de un corriente ocasionado por una tormenta unitaria. (Aragón M. I., 2008)

- **Modelación hidrológica:** La modelación hidrológica, es una simplificación de la realidad en un modelo matemático. La modelación hidrológica se establece a partir de la integración de distintas fases en donde se debe llevar a cabo la obtención de datos, el procesamiento y análisis de datos de entrada, operaciones en SIG, y la simulación para finalmente obtener la simulación de resultados. (Coloma, 2015)

Uno de los modelos hidrológicos más utilizados actualmente gracias a su precisión y amplias aplicaciones es el modelo HEC – HMS, un modelo de parámetros agregados con distribución espacial, el cual funciona mediante la subdivisión de una cuenca en diferentes subcuencas y tiene en cuenta parámetros como el uso del suelo, grupo del suelo y condición hidrológica. (Aragón M. I., 2008)

- **Número de curva:** Parámetro hidrológico que utiliza el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, el cual varía entre 0 y 100, se utiliza para estimar el coeficiente de escorrentía de un episodio de lluvias a partir de la altura de precipitación y las propiedades de drenaje de la cuenca.

El número de curva es utilizado en trabajos de modelación con el fin de optimizar la interpretación de la escorrentía para la simulación de la lluvia, y gracias a que simplifica en un solo parámetro características como uso del suelo, tipo de suelo, condiciones de humedad e infiltración, lo cual tiene una distribución espacial sobre toda la cuenca y permite realizar una modelación distribuida. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2005)

- **Oferta hídrica:** Consiste en los volúmenes de agua disponibles, tanto, espacial como temporal en un área hidrográfica. El aumento en la oferta hídrica indica que se pueden aplicar o crear distintas metodologías con el fin de realizar un aprovechamiento del recurso.

La oferta hídrica de un cuerpo de agua, desempeña un papel importante gracias a que actualmente resulta necesario el establecer medidas de control y regulación de los niveles de agua de un cuerpo hídrico con el fin de garantizar un uso adecuado y sostenible ya sea para el sector agropecuario, fines ambientales, abastecimiento, entre otros, lo cual se estima a partir de la oferta hídrica. (Torres, 2016)

- **Parámetros morfométricos de una cuenca:** Los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica se refiere a los parámetros físicos de la misma, los cuales son utilizados para analizar la red de drenaje, pendientes, y forma de la cuenca a partir de valores numéricos, por lo cual es importante realizar las mediciones y cálculos sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica. (Cardona, 2012)
- **Simulación:** Proceso que utiliza un programa informático para reproducir o representar fenómenos reales mediante un modelo hidrológico numérico. La simulación aporta un soporte básico al proceso de construcción del modelo, debido a que es la validación final del modelo, a través de la cual se establece la definición de estrategias de control. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2005)

El desarrollo de distintas simulaciones se ha establecido con el fin de elaborar una herramienta de aplicación específica que enmarque los fenómenos que hacen parte del sistema del ciclo hidrológico y sus subsistemas como lo son la precipitación, evaporación, escurrimiento, entre otros. Para lo cual se han planteado a lo largo de los años simulaciones específicas para calcular distintas variables y fenómenos que encaran el escurrimiento superficial, tales como Simulaciones 2.0. (Coloma, 2015)

- **Sistema de información geográfica:** Sistema de gestión de datos que utiliza un paquete informático que incorpora la superposición de diferentes capas de características, mediante mapas relacionados con tablas de datos y conjuntos de modelos. Los SIG se caracterizan por sus amplias aplicaciones ya que pueden ser utilizados en cuestiones de localización y condición, así como también para resolver cuestiones más complejas es donde es necesaria la utilización de técnicas estadísticas y análisis espacial. (Carmen, 2006)

Los Sistemas de Información Geográfica más utilizados en medio ambiente gracias a sus funciones de entrada de datos, gestión y consultas, integración de información, análisis estadístico, modelado cartográfico, análisis espacial, métodos de interpolación, entre otros, son: Arc Info, Arc View, Arc Gis, Autocad Map, Genasys, Geomedia, SmallWorld, entre otros.

4.4 Marco legal

Tabla 2 Normatividad legal aplicable al proyecto

GENERALIDAD		APLICACIÓN	
NORMATIVA	EMISOR	ART. APLICABLES	DESCRIPCIÓN
Decreto 3930 de 2010 incorporado en el Decreto 1076 de 2015	Presidencia de la república	Art. 2.2.3.3.4.4.	En el cual se reglamenta la utilización del recurso hídrico y aguas lluvias para su manejo adecuado y sostenible.
Ley 373 de 1997	Ministerio de desarrollo económico	Aplica toda la norma	La presente ley muestra los diferentes requisitos y planes que se deben incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua, lo cual es aplicable debido a que se establecen normas para todas las entidades que deben cumplir en el momento de hacer uso del recurso hídrico del país.
Decreto 1541 de 1978 incorporado en el Decreto 1076 de 2015. "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible".	Presidencia de la república	Toda la norma	El presente decreto establece normativas para el aprovechamiento y uso en los diferentes campos de las cuencas y subcuencas hidrográficas para lograr un manejo sostenible en los usos del suelo, sus aguas, flora y fauna.
Sentencia 479 de 2014	Consejo de Estado	Toda la norma	Esta sentencia fue emitida con el fin de implementar medidas para la protección de la cuenca del río Bogotá con el fin de conservar y proteger los recursos y procesos hidrológicos que se presentan en esta, dentro de lo cual hace parte la subcuenca del río Teusacá como cuenca alta del río Bogotá.

Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico (PNGIRH)	Consejo nacional ambiental		Establece dentro de sus objetivos el ordenamiento de las actividades y usos del suelo en las cuencas hidrográficas del país.
Decreto 2811 de 1974	Consejo de Estado	Art. 317 al Art. 321	Mediante el cual se establece la estructura del plan de ordenación y manejo de cuencas, así como también es labor de las entidades encargadas conocer las actividades relacionadas al uso de la cuenca.
Decreto 1604 de 2002	Ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Aplica toda la norma	Tiene como objeto concertar, armonizar y definir las políticas para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, así como también proteger y recuperar las cuencas o microcuencas que surten los acueductos municipales.
Decreto 1480 de 2007	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Art.1 y Art.2	Se establece la priorización de cuencas hidrográficas a nivel nacional con el fin de prevenir y mitigar factores de riesgo.
Decreto 1729 de 2002	Presidencia de la república	Art. 1, Art.2, Art. 3	Establece la definición de cuenca hidrográfica, así como también su delimitación y usos.
Decreto 1640 de 2012	Presidencia de la república	Aplica toda la norma	Mediante este se reglamentan los instrumentos para el manejo y ordenamiento de cuencas hidrográficas.
Resolución 509 de 2013	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Aplica toda la norma	En este se definen los lineamientos para la conformación de los consejos de cuenca y su labor en el plan de ordenamiento de cuencas.
Acuerdo Municipal 011 del 2010 POT de La Calera	Consejo municipal de La Calera	Art. 7, Art. 8,	Dentro del cual se realiza la descripción hidrográfica del municipio y la delimitación de los ríos Teusacá y Blanco y se orienta a consolidar el área de protección de estos ríos priorizando el uso del suelo.

Fuente: (Ambientalex, s.f.) Modificación por la autora.

5. METODOLOGÍA

5.1 Recopilación de información

Para el desarrollo de esta etapa del proyecto, se realizó la recopilación de la información que pueda ser útil en el momento de realizar la modelación hidrológica.

En primer lugar, se procedió a estudiar los antecedentes de estudios realizados con el fin de obtener caudales medios mediante HEC-HMS. Una de las fuentes bibliográficas de mayor conveniencia es un estudio realizado con el fin de estimar los caudales medios mediante la modelación con HEC-HMS para la cuenca del río Yumbo, en el Valle del Cauca (Carvajal, 2010), a partir del cual se puede obtener información para la realización de la modelación, asimismo, el estudio tuvo como resultado a partir de una calibración con datos reales que los datos modelados presentaron un ajuste aceptable al compararlos con los datos observados, y también se demostró que la calidad de los resultados de la modelación dependen del grado de confiabilidad de la información base utilizada para el modelo.

La información hidrológica utilizada fue a partir de los datos históricos de precipitación proporcionados por la CAR en la base de datos de su página web, para cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca: La casita, La cabaña, Santa Teresa y San Pedro, para el período 1985 – 2000 así como también se hizo uso de capas obtenidas en el SIGOT con el fin de clasificar los usos del suelo para aplicar el método del número de curva.

A partir de esta información base se procede a realizar la delimitación de la cuenca con la herramienta arcgis, sistema de información geográfica que nos permite obtener datos de área, longitud, altitud y demás información que será utilizada para la modelación. (IGAC, 2007)

5.2 Modelo de cuenca

Para la realización de la modelación hidrológica es necesario dividir la subcuenca en microcuencas con el fin de definir los elementos que componen a la subcuenca, posterior a esto se obtendrá la información de cada microcuenca la cual será ingresada directamente en HEC-HMS para obtener el modelo de cuenca.

La información ingresada en el software serán los parámetros morfométricos, el número de curva, abstracción inicial, porcentaje de impermeabilización y tiempo de retardo.

5.2.1 Número de curva

El método seleccionado para realizar la modelación hidrológica, fue el método del número de curva debido a la información con la que se contaba para el desarrollo del proyecto. Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, a partir del cual se determina un umbral de escorrentía mediante un número de curva asignado a una cuenca, el número de curva varía entre 0 y 100 dependiendo la capacidad del suelo de generar escorrentía superficial, por lo tanto, los valores cercanos a 0 se considera son para suelos con una permeabilidad alta, mientras que los valores cercanos a 100 representan suelos impermeables. (Agua y SIG, 2010)

5.2.1.1 Grupo hidrológico del suelo

Para obtener el CN, el primer paso es clasificar el suelo en un grupo hidrológico, los cuales están definidos por Grupo A, B, C y D, en donde los suelos del grupo A tienen alto potencial de escurrimiento y los suelos del grupo D un alto potencial de escurrimiento. Esta clasificación se establece a partir de la siguiente tabla:

Tabla 3 Clasificación grupo hidrológico del suelo

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Arenosa-limosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración <13 mm/h	Arcillosa

Fuente: (Agua y SIG, 2010)

La red de drenaje de la subcuenca del Teusacá es considerada de tipo superficial gracias a las diferentes fuentes superficiales que tributan al río. Esta red de drenaje es densa en la parte alta hasta el sitio de presa, por lo que se considera que presenta una rápida escorrentía, factor que dificulta un poco el proceso de infiltración y de recarga de aguas subterráneas, a pesar de que los procesos de infiltración podrían ser mayores gracias a la capacidad del suelo de la cuenca (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2013) , razón por la cual se clasifica la subcuenca en el grupo hidrológico C debido a que tiene alta capacidad de infiltración pero esta es lenta gracias a los procesos de escorrentía.

5.2.1.2 Uso del suelo

Una vez identificado el grupo hidrológico al que pertenece la cuenca, se procede a determinar los usos del suelo y su ocupación en porcentajes de área, información que se obtuvo a partir de shapfiles proporcionados por el sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial (SIGOT) del IGAC y del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca del río Bogotá – Subcuenca del río Teusacá de la CAR.

Tabla 4 Número de curva para complejos hidrológicos del suelo

Uso del suelo o cubierta	Método o tratamiento	Condición hidrológica	Grupo hidrológico de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Surco recto	---	77	86	91	94
Cultivo en surcos	Surco recto	Deficiente	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	Cultivo en contorno	Deficiente	70	79	84	88
	Cultivo en contorno	Buena	65	75	82	86
	Terraza	Deficiente	66	74	80	82
	Terraza	Buena	62	71	78	81
Grano pequeño	Surco recto	Deficiente	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	Cultivo en contorno	Deficiente	63	74	82	85
	Cultivo en contorno	Buena	61	73	81	84
	Terraza	Deficiente	61	72	79	82
	Terraza	Buena	59	70	78	81
Leguminosas Sembradas Al voleo, o pradera de rotación.	Surco recto	Deficiente	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	Cultivo en contorno	Deficiente	64	75	83	85
	Cultivo en contorno	Buena	55	69	78	83
	Terraza	Deficiente	63	73	80	83
	Terraza	Buena	51	67	76	80
Pastizal, o terreno de pastoreo. Pradera (permanente) Forestal (terrenos agrícolas con árboles) Granjas Carreteras y derechos de vía (superficie dura)	Cultivo en contorno Cultivo en contorno Cultivo en contorno	Deficiente	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
		Deficiente	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
		Buena	30	58	71	78
		Deficiente	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
		---	59	74	82	86
		---	74	84	90	92

Fuente: (Coloma, 2015)

5.2.2 Abstracción inicial

La abstracción inicial es uno de los parámetros necesarios a introducir en la modelación una vez es elegido como método de pérdidas el método del número de curva. En esta etapa

de la modelación se calcula qué parte de la precipitación es infiltrada en el suelo, lo demás es considerado lluvia neta.

5.2.3 Porcentaje de impermeabilización

El porcentaje de impermeabilización representa el área permeable de la cuenca, y puede ser calculado a partir del porcentaje de área de urbanización y el porcentaje de área rural total de la cuenca, esta metodología puede ser aplicada mediante la utilización de mapas de uso del suelo.

5.3 MODELO METEOROLÓGICO

5.3.1 Análisis espacial y temporal

5.3.1.1 Precipitaciones

Las precipitaciones presentadas en la subcuenca pueden generar un comportamiento bimodal, en donde los períodos entre marzo y mayo y de octubre a diciembre son los más húmedos, mientras que los períodos de estiaje están comprendidos por los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre presentando valores de hasta 40 mm.

Las precipitaciones mínimas se presentan en la parte baja de la subcuenca gracias a la altura, con valores entre 500 y 700mm; las precipitaciones medias se presentan en los alrededores del embalse San Rafael, gracias al papel regulador que juega este mismo con valores entre 700 y 800 mm y las precipitaciones máximas están en la quebrada Simayá, con valores entre 1000 y 1400 mm. (Muñoz S. B., 2010)

5.3.1.2 Caudales

Posterior a la construcción del proyecto Chingaza en 1976 y el embalse San Rafael en 1996, los caudales de la subcuenca han sido ampliamente alterados, logrando como resultado final una amortiguación de los caudales máximos y regulando de manera significativa los caudales máximos, medios y mínimos.

Para efectos del proyecto, es importante resaltar, que dentro de la subcuenca seleccionada no se encontraron estaciones limnigráficas con datos históricos de caudal a partir de los cuales se pueda realizar una calibración y/o cálculo de error.

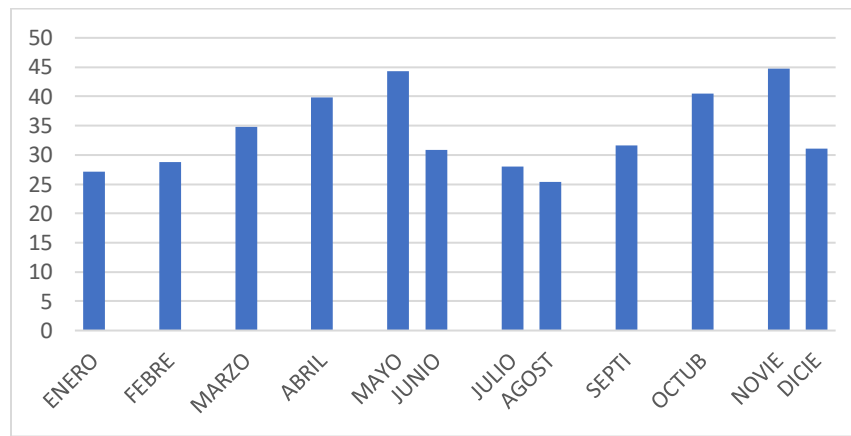
A continuación, se realiza un análisis básico para los caudales medios, mínimos y máximos, a partir de los cuales se realizó el estudio del diagnóstico ambiental de la subcuenca del río Teusacá.

- **Caudales medios mensuales:** La distribución de los caudales medios, es al igual que la precipitación, de tipo bimodal en la parte alta de la subcuenca presentando

los mayores valores en los meses de junio, julio y agosto, siendo agosto el mes que presenta los registros más altos y el periodo de estiaje se presenta en los primeros meses del año. Generalizando, el segundo semestre del año presenta valores sensiblemente más altos que el primer semestre, presentando un valor promedio anual de 2.2 m³/s.

En el histograma presentado a continuación, realizado para la estación de La Calera, se aprecia la distribución temporal de los caudales medios a lo largo del año, evidenciando un período más húmedo para el segundo semestre.

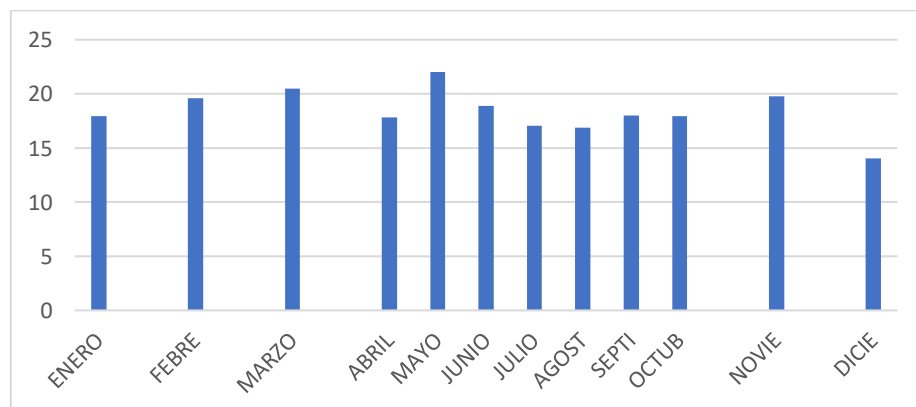
Gráfica 1 Histograma caudales medios



Fuente: (Ltda., 2007)

- **Caudales mínimos:** El comportamiento de los caudales mínimos a lo largo de la subcuenca, a diferencia de los caudales medios, presenta una variación menor, en donde existe un mayor caudal de salida en los meses de mayo, marzo y noviembre, lo cual se puede atribuir a las altas precipitaciones, y presentándose los menores valores en los meses de diciembre y julio.

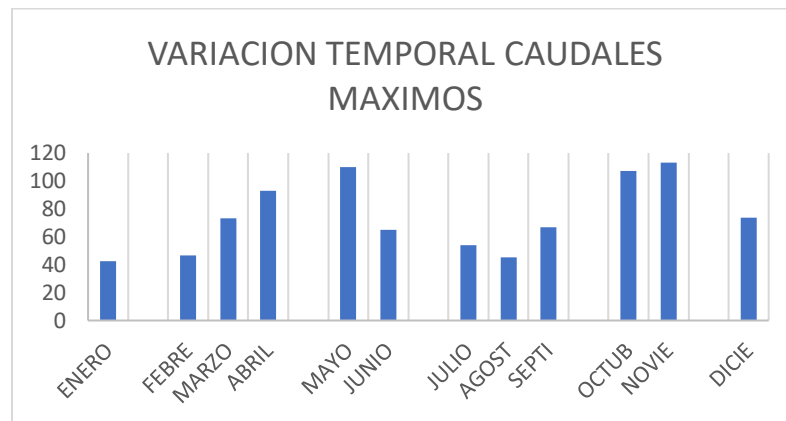
Gráfica 2 Histograma caudales mínimos



Fuente: (Ltda., 2007)

- **Caudales máximos:** Basados en la información de la CAR, los caudales máximos mensuales tienen un comportamiento bimodal debido a que presenta dos valores máximos en su distribución. Los caudales máximos obtenidos para la estación de la Calera presentan los mayores valores de caudal para los meses de mayo y noviembre, y los menores en los meses de agosto y enero, estos valores se deben en un alto grado a las actividades con un índice alto de demanda hídrica las cuales son agricultura, ganadería etc.

Gráfica 3 Histograma caudales máximos

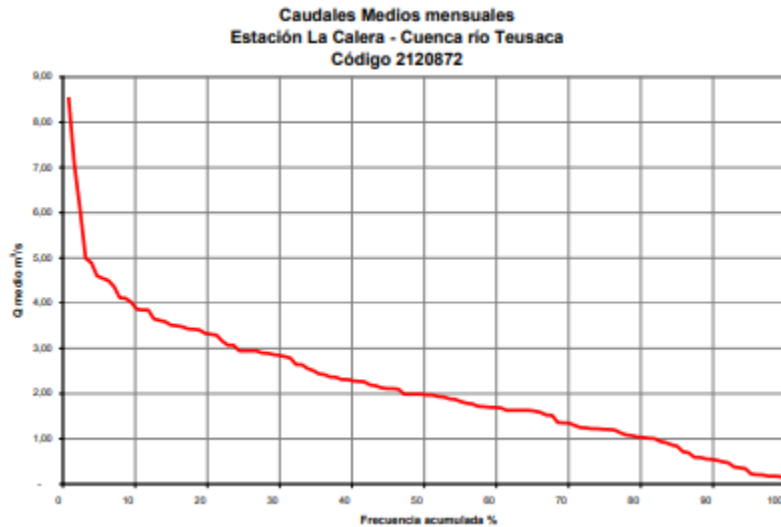


Fuente: (Ltda., 2007)

- **Curva de duración de caudales medios mensuales:** La curva de duración de caudales medios, se estima con el fin de establecer el porcentaje de tiempo en que cierto caudal es superado o igualado, y se sabe que si la serie de datos utilizada es buena, la curva puede ser representativa del régimen de los caudales medios presentados en la cuenca.

La curva obtenida, presenta como registro de valor máximo un caudal de 8,55 m³/s, y con un valor menor de 0,11 m³/s. Asimismo, se puede observar en la gráfica, que en el inicio se presenta una pendiente relativamente prolongada, lo cual indica que los caudales altos se pueden presentar durante períodos cortos.

Gráfica 4 Curva de duración caudales medios



Fuente: (Ltda., 2007)

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 Obtención del modelo de cuenca

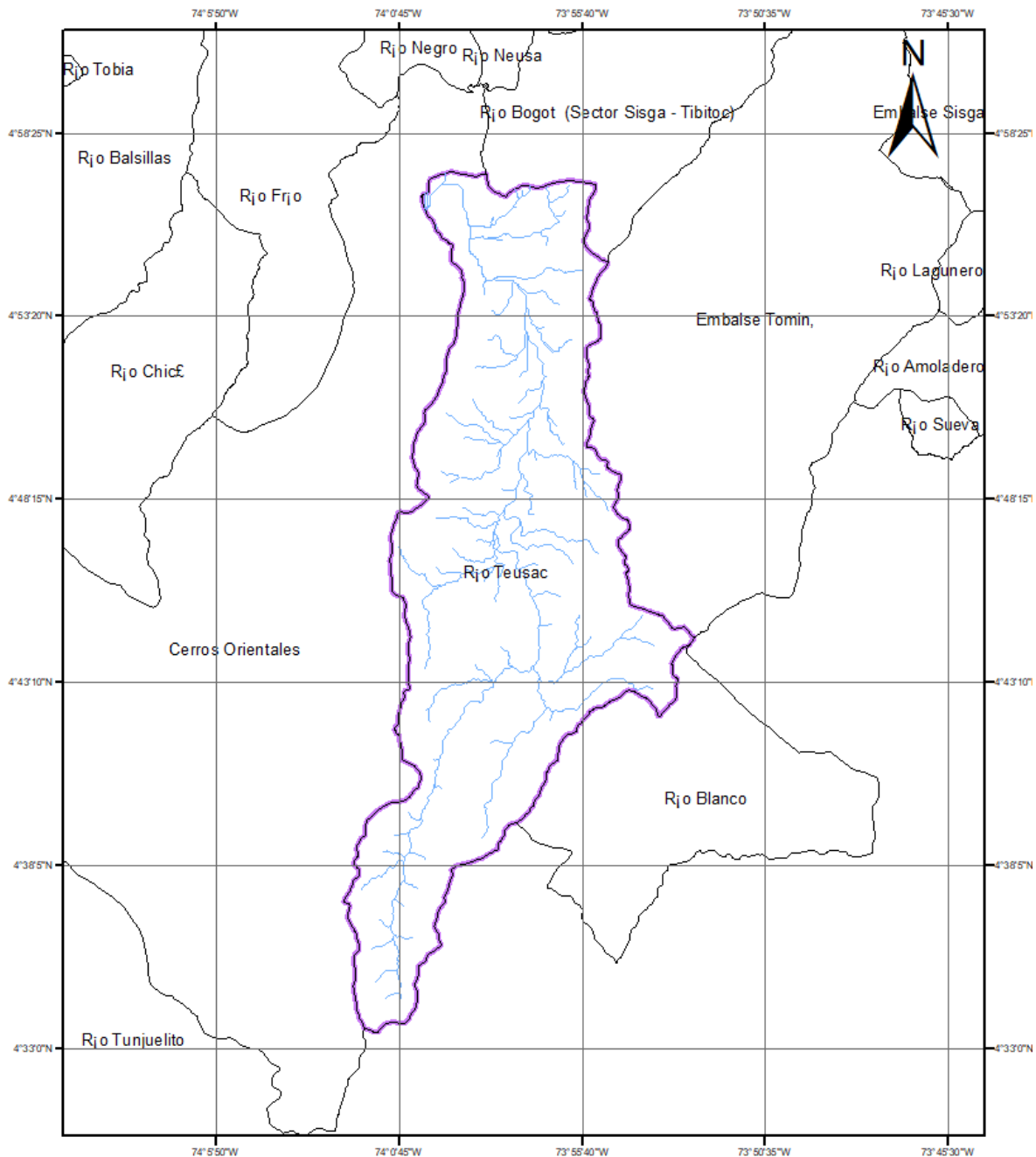
Los resultados mostrados a continuación, son el planteamiento inicial a partir del cual se establece la información base para la realización del modelo y se recopilan y obtienen las variables necesarias a partir de las cuales se va a realizar la simulación. Por lo cual, la delimitación del área de estudio, la subdivisión de la cuenca, la obtención de parámetros morfométricos, número de curva, abstracción inicial y porcentaje de impermeabilización, son la información a partir de la cual se establece el modelo de cuenca.

6.1.1 Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio, se realizó a partir del modelo digital de elevación del Departamento de Cundinamarca, el cual fue obtenido en línea a través del link de la NASA (NASA, 2016). Una vez cargado el archivo en ArcGis 10.2.3, se realizaron los pasos pertinentes para obtener la red de drenaje primaria y secundaria para la cuenca y asimismo delimitar su área y ubicación dentro de las subcuencas pertenecientes al departamento, el resultado obtenido se muestra en el mapa 3.

Mapa 2 Delimitación Río Teusacá

SUBCUENCA RÍO TEUSACÁ



Legend

- cuencas
- Teusaca

MAPA DELIMITACIÓN SUBCUENCA TEUSACÁ

Coordenadas: Magna Colombia Bogotá

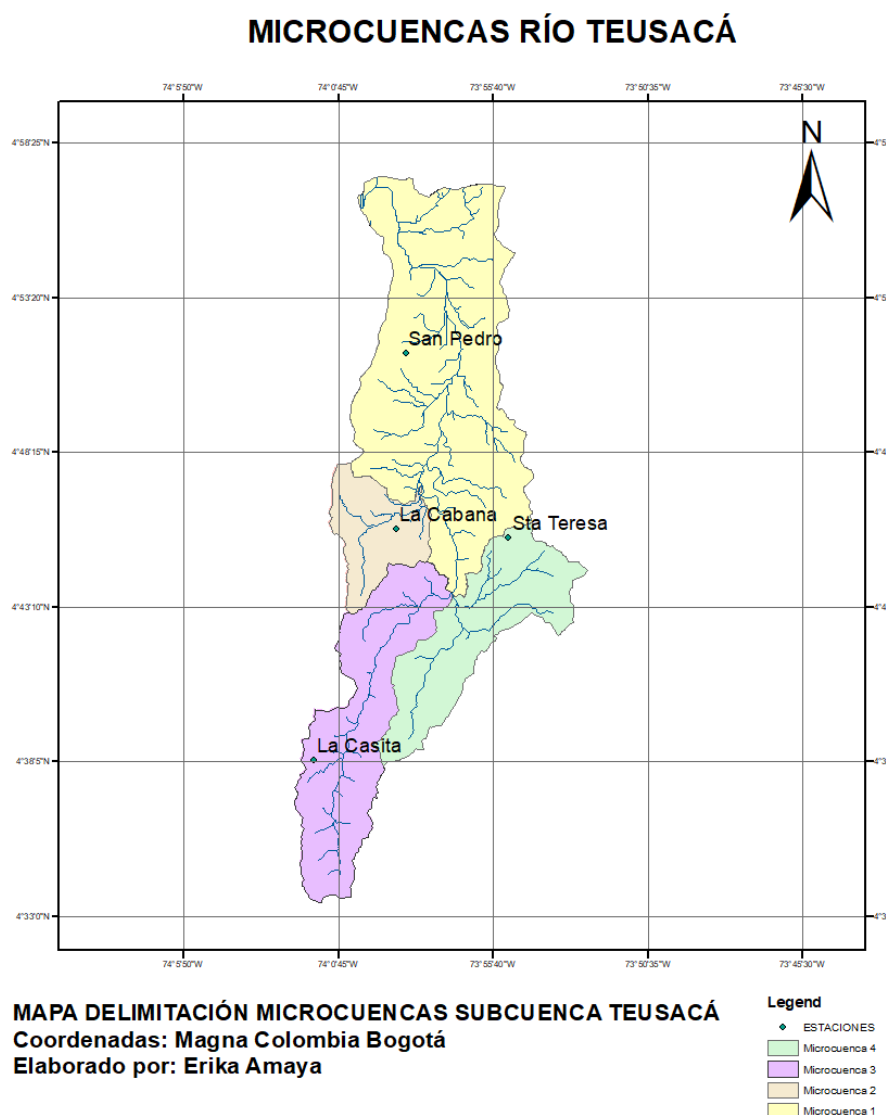
Elaborado por: Erika Amaya

Fuente: Autora

6.1.2 Subdivisión de la cuenca

Para obtener la subdivisión de la subcuenca del río Teusacá, se hizo uso de la herramienta watershed en ArcGis a partir de la red hídrica previamente obtenida en la delimitación de la subcuenca, esto se muestra en el Mapa 4, en donde también se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas por microcuenca, las cuales serán utilizadas para obtener la información de precipitaciones para el modelo meteorológico.

Mapa 3 Delimitación microcuencas



Fuente:Autora.

6.1.3 Obtención de parámetros morfométricos

Área

El área de la cuenca se calculó mediante la delimitación de la misma, lo cual se realizó previamente y a partir de la tabla de atributos en ArcGis 10.2.2 se estimó que la subcuenca cuenta con un área total de 358,23 km² y los valores de área para cada microcuenca se calcularon de la misma manera.

Longitud del cauce principal

De igual manera la longitud del cauce principal para cada microcuenca se calculó con el software ArcGis mediante la herramienta measure.

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se refiere al tiempo en que se demora una gota de agua en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la desembocadura, y está definido por la siguiente ecuación:

$$T_c = 0,0195 * \frac{L^3}{H}^{0,385} \text{ (Min)}$$

En donde:

H = diferencia de altura entre el punto más alto de la cuenca y el más bajo

L = Longitud del cauce principal en metros

Tiempo de retardo

Para la modelación en HEC-HMS se debe considerar el tiempo que transcurre desde el centro de gravedad de la P neta hasta la punta del hidrograma es aproximadamente igual a 0,6 por el tiempo de concentración.

En la tabla se encuentran los valores calculados para cada uno de los parámetros previamente definidos mediante su ecuación correspondiente.

Tabla 5 Parámetros morfométricos

Microcuenca	Área(km2)	Lcp (km)	Cota max-min	Tc(min)	Tlag (min)
1	178.8	28.34	926	14.36	8.62
2	32.1	10.55	608	12.93	7.76
3	82.8	23.47	579	8.98	5.39
4	64.7	11.2	1003	22.52	13.51

Fuente: Autora.

6.1.4 Obtención del Número de curva

El uso del suelo, se refiere a los fines a los cuales el hombre le da a este recurso, ya sea para obtener bienes del mismo, como alimento, leña, alimento animal, generación de energía, etc. Como también para su conservación y preservación. Los usos del suelo actual para la subcuenca del río Teusacá están clasificados en forestal, agrícola, pecuario, urbano y uso especial, los cuales se describen a continuación:

a. Uso forestal

Corresponde a coberturas boscosas y vegetaciones leñosas, para el Teusacá se identificó que esta vegetación es utilizada para provisión de madera para cocción, construcción o reparación, asimismo los tipos de bosque que se presentan son altoandino, plantado y secundario. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2013)

b. Uso agrícola

La subcuenca del río Teusacá presenta un alto porcentaje de área dedicado a los cultivos, que pueden ser perennes y transitorios, dentro de los cuales predominan el café y la papa, principalmente en el sector donde se encuentran ubicados los municipios de Guasca y La Calera.

c. Uso pecuario

El uso destinado a pastoreo y ganado es el predominante en la subcuenca, lo cual es una alerta debido a que el pisoteo constante del ganado es el factor principal que contribuye a los procesos erosivos del suelo, remoción del suelo e inestabilidad.

d. Uso urbano e infraestructura

Las áreas urbanas ubicadas en la cuenca son las pertenecientes a los municipios, veredas y edificaciones localizadas en el área de estudio, dentro de las cuales predominan los municipios de Guasca, Sopó y La Calera.

e. Uso especial

El uso especial del suelo de la subcuenca es la vegetación perteneciente al páramo y los matorrales de clima frío, esta cobertura se caracteriza por ser en su mayoría de carácter endémico, esto por su cercanía al páramo de Chingaza.

Tabla 3 Determinación Número de Curva microcuenca 1

MICROCUEENCA 1					
Uso del suelo	Tipo de cobertura	Área (km ²)	Área (%)	Condición hidrológica	Número de curva
Uso forestal	Bosques naturales y plantados	17.02	9.508	Regular	73
Uso agrícola	Cultivos	33.4	18.659	Buena	82
Uso pecuario	Pastos y herbazales	127.09	71.000	Buena	70
Uso urbano e infraestructura	Áreas urbanas	1.5	0.838		90
	Total	179	100	Promedio	79

Tabla 4 Determinación Número de Curva microcuenca 2

MICROCUENCA 2					
Uso del suelo	Tipo de cobertura	Área (km2)	Área (%)	Condición hidrológica	Número de curva
Uso forestal	Bosques naturales y plantados	0.63	1.968	Buena	71
Uso agrícola	Cultivos	7.42	23.180	Regular	77
Uso pecuario	Pastos y herbazales	23.96	74.852	Buena	74
	Total	32.01	100	Promedio	74

Tabla 5 Determinación Número de Curva microcuenca 3

MICROCUENCA 3					
Uso del suelo	Tipo de cobertura	Área (km2)	Área (%)	Condición hidrológica	Número de curva
Uso agrícola	Cultivos	33.89	43.199	Regular	88
Uso pecuario	Pastos y herbazales	40.46	51.574	Deficiente	85
Uso urbano e infraestructura	Áreas urbanas	4.1	5.226		90
	Total	78.45	100	Promedio	88

Tabla 6 Determinación Número de Curva microcuenca 4

MICROCUENCA 4					
Uso del suelo	Tipo de cobertura	Área (km2)	Área (%)	Condición hidrológica	Número de curva
Uso forestal	Bosques naturales y plantados	5.19	8.068	Buena	71
Uso agrícola	Cultivos	46.39	72.113	Buena	82
Uso pecuario	Pastos y herbazales	12.73	19.789	Regular	79
Uso urbano e infraestructura	Áreas urbanas	0.02	0.031		90
	Total	64.33	100	Promedio	81

Fuente: Autora.

6.1.5 Obtención de abstracción inicial

La abstracción inicial está dada por la ecuación:

$$P_o = 0.2 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

En donde:

P_o es la abstracción inicial

CN es el número de curva

La obtención de esta ecuación es a partir de la ecuación para conocer la cantidad de agua que se escurre (S), la cual, desglosando la anterior ecuación está determinada por:

$$S = \frac{25400}{77} - 254$$
$$S = 75.87$$

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se obtiene el valor de la abstracción inicial para cada una de las microcuencas.

Tabla 7 Abstracción inicial para cada microcuenca

Microcuenca	Abstracción inicial
1	13.71
2	17.85
3	7.15
4	12.31

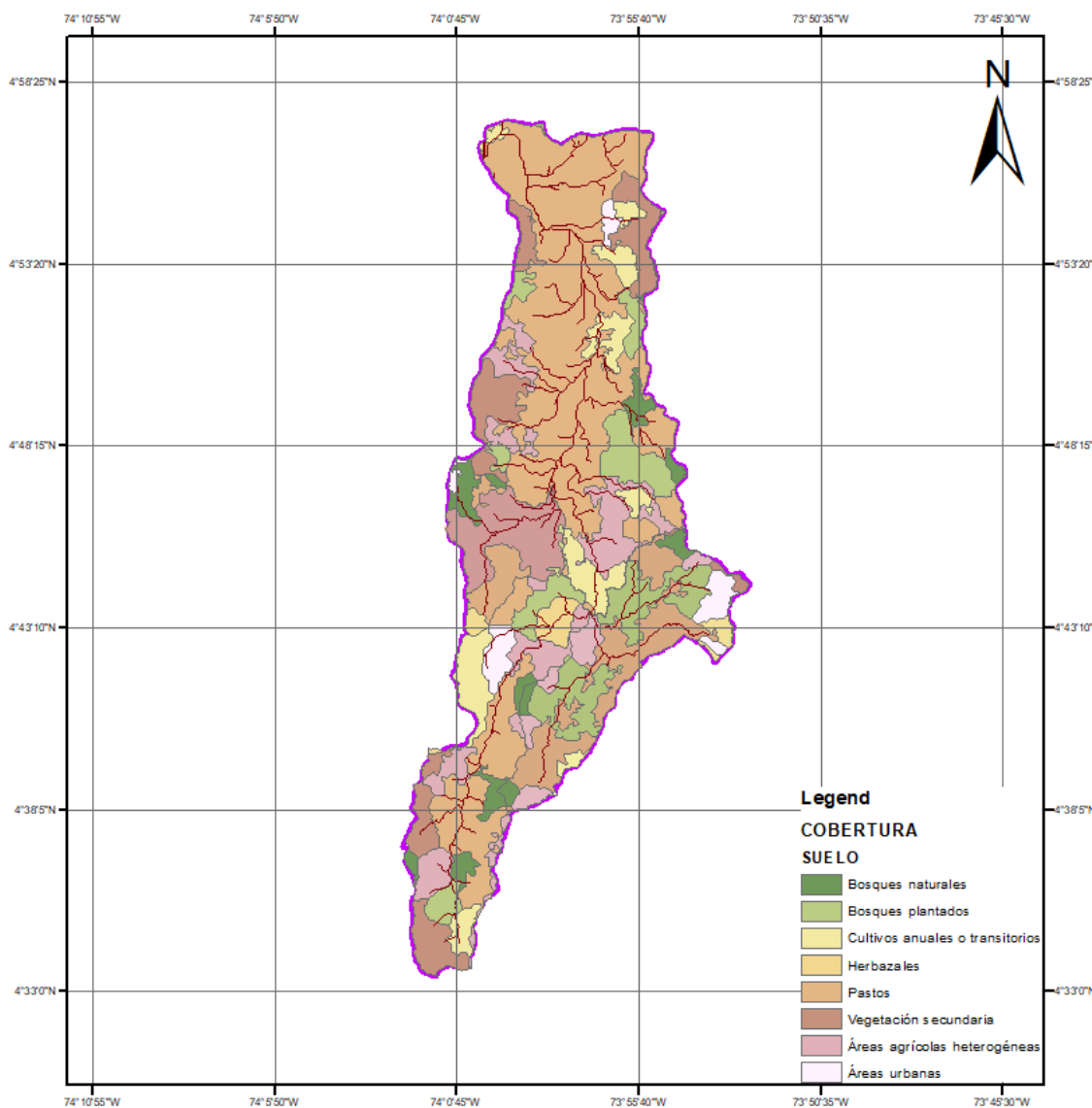
Fuente: Autora.

6.1.6 Obtención porcentaje de impermeabilización

A partir de un mapa de coberturas se pudo conocer la división de los usos del suelo a lo largo de la subcuenca, una vez obtenida esta información se procede a calcular el área total de la parte urbanística y el área correspondiente a la parte rural.

Mapa 4 Uso del Suelo Río Teusacá

USO DEL SUELO RÍO TEUSACÁ



MAPA USO DEL SUELO SUBCUENCA TEUSACÁ

Coordenadas: Magna Colombia Bogotá

Elaborado por: Erika Amaya

Fuente: Autora.

Para obtener el valor del porcentaje de impermeabilización de la cuenca, se sumaron las áreas correspondientes al uso del suelo para infraestructura, uso urbano y otros usos para

cada una de las microcuencas, y posteriormente se dividió este valor sobre el área de cada microcuenca, de lo cual se obtuvo la siguiente tabla:

$$\% \text{ impermeabilización} = \frac{A_{\text{urbana}} \text{ km}^2}{A_{\text{total}} \text{ km}^2} \times 100$$

Tabla 8 % de impermeabilización

Microcuenca	Área urbana (km2)	Área total (km2)	%Impermeabilización
1	1.5	178.8	0.839
2	-	-	-
3	4.1	82.8	4.952
4	0.02	64.7	0.031

Fuente: Autora.

6.2 Obtención del modelo meteorológico

Para la realización del modelo meteorológico se tomaron como datos base las precipitaciones diarias para las estaciones meteorológicas previamente descritas y ubicadas en el mapa 3.

Mediante la base de datos del IDEAM en el sistema de información del recurso hídrico, se buscaron las estaciones de San Pedro, Santa Teresa, La cabaña y La casita, estaciones meteorológicas ubicadas dentro del río Bogotá. Estas estaciones fueron seleccionadas en un principio, gracias a que cada una estaba ubicada en una de las microcuencas y a que todas contaban con una serie de datos de precipitación diaria entre los años 1985 y 2000. Adicionalmente, es debido aclarar que no es posible realizar una posterior calibración de los datos debido a que en la subcuenca no fueron encontradas estaciones limnigráficas con la información suficiente para realizar este proceso.

Cuando se obtuvo la serie de datos, se procedió a realizar la organización de los mismos en Excel, en donde se tenía la fecha y el dato cada uno en una columna, respectivamente, para la serie de 1985 al 2000. Este archivo de Excel fue el utilizado para ingresar en un código de Python con el fin de completar los datos y homogeneizar la serie, el código funciona con el método de interpolación.

Posterior a esto, una vez obtenida la serie de datos diarios mensuales para las estaciones de La Casita, La Cabaña, San Pedro y Santa Teresa, para el período 1985-2000 se procede a construir la serie de datos de tiempo en HEC-HMS, en la cual se especifica la fecha de inicio y final de la modelación y la hora, lo cual, por defecto, construye la tabla de tiempo en donde se ingresan los datos de precipitación. Una vez ingresados los datos, se asigna a cada microcuenca la estación correspondiente mediante el modelo meteorológico.

Figura 5 Modelo meteorológico

Subbasin Name	Gage
Microcuenca1	San pedro
Microcuenca2	La cabana
Microcuenca3	La casita
Microcuenca4	Sta teresa

Fuente: Autora.

6.2.1 Especificaciones de control

Las especificaciones de control utilizadas para la realización del modelo, fueron diarias debido a la cantidad de datos que posee este y ya que fue el intervalo de tiempo utilizado para las precipitaciones, el cual debe ser el mismo para las especificaciones de control.

Figura 6 Especificaciones de control

Control Specifications

Name: Control 1

Description:

*Start Date (ddMMMYYYY) 01ene1985

*Start Time (HH:mm) 00:00

*End Date (ddMMMYYYY) 31dic2000

*End Time (HH:mm) 00:00

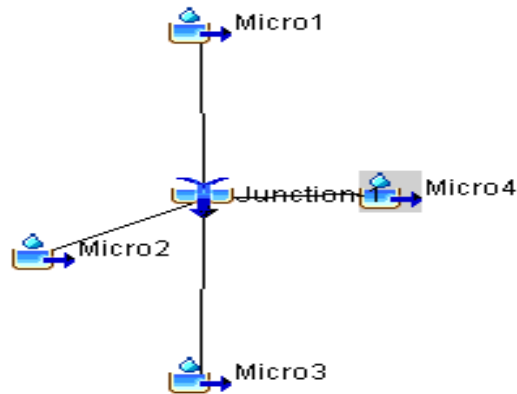
Time Interval: 1 Day

Fuente: Autora.

6.2.2 Modelación hidrológica

Una vez obtenida y procesada toda la información requerida para realizar el modelo hidrológico, como precipitaciones, parámetros morfométricos, número de curva y demás, se procede a esquematizar la subcuenca del Río Teusacá en el software HEC HMS, la cual estará compuesta por un punto de unión y cuatro microcuencas, como se observa en la figura 7. Posterior a esto, se procede a realizar la corrida del modelo mediante la creación de la corrida de simulación.

Figura 7 Esquema subcuenca Teusacá



Fuente: Autora.

6.3 Análisis y resultados del modelo hidrológico

La obtención de caudales para un cuerpo hídrico durante un período determinado, es el único término de un balance hidrológico que puede ser determinado y calculado con precisión. (Consultora Masil , 2007) Para realizar el cálculo de caudales medios mensuales, es necesario obtener previamente la media aritmética de los caudales promedios diarios para la serie de datos a la cual se le realizará el cálculo, lo cual se realizó previo a la modelación.

Figura 8 Resultados modelación

Global Summary Results for Run "Run 2"				
Project: Prueba Simulation Run: Run 2				
Start of Run: 01ene1985, 00:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 31dic2000, 00:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 10sep2018, 20:37:25		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements		Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3		Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Microcuenca1	178.8	86.2	31ene1992, 00:00	10322.05
Microcuenca3	82.8	51.7	27feb1994, 00:00	15781.63
Microcuenca4	64.7	40.4	27feb1994, 00:00	15749.63
Microcuenca2	32.1	26.5	15nov1999, 00:00	20695.77
U	358.4	120.2	05may1993, 00:00	13492.29

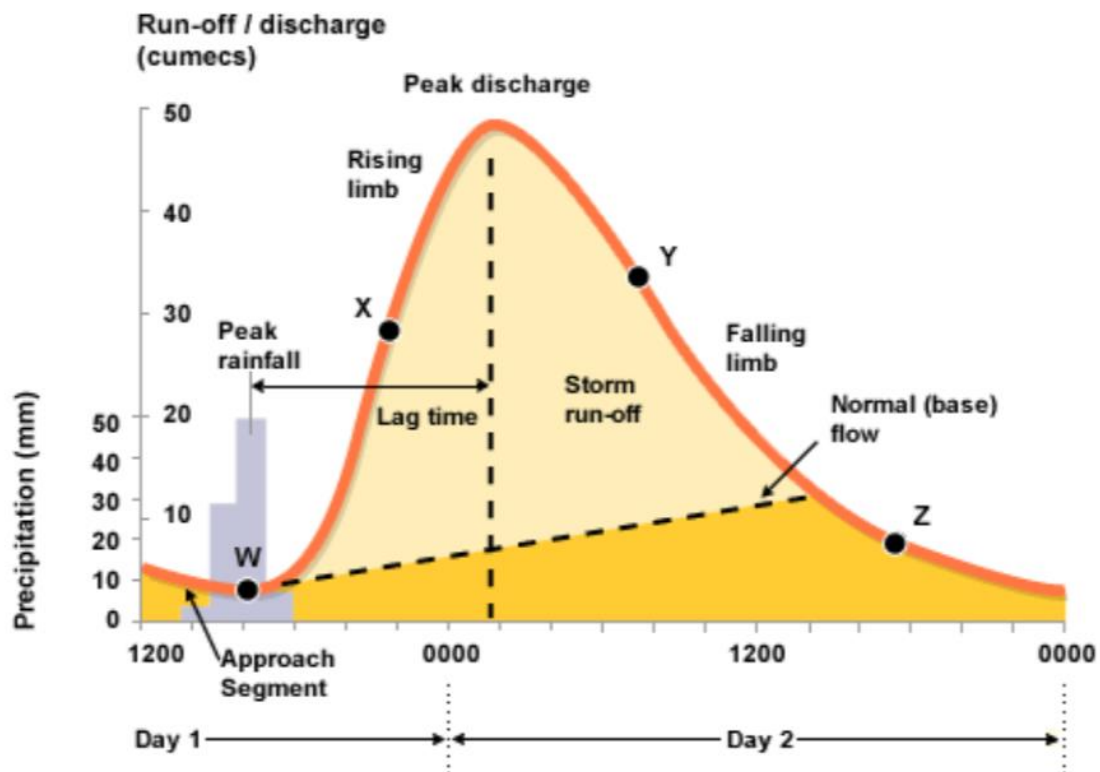
Fuente: Autora.

El modelo obtenido, como se muestra en la figura 9, nos muestra los picos de descarga para cada una de las microcuencas, lo cual nos muestra que los mayores caudales se presentaron entre noviembre y febrero de la serie de tiempo seleccionada para la modelación. Asimismo, los resultados muestran que los caudales varían a lo largo de toda la subcuenca, esto debido a que en cada una de las microcuencas se presentan distintos tipos de terreno, alturas, y otros factores que pueden influenciar en los niveles del río.

En la gráfica 5, se muestra el ejemplo de un hidrograma y sus partes, a partir de la cual se puede entender cada uno de los términos de los valores obtenidos en la modelación. Con base a esto, se entiende que el pico de descarga es el momento en que el caudal del río alcanza su punto mayor, mientras que el tiempo de retardo es el tiempo que demora el agua en llegar al río, el cual fue introducido con los datos para obtener la modelación. (BBC, 2014)

Según los datos obtenidos en el modelo, la distribución temporal de los caudales, es de tipo monomodal en la parte alta de la subcuenca, en donde se presentan los valores máximos para los picos de descarga en los meses de Noviembre, Enero y Febrero.

Gráfica 5 Modelo de un Hidrograma



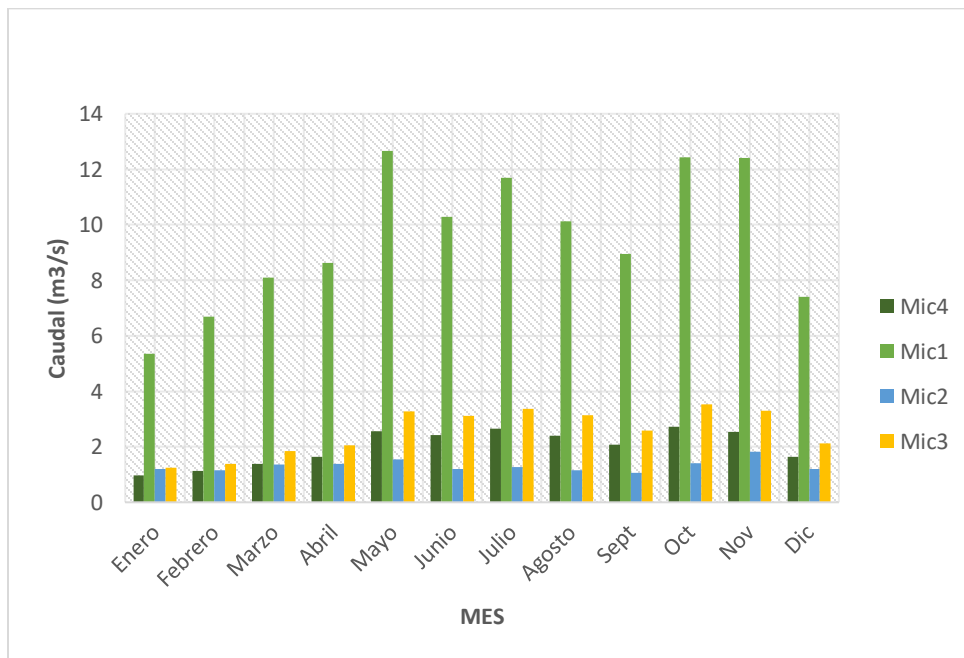
Fuente: (BBC, 2014).

En la gráfica 6 se muestran los valores de caudales medios mensuales obtenidos de los registros de las estaciones pluviométricas, en la cual se encuentran representados de forma gráfica y distributiva los valores de cada una de las estaciones con el fin de comparar los resultados de cada una.

El comportamiento de los caudales medios mensuales a lo largo de toda la subcuenca, es variable, en el momento en que se comparan los valores de caudal para la parte alta de la cuenca, y los valores de caudal del resto de la cuenca. Como se muestra en la gráfica 6, en donde se muestran los datos generales de la subcuenca, se observa en la gráfica que los valores obtenidos para la microcuenca 1 (parte alta de la cuenca) son los que presentan mayor caudal, mientras que los valores que corresponden a las microcuencas 2, 3 y 4 presentan valores de caudal inferiores a 4.

Por otra parte, a partir del gráfico se evidencia que las 4 microcuencas presentan un comportamiento similar a lo largo del año, dentro de lo cual se puede resaltar que los períodos más secos se presentan entre diciembre y abril.

Gráfica 6 Gráfico general de caudales



Fuente: Autora.

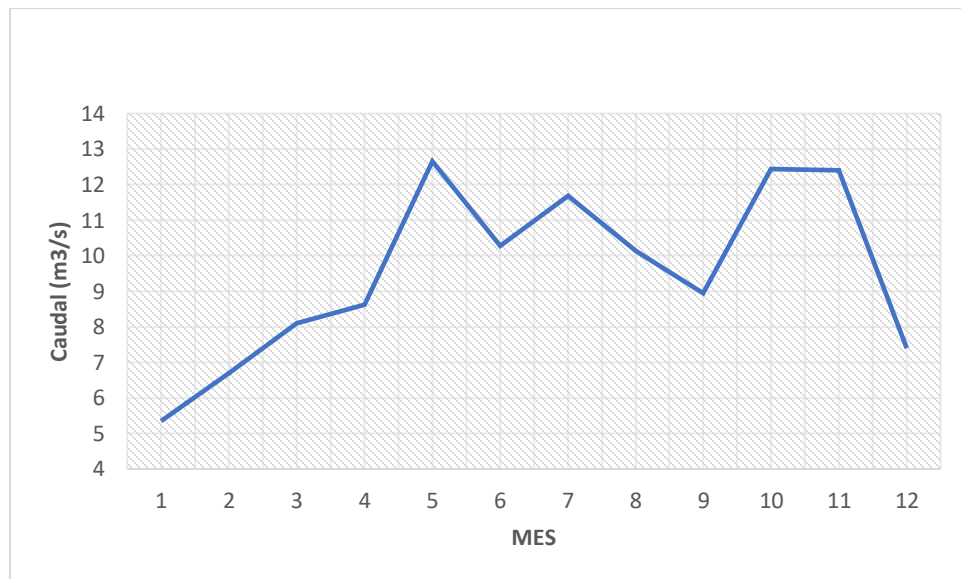
En cuanto al comportamiento de los caudales, se puede observar que en todas las microcuencas los meses con menores valores se presentan para el último mes del año y los primeros meses del año, en especial enero, lo cual nos indica que hay una mayor capacidad de escorrentía durante estas épocas del año.

6.3.1 Microcuenca 1

Los caudales medios mensuales obtenidos para la estación San Pedro, ubicada en la microcuenca 1, parte alta de la subcuenca del Teusacá, muestra un comportamiento variable, en el período 1985 – 2000, en donde las épocas de mayor caudal se presentan en los meses de mayo, octubre y noviembre. Los registros presentados para la estación de San Pedro, son los mayores obtenidos en toda la subcuenca, alcanzando valores de hasta 12.4 m³/s.

La época del año en que se evidencia menos caudal gracias a las escasez de precipitaciones en esta área de la subcuenca presenta valores de 5 m³/s, 7 m³/s y 8m/s, en donde el menor valor es 5.3, la cual se produce en el mes de enero, y se presenta entre los meses de diciembre y los primeros del año.

Gráfica 7 Caudales medios Microcuenca 1



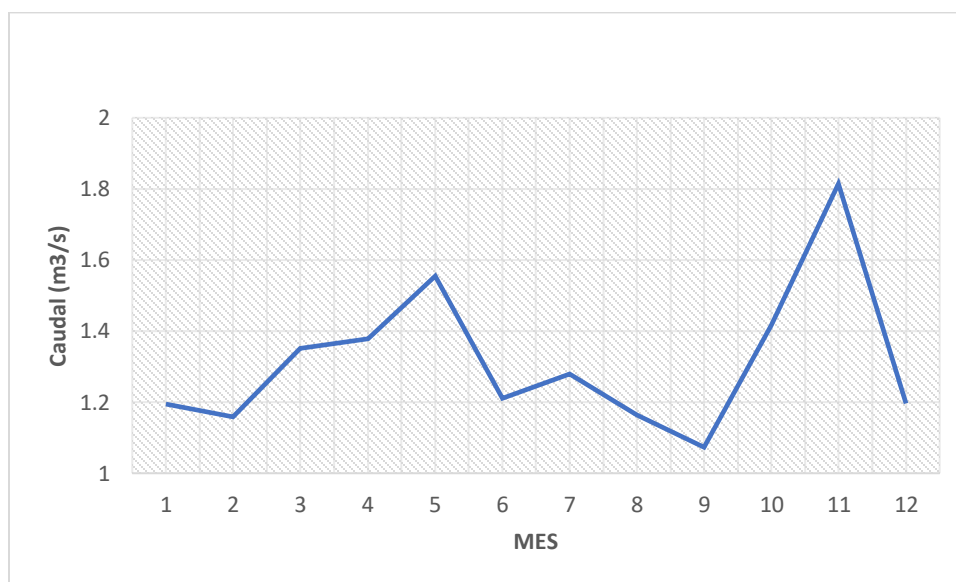
Fuente: Autora.

Por otro lado, a partir de esta información, se puede entender que en la microcuenca 1 el comportamiento de los caudales es bimodal, esto ya que se presentan varios picos a lo largo del año y varios descensos.

6.3.2 Microcuenca 2

Los valores de caudal medio mensual para la microcuenca 2, se muestran en la gráfica 8, en la cual se observa el rango de caudal menor de toda la subcuenca a comparación de las demás microcuencas. La microcuenca 2 es la más pequeña de las 4 microcuencas en las cuales se dividió la subcuenca para el estudio, la cual puede ser una razón por la que estos caudales sean menores.

Gráfica 8 Caudales medios Microcuenca 2



Fuente: Autora.

La serie de datos obtenida para esta microcuenca muestra un ascenso a partir de Enero, uno de los meses con menor valor de caudal, para luego llegar a un pico de 1.5 m³/s y comenzar a descender de nuevo hasta llegar al valor más pequeño de caudal para el mes de Septiembre con 1.07 m³/s. Posteriormente se presenta el segundo pico del año para el mes de noviembre y un descenso significativo para el mes de diciembre.

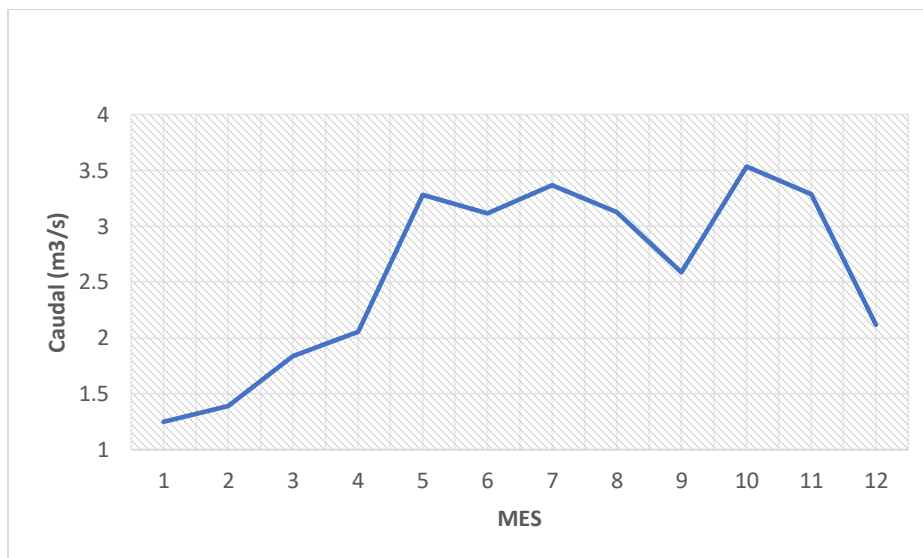
6.3.3 Microcuenca 3

La microcuenca 3 tiene un comportamiento creciente en los primeros meses del año, a partir de los meses mayo a septiembre, se puede observar que al igual que en el resto de la subcuenca los meses que evidencian un caudal medio con menores valores son diciembre y enero, y en esta ocasión, septiembre.

Con base en la información presentada en la gráfica 9, se puede concluir que efectivamente y como se mencionó anteriormente, los niveles de caudal disminuyen en la parte baja de la subcuenca y se presenta una mayor capacidad de infiltración en estos terrenos.

La variación de los caudales medios, depende también de la cantidad de lluvia neta presentada en la zona, lo cual influye directamente en la cantidad de caudal de salida. Es por esto, que podemos intuir que los meses de mayor precipitación para esta zona de la subcuenca, fueron los meses de mayo, julio, octubre y noviembre.

Gráfica 9 Caudales medios Microcuenca 3



Fuente: Autora.

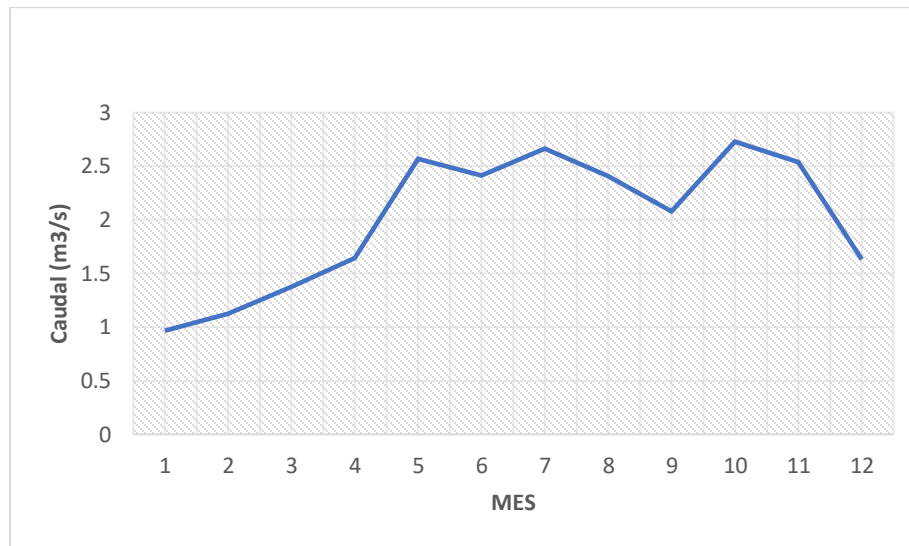
6.3.4 Microcuenca 4

Los caudales medios mensuales para la microcuenca 4 muestran un comportamiento bastante similar a los caudales para la microcuenca 3, esto tal vez debido a su cercanía y a que las dos se encuentran en la parte baja de la cuenca, lo cual puede influir en los valores de precipitación similares.

A diferencia de la anterior, la microcuenca 4, presenta valores inferiores a 1.5 m³/s para los meses de febrero y marzo, entrando en un ascenso de caudal para los meses siguientes presentando picos de caudal mayor en mayo, julio y octubre.

Para el período de estiaje, se puede decir que no es muy sobresaliente, debido a que no se ven épocas del año consecutivas en donde se presenten caudales bajos. Aún así, los meses de caudal más bajo se presentaron en el inicio del año.

Gráfica 10 Caudales medios Microcuenca 4



Fuente:Autora.

6.4 Conclusiones

- Se implementó un modelo hidrológico a partir del software HEC – HMS que permitió estimar caudales medios mensuales para la subcuenca del Río Teusacá, se pudo evidenciar que el modelo se alimenta de datos diarios mensuales de precipitación con el fin de obtener una mayor precisión, asimismo, para la obtención del modelo de cuenca fue necesaria la obtención de distintas variables a partir de una segmentación de la cuenca, información obtenida a partir del uso de herramientas SIG.
- Gracias a que la zona de estudio es considerada un área de cuenca relativamente pequeño, es preciso afirmar que este tipo de modelo se adecúa al mismo, así como también el uso de información cartográfica y meteorológica es puntual, por lo que los resultados del modelo pueden disminuir en cierta medida los contenidos de error en el mismo.
- Los resultados obtenidos a partir del modelo implementado, son coherentes con la información espacio temporal base, a partir de la cual se explica un comportamiento bimodal en las precipitaciones presentadas en la cuenca del Río Teusacá.
- El caudal medio mensual en la subcuenca del río Teusacá, presenta un valor que oscila entre 1.5 m³/s y 3 m³/s ya que son los valores que más se presentaron en cada una de las microcuencas modeladas, en especial las de la parte baja, lo cual significa que la subcuenca presenta una disminución de caudal a medida que va bajando el cauce del río atravesando de los municipios.
- Es importante tener en cuenta, para los resultados de la modelación, que los municipios aledaños a la subcuenca realizan aprovechamiento, ya sea legal o ilegal, del recurso hídrico, por lo que este tipo de actividades pueden afectar en la cantidad de volumen por unidad de tiempo que presenta la subcuenca a medida que pasa el tiempo, esto puede explicar los valores mínimos de caudal medio mensual que se presentan en los resultados.
- En el trabajo previamente descrito, se evidencia que el uso de los sistemas de información geográfica aporta considerablemente al desarrollo de proyectos, debido a que proporcionan una gran cantidad de herramientas aplicables a cualquier tipo de estudio que requiera de información espacial.
- Mediante el proceso de elaboración de la modelación hidrológica se establecieron mapas de delimitación de cuenca, uso del suelo e impermeabilización de la misma, información básica que puede ser útil para la planificación y desarrollo urbano y rural del Municipio de La Calera.

- Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran limitados, debido a que la modelación se realiza a partir de datos históricos de estaciones pluviométricas las cuales proporcionan datos de precipitación, pero al obtener caudales medios mensuales estos no pueden ser calibrados ya que no se encontró información pertinente de estaciones limnigráficas que puedan proporcionar datos reales de caudal.
- Se puede evidenciar que los valores de caudal medio mensual obtenido para cada una de las microcuencas pueden variar en términos de volumen, debido a variables del medio que puedan afectar directamente el caudal del río ya sea por infiltración, impermeabilidad, evaporación y escorrentía, las cuales son diferentes en cada una de las microcuencas, como se evidencia en la previa obtención de variables.
- La certeza de los modelos meteorológicos puede variar según la cantidad y calidad de información con la que se implementó el mismo, es por esto que a partir del trabajo de investigación previamente descrito podemos concluir que se cuenta con información suficiente y confiable a partir de la cual se obtuvo el modelo, por lo que los caudales medios mensuales obtenidos se asimilan al comportamiento anual de precipitación de la subcuenca del río Teusacá, presentando un comportamiento bimodal a lo largo de la misma.

6.5 Recomendaciones

Con la metodología anteriormente descrita, mediante la modelación en HEC-HMS, se obtienen resultados de caudal acordes a los datos de precipitación ingresados y presentados en cada una de las estaciones pluviométricas seleccionadas para el proceso. Por lo cual es recomendable la utilización de esta metodología para la obtención de caudales medios mensuales.

Asimismo, se recomienda la utilización de esta información para posteriores estudios hidrológicos de la subcuenca, ya que a partir de esto se puede calcular la oferta hídrica del Río Teusacá, tanto para meses secos como para meses húmedos, así como también el índice de escasez y el caudal ecológico.

Es recomendable el uso de este y otros modelos hidrológicos para la realización de estudios hidrológicos en casos en donde hay información real disponible, siempre y cuando se tenga la certeza de que las fuentes de información son confiables.

Se recomienda para la aplicación de un modelo meteorológico, realizar un análisis previo de cada una de las variables que se van a utilizar con el fin de comprender el proceso realizado y comprender los pronósticos que puedan ser obtenidos a partir del modelo.

La utilización de herramientas SIG es recomendable siempre que se requiera realizar estudios en donde se involucre información topográfica y espacial, gracias a que proveen información precisa y útil en el momento de aplicar y procesar este tipo de estudios.

Se recomienda utilizar la información de investigación presente en este documento, como una herramienta de desarrollo a través de la cual se puedan implementar mejoras e identificar distintas problemáticas presentadas en la fuente hídrica con el fin de fortalecer las bases de su estudio y reconocimiento.

Es importante, que la Secretaría de medio ambiente y desarrollo rural del Municipio de la Calera, se comprometa a fortalecer esta línea de investigación, mediante el establecimiento de nuevas metas y objetivos a largo plazo dentro de los cuales se tenga en cuenta el ahondar en nuevos estudios con el fin de comprender el comportamiento de la subcuenca del río Teusacá y así poder realizar un adecuado aprovechamiento y cuidado de la misma.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

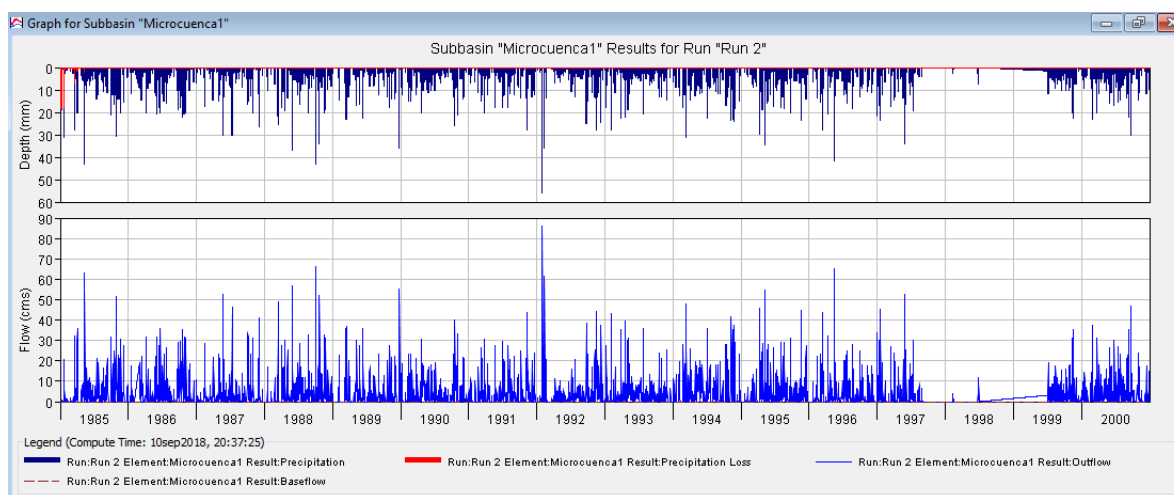
- Acosta, A. R. (2009). *Embalse San Rafael*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Agua y SIG. (10 de Octubre de 2010). *Agua y SIG, aplicación de los SIG*. Recuperado el Junio de 2018, de <https://www.aguaysig.com/2017/01/metodo-del-numero-de-curva-del-scs.html>
- Alcaldía de la calera. (2016). *La Calera Cundinamarca*. Recuperado el 2018, de <http://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldía La calera. (2016). *Componente estratégico Plan de desarrollo municipal 2016-2019*. La Calera.
- Ambientalex. (s.f.). Obtenido de <http://usantotomas.ambientalex.info.bdatos.usantotomas.edu.co:2048/>
- Aragón, L. C. (2008). *Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de periodo de retorno del Río Grande, Tlalchapa, Guerrero en dos escenarios de uso del suelo*. Guerrero.
- Aragón, M. I. (2008). *Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de periodo de retorno del Río Grande, Guerrero en dos escenarios de uso del suelo*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo.
- BBC. (2014). *Physical environments*. Recuperado el 2018, de <http://www.bbc.co.uk/bitesize/higher/geography/physical/hydrosphere/revision/1/>
- Cabrera, J. (2012). *Modelos hidrológicos*. Recuperado el Junio de 2018, de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf
- Cardona, B. (2012). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas*. San Carlos: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Carmen, R. T. (2006). *Modelación hidrológica con SIG*. Santa Fe: Universidad Nacional de Litoral.
- Carvajal, Y. A. (2010). *Estimación de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrológicas mediante modelación con HEC-HMS*.
- Coloma, A. (2015). *Simulación hidrológica del río Tambo*. Lima.
- Concejo municipal de la calera. (17 de Agosto de 2010). *Acuerdo Municipal No. 11*. La Calera: Alcaldía Municipal.
- Consejería municipal. (2010). *Historia de la calera*. (Alcaldía Municipal) Recuperado el Junio de 2018, de <http://lacalera.gov.co/municipio/historia.html>
- Consultora Masil . (Agosto de 2007). *Análisis de caudales*. Recuperado el Junio de 2018, de [http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales\(2\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales(2)(2).pdf)
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2013). *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá- Sucuenca del río Teusacá*. Bogotá.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2005). *Modelo de Simulación*. Villavicencio.
- Duque, L. V. (2015). *Modelación de la oferta hídrica en una cuenca de montaña tropical en función de su cobertura del suelo*. Cuenca.
- EAAB. (2009). *Empresa de acueducto Bogotá*. Recuperado el Junio de 2018, de www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB/aempsecsecundaria/empresaabastecimiento
- IDEAM. (2014). *IDEAM-Glosario*. Recuperado el Junio de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#S>
- IGAC. (2007). *Estudio de suelos de Cundinamarca*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- Ltda., E. (2007). *Planeación ecológica*. Bogotá: Ecoforest.
- Mendoza, G. L. (2002). *Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional de la cerrada del lago Cuitzeo*. Michoacán.
- Ministerio de ambiente y desarrollo. (2015). *Proyecto nacional piloto de adaptación - INAP*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- Muñoz, L. B. (2010). *Perfil ambiental de la subcuenca del río Teusacá de la cuenca alta del río Bogotá*. Bogotá.
- Muñoz, S. B. (2010). *Perfil ambiental de la subcuenca del río Teusacá de la cuenca alta del río Bogotá*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- NASA. (2016). *LP DAAC Global Data Explorer*. (NASA) Recuperado el Junio de 2018, de <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- Observatorio ambiental. (2010). *Acuerdo N° 011 27 del Observatorio Ambiental*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- Observatorio ambiental de Bogotá. (2008). *UPR Río Blanco - Río Sumapaz*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- OpenStreetMap contributors. (2017). *Climate-Data*. Recuperado el Junio de 2018, de <https://es.climate-data.org/location/49868/>
- Rojas, J. L. (2016). Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del Río Blanco, en el municipio de la calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la CAR. *Revista especializada en ingeniería*, 11(1).
- Torres, F. P. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño de ingeniería*, 32(3), 163-172.
- UNESCO. (2013). *International glossary of hydrology*.
- US Army. (2015). *El modelo HEC HMS*. New York.
- US army corps of engineers. (s.f.). *HEC HMS*.

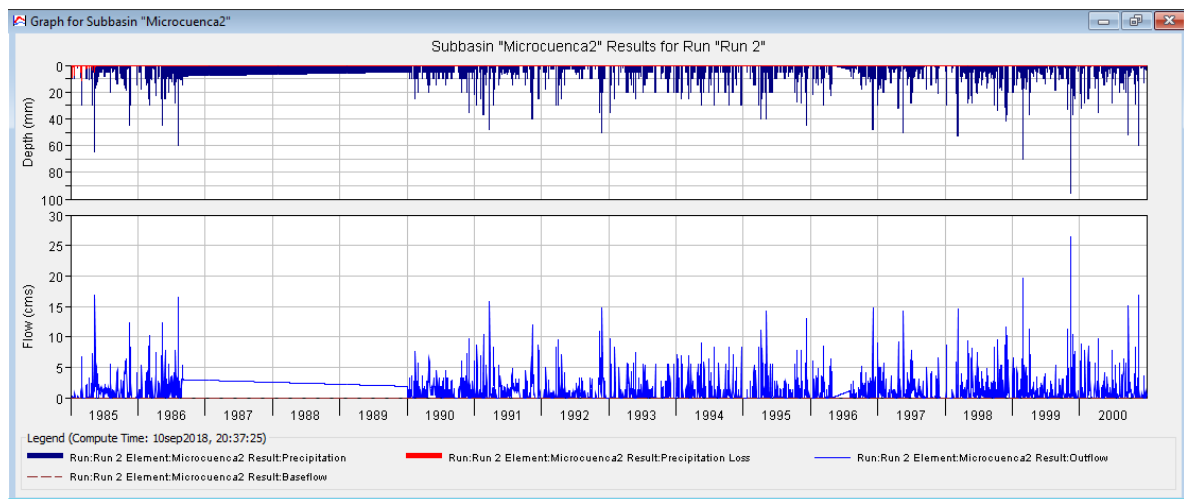
Vásquez, F. (2010). Modelación hidrológica de una cuenca microandina ubicada en el austro ecuatoriano. *Revista semestral de la DIUC*, 1(1).

8. ANEXOS

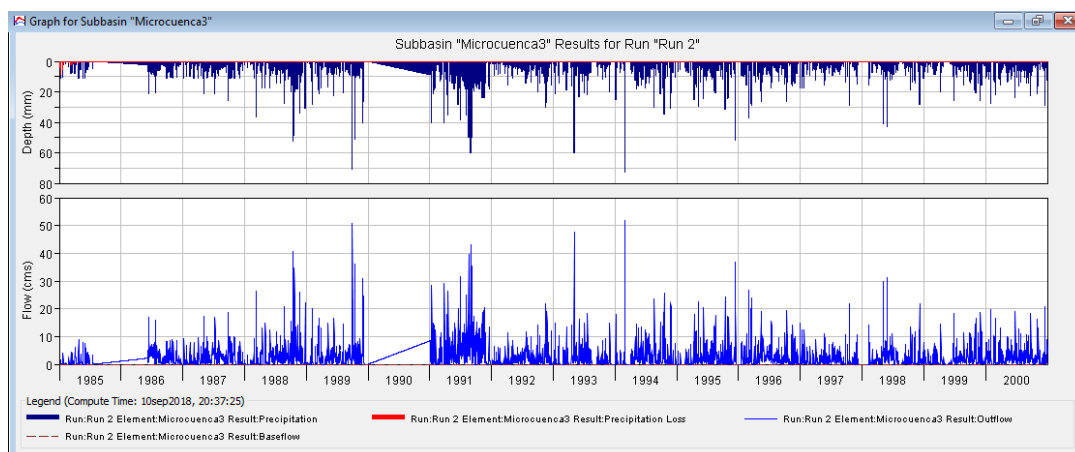
Anexo 1. Gráfica de resultados de la simulación microcuenca 1



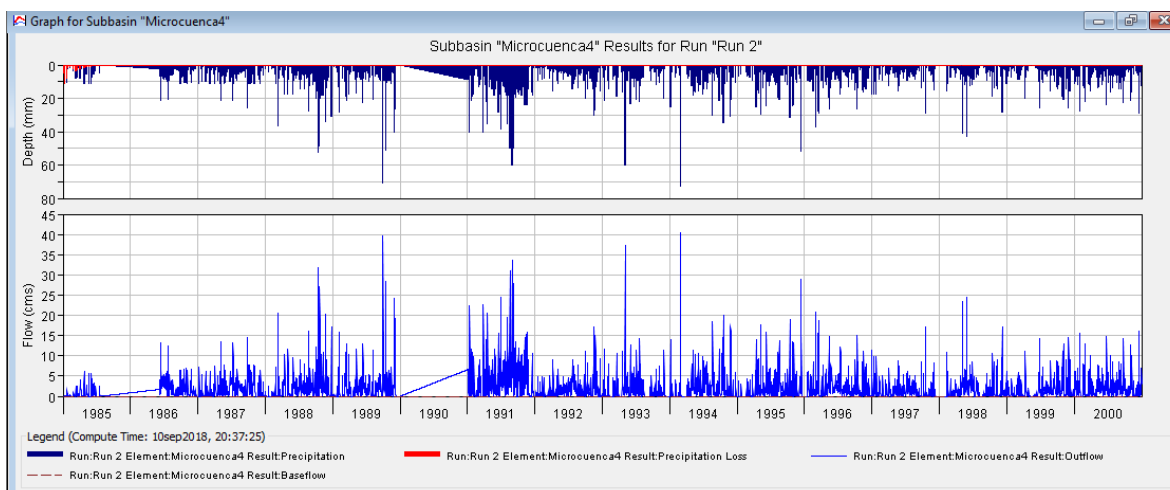
Anexo 1.1 Gráfica de resultados de la simulación microcuenca 2



Anexo 1.3 Gráfica de resultados de la simulación microcuencia 3



Anexo 1.4 Gráfica de resultados de la simulación microcuencia 4



Anexo 2. Tabla datos de caudales medios mensuales microcuenca 1

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
1985	1.710	0.436	5.755	7.887	12.010	6.747	5.600	7.929	7.553	11.419	7.800	5.197
1986	4.094	12.521	9.235	9.910	9.284	16.970	13.442	4.310	9.933	21.026	11.107	4.797
1987	4.997	7.818	6.174	8.553	16.545	9.427	14.655	10.229	9.660	18.645	8.803	7.871
1988	3.897	5.168	9.855	11.607	11.566	12.653	14.252	12.777	11.073	25.681	17.670	9.871
1989	3.339	6.943	16.455	4.883	16.803	10.650	8.626	8.000	13.123	12.797	12.560	10.600
1990	3.226	7.675	7.161	10.633	14.129	11.713	12.448	12.377	11.570	20.510	17.873	17.939
1991	9.845	4.936	15.787	9.693	13.306	13.030	18.426	27.303	18.730	12.294	25.417	7.684
1992	5.519	7.859	2.213	6.853	5.826	5.070	12.345	8.587	8.833	5.177	21.860	7.158
1993	6.503	9.632	6.232	10.353	18.845	9.797	13.606	4.974	4.780	5.610	10.107	1.323
1994	6.123	11.739	6.494	8.600	16.345	11.957	13.771	13.648	6.203	16.106	16.063	4.113
1995	1.390	3.114	6.577	16.640	13.448	12.050	7.661	15.097	5.383	9.268	8.623	11.332
1996	4.497	6.600	16.577	7.960	15.381	8.630	15.571	8.719	4.893	10.581	8.907	7.874
1997	15.097	3.561	3.774	6.657	10.039	7.857	11.281	6.381	2.177	3.548	3.287	1.034
1998	0.410	3.000	3.168	2.947	12.352	9.113	5.216	2.032	3.973	6.197	5.050	8.571
1999	5.042	4.650	6.958	9.013	3.242	8.237	7.619	9.377	8.313	13.332	13.510	6.139
2000	9.900	11.479	7.152	5.870	13.365	10.593	12.529	10.271	16.957	6.771	9.870	6.803
Media	5.349	6.696	8.098	8.629	12.655	10.281	11.691	10.126	8.947	12.435	12.407	7.394

Anexo 2.1 Tabla datos de caudales medios mensuales microcuenca 2

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
1985	0.048	0.061	0.681	0.563	2.658	0.997	1.000	1.858	1.270	2.290	1.203	0.245
1986	0.435	1.414	1.603	1.060	1.581	1.207	1.400	0.558	2.963	2.900	2.900	2.900
1987	2.832	2.800	2.800	2.797	2.700	2.700	2.700	2.655	2.600	2.600	2.600	2.516
1988	2.500	2.500	2.477	2.400	2.400	2.400	2.335	2.300	2.300	2.294	2.200	2.200
1989	2.200	2.157	2.100	2.100	2.100	2.017	2.000	2.000	1.977	1.900	1.900	1.900

1990	0.739	1.207	1.026	1.363	1.865	1.123	1.094	0.790	0.313	1.303	1.447	1.387
1991	1.113	1.082	2.239	0.950	1.255	0.623	1.445	1.655	0.217	0.594	2.193	1.268
1992	0.468	0.276	0.929	1.547	0.458	0.287	1.052	0.655	0.607	0.039	3.753	0.497
1993	1.281	0.979	0.148	1.423	1.326	0.497	1.048	0.523	0.307	0.381	1.303	0.319
1994	1.723	0.471	1.345	1.033	1.484	1.257	0.965	0.726	0.370	1.084	1.237	0.423
1995	0.061	0.739	0.835	1.850	1.555	0.927	0.435	0.545	0.320	1.277	0.620	1.310
1996	0.632	1.090	1.445	1.063	0.187	0.553	0.923	0.535	0.317	1.197	0.867	1.684
1997	2.200	0.354	0.513	0.693	1.158	1.437	1.542	0.568	0.417	0.397	0.893	0.025
1998	0.410	0.111	1.368	0.553	2.594	1.557	1.148	0.939	0.903	1.584	1.513	1.155
1999	1.171	1.768	1.284	1.767	0.516	1.077	0.448	0.526	0.713	1.729	3.090	1.003
2000	1.303	1.534	0.813	0.880	1.032	0.713	0.926	1.797	1.577	1.094	1.310	0.313
Media	1.195	1.159	1.350	1.378	1.554	1.211	1.279	1.164	1.073	1.416	1.814	1.197

Anexo 2.2 Tabla datos de caudales medios mensuales microcuenca 3

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
1985	0.326	0.136	0.577	1.747	0.684	1.623	0.219	2.142	0.370	0.581	0.790	1.000
1986	1.213	1.414	1.616	1.830	2.039	4.300	4.003	0.177	1.550	3.642	1.767	0.548
1987	0.945	1.204	0.835	1.850	3.594	2.247	3.977	3.158	2.427	3.674	2.093	1.248
1988	0.245	0.850	2.029	2.377	2.322	2.637	3.897	3.000	2.443	9.235	5.053	2.319
1989	0.616	1.532	4.668	0.860	3.877	3.177	1.987	2.226	4.230	4.542	4.107	2.339
1990	0.339	1.018	1.697	2.403	3.103	3.803	4.510	5.223	5.927	6.632	7.330	8.032
1991	4.148	1.300	3.574	3.570	5.290	5.653	6.290	11.245	8.563	5.100	8.400	1.584
1992	0.874	0.890	0.777	1.647	2.106	1.977	4.042	2.613	1.620	1.713	4.570	1.661
1993	1.419	1.329	1.952	2.253	5.613	3.163	4.155	1.194	0.803	1.200	2.117	0.310
1994	1.210	3.329	0.116	1.943	4.010	3.563	4.371	4.390	2.027	4.742	2.473	0.984
1995	0.613	0.668	1.219	3.740	2.929	4.133	1.774	4.148	1.200	3.032	1.700	3.455
1996	1.748	1.900	4.945	2.203	5.055	3.033	4.310	2.394	1.323	3.045	3.023	1.784
1997	2.019	1.325	0.868	1.217	2.606	1.610	2.997	2.361	0.990	1.774	1.333	0.563
1998	0.000	1.432	1.035	1.317	5.510	3.633	2.190	0.413	1.357	2.094	1.440	3.245
1999	1.229	0.932	1.603	2.700	0.010	2.370	2.158	2.694	2.877	3.965	2.963	2.281
2000	3.058	3.031	1.935	1.227	3.735	2.933	2.981	2.687	3.713	1.584	3.473	2.565
Media	1.250	1.393	1.841	2.055	3.280	3.116	3.366	3.129	2.589	3.535	3.290	2.120

Anexo 2.3 Tabla datos de caudales medios mensuales microcuenca 4

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
1985	0.100	0.068	0.358	1.187	0.497	1.197	0.158	1.500	0.283	0.445	0.610	0.761
1986	0.942	1.096	1.255	1.427	1.590	3.360	3.210	0.142	1.230	2.832	1.383	0.423
1987	0.745	0.943	0.645	1.637	2.642	1.813	3.190	2.316	1.963	3.013	1.403	0.987

1988	0.155	0.671	1.571	1.860	1.934	2.083	2.984	2.377	2.157	7.190	3.607	1.800
1989	0.490	1.193	3.665	0.657	3.039	2.480	1.658	1.694	3.713	3.094	3.320	1.719
1990	0.281	0.814	1.345	1.893	2.442	2.990	3.542	4.100	4.647	5.200	5.747	6.294
1991	3.039	1.050	2.765	3.047	3.965	4.620	4.968	8.594	6.623	3.916	6.550	1.235
1992	0.700	0.669	0.613	1.327	1.613	1.520	3.206	2.019	1.243	1.316	3.763	1.103
1993	1.113	1.036	1.516	1.800	4.752	2.083	3.316	0.823	0.640	0.981	1.740	0.100
1994	1.071	2.543	0.016	1.673	3.148	2.657	3.387	3.487	1.563	3.700	1.910	0.768
1995	0.474	0.564	0.923	2.973	2.242	3.267	1.365	3.316	1.080	2.158	1.323	2.694
1996	1.458	2.103	3.200	1.813	3.910	2.377	3.365	1.855	1.243	2.113	2.427	1.455
1997	1.452	1.018	0.677	0.960	2.068	1.237	2.335	1.848	0.773	1.384	1.050	0.438
1998	0.000	1.271	0.726	1.010	4.284	2.853	1.794	0.223	1.107	1.600	1.160	2.568
1999	0.881	0.736	1.245	2.107	0.019	1.847	1.790	2.013	2.243	3.135	2.293	1.755
2000	2.558	2.207	1.503	0.960	2.987	2.227	2.332	2.245	2.800	1.597	2.297	2.050
Media	0.966	1.124	1.376	1.646	2.571	2.413	2.663	2.409	2.082	2.730	2.536	1.634