

**DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR CAUDALES
CARACTERÍSTICOS MENSUALES MULTIANUALES EN UNA CUENCA RURAL NO
INSTRUMENTADA A TRAVÉS DEL PROGRAMA HEC- HMS.**

ROBERT JOHAN QUIMBAY MORENO

JAIR FELIPE MIRANDA GÓMEZ

LUIS FERNANDO ROBLES CRUZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C –2014

**DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR CAUDALES
CARACTERÍSTICOS MENSUALES MULTIANUALES EN UNA CUENCA RURAL NO
INSTRUMENTADA A TRAVÉS DEL PROGRAMA HEC- HMS**

ROBERT JOHAN QUIMBAY MORENO

JAIR FELIPE MIRANDA GÓMEZ

LUIS FERNANDO ROBLES CRUZ

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: MAURICIO GONZÁLEZ MÉNDEZ

INGENIERO CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2014



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

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



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

Bajo las condiciones siguientes:



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



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

Nota de aceptación

El presidente del jurado y los jurados del trabajo de grado “Diseño de la metodología para determinar caudales característicos mensuales multianuales en una cuenca rural no instrumentada a través del programa HEC- HMS” han leído el presente documento, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., diciembre de 2014.

Agradecimientos

Agradecemos a nuestro director de grado Mauricio González Méndez. Por su colaboración y el interés puesto en dirigir el trabajo de grado para lograr sacar adelante este proyecto, el cual es la culminación de nuestros estudios de especialización.

Gracias, a los profesores Germán García, Samuel Gutiérrez, Jorge Valero, Eduardo Zamudio, Helmut Espinosa, Hugo Cañas y demás docentes de la Universidad Católica de Colombia que fueron parte de nuestra formación profesional, por habernos guiado en cada una de sus asignaturas y enseñarnos lo mucho que hay por aprender.

Agradecemos a la empresa Auditoria Ambiental S.A.S., por la información que nos brindaron para poder terminar con esta meta propuesta.

Finalmente a nuestros padres, demás familiares, nuestros amigos y compañeros de Universidad y todos aquellos que hicieron posible la elaboración de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	12
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2.1 <i>Antecedentes del problema</i>	12
1.2.2 <i>Pregunta de investigación</i>	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	13
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	14
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
2 MARCOS DE REFERENCIA	15
2.1 MARCO CONCEPTUAL	15
2.1.1 <i>Características del programa HEC-HMS</i>	16
2.2 MARCO TEÓRICO	20
2.2.1 <i>Especificaciones del modelo de cuenca</i>	21
2.2.2 <i>Especificaciones del modelo meteorológico</i>	30
2.3 MARCO GEOGRÁFICO.....	32
2.4 MARCO DEMOGRÁFICO	32
3 METODOLOGÍA	34
3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO	34
3.1.1 <i>Fase 1 Revisión documental</i>	34
3.1.2 <i>Fase 2 Delimitación del área de estudio</i>	35
3.1.3 <i>Fase 3 Cálculos estadísticos</i>	35
3.1.3.1 <i>Especificaciones del modelo de cuenca</i>	35
3.1.3.2 <i>Especificaciones del modelo meteorológico</i>	36
3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	36
4 RESULTADOS	37

4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA OBJETO DE ESTUDIO	37
4.1.1	<i>Características morfométricas de la microcuenca del caño Dumacita</i>	37
4.1.2	<i>Coberturas de la tierra presentes en la microcuenca del caño Dumacita</i>	39
4.1.3	<i>Tipos de suelo presentes en la microcuenca del caño Dumacita</i>	41
4.1.4	<i>Información meteorológica</i>	42
4.2	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS MENSUALES MULTIANUALES A TRAVÉS DEL PROGRAMA HEC-HMS	44
4.2.1	<i>Especificaciones del modelo de cuenca</i>	44
4.2.2	<i>Configuración del programa para el caso de estudio</i>	49
4.2.3	<i>Resultados de la modelación</i>	54
4.2.4	<i>Análisis de resultados</i>	56
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1	CONCLUSIONES.....	58
5.2	RECOMENDACIONES	59
6	BIBLIOGRAFÍA.....	60
	APÉNDICES.....	61
	ANEXO.....	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-2. CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUDITORÍA AMBIENTAL S.A.S, 2014.	32
FIGURA 4-1. COBERTURA DE LA TIERRA PRESENTE EN LA MICROCUENCA DEL CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUDITORÍA AMBIENTAL S.A.S, 2014.	40
FIGURA 4-2. COBERTURA CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA PRESENTE EN LA MICROCUENCA DEL CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUDITORÍA AMBIENTAL S.A.S, 2014.	42
FIGURA 4-3. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR EL RÉGIMEN DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS. FUENTE: AUDITORÍA AMBIENTAL S.A.S, 2014.	43
FIGURA 4-4. CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA HEC-HMS. FUENTE: AUTORES, 2014.	49
FIGURA 4-5. ÁREA DE LA CUENCA. FUENTE: AUTORES, 2014.	50
FIGURA 4-6. DATOS DE CN Y ABSTRACCIÓN INICIAL (Po). FUENTE: AUTORES, 2014.	51
FIGURA 4-7. DATO DE LAGTIME. FUENTE: AUTORES, 2014.	51
FIGURA 4-8. INTERVALO DEL TIEMPO DE MODELACIÓN. FUENTE: AUTORES, 2014.	52
FIGURA 4-9. SERIE HISTÓRICA DE TIEMPO DE ENTRADA PARA LA MODELACIÓN MEDIANTE HEC-HMS. FUENTE: AUTORES, 2014.	52
FIGURA 4-10. GRÁFICO DE LOS DATOS INGRESADOS PARA LA MODELACIÓN DE LA ESCORRENTÍA A PARTIR DE LA PRECIPITACIÓN. FUENTE: AUTORES, 2014.	53
FIGURA 4-11 CREACIÓN DEL CONTROLADOR DE SIMULACIÓN DEL PROGRAMA. FUENTE: AUTORES, 2014.	53
FIGURA 4-12 CORRIDA DE LA SIMULACIÓN DEL PROGRAMA PARA LA CUENCA EN ANÁLISIS. FUENTE: AUTORES, 2014.	54
FIGURA 4-13 RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN DE PRECIPITACIÓN TOTAL, PROGRAMA HEC-HMS. FUENTE: AUTORES, 2014.	55
FIGURA 4-14 HIDROGRÁMA CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUTORES, 2014.	57

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1. PROGRAMAS DE SOFTWARE DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA. FUENTE: CRA / GUÍA	
METODOLÓGICA PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RONDA.	15
TABLA 2-2. PRUEBAS GENERALES DE BONDAD. FUENTE: CABRERA J., 2012.	31
TABLA 4-1. DESCRIPCIÓN MORFOMÉTRICA DEL CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUTORES, 2014.	38
TABLA 4-2. CLASES DE FORMA. FUENTE: FUENTE: HENAO S., E., (1988)	39
TABLA 4-3. ÍNDICE Y VALOR DE DENSIDAD DE DRENAJE. FUENTE: ECOPETROL S.A., 2012.....	39
TABLA 4-4. COBERTURA DE LA TIERRA PRESENTE EN LA MICROCUENCA DEL CAÑO DUMACITA. FUENTE:	
AUDITORIA AMBIENTAL S.A.S, 2014	40
TABLA 4-5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS PREDOMINANTES EN LA MICROCUENCA DEL CAÑO DUMACITA.	
FUENTE: AUDITORIA AMBIENTAL S.A.S, 2014	41
TABLA 4-6. ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR EL RÉGIMEN DE CAUDALES	
CARACTERÍSTICOS. FUENTE: IDEAM, 2014.	43
TABLA 4-7. GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELOS - CLASES TEXTURALES. FUENTE: GONZÁLEZ L. J., 2008.	45
TABLA 4-8. CLASIFICACIÓN TIPOS DE SUELO. FUENTE: USDA, SCS 1975.	45
TABLA 4-9. CURVAS DE ESCORRENTÍA PARA LOS COMPLEJOS SUELO-COBERTURA (CN). FUENTE: UNITED STATES	
DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SOIL CONSERVATION SERVICE [USDA, SCS] 1975	46
TABLA 4-10 CAUDALES CARACTERÍSTICOS CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUTORES, 2014.	56
TABLA 4-11 CAUDALES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS DEL CAÑO DUMACITA. FUENTE: AUTORES, 2014.	57

RESUMEN

El trabajo de grado tiene como objetivo determinar los caudales característicos mensuales multianuales en una cuenca no instrumentada a través del programa HEC-HMS. La cuenca objeto de estudio corresponde al caño Dumacita, afluente directo del río Cusiana ubicada en el municipio de Maní, en el departamento del Casanare. Para desarrollar el análisis de caudales característicos se trabajará con información meteorológica proporcionada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM e información morfométrica, tipo de suelos y coberturas de la tierra de la microcuenca, provenientes del Estudio de impacto ambiental fase de explotación Campo Puntero, elaborado por la empresa Auditoria Ambiental S.A.S. durante el año 2014, donde se pudo establecer de manera satisfactoria la estimación del régimen de caudales característicos del caño Dumacita.

Palabras clave: caudales característicos, mensuales multianuales, programa HEC-HMS, tipo de suelos y coberturas de la tierra.

ABSTRACT

The degree work, aims to determine typical flow monthly multiyear in a noninstrumented basin through the HEC- HMS program. The basin under study corresponds to the watershed of the caño Dumacita the direct tributary of river Cusiana located in the town of Mani, in the Casanare department. to develop typical flow analysis work is with weather information provided by the instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM and morphometric information, soil type and land cover in the watershed from the study the environmental impact exploration phase field Puntero by prepared to Aditoria Ambiental S.A. S during 2014 here it was established satisfactorily the estimation of the flow regime characteristic spout Dumacita.

Keywords: flow characteristic, multiyear monthly, program HEC -HMS, soil type and land cover.

INTRODUCCIÓN

La ausencia de información hidrológica es un grave problema, cuando se desea diseñar obras civiles o hacer uso y aprovechamiento del recurso hídrico en el ámbito ambiental e industrial, y más aún cuando este tipo de obras y actividades tienen la obligación de mantener un desarrollo sostenible en un ecosistema. Para esto, se debe tener un completo conocimiento de las variables naturales como la relación precipitación – escorrentía, que es un factor clave en el funcionamiento del ciclo hidrológico en una cuenca.

Para abordar esta problemática una opción es la simulación hidrológica, que es una herramienta fundamental para la generación de información numérica sobre cuencas con información insuficiente. Esto representa una alternativa importante que permite obtener un análisis detallado del área que estará bajo estudio (Bustamante S., 2008).

De acuerdo con lo anterior, para el presente estudio se emplea el programa desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineer, HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) sobre la microcuenca del caño Dumacita. Esta se encuentra ubicada en la Orinoquia Colombiana, carece de información detallada sobre su comportamiento hidrológico, por lo que se hace uso de la información de precipitación proporcionada por el IDEAM y características propias de la cuenca, con el fin de determinar los caudales característicos mensuales multianuales.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Por el contexto en el que se desarrolla este trabajo de investigación suscrito alrededor de la necesidad de conocer los caudales característicos mensuales multianuales de una microcuenca no instrumentada, con el fin de conocer su oferta hídrica. Esta temática se inscribe en la línea de investigación saneamiento de comunidades, asociada al grupo de investigaciones en agua y medio ambiente y avalada por la Universidad católica de Colombia. Toda vez que al realizar el presente estudio, se pueden identificar diferentes variables que posibilitan la toma de acciones preventivas y correctivas, en el ámbito técnico, social y ambiental; en busca de un proceso de mejora continua en el manejo adecuado del recurso hídrico en las corrientes de agua en Colombia.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes del problema

Dado que para los estudios hidrológicos actuales se cuenta con diferentes metodologías y programas de modelación para determinar caudales característicos en las cuencas sin información de registros históricos, principalmente para las áreas rurales, se hace necesario proponer un procedimiento de estimación indirecta confiable. Este se posibilita a través de la aplicación de un software basado en información meteorológica en donde se puedan emplear las características propias de la cuenca.

Se debe tener en cuenta que existen herramientas para la estimación de caudales que a partir de la precipitación generan estimaciones confiables, pero su implementación se complica dado que se requiere un alto grado de información. Esto ha dificultado la implementación de dichas herramientas en un contexto de poca información.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Qué metodología se puede implementar, para determinar los caudales característicos mensuales multianuales de la cuenca objeto de estudio, empleando un programa de simulación hidrológica?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del proyecto tiene como propósito manejar un software que permita realizar modelaciones del recurso hídrico para la caracterización de caudales en cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta que los términos de referencia expedidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para la elaboración de estudios ambientales exigen su análisis, para la determinación de la condición actual de los cuerpos de agua susceptibles de intervención. Dado lo anterior se hace necesario manejar programas que permitan estimar los caudales característicos de las cuencas susceptibles de intervención, que sean confiables y que permitan definir caudales en cuencas de gran tamaño, donde la limitante es la información con que se cuenta tanto primaria, como secundaria. Por tal motivo se escogió el programa HEC-HMS, que por sus características es una herramienta confiable, que permite emplear información específica de la cuenca, lo que garantiza la calidad de los resultados obtenidos y la viabilidad en su manejo e implementación, pero que cuenta con la limitante de ser empleada principalmente para definir los caudales típicos de cuencas inferiores a 1 km^2 (cuencas urbanas), , por lo tanto, se hace necesario generar una metodología que contemple el cálculo de caudales mensuales multianuales para cuencas mayores de 1 km^2 .

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Proponer una metodología para la determinación de caudales característicos mensuales multianuales en cuencas rurales no instrumentadas a través del programa HEC-HMS. Caso de estudio: microcuenca del caño Dumacita, ubicada en el municipio de Maní, en el departamento del Casanare.

1.4.2 Objetivos específicos

Recopilar la información necesaria para la caracterización de la cuenca de estudio.

Analizar la herramienta de modelación HEC-HMS, para el caso de estudio e implementar la simulación del programa a partir de la precipitación y la caracterización de la microcuenca del caño Dumacita, ubicada en el municipio de Maní, del departamento del Casanare - Colombia.

Proponer el método que permita obtener los caudales característicos mensuales multianuales de la cuenca seleccionada a través del programa HEC- HMS, especificando sus alcances y limitaciones de la aplicación del programa.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Dada la gran importancia que tiene la evaluación de eventos extremos de crecidas de ríos y quebradas para el adecuado ordenamiento del territorio, y tomando en cuenta las experiencias vividas en las emergencias invernales de los años 1979, 2006 y 2010 se ha hecho evidente la necesidad de utilizar programas de modelación hidrológica e hidráulica que identifiquen caudales característicos en áreas rurales Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2011).

Para realizar este tipo de modelaciones se han utilizado diversos programas orientados de acuerdo a las necesidades específicas de cada cuenca, a continuación en la **Tabla 2-1** se muestran los más relevantes.

Tabla 2-1. Programas de Software de modelación hidrológica. Fuente: CRA / Guía metodológica para la delimitación de zonas de ronda.

NOMBRE	AUTOR	CARACTERISTICAS
U.S. Geological Survey (USGS) Model	Dawdy et al. (1970, 1978)	Orientado a procesos. Procesos continuos. Modelación eventos lluvia escorrenfía.
Storm Water Management Model (SWMM)	Metcalf y Eddy et al (1971)	Modelo semidistribuido. Modelos de flujo de tormenta continuo.
	Huber y Dickinson (1955)	
	Huber (1005)	
Phisically Based Runoff Production Model (TOPMODEL)	Beven y Kirby (1976 - 1979)	Físicamente basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica.
	Beven (1995)	
Generalized River Modeling Package - Systeme Hydroloque Europeen (Mike SHE)	Refs gard y Storm (1995)	Físicamente basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica e hidráulica.
Cascade two dimensional Model (CASC 2D)	Julien y Shasafian (1991)	Físicamente basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación escorrenfía
	Odgen (1998)	
Soil Water Assesment Tool (SWAT)	Arnold ey al (1998)	Distribuido. Conceptual. Modelos de simulación continua

NOMBRE	AUTOR	CARACTERISTICAS
Hidrological Modeling System (HEC-HMS)	Yu (1996)	Físicamente basado. Parámetros distribuidos. Modelo continuo de simulación hidrológica.
	Yu y Schwartz (1998)	
	Tu et al (1999)	
Soil-Vegetation-Atmosphere (SVAT) Model	Ma et al (1999)	Macroescala. Modelación de caudales aguas abajo del río
	Ma y Chens (1998)	
Climate, Soil and Vegetation	Eagleson (1978)	Modelo estocástico. Modelo de balance hídrico anual.

De acuerdo a los lineamientos emitidos por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), cuando las áreas de drenaje en una cuenca son mayores a 20 km², se aconseja subdividirla en sub-cuencas y aplicar modelos computacionales para tener en cuenta el hidrográma de creciente producido por cada una de las sub-cuencas y su tránsito a través del canal principal de la misma y así obtener el hidrográma resultante en el punto de interés, del cual se extrae el caudal pico para determinado período de retorno. Por tanto el hidrográma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrográma para cada valor constante de tiempo. Partiendo de esto, para el caso específico de este proyecto se utilizará el Hidrologic Modeling System (HMS), el cual tiene una gran aceptación internacional y es distribuido libremente.

2.1.1 Características del programa HEC-HMS

El programa HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S Corps of Engineers, es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa que han alcanzado cierta popularidad en los Estados Unidos y por extensión en nuestro país. (Cañón, B. J., 2010).

El programa se deriva directamente del HEC-1, y conserva en esencia la misma filosofía de introducción de datos y secuencia de cálculos. El HEC-HMS, incluye la mayor parte de las rutinas de HEC-1 (algunas parecen haber sido obviadas) e incorpora como elementos adicionales: Un método de transformación lineal de la escurrentía (basado en una modificación del hidrograma unitario de Clark) que puede utilizarse en una representación de la cuenca a través de celdas, con datos distribuidos de precipitación obtenidos por ejemplo de registros de radar.

Una opción de pérdida distribuida de humedad en suelos que aplica el mismo principio de las celdas y puede utilizarse en simulaciones sobre períodos largos (de días o meses). A continuación se explica cómo funciona de manera básica el programa HEC-HMS, El programa incluye una interfaz gráfica para el usuario (GUI) que le permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión.

Los archivos de extensión DSS (Data Storage System) se utilizan para almacenar y trabajar con series de tiempo, funciones emparejadas y datos de grilla en una forma transparente para el usuario. Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera los siguientes elementos:

- Subcuencas (subbasins)
- Tramos de tránsito (routing reach)
- Uniones (junctions)
- Embalses (reservoirs)
- Fuentes (Sources)
- Sumideros (sinks)
- Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, se pretende elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que se está tratando y que permita la información de campo disponible. Si

se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo.

Los elementos anteriores se disponen en forma de redes dendríticas con un orden o secuencia lógica para realizar los cálculos desde las sub-cuencas que conforman las cabeceras aguas arriba hasta el punto de salida de todo el caudal aguas abajo. Se debe prestar atención a este criterio, ya que los cálculos siguen rigurosamente esta secuencia (por ejemplo si tienen en cuenta una derivación no pueden entregar las aguas derivadas en un punto aguas arriba, aunque técnicamente esto sea factible). Por tal motivo, el primer paso en la preparación de la información consiste en definir correctamente la estructura de la cuenca que se pretende simular.

El programa trabaja con cuatro módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

- 1) Módulo meteorológico: A cada modelo meteorológico se asigna uno o más pluviómetros, se pueden utilizar precipitaciones reales o teóricas, tormentas de diseño (Los pluviómetros se crean previamente y se introducen sus datos en el módulo de las series de tiempo).
- 2) Módulo de las series de tiempo: permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño.
- 3) Módulo de la cuenca: permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfométricas y de condición del suelo para cada uno de ellos. Así, cada componente incluye la información necesaria para construir la hidrógrafa total de salida.

4) Módulo de control: incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

La información que necesita el programa está relacionada directamente con los métodos de cálculo que maneja y el problema específico a desarrollar. Existen cinco grupos básicos de información que deben suministrarse a HEC-HMS para efectuar las simulaciones:

- Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
- Información acerca de las características del suelo.
- Información morfométrica de las subcuencas.
- Información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía.
- Información hidráulica de los tramos de canal y de las capacidades de los embalses (métodos de tránsito).

Para la calibración, validación y análisis de sensibilidad del modelo, además de la información anterior se necesitan:

- Registros concordantes de precipitación y caudales de salida (hietogramas e hidrógrafas).
- Determinación de las condiciones iniciales de humedad en los suelos (difícil de lograr).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el programa HEC-HMS proporciona una serie de opciones de entradas para realizar modelaciones en cuencas hidrográficas, donde se contemplan diversos métodos de cálculos hidrológicos para determinar caudales a partir de

información meteorológica (registros históricos) y las características propias de la cuenca en análisis (cobertura de la tierra, tipos suelos, entre otros).

En el Apéndice A se presentan los procesos con que cuenta el software y los datos de entrada requeridos de acuerdo al método seleccionado. Cabe anotar que el módulo de series de tiempo (Time series data) y módulo de control (Control specifications) no se tabulan debido a que cuenta únicamente con la opción de ingresar las series de datos meteorológicos disponibles y el intervalo de tiempo a modelar respectivamente.

De los métodos presentados y teniendo en cuenta principalmente los datos de entrada requeridos por cada uno de ellos, así como la información disponible en la microcuenca y las características propias de la misma, se determinaron los métodos, de los cuales se presentan las ecuaciones de cálculo en el siguiente numeral.

2.2 MARCO TEÓRICO

Basados en las herramientas aplicables para la elaboración de esta metodología con el programa HEC – HMS, el marco teórico inicia con las especificaciones del modelo de cuenca, dando una breve descripción del método de pérdida de la precipitación total (SCS Curve Number), donde se determina la curva número (CN) y con base en esta se obtiene la abstracción inicial con la que se identifica el punto en el que el terreno no es capaz de infiltrar más agua, estimando así la lluvia neta de la cuenca que se convertirá en escorrentía; posteriormente se continúa con una descripción del método del hidrograma unitario (SCS Unit Hydrograph) que muestra la relación de escorrentía directa con el exceso de precipitación, presentando el método de cálculo para la obtención de dato de entrada requerido (Lag Time), obtenido a partir del tiempo de concentración y finaliza con generalidades sobre las especificaciones del modelo meteorológico y las pruebas de bondad más relevantes aplicables al caso de estudio.

2.2.1 Especificaciones del modelo de cuenca

2.2.1.1 Método de pérdida de la precipitación total (SCS Curve Number)

El Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, desarrolló un método denominado número de curva (CN) de escorrentía, para calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen una clasificación de los llamados complejos hidrológicos suelo - vegetación, a los que determinó una capacidad de infiltración, o mejor dicho, un comportamiento ante la precipitación. Además, define a cada complejo como un tipo de suelo hidrológico y una cobertura de vegetación, asociada a un tratamiento cultural, básicamente la curva número se establece en la ecuación (1):

$$CN_{\text{compuesto}} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

Donde:

CN Compuesto: La composición de curvas número para el cálculo de volumen de escorrentía.

Ai: Índice de las subdivisiones de uniformidad en el tipo y uso del suelo.

CNi: La curva número de la área del drenaje denominado i.

En el modelo de Curva número se estima el exceso de precipitación en función de la precipitación acumulada de acuerdo a la cobertura del suelo, tipos de uso del suelo, antecedentes de humedad usando la ecuación (2):

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (2)$$

Donde:

P_e : Precipitación acumulada para un tiempo determinado.

P : Lluvia acumulada a una profundidad determinada.

I_a : Perdida inicial.

S : Potencial máximo de retención teniendo en cuenta la capacidad de la cuenca de retener las lluvias hasta que la humedad acumulada exceda la abstracción inicial y la escorrentía sea igual a cero.

Desde el análisis de resultados de muchas cuencas hidrográficas, el servicio de conservación del suelo ha determinado una relación empírica entre la perdida inicial y el potencial máximo de retención ($I_a - S$) La cual se denomina mediante la ecuación (3):

$$I_a = 0.2 S \quad (3)$$

El 0.2 se basa en la hipótesis de que la abstracción inicial es el 20% de la abstracción máxima del suelo. Por lo tanto el exceso de tiempo acumulado se establece de acuerdo con la ecuación (4).

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (4)$$

La máxima retención (S) para una cuenca a través de un parámetro intermedio para la curva número corresponde a la ecuación (5).

$$P_e = \frac{(25400 - 254CN)^2}{(CN)} \quad (5)$$

La curva número evalúa rangos para cuerpos de agua desde 30 a 100. Para una cuenca puede ser estimada en función del uso del suelo, tipo de suelo y los antecedentes de la humedad de la cuenca, para el presente caso de estudio se tomaron en cuenta las tablas mostradas en el en el numeral 3.4.1.1.

- Abstracción inicial o umbral de escorrentía (P_o)

Se pueden obtener infinitas respuestas de escorrentías ante una precipitación, dependiendo del tipo de asociación suelo vegetación, estas respuestas constan de dos partes diferenciadas, la primera es el valor de un umbral crítico de escorrentía P_o por debajo del cual las precipitaciones no generan escorrentía, luego de que este valor es superado se entra a la segunda parte, en la cual la escorrentía va alcanzando el valor de las precipitaciones hasta que la curva tiende asintóticamente a una inclinación tangente a la unidad, esto significa que todo lo precipitado en un tiempo determinado escurre. Para calcular este umbral de escorrentía se estima con base en la CN.

Para la determinación del valor de abstracción inicial o umbral de escorrentía, se tuvo en cuenta la ecuación (6). Con base en la CN determinada como se mencionó anteriormente. La relación de ambos parámetros se completa con la ecuación (7).

$$P_o = 0.2 \times \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (6)$$

Que inversamente se tomaría

$$CN = \frac{25400}{P_o/0.2 + 254} \quad (7)$$

El 0.2 de ambas fórmulas se basa en la hipótesis del SCS, de que la abstracción inicial es el 20% de la abstracción máxima del suelo. Pero HEC-HMS acepta cualquier pareja de valores P_o y CN y recalcula el valor de P_o .

2.2.1.2 Método de transformación de la precipitación neta (SCS Unit Hydrograph)

El proceso de la simulación de la escorrentía directa del exceso de precipitación de la cuenca, en HEC-HMS se refiere a los procesos de transformación de la precipitación en escorrentía. HEC HMS tiene dos opciones para realizar esta transformación, que son modelos empíricos y modelos conceptuales, para el caso de estudio, se opta por un de los modelos empíricos (SCS Unit Hydrograph).

2.2.1.2.1 Conceptos básicos del modelo del Hidrográma unitario (SCS Unit Hydrograph).

El Hidrográma Unitario es un modelo empírico comúnmente usado como la relación de escorrentía directa al exceso de precipitación. Según lo propuesto originalmente por Sherman en 1932, es “la salida de la cuenca resultante de una unidad de escorrentía directa generada uniformemente sobre el área de drenaje, con una intensidad de lluvia uniforme durante un periodo específico de duración de lluvia”. El concepto subyacente de UH (Hidrográma Unitario) es que el proceso de escorrentía es lineal, así que la escorrentía mayor o menor que una unidad es simplemente un múltiplo de la unidad de escorrentía hidrológica.

Para calcular la escorrentía directa con una UH, HEC-HMS usa una discreta representación del exceso de precipitación, en la cual un “pulso” de precipitación excesiva es reconocido por cada intervalo de tiempo. Se resuelve la ecuación (8) conocida como de convolución por un sistema lineal.

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (8)$$

Donde

Q_n : El Hidrográma de una tormenta ordenado en un tiempo $n\Delta t$.

P_m : Altura del exceso de lluvia en un intervalo de tiempo $m\Delta t$ y $(m+1)\Delta t$.

M : Número total de pulsos discretos de lluvia.

U_{n-m+1} = UH ordenada en el tiempo $(n-m+1)\Delta t$

Q_n y P_m son expresadas como velocidad de flujo y profundidad respectivamente, y U_{n-m+1} tiene dimensiones de velocidad de flujo por unidad de profundidad. El uso de esta ecuación requiere los siguientes criterios implícitos:

1. La precipitación excesiva es distribuida espacialmente de manera uniforme y es de intensidad constante a lo largo de un intervalo de tiempo Δt .
2. Las ordenadas del hidrográma de esorrentía correspondiente a la precipitación excesiva de una duración dada son directamente proporcionales al volumen de exceso. Así, dos veces el exceso produce el doble de ordenadas de esorrentía y la mitad del exceso produce reducción a la mitad. Esto es lo llamado presunción de linealidad.
3. El hidrográma de esorrentía resultante a partir del aumento del exceso de precipitación es independiente del tiempo de ocurrencia del exceso y de los antecedentes de precipitación, Esto es llamado la presunción de tiempo invariable.
4. El exceso de precipitación de igual duración es asumido como el producto de hidrográma que es equivalente al tiempo sin tener en cuenta la intensidad de la precipitación.

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) propuso un modelo paramétrico UH; este modelo se incluye en HEC-HMS. El modelo se basa en la media de UH derivados de las precipitaciones y la esorrentía para un gran número de pequeñas cuencas agrícolas en todo los

EE.UU. El Informe Técnico SCS 55 (1986) y el Manual Nacional de Ingeniería (1971) describen la UH en detalle.

Las investigaciones realizadas por el SCS sugieren que el pico y hora de pico UH están relacionadas por la ecuación (9):

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (9)$$

Donde:

A= Área de la cuenca.

C = constante de conversión (2.08 en el SI y 484 en el sistema pie-libra).

El tiempo al pico (también conocido como el tiempo de subida) se relaciona con la duración de la unidad de exceso de precipitación de acuerdo con la ecuación (10):

$$T_p = C \frac{\Delta t}{2} + T_{lag} \quad (10)$$

Donde:

Δt : Duración de la precipitación en exceso (que es también el intervalo de cálculo en HEC-HMS).

T_{lag} : Rezago cuenca, que se define como la diferencia de tiempo entre el centro de masa del exceso de precipitación y el pico de la UH.

Cuando se especifica el tiempo de retraso (T_{lag}), HEC-HMS resuelve la ecuación (10) para encontrar el momento pico de la UH, y la ecuación (9) para encontrar el UH pico.

2.2.1.2.2 Estimación de los parámetros requeridos para el modelo SCS UH

Para correr este modelo en cuencas hidrográficas, el SCS UH establece que el Tiempo de retraso (T_{lag}) esté relacionado con el tiempo de concentración (TC), de acuerdo con la ecuación (11).

$$T_{lag} = 0.6t_c \quad (11)$$

El tiempo de concentración es un parámetro que se puede expresar por medio de la ecuación (12):

$$T_c = T_{sheet} + T_{shallow} + T_{channel} \quad (12)$$

Donde:

T_{sheet} : Suma del tiempo de recorrido del flujo laminar sobre la cuenca.

$T_{shallow}$: Suma del tiempo de recorrido en el segmento del flujo superficial desplazándose por canales, vías, arroyos y riachuelos.

$T_{channel}$: Suma del tiempo de recorrido en los segmentos.

Una alternativa de estimar el tiempo de concentración es la ecuación de Kirpich's (13):

$$T_c = 0.0078 \times \left(\frac{L_c^{0.777}}{S^{0.385}} \right) \quad (13)$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

Lc: Longitud del cauce principal (ft)

S: Pendiente (ft/ft)

Identificados canales abiertos de donde se dispone de información de la sección transversal. Se pueden obtener las secciones transversales con estudios de campo, mapas o fotografías aéreas, para estimar la velocidad de estos canales se puede utilizar la ecuación de Manning (14);

$$V = \frac{CR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (14)$$

Donde:

V: Velocidad promedio.

R Radio hidráulico (Definiendo el radio del canal en la sección trasversal, el área depende del perímetro).

S: pendiente.

C es la conversión de la constante que para el sistema internacional es de 1.00 y para el inglés es de 1.49).

n: Coeficiente de rugosidad de Manning, se estima de tablas.

Una vez es estimada la velocidad el tiempo es calculado con la ecuación (15)

$$t_{Channel} = \frac{L}{V} \quad (15)$$

Donde:

L: Longitud del canal.

La lámina de flujo, es la capa del flujo sobre la superficie de la cuenca, antes de que el agua llegue a un canal. Para distancias pequeñas del orden de 10 a 100 m el SCS sugiere que el tiempo del recorrido de la lámina de flujo se estime de la siguiente con la ecuación (16). (Esta estimación se basa en una solución aproximada de las ecuaciones de onda cinemática):

$$t_{sheet} = \frac{0.07(NL)^{0.5}}{(P2)^{0.5}S^{0.4}} \quad (16)$$

Donde:

N: Coeficiente de rugosidad sobre el suelo.

L= Longitud del flujo.

P2: 2-años, 24 horas de la profundidad de la escorrentía en pulgadas, y

S es la pendiente hidráulica.

La lámina de agua usualmente se convierte en un flujo concentrado después de 100 m. La velocidad promedio superficial concentrada en un flujo se puede estimar MEDIANTE LAS ECUACIONES (17) Y (18).

$$V = 16.1345\sqrt{S} \quad (\text{Para una superficie sin pavimentar}) \quad (17)$$

$$V = 20.3282\sqrt{S} \quad (\text{Para vías pavimentadas}) \quad (18)$$

A partir de esto, el tiempo de viaje puede ser estimado con la ecuación (15).

2.2.2 Especificaciones del modelo meteorológico.

- Tipo de modelo para la entrada de los datos de precipitación (Specified Hyetograph)

Para la entrada de datos de precipitación, se emplea el método (Specified Hyetograph), ya que este permite tomar los datos de precipitación de una estación determinada, midiéndola en unidades métricas y la cual permite completar los datos ausentes con ceros, para que el modelo no presente errores al momento de su corrida.

- Tipo de método para la calibración de los resultados

La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados. Este proceso se puede determinar mediante dos formas, prueba y error y automática. La primera consiste en un ajuste manual de parámetros basados en el criterio del investigador y el segundo optimiza los valores de los parámetros utilizando técnicas numéricas. A diferencia de la “prueba y error”, este método es mucho más rápido y objetivo; sin embargo, es numéricamente complejo y presenta problemas en la compensación de errores y en la captura de valores mínimos locales. (Cabrera J. 2012).

A continuación en la Tabla 2-2 se mencionan algunas pruebas de bondad de manera general.

Tabla 2-2. Pruebas generales de bondad. Fuente: Cabrera J., 2012.

MEDIDAS DE BONDAD DE AJUSTE	FORMULA
<p>Coefficiente de calibración r: Expresa la dependencia lineal entre dos variables que, en nuestro caso, son los caudales observados y los caudales simulados</p>	$r = \frac{S_{obs, sim}}{\sqrt{S_{obs} \cdot S_{sim}}}$ <p>donde obs, sim s , es la covarianza sin sesgo entre los caudales observados y simulados</p>
<p>Criterio de Schultz (D): El criterio de Schultz representa la desviación de los caudales simulados respecto de los observados.</p>	$D = 200 \frac{\sum_{i=1}^n Q_{sim,i} - Q_i Q_i}{n(Q_{max})^2}$ <p>donde max Q es la descarga máxima observada en el periodo en estudio.</p>
<p>Desviación media acumulada (MAD): La desviación media acumulada debe ser minimizada en el proceso de calibración para obtener un mejor ajuste de la variable simulada respecto a la observada.</p>	$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{sim,i} - Q_i }{n}$
<p>Eficiencia de Nash-Sutcliffe: Mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, E=1; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces E=0.</p>	$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$
<p>Error de balance de masas: Si el ajuste es perfecto, m=0. En el proceso de calibración, se debe buscar alcanzar el valor más bajo de m. Esta media de bondad de ajuste es adecuada para análisis mensuales y anuales, y para casos donde se requiere reproducir el balance se aguas.</p>	$m = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sm} - Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i}$
<p>Raíz del error cuadrático medio (RMSE) :El rango de valores que puede tomar va desde 0 hasta el infinito (positivo). El 0 corresponde a un ajuste perfecto mientras que valores más grandes indican un menor ajuste.</p>	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sm} - Q_i)^2}{n}}$

2.3 MARCO GEOGRÁFICO

La microcuenca del caño Dumacita se ubica en el municipio de Maní – Casanare, nace en la vereda Chavinave a una altura de 168 msnm, cubriendo un área de drenaje de 281 km². Este cuerpo de agua presenta una longitud de cauce principal de 53.65 km, drenando en sentido Suroeste a Sureste hasta llegar a su desembocadura sobre el río Cusiana, a una altura de 139 m.s.n.m., presentando durante su recorrido ligeras ondulaciones dadas las características morfológicas de la zona, generando un patrón de drenaje dendrítico con sus afluentes, entre los cuales se encuentra la Cañada Alsacia. Ver Figura 2-1.



Figura 2-1. Caño Dumacita. Fuente: Auditoría ambiental S.A.S, 2014.

2.4 MARCO DEMOGRÁFICO

La microcuenca del caño Dumacita se ubica espacialmente entre las veredas de Chiminave (Sector Norte de la cuenca) y Guafal Pintado (sector central y sur de la cuenca). Estas veredas pertenecen al municipio de Maní – Casanare, se catalogan como unidades territoriales con influencia en la cuenca, con una población entre 200 y 300 habitantes en promedio para cada vereda.

De acuerdo con la información recopilada por medio del DSP (Diagnostico Situacional Participativo de comunidades y directivos de las organizaciones sociales de las veredas con influencia en la cuenca de estudio), la población asentada en la inmediaciones de la microcuenca, se concentra principalmente en la vereda Guafal Pintado, seguida por la vereda Chavinave, que corresponde a unidades territoriales con asentamiento nucleado significativo, ya que en inmediaciones a la zona donde se ubica la microcuenca también se identifican las veredas La Poyata (sector occidental) y Belgrado (sector Noroccidental), que presentan poblaciones en promedio de 100 a 119 habitantes.

En su mayoría los habitantes de la zona se abastecen de agua subterránea mediante pozos profundos y aljibes, ya que estos garantizan la disponibilidad del recurso durante todo el año, reduciendo el uso de los cuerpos de agua superficiales para el aprovechamiento ganadero y conservación de flora y fauna. Caso contrario a lo que sucede con los cuerpos de agua subterráneos, los superficiales son de características intermitentes durante la época de estiaje o bajas precipitaciones y de características de susceptibilidad a los eventos de altas precipitaciones, lo que genera que la población sea vulnerable al riesgo por inundaciones.

3 METODOLOGÍA

Para el presente estudio se propone aplicar el programa HEC-.HMS con el fin de calcular caudales característicos mensuales multianuales en cuencas no instrumentadas, teniendo en cuenta que el tipo de investigación es de carácter analítico y predictivo, donde se establecen caudales a partir del análisis de información de tipo de suelo, cobertura vegetal y régimen de precipitación, elaborando un informe que contenga los resultados generados.

La metodología que se propone a continuación se estableció tomando como base las capacidades de modelación del programa para estimar caudales a partir de la precipitación, el tipo de información requerida para sus iteraciones y posterior simulación. Parámetros que se fueron ajustando acorde a la información disponible de la cuenca en estudio y acorde a las recomendaciones del manual del usuario del programa, los métodos recomendando según la información disponible para la cuenca del caño Dumacita se determinan en las siguientes fases.

3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

3.1.1 Fase 1 Revisión documental

En esta fase del estudio se recopiló la información relacionada con los aspectos más relevantes de la simulación hidrológica, por medio del programa HEC-HMS y de las características morfológicas e hidrológicas que ayudan a satisfacer las necesidades de cálculo, La información para la caracterización de la microcuenca, se tomó del Estudio de Impacto Ambiental para el Campo de producción Puntero, elaborado por una empresa del sector privado y los datos de precipitación son suministrados por el IDEAM.

3.1.2 Fase 2 Delimitación del área de estudio

Teniendo en cuenta la información cartográfica disponible por parte del grupo de trabajo se seleccionó la cuenca ubicada en el municipio de Maní, en el departamento del Casanare, se utilizó cartografía digital, escala 1:25000. Con esta información se identificaron las características morfométricas de la microcuenca del caño Dumacita. Todos los datos cartográficos se exportaron al programa ARCGIS 10.1, para cruzar las diferentes capas, como son tipos de suelo, cobertura vegetal presentes en el área de estudio y la información meteorológica de los datos de precipitación diaria de la estación más próxima a la cuenca seleccionada.

3.1.3 Fase 3 Cálculos estadísticos

Para determinar cuáles métodos utilizar, de los disponibles en el programa, para el cálculo de pérdidas de precipitación, transformación en escorrentía directa y el modelo de entrada de los datos de precipitación de la cuenca, se tuvo en cuenta la información de entrada requerida por cada uno de estos métodos y la información disponible en la microcuenca como la cobertura de la tierra, los tipos de suelo y registros de precipitación, con base en esto se tuvo en cuenta:

3.1.3.1 Especificaciones del modelo de cuenca

3.1.3.1.1 Método de pérdida de la precipitación total (SCS Curve Number)

Los datos de entrada de este método son la Curva número (CN) y la abstracción inicial o umbral de escorrentía (P_o). La determinación del valor de CN, se realiza según el tipo de cobertura vegetal predominante, tipos de suelo y su condición hidrológica, de acuerdo con las tablas presentadas en el numeral 3.4.1.1.

Una vez se cuenta con el valor de CN, se determina la abstracción inicial o umbral de escorrentía, de acuerdo con la ecuación (6).

3.1.3.1.2. Método de transformación de la precipitación neta (SCS Unit Hydrograph)

- Lag Time (min)

Según lo establecido, el “Lag Time” o tiempo de retraso, es el 60% del tiempo de concentración, para el cual se utilizó la ecuación de Kirpich’s (13).

3.1.3.2 Especificaciones del modelo meteorológico

3.1.3.2.1. Tipo de modelo para la entrada de los datos de precipitación (Specified Hyetograph)

Para la entrada de datos de precipitación, se emplea el método (Specified Hyetograph), ya que este permite tomar los datos de precipitación de una estación determinada, midiéndola en unidades métricas y la cual permite completar los datos ausentes con ceros, para que el modelo no presente errores al momento de su corrida.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Las herramientas utilizadas para desarrollar el trabajo son:

- HEC-HMS 4.0, para realizar la modelación de caudales a partir de la precipitación.
- ArcGis 10.1, Para determinar las características de la cuenca, tales como morfometría, coberturas de la tierra y tipos de suelo predominante.
- Microsoft Excel, para realizar el llenado de datos pluviométricos faltantes, tratamientos estadísticos, generación de tablas y figuras de resultados.

4 RESULTADOS

Para la presentación de los resultados, en primera instancia, contempla la caracterización de la cuenca objeto de estudio, en lo que respecta a la morfometría, posteriormente se determinan las coberturas de la tierra y tipos de suelos presentes, así como la información meteorológica.

Posteriormente y de acuerdo con los métodos determinados para realizar los cálculos, se determinarán los datos de entrada con los que se trabajará el programa HEC-HMS una vez se cuente con la información requerida. Seguidamente se muestra la configuración del programa para el caso de estudio, la inducción de los datos, el proceso de corrida del modelo y finalmente los resultados obtenidos con su respectivo análisis.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA OBJETO DE ESTUDIO

4.1.1 Características morfométricas de la microcuenca del caño Dumacita

La importancia de determinar las características de los drenajes superficiales de una cuenca hidrográfica, se encuentra en la posibilidad de comprender mejor la dinámica de la regulación hídrica en una unidad hidrográfica particular.

Los índices morfométricos de las cuencas hidrográficas permiten determinar características importantes de forma, comportamientos en el entorno y en el flujo hídrico, que son base para el análisis y para la formulación de líneas de manejo prioritarias, relativas a la red hídrica.

En la Tabla 4-1, se presentan las descripciones a los aspectos generales, forma, relieve y drenaje, como soporte del análisis a la cuenca objeto de estudio.

Tabla 4-1. Descripción morfométrica del caño Dumacita. Fuente: Autores, 2014.

IDENTIFICACIÓN	GENERALES					FORMA			RELIEVE			DRENAJE			
	Nombre del cauce	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud Axial (km)	Long Cauce Ppal (km)	Orientación Predominante	Ancho Promedio (km)	Factor de Forma (Kf)	Coefficiente de Compacidad (Kc)	Clasificación Kc	Cota Mínima (m)	Cota Máxima (m)	Pendiente (%)	Longitud de Drenaje (km)	Drenaje (litros/s)
Caño Dumacita	281	99.1	38.2	53.7	NW-SE	7.3	0.2	1.7	oval-oblonga a rectangular-oblonga	139	165	0.07	195.9	0.7	4

Con los datos generales de la cuenca como el área (281 Km²), perímetro (99.1 Km), longitud axial (38.2 km) y longitud del cauce principal de la cuenca (53.7 Km), se determinaron parámetros como el ancho promedio, a partir de este y la longitud axial del caño se determinó el Factor de Forma (Kf), por el cual se define la tendencia que tiene esta cuenca hacia las crecidas o eventos de altas precipitaciones. El valor obtenido para el factor de forma es de 0.2 siendo este un valor bajo, al estar muy por debajo de 1 y clasificando la cuenca como alargada, reflejando una susceptibilidad baja a generar crecidas, debido a que las cuencas con forma alargada tienden a presentar un flujo de agua más veloz, en comparación con las cuencas redondeadas, logrando una evacuación más rápida del agua.

Para el análisis del dato obtenido en el cálculo del Coeficiente de Compacidad (Kc), el cual se debe a Gravelius y es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca, cuando más regular sea la cuenca menor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular tendrá un coeficiente de compacidad mínimo, igual a 1.

Los resultados presentan un coeficiente Kc de 1.7, el cual se encuentra entre el rango de 1.50 a 1.75, clasificando la cuenca en una forma Oval -oblonga a rectangular-oblonga, lo que indica que es poco susceptible a las crecidas o eventos de altas precipitaciones, coherente con el Kf obtenido. Ver Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Clases de Forma. Fuente: Fuente: Henao S., E., (1988)

CLASE DE FORMA	RANGOS DE CLASE	FORMA DE LA CUENCA
Kc1	De 1,0 a 1,25	Redonda a oval-redonda
Kc2	De 1,25 a 1,50	Oval redonda a oval-oblonga
Kc3	De 1,50 a 1,75	Oval -oblonga a rectangular-oblonga
Kc4	De 1,75 a 2,00	Alargada

Por otra parte, en el análisis del relieve de la cuenca se encontró que las cotas varían entre 139 m.s.n.m. a 165 m.s.n.m., con una pendiente de 0.07 %, dadas su altura de nacimiento y desembocadura, donde se ven representa dichas alturas de nivel.

Debido a este comportamiento del relieve, en el cálculo de la densidad de drenaje para esta cuenca, se determinó que se clasifica con una densidad de drenaje Baja, ya que el valor es menor a 1 Km/Km² (ver Tabla 4-3).

Tabla 4-3. Índice y valor de densidad de drenaje. Fuente: ECOPETROL S.A., 2012.

UNIDAD CARTOGRAFICA POR DENSIDAD DE DRENAJE	Dd (Km/Km ²)
Baja	< 1,0
Moderada	1,0 – 4,99
Alta	> 5,0

En general la microcuenca del caño Dumacita presenta características de drenaje bajas, dada la pendiente y un tiempo de concentración de 4 horas, que es el tiempo que le toma a una gota recorrer desde el nacimiento hasta la desembocadura en el río Cusiana.

4.1.2 Coberturas de la tierra presentes en la microcuenca del caño Dumacita

La microcuenca del caño Dumacita presenta una cobertura predominante de SABANA “Sa”, representado por un 89.8% de los 281 km² del área total de la cuenca y un 8.5% de BOSQUE DE GALERIA “Bg”, determinando que en la zona se presenta una clasificación de “*Pastizales o pastos naturales y Bosques*”, Ver Tabla 4-4 y Figura 4-1.

Tabla 4-4. Cobertura de la tierra presente en la microcuenca del caño Dumacita.

Fuente: Auditoría Ambiental S.A.S, 2014

Nombre	Cobertura	Símbolo	Descripción
Caño Dumacita	Sabana	Sa	Ecosistemas tropicales dominados por una cobertura continua de plantas herbáceas, pero interrumpida por plantas leñosas que crecen como individuos aislados o en grupos de diferente tamaño; estos ecosistemas se han alterado por el establecimiento de actividades ganaderas extensivas, con pasturas mejoradas.
	Bosque de Galería	Bg	Se localiza en las márgenes de los caños y demás cuerpos de agua permanentes o temporales que integran el sistema hídrico que vierten sus aguas sobre el caño Dumacita, por consiguiente es de gran importancia en la protección y regulación de los recursos hídricos, se constituyen como habitat para la fauna, como también es importante en la protección del suelo ante procesos erosivos.

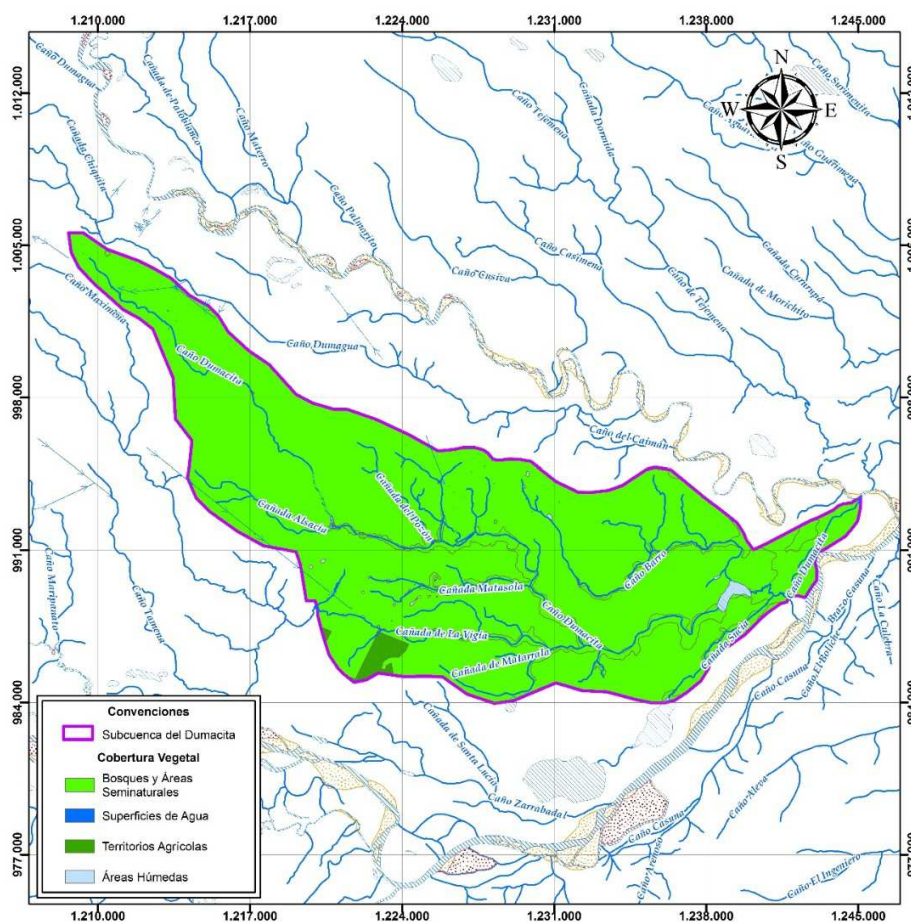


Figura 4-1. Cobertura de la tierra presente en la microcuenca del caño Dumacita.

Fuente: Auditoría ambiental S.A.S, 2014.

4.1.3 Tipos de suelo presentes en la microcuenca del caño Dumacita

En cuanto a los suelos, estos presentaron asociaciones típicas de la zona, tales como VRFa, VVGa y VRCa, indicando que la microcuenca del caño Dumacita es de características Semipermeables, de acuerdo a su textura y dada su clasificación de pendientes, puesto que la asociación característica de suelo presenta un tipo de relieve plano (0 - 1%), se logró obtener el valor de pendiente establecido para cada tipo de asociación, según lo indicado por el IGAC , 2007. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (ver Tabla 4-5 y Figura 4-2).

Tabla 4-5. Caracterización de los suelos predominantes en la microcuenca del caño Dumacita. Fuente: Auditoria Ambiental S.A.S, 2014

Nombre	Símbolo	Descripción	Pendiente	
			Característica	%
Caño Dumacita	VRFa	Presentan relieve plano a ligeramente plano y erosión laminar hídrica y eólica sectorizada. Son suelos profundos y bien drenados.	Relieve Plano a ligeramente plano	1-3%
	VVGa	Ocupa área que permanecen inundadas la mayor parte del año y presentan abundantes meandros abandonados. La mayor parte de la unidad está formada por arcillas expandibles que se agrietan en época seca, un 30% son suelos de texturas finas y solo un 20% presenta suelos de texturas francas que se encuentran en zonas bien drenadas.	Relieve Plano a ligeramente plano	1-3%
	VRCa	Se ubican en áreas cóncavas de la planicie y han recibido aportes eólicos, principalmente materiales limosos. Los primeros horizontes presentan texturas francas y francolimosas	Relieve Plano	0 - 1%

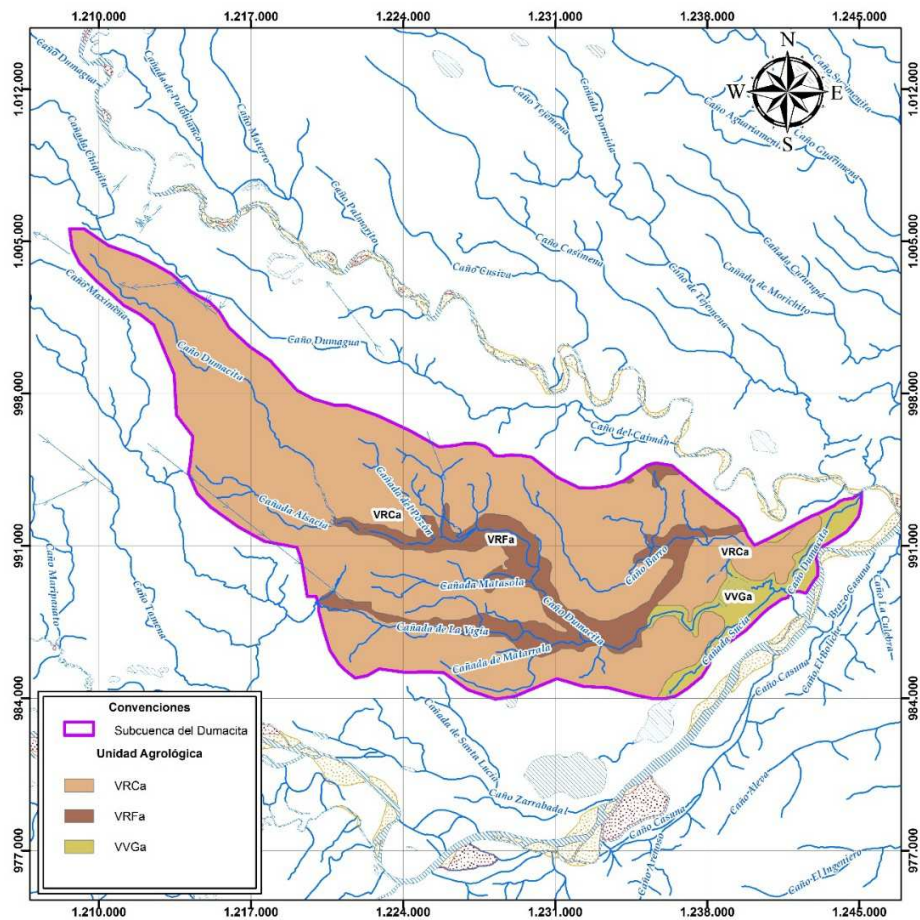


Figura 4-2. Cobertura Caracterización de la tierra presente en la microcuenca del caño Dumacita. Fuente: Auditoría ambiental S.A.S, 2014.

4.1.4 Información meteorológica

Para determinar el régimen de caudales característicos mensuales multianuales del caño Dumacita, se utilizó información meteorológica suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, con un histórico diario desde 1990 al 2012 de la estación PTO TEXAS que corresponde a la estación más cercana y representativa para la microcuenca objeto de estudio, de acuerdo con el área de influencia de las estaciones determinada por los polígonos de Thiessen (Figura 4-3), en primera instancia se procedió a verificar las series de registros históricos de precipitación a nivel diario y se realizó el llenado de

datos faltantes estableciendo una regresión lineal con la estación CABUYARO, con la cual se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.28, el ajuste de los datos fueron sometidos a un valor de calibración, empleando el método R.E.M.C (Raíz del Error Medio Cuadrático), el cual arrojó un valor de 14.1 mm. (Ver Anexo A – Información IDEAM y llenado de datos CD).

En la Tabla 4-6 se presentan las características de dichas estaciones; mientras que en la Figura 4-3 se presenta su localización espacial.

Tabla 4-6. Estaciones meteorológicas utilizadas para determinar el régimen de caudales característicos. Fuente: IDEAM, 2014.

NOMBRE	CODIGO	TE	CORRIENTE	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ELEVACION (m.s.n.m.)	COORDENADAS DATUM MAGNAS SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ	
							ESTE	NORTE
PTO TEXAS	35180050	PM	META	MANI	CASANARE	142	1234332.1	982323.7
CARIMAGUA	33035010	AM	MUCO	PUERTO GAITAN	META	200	1300922.5	999146.
CABUYARO	35100020	PM	META	CABUYARO	META	180	1141828.7	965520.9

PM – Pluviométrica, AM – Agrometeorológica.

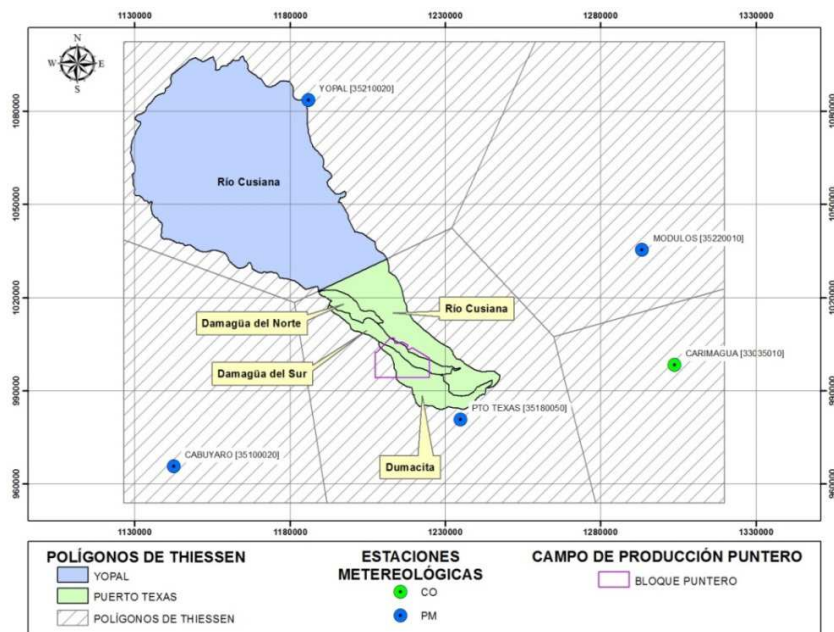


Figura 4-3. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas para determinar el régimen de caudales característicos. Fuente: Auditoría ambiental S.A.S, 2014.

4.2 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES CARACTERÍSTICOS MENSUALES MULTIANUALES A TRAVÉS DEL PROGRAMA HEC-HMS

A partir de lo indicado en el numeral 2.2 Marco Teórico, a continuación se presenta el desarrollo de las ecuaciones que arrojan los datos de entrada con los que se trabajará el programa HEC-HMS para el cálculo de caudales característicos de la cuenca en análisis, a partir de la precipitación total de la estación PTO TEXAS.

4.2.1 Especificaciones del modelo de cuenca

3.4.1.1 Método de pérdida de la precipitación total (SCS Curve Number)

- Curva número (CN)

De acuerdo con lo presentado en el numeral 4.1.2, La cuenca del caño Dumacita presenta una cobertura predominante de SABANA “Sa”, representado por un 89.8% de los 281 km² del área total de la cuenca y un 8.5% de BOSQUE DE GALERIA “Bg”, determinando que en la zona se presenta una clasificación de “*Pastizales o pastos naturales y Bosques*”, la cual servirá de insumo para clasificar la CN, del Soil Conservation Service.

En cuanto a los suelos, estos presentaron asociaciones típicas de la zona, tales como VRFa, VVga y VRCa, indicando que la microcuenca del caño Dumacita es de características Semipermeables, por consiguiente según su textura y dada su clasificación de pendientes, puesto que la asociación característica de suelo presenta un tipo de relieve plano (0 - 1%), se logró obtener el valor de pendiente establecido para cada tipo de asociación, según lo indicado por el IGAC, y que servirán de insumo de entrada para determinar el CN característico para el análisis de caudales a partir del programa HEC-HMS.

Una vez obtenidas las características de los suelos predominantes en la microcuenca del caño Dumacita, el valor de CN depende del uso, tipo, pendiente y condición de humedad del suelo. Para definir los grupos hidrológicos del suelo, se utilizan las clases texturales establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), indicando que el área de la cuenca, presenta un grupo hidrológico “B”, con una clase textural tipo VIII (Franco - Limosa) indicando que la condición hidrológica es *Regular*, ya que su pendiente por tender a ser plana (0 - 1%), limita el flujo de la escorrentía generando represamientos en las zonas cóncavas de la cuenca. Ver Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Grupos hidrológicos de suelos - clases texturales. Fuente: González L. J., 2008.

Grupo	Id	Clase Textural
A	XII	ARENOSA
	XII	ARENOSA - FRANCA
	IX	FRANCO - ARENOSA
B	VIII	FRANCO - LIMOSA
	VII	FRANCA
	X	LIMOSA
C	VI	FRANCO - ARCILLO - ARENOSA
	VI	FRANCO - ARCILLO - LIMOSA
	IV	FRANCO - ARCILLOSA
D	III	ARCILLOSA - ARENOSA
	II	ARCILLO - LIMOSA
	I	ARCILLOSA - ARENOSA

Así mismo, en la Tabla 4-8 se presentan las características principales de los tipos de suelo de acuerdo al Soil Conservation Service del (USDA), encontrando que la microcuenca del caño Dumacita, tiene una característica de suelo B.

Tabla 4-8. Clasificación tipos de suelo. Fuente: USDA, SCS 1975.

Tipo	Característica
A	Arenas con poco limo y arcilla de tamaño medio (escurrimiento mínimo)
B	Arenas finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de ambos.
C	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla.
D	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con sub horizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

▪ **Análisis de caudales característicos**

Una vez aplicado el método, empleando como insumo las estaciones meteorológicas y la información característica de la cuenca en análisis, se obtuvo la relación de la capacidad de respuesta de escurrimiento de la cuenca, definido por el Numero de Curva “CN” según el Soil Conservation Service (SCS), que para la cuenca caracterizada, la “CN” es de 69 y 60 valores estimados según el tipo de cobertura vegetal predominante, uso de la tierra determinados mediante el programa ARCGIS 10.1, y su condición hidrológica establecida teniendo en cuenta la información obtenida del software mencionado y la implementación de la CN del Soil Conservation Service (SCS). Finalmente al promediar dichos valores, el resultado real de la CN es de 65. (USDA, 1975). (Ver Tabla 4-9).

Tabla 4-9. Curvas de escorrentía para los complejos suelo-cobertura (cn). Fuente: united states department of agriculture, soil conservation service [usda, scs] 1975.

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
	Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84
R		Buena	63	75	83	87
R + CR		Pobre	64	75	83	86
R + CR		Buena	60	72	80	84
C		Pobre	63	74	82	85
C		Buena	61	73	81	84
C + CR		Pobre	62	73	81	84
C + CR		Buena	60	72	80	83
C + T		Pobre	61	72	79	82
C + T		Buena	59	70	78	81
C + T + CR		Pobre	60	71	78	81
C + T + CR	Buena	58	69	77	80	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

CR=Con cubierta de residuos vegetales que ocupe al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año; **R**=Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc.) se realizan en línea recta, sin considerar la pendiente del terreno; **C**=Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nivel; **T**=Si se trata de terrenos aterrazados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

- Abstracción inicial o umbral de escorrentía (P_o)

Con base en el valor de la curva número CN obtenido (65) y de acuerdo con la ecuación (6), se determinó el valor de abstracción inicial o umbral de escorrentía P_o :

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

$$P_o = 0.2 \times \left(\frac{25400}{65} - 254 \right) = 27.35 \text{ mm}$$

4.2.1.2. Método de transformación de la precipitación neta (SCS Unit Hydrograph)

- Lag Time (min)

Según lo establecido, el “Lag Time” o tiempo de retraso, es el 60% del tiempo de concentración, para el cual se utilizó la ecuación de Kirpich’s (13):

$$T_c = 0.0078 \times \left(\frac{L_c^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

$$T_c = 0.0078 \times \left(\frac{176017 \text{ pies}^{0.77}}{0.07^{0.385}} \right) = 240.2 \text{ minutos}$$

Ahora,

$$\text{Lag Time} = T_c \times 0.6$$

$$\text{Lag Time} = 240.2 \times 0.6 = 144.15 \text{ minutos}$$

4.2.2. Especificaciones del modelo meteorológico

4.2.2.1. Tipo de modelo para la entrada de los datos de precipitación (Specified Hyetograph)

Para la entrada de datos de precipitación, se emplea el método (Specified Hyetograph), ya que este permite tomar los datos de precipitación de una estación determinada, midiéndola en

unidades métricas y la cual permite completar los datos ausentes con ceros, para que el modelo no presente errores al momento de realizar la simulación.

4.2.2 Configuración del programa para el caso de estudio

Para la configuración del programa HEC-HMS se definió dentro de la pestaña “Tools” la opción “Program Settings”, donde se determinaron los modelos hidrológicos con los que se calculan los caudales característicos de la cuenca en análisis, indicando el sistema de unidades de medida, el elemento a modelar, las pérdidas del modelo, el método de transformación, y el modelo de entrada para los datos de precipitación de la cuenca. Ver Figura 4-4.

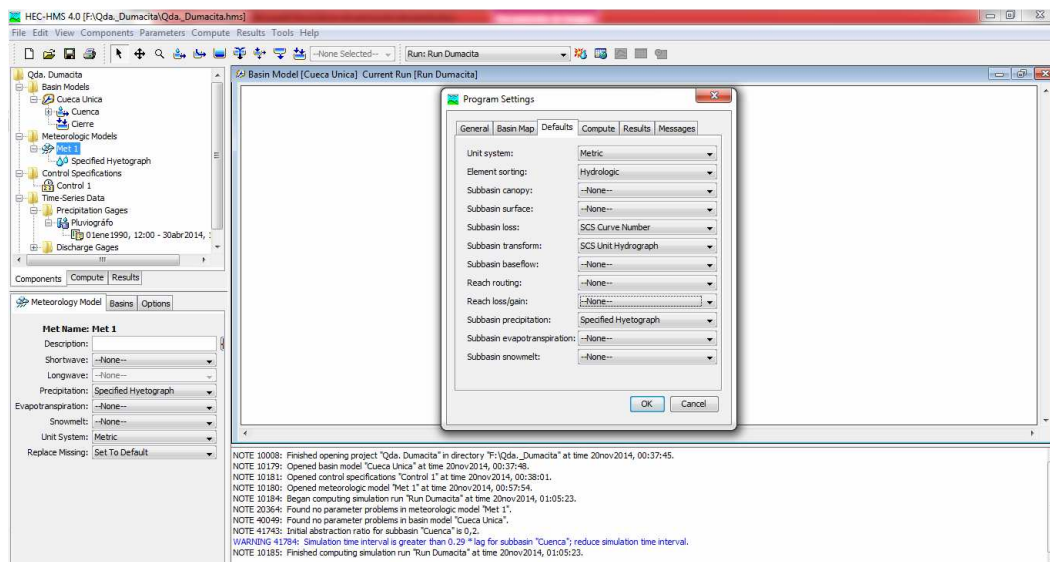


Figura 4-4. Configuración del programa HEC-HMS. Fuente: Autores, 2014.

- Inducción de los datos de entrada y corrida del modelo

Una vez configurados los ajustes del programa, y definidos los elementos del modelo de cuenca, se introducen los datos de entrada con los que el programa realizará la modelación y determinará la escorrentía superficial a partir de la precipitación total.

Para introducir los datos de entrada del modelo de cuenca, se selecciona el elemento “Subbasin” y en el editor, en la pestaña “Subbasin” se digita el valor del área de la microcuenca (Figura 4-5), los datos del método de pérdidas de la precipitación total (Curva número y umbral de escorrentía – Abstracción inicial P_0), se introducen en la pestaña “loss” del editor (Figura 4-6) y para el método de transformación, en la pestaña “Transform” del editor se introduce el tiempo de retención de escorrentía “Lag Time” (Figura 4-7), el cual se basa en el 60% del tiempo de concentración de la cuenca, que es el tiempo que demora una gota de agua desde su precipitación hasta su desembocadura a la salida de la cuenca.

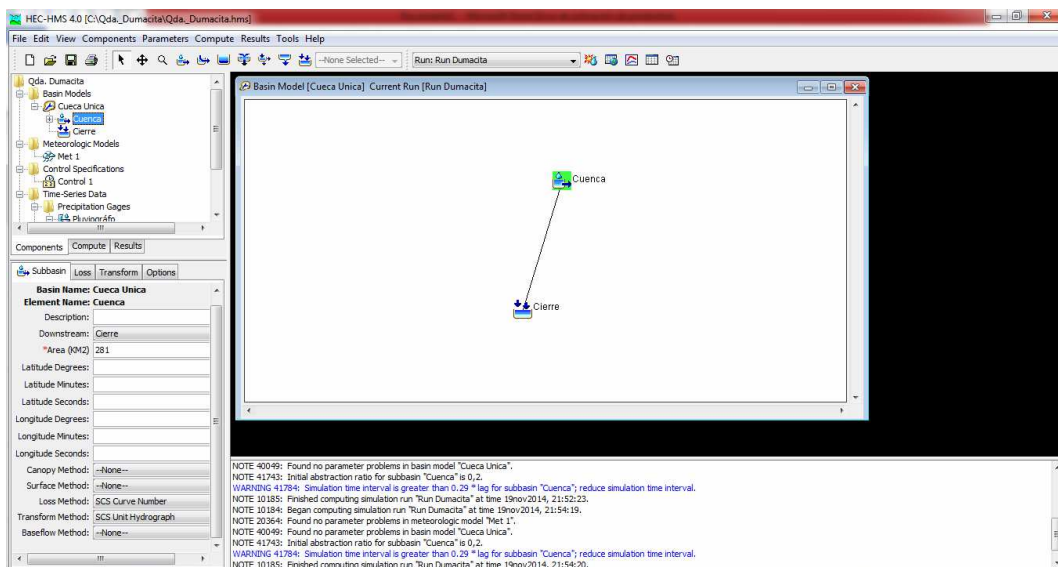


Figura 4-5. Área de la cuenca. Fuente: Autores, 2014.

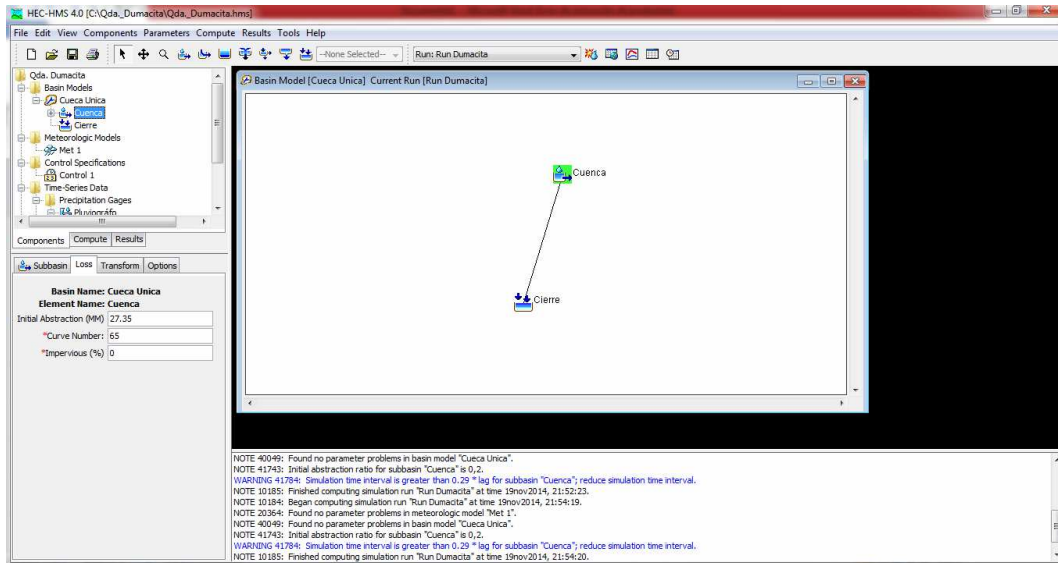


Figura 4-6. Datos de CN y Abstracción inicial (Po). Fuente: Autores, 2014.

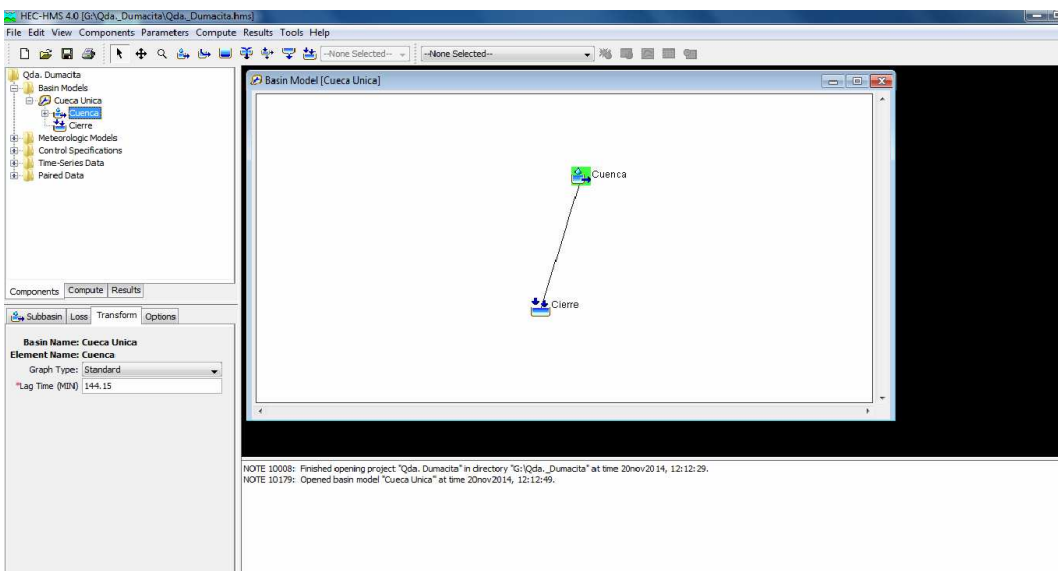


Figura 4-7. Dato de LagTime. Fuente: Autores, 2014.

Una vez introducidos los parámetros morfométricos, de pérdidas y transformación de la cuenca, se ingresan los datos de precipitación a modelar a través del parámetro “Time-Series Data”, el cual determina el tiempo de intervalo de la modelación, este se definió en días (Figura 0-8), establecido para un periodo de tiempo desde el 1 de enero de 1990, hasta el 30 de abril del 2014. (Ver Figura 4-8 y Figura 4-9 y Figura 4-10).

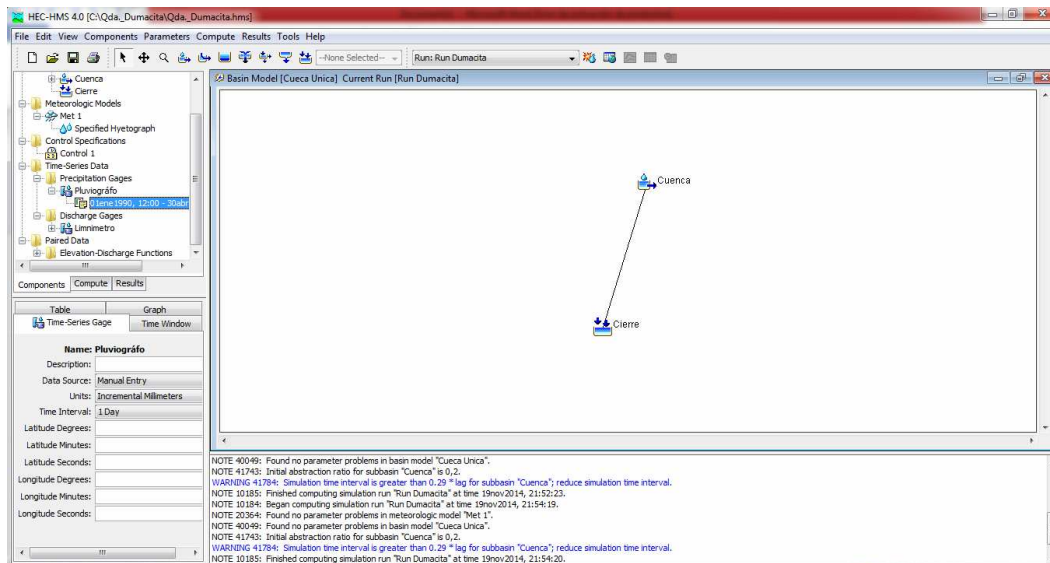


Figura 4-8. Intervalo del tiempo de modelación. Fuente: Autores, 2014.

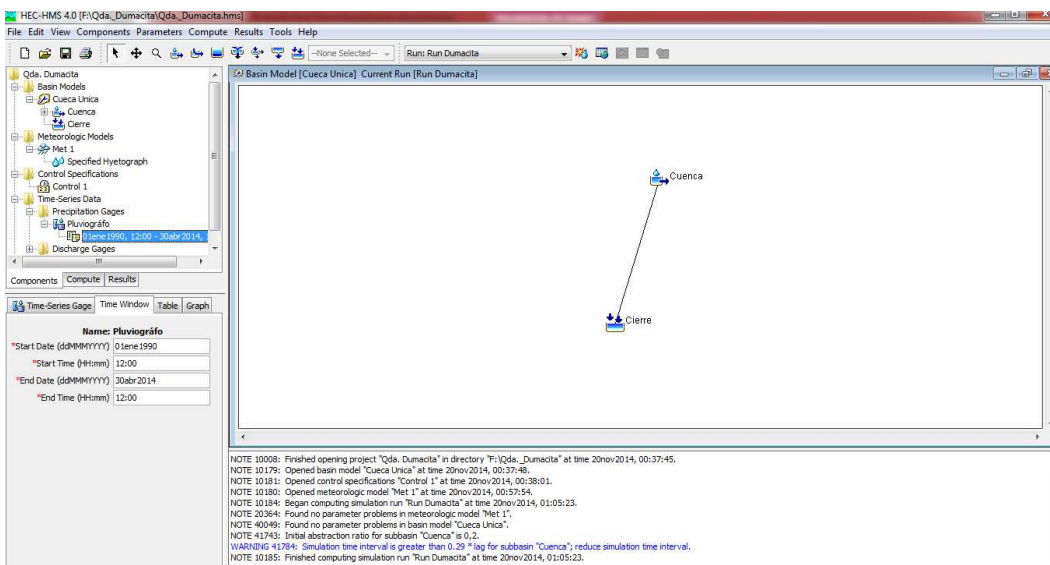


Figura 4-9. Serie histórica de tiempo de entrada para la modelación mediante HEC-HMS. Fuente: Autores, 2014.

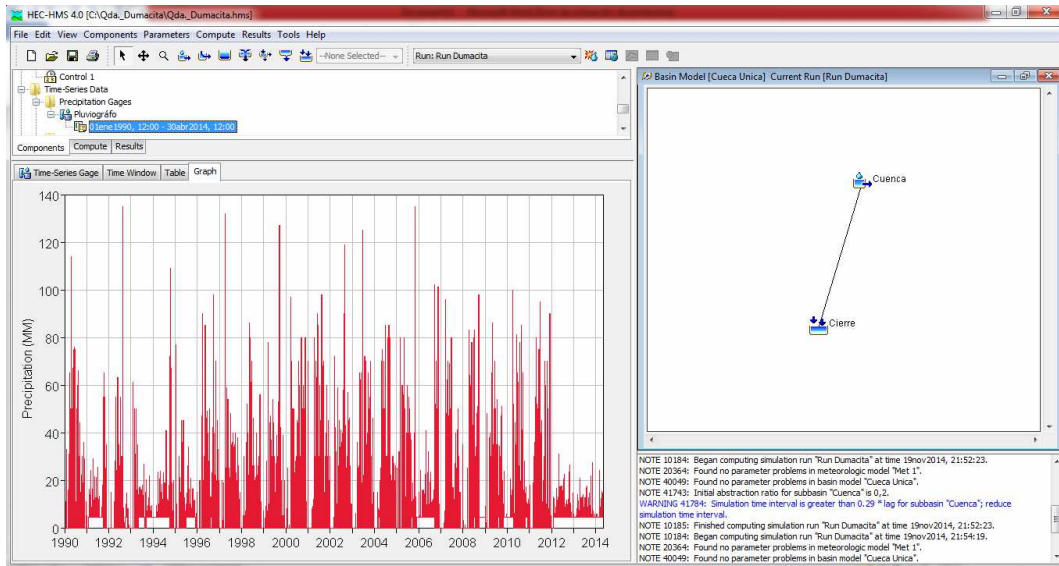


Figura 4-10. Gráfico de los datos ingresados para la modelación de la escorrentía a partir de la precipitación. Fuente: Autores, 2014.

Una vez ingresados los datos de entrada, se realiza la simulación del programa creando la corrida con el nombre de la cuenca en análisis, para posteriormente computar la simulación. (Ver Figura 4-11 y Figura 4-12)

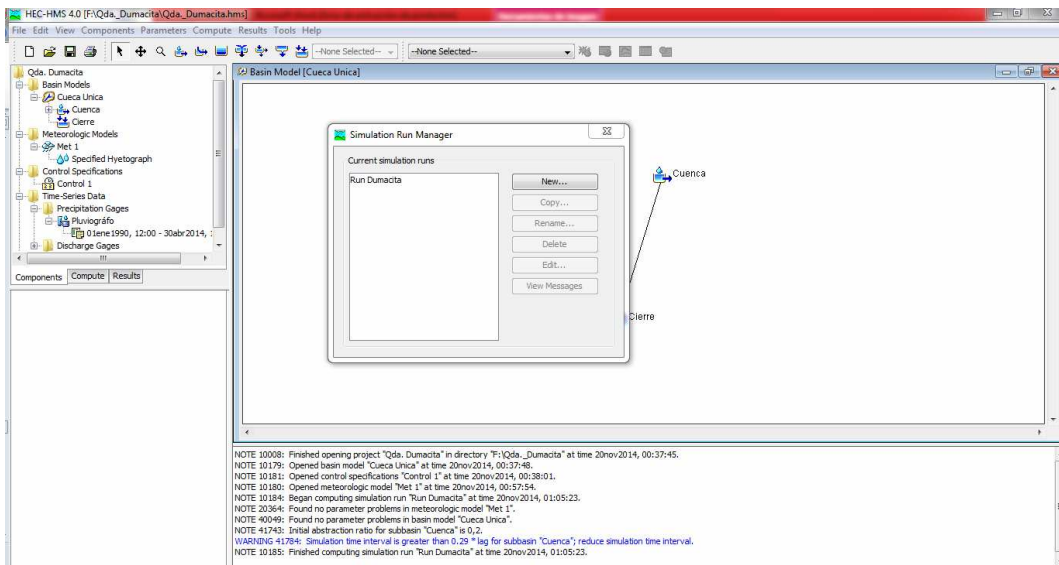


Figura 4-11 Creación del controlador de simulación del programa. Fuente: Autores, 2014.

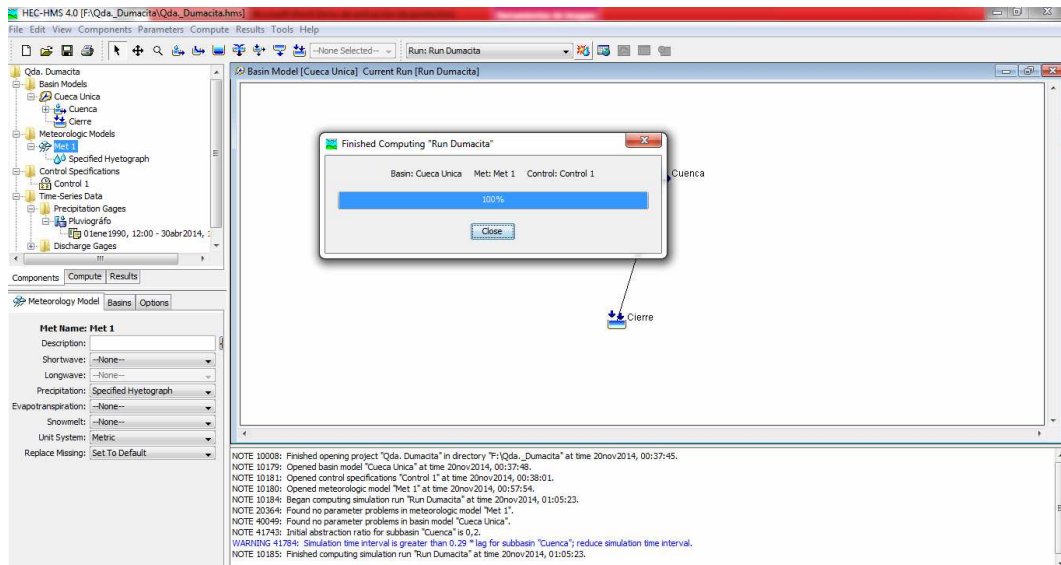


Figura 4-12 Corrida de la simulación del programa para la cuenca en análisis.
Fuente: Autores, 2014.

4.2.3 Resultados de la modelación

Tras el corrido de la simulación mediante el programa HEC-HMS, se obtuvieron los valores de caudales para la microcuenca del caño Dumacita a partir de la precipitación de la estación PTO TEXAS para el periodo de enero de 1990 hasta abril de 2014, transformando de esta manera una estación con datos de precipitación, en una estación con datos de caudales (escorrentía) en m^3/s . Ver Figura 4-13.

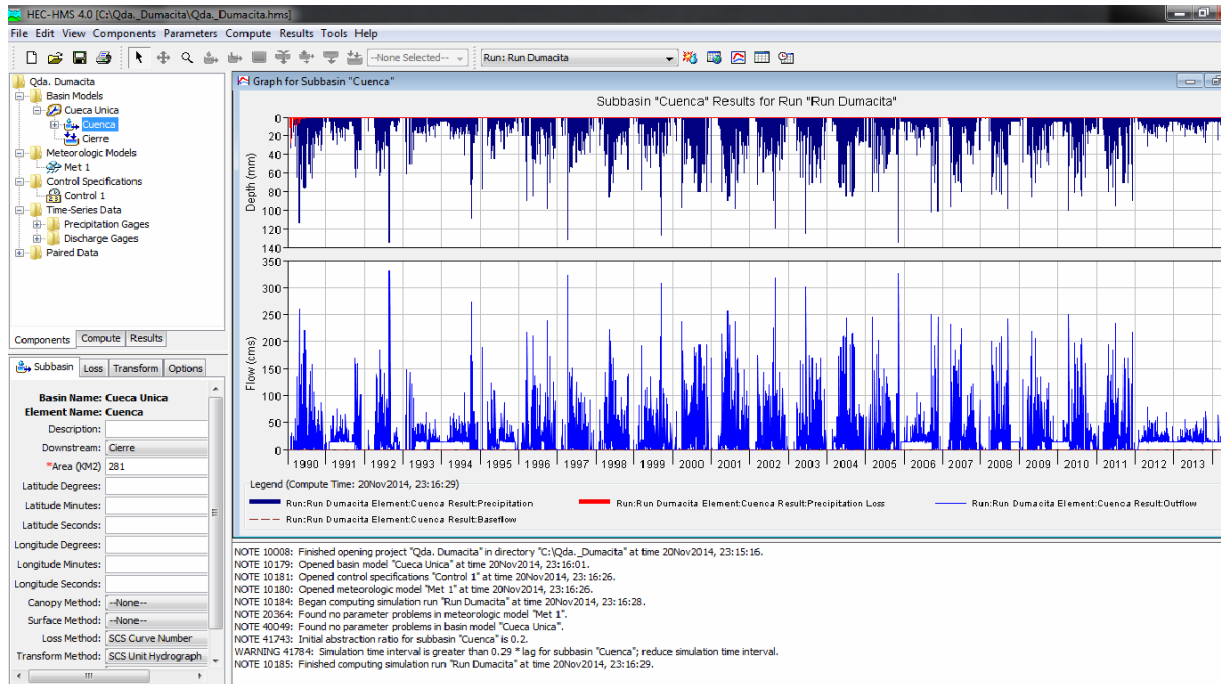


Figura 4-13 Resultados modelo de simulación de precipitación total, programa HEC-HMS.

Fuente: Autores, 2014.

Así mismo, después de obtenidos los datos de caudales diarios característicos de la microcuenca objeto de estudio producto de la simulación realizada con el programa HEC-HMS, estos fueron organizados en caudales mensuales multianuales para un mejor análisis de los mismos. Ver Tabla 4-10.

Tabla 4-10 Caudales característicos caño Dumacita. Fuente: Autores, 2014.

Caudales Característicos (m³/s) Caño Dumacita - HMS													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	0.0	3.0	9.5	30.9	34.3	44.1	13.4	25.7	23.1	13.5	9.9	2.6	17.5
1991	0.5	17.2	17.3	22.3	25.5	23.8	21.1	14.9	19.8	51.5	18.4	0.0	19.4
1992	0.0	1.7	0.0	27.2	32.4	38.2	37.9	30.5	2.1	18.8	3.7	0.0	16.0
1993	2.7	7.1	26.1	16.3	21.8	22.8	24.1	10.1	17.9	18.0	18.9	15.2	16.8
1994	14.7	15.5	19.7	23.7	25.2	23.3	21.8	25.9	21.3	41.4	9.7	4.5	20.6
1995	10.0	0.0	9.6	27.7	28.5	4.4	27.1	23.1	19.1	20.2	17.2	3.4	15.9
1996	0.0	8.2	18.5	17.2	50.7	25.2	21.6	20.5	36.4	23.8	17.7	13.0	21.1
1997	0.0	7.1	2.0	39.5	36.5	15.7	30.9	22.9	22.5	5.8	9.1	1.6	16.1
1998	0.0	10.8	15.2	31.0	37.9	44.1	25.2	15.7	15.1	19.6	8.6	0.7	18.7
1999	0.5	10.8	15.1	29.1	20.2	32.0	19.1	16.5	40.2	27.7	11.4	4.9	19.0
2000	1.4	4.5	15.9	20.8	31.8	28.6	37.6	51.1	43.3	36.9	25.3	11.4	25.7
2001	0.8	0.0	4.9	35.0	56.4	58.8	25.4	41.5	32.1	19.7	19.5	14.0	25.7
2002	0.0	0.0	18.9	15.3	27.4	32.2	25.4	44.4	30.4	19.3	18.4	1.0	19.4
2003	0.0	0.7	14.2	20.9	29.2	38.6	35.0	19.3	32.9	30.2	18.8	6.9	20.6
2004	0.0	3.6	16.6	25.9	48.8	40.9	30.3	29.0	46.6	18.1	10.4	6.4	23.0
2005	2.6	9.1	26.5	24.6	38.8	22.4	22.0	30.9	20.1	9.9	23.7	14.6	20.4
2006	19.2	14.7	20.3	22.2	26.9	28.4	25.8	18.9	31.9	41.4	23.5	1.0	22.9
2007	0.0	0.2	18.7	40.3	52.1	54.4	9.6	18.5	25.6	17.6	5.9	5.6	20.7
2008	0.3	0.1	3.9	23.5	33.8	51.9	27.5	24.6	29.8	14.7	14.7	14.7	20.0
2009	4.3	6.2	12.4	31.4	24.1	45.0	29.1	23.6	19.7	10.8	17.4	14.8	19.9
2010	14.7	18.9	22.6	29.5	24.4	40.0	28.7	30.2	16.3	8.0	21.5	3.5	21.5
2011	1.9	1.4	10.5	37.7	39.5	38.9	44.0	5.8	33.4	23.1	17.6	17.4	22.6
2012	0.0	16.7	17.8	21.1	25.9	20.4	26.0	18.9	17.5	24.1	17.1	16.2	18.5
2013	14.7	15.6	18.5	20.6	21.7	19.5	21.9	21.5	20.5	21.0	22.9	14.8	19.4
2014	14.8	17.1	15.4	24.2	-	-	-	-	-	-	-	-	17.9
MAX	19.2	18.9	26.5	40.3	56.4	58.8	44.0	51.1	46.6	51.5	25.3	17.4	38.0
MED	4.1	7.6	14.8	26.3	33.1	33.1	26.3	24.3	25.7	22.3	15.9	7.8	20.1
MIN	0.0	0.0	0.0	15.3	20.2	4.4	9.6	5.8	2.1	5.8	3.7	0.0	5.6

4.2.4 Análisis de resultados

El caño Dumacita, presenta caudales medios mensuales de 4.1 m³/s a 7.8 m³/s para la temporada de estiaje o bajas precipitaciones, y de 14.8 m³/s a 33.1 m³/s para la temporada de lluvias distribuida a lo largo de los meses de marzo a noviembre. El mes en el que se registró el

menor valor de caudal fue Enero y los meses con mayores caudales fueron de mayo y junio, representando las temporadas de lluvias y de estiaje características de las condiciones monomodales de la región. Ver Tabla 4-11 y Figura 4-14

Tabla 4-11 Caudales medios, máximos y mínimos del caño Dumacita. Fuente: Autores, 2014.

Caudales m ³ /s	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
MAX	19.2	18.9	26.5	40.3	56.4	58.8	44.0	51.1	46.6	51.5	25.3	17.4	38.0
MED	4.1	7.6	14.8	26.3	33.1	33.1	26.3	24.3	25.7	22.3	15.9	7.8	20.1
MIN	0.0	0.0	0.0	15.3	20.2	4.4	9.6	5.8	2.1	5.8	3.7	0.0	5.6

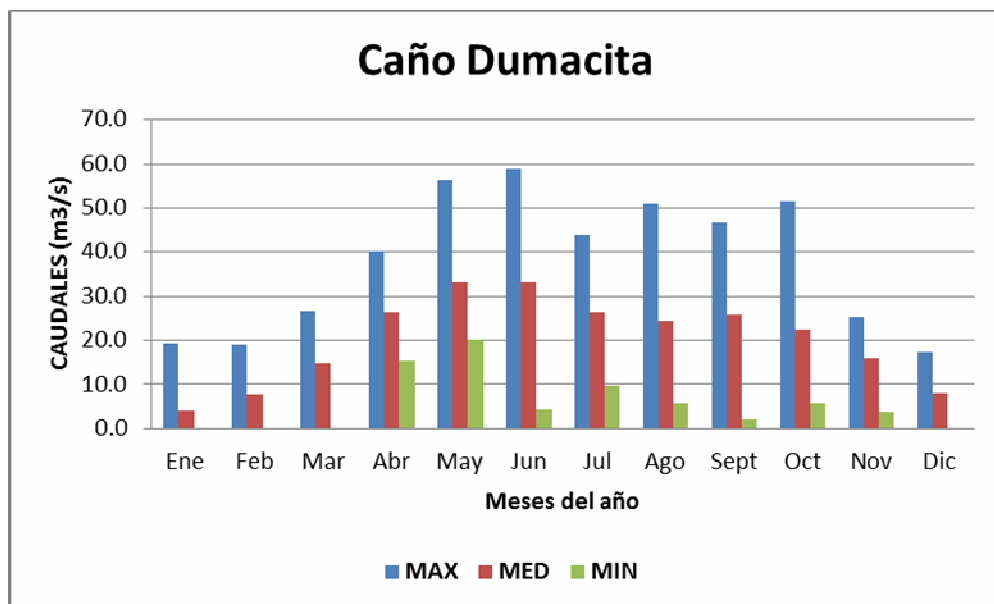


Figura 4-14 Hidrográma caño Dumacita. Fuente: Autores, 2014.

Con estos resultados obtenidos para la cuenca del caño Dumacita, se logra determinar la aplicabilidad del programa HEC-HMS, teniendo en cuenta la información disponible de la cuenca, los modelos de transformación de Precipitación-Escorrentía del programa y las ecuaciones de entrada con las que se simula la información para finalmente obtener los caudales característicos de cuencas hidrográficas rurales no caracterizadas.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con base en los resultados y análisis realizados por el grupo de trabajo, con el fin de realizar el diseño de la metodología para determinar los caudales característicos mensuales multianuales en la cuenca rural no instrumentada del Caño Dumacita, empleando el programa HEC - HMS se puede obtener las siguientes conclusiones:

- Los datos obtenidos de la cuenca demostraron que se trataba de un tipo de cuenca con tendencias a los eventos de altas precipitaciones, indicando que es una cuenca con una densidad de drenaje bajo, que forma retenciones de escorrentía superficial (bajos inundables) y represamientos en la parte más baja de la microcuenca.
- En cuanto al programa, su interfaz es sencilla, pero se hace necesario tener claros fundamentos hidrológicos para el reconocimiento de cada uno de los elementos necesarios para la modelación, ya que se requiere determinar variables tales como la Curva Numero (CN), Abstracción Inicial (Po), Tiempo de Concentración (Tc), Lag Time y llenado de datos faltantes de las estaciones meteorológicas a emplear, los cuales requieren de metodologías hidrológicas desarrolladas por diferentes autores, que deben ser tenidas en cuenta para el cálculo de los datos solicitados por el programa.
- La mayoría de los métodos con que cuenta el programa HEC-HMS, requieren una gran cantidad de información que es difícil conseguir para una cuenca rural no instrumentada, lo que dificulta su implementación, no obstante en este proyecto se lograron emplear ecuaciones que se ajustan al tipo de información de la cuenca en estudio de características rurales, tales como la precipitación total de la cuenca, morfometría, tipo de coberturas de la tierra y el tipo de suelo predominante en la cuenca, insumos que fueron clave al momento de determinar los caudales característicos con el programa HEC-HMS.
- Los métodos seleccionados para la modelación de la precipitación en escorrentía se determinaron de acuerdo al nivel de información que se tenía de la cuenca en estudio, ya

que requiere el valor de Curva Numero (CN), abstracción inicial (Po), Lag Time que es el 60% del tiempo de concentración (Tc) calculado empleando la metodología de Kirpish, área de la cuenca y los datos de precipitación diarios de la cuenca, por lo que fue posible realizar la simulación y obtener los caudales característicos de la microcuenca del caño Dumacita.

- Los datos obtenidos de caudales característicos demostraron una distribución monomodal (se refiere a un único evento de altas y bajas precipitaciones) típico de la región en donde se ubica la microcuenca, con volúmenes de caudales medios que van desde $4.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (430 L/s) hasta los $33.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (33100 L/s), indicando buena disponibilidad hídrica con la que cuenta la microcuenca del caño Dumacita.
- Esta metodología representa una herramienta significativa para el estudio de cuencas no instrumentadas, sin embargo los últimos fenómenos meteorológicos que se están presentando como el fenómeno del niño pueden afectar los resultados obtenidos, es por esto que se hace ineludible realizar visitas de campo y tener la mayor cantidad de datos meteorológicos de los últimos 10 años, teniendo una mejor calidad de resultados que sean lo más cercanos a la realidad.

5.2 RECOMENDACIONES

- En el cauce principal de la cuenca a analizar, se debe contar con aforos o información de alguna estación limnimétrica o limnigráfica, para poder realizar una calibración de la modelación.
- Se recomienda investigar otras metodologías para el llenado de datos faltantes de las estaciones de precipitación, con el fin de obtener errores más bajos en la determinación de estos valores.

BIBLIOGRAFÍA

- Bustamante Ortega, R.S. (2008). *Calibración y validación del modelo HEC – HMS, en la cuenca de Huechún, región metropolitana Talca, Chile*. Obtenido de http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/MEMORIA%20RAMON%20BUSTAMANTE.pdf
- Cabrera J. (2012). *Calibración de modelos hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Perú.
- Cañón, B. J. (2010). *Taller de Aplicación HEC - HMS / Universidad Nacional de Colombia / Postgrado en recursos hidráulicos*. Recuperado de http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/Taller.htm
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2012). *Guía Metodológica para la delimitación de zona de ronda hídrica*. Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2011). *Guía metodológica para la delimitación de zona de ronda*. Recuperado de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ObrJo3fGCEOJ:www.car.gov.co/indexphp/index.php%3Fidcategoria%3D30442%26download%3DY+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- González L. J. (2008). *Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidrología e hidráulica*.
- Henaó S., E. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad Santo Tomás. Pág. 57-60 (Morfometría) y 79-86 (Sistemas de Drenaje).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2007). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras*.
- USDA, (1975). *United States, Department of Agriculture Soil Conservation Service [USDA, SCS]. Army Corps of Engineers*.

APÉNDICES

Apéndice A. Procesos, métodos disponibles en el programa HEC-HMS y datos de entrada requeridos por cada método.

Procesos, métodos y datos de entrada del módulo meteorológico HEC-HMS.

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	OBSERVACIONES
Shortwave (Onda Corta)	None (Ninguno)	----	----	No se cuenta con información de series de datos de onda corta
	Gridded Shortwave	Grid Name	----	Cuando se cuenta con información de una malla de precipitación o de CN, basado en sistema raster o pesos por cada celda de la malla.
	Specified Pyranograph (Solarígrafo específico)	Subbasin Name	----	Cuando se cuenta con información de registros solares en la cuenca de estudio
Gage				
Longwave	None (Ninguno)	----	----	----
Precipitation	None (Ninguno)	----	----	----
	Frecuency Storm (Frecuencia de la Tormenta)	Probability	----	Probabilidad de la tormenta
		Input Type	----	Duración parcial o anual
		Output Type	----	las salidas siempre serán en datos anuales
		Intensity Duration	----	Intensidad de la lluvia mínimo 5min y máximo 6 horas.
		Storm Duration	----	Duración de la lluvia mínimo 1 hora, máximo 10 días
		Intensity Position	----	Indica la posición en la que la tormenta es más intensa, por ejemplo si se selecciona una duración de tormenta de 6 horas, y una posición de intensidad del 25%, la intensidad pico se producirá 1,5 horas después de iniciada la tormenta. Por defecto se coloca una posición de intensidad del 50%.
		Storm Area (km2)	----	Area en la que se está generando la tormenta
		Curve	Uniform For All Subbasins (uniforme para todas las subcuencas)	----
Variable By Subbasin (Variable por subcuenca)	----		----	

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	OBSERVACIONES
		Duration	----	Según lo seleccionado en los ítems anteriores
		Partial-Duration Depth	----	Valor de la tormenta según los intervalos de tiempo seleccionados anteriormente.
	Gage Weights (Indicador de Pesos)	Total Depth (mm) (Profundidad de la lluvia)	----	----
		Index (mm) (índice de la lluvia)	----	----
	Gridded precipitation	Grid Name	----	Cuando se cuenta con información de una malla de precipitación, basado en sistema raster o pesos por cada celda de la malla.
		Time Shift (HR)	----	Es usado cuando para determinar una correcta zona horaria para los registros de la malla de precipitación.
	Inverse Distance	Use Indexing	----	Se utiliza cuando se trata de datos de precipitación en tiempo real, el cual puede grabar indicadores que pueden reportar intervalos irregulares de 15 min o 1 hora, o también puede reportar índices que reportan precipitaciones totales diarias.
		Search (km)		
	SCS Storm	Method	----	Emplea diferentes tipos de tormentas, tomando como base la metodología del Soil Conservation Service SCS, en el cual se puede escoger entre 4 tipos de tormentas, con duración de 24 horas, indicando que las tormentas después de las primeras 24 horas, tienden a cero.
		Depth (mm)		
	Specified Hyetograph	Subbasin Name	----	Esta opción permite seleccionar la información exacta de las series de tiempo de precipitación para una subcuenca en específico. Esta opción funciona satisfactoriamente cuando los datos de precipitación son procesados externamente e importados al programa sin alteraciones, en representación de lo que pasa a nivel hídrico sobre toda la cuenca
		Gage		
	Standard Project Storm	Index (mm)	----	Esta opción permite ingresar los datos de precipitación empleando el manual de ingeniería EM-1110-2-1411, siendo muy poco empleada, esta metodología es aplicada en proyectos donde aun podría ser necesaria.
Área (km ²)				
Distribution				
Evapotranspiration	None (Ninguno)	----	----	----

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	OBSERVACIONES
	Gridded Priestley Taylor	Dryness Coefficient	----	El método emplea los datos de evaporación mediante una malla, en donde cada celda de la maya representa un valor de ETP, homogenizando la totalidad de la cuenca, este método aplica únicamente cuando se cuentan con datos de radiación solar medida en temperatura, de igual forma emplea un hietograma específico, donde el índice "dryness Coefficient" determina si es 1,2 que se trabaja en condiciones de humedad y si es 1,3 representa condiciones de aridez ambiental.
		Temperature Grid	----	
	Monthly Average	Month	----	Esta opción permite trabajar con registros de evaporación de cada mes del año, esta opción también permite ingresar un coeficiente de evaporación, el cual se computa con el valor de evaporación registrado en cada estación para corregir la EVP, con el fin de reflejar más cercanamente el agua que refleja la planta.
		Rate (IN/MONTH)		
		Coefficient		
	Priestley Taylor	Dryness Coefficient	----	Este método se aplica cuando se cuenta con datos de radiación solar y el tiempo de simulación es menos a 24 horas, ya que se considera un suministro de agua en el suelo sin limite
		Temperature Grid	----	
	Specified Evapotranspiration	Subbasin Name	----	Este método permite al usuario especificar las series de tiempo exactas a utilizar para la evapotranspiración potencial de las subcuencas con datos diarios.
		Gage		
	Snowmelt	Gridded Temperature Index	Temperature Gridset	----
Time Shift (RH)			----	----
Initial Values			----	----
Initial SWE Grid			----	----
Initial CC Grid			----	----
Initial Liquid Grid			----	----
Initial CC ATI Grid			----	----
Initial Melt ATI Grid			----	----
PX Temperature (F)			----	----
Base Temperature (F)			----	----
Wet Meltrate (IN/DEG F-DAY)	----	----	----	

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	OBSERVACIONES	
		Meltrate Pattern	----	----	
		Cold Limit (IN/DAY)	----	----	
		ATI-Coldrate Coeficiente	----	----	
		ATI-Coldrate Funtion	----	---- ----	
		Water Capacity (%)	----	----	
		Groundmelt Method	----	----	
		Groungmelt (IN/DAY)	----	----	
	Temperature Index	Temperature Gage	PX Temperature (F)		----
			Base Temperature (F)		----
			Wet Meltrate (IN/DEG F-DAY)		----
			Rain Rate Limit (IN/DAY)		----
		Lapse Rate (DEG F/1000 FT)	ATI-Meltrate Coefficient		----
			ATI-Meltrate Funtion		----
			Meltrate Pattern		----
			Cold Limit (IN/DAY)		----
			ATI-Coldrate Coeficiente		----
			ATI-Coldrate Funtion		----
			Water Capacity (%)		----
			Groundmelt Method		----
			Groundmelt (IN/DAY)		----
Index (IN)			----		

Unit System	Metric	----	----	Sistema métrico internacional	
	U.S. Cuntomary	----	----	Sistema métrico Ingles	
Replace Missing	Abort Compute	----	----	Si se encuentran datos vacíos, detener la computación del modelo	
	Set to Default	----	----	Si se encuentran datos vacíos, llenarlos automáticamente con cero y continuar con el computo del modelo	

A continuación se presentan los procesos, métodos y datos de entrada del modelo de cuenca, para los elementos que este incluye.

Procesos, métodos y datos de entrada del elemento subcuenca, del módulo cuenca HEC-HMS.

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	
Área				
canopy method (método de canopy) (Si existe vegetación, Parte de la precipitación será retenida en las hojas para evaporarse después)	None	Se utiliza None cuando la cuenca presenta pastos y no hay presencia de bosques, donde parte de la precipitación es retenida en las hojas para después evaporarse o se escoge si el dato que se tiene ya es la precipitación neta, es decir ya se han restado las pérdidas por infiltración y evaporación.	----	
	Dynamic Canopy	Initial storage (%)		----
		Storage Method		----
		Max storage (mm)		----
		Crop method		None Gridset Time-Series Gage
		Crop Gage		----
	Gridded Simple Canopy	Uptake method		None Simple Tension Reduction
		Initial storage (%)		----
		Storage Grid		----
		Crop Grid		----
	Canopy Simple	Uptake method		None Simple Tension Reduction
		Initial storage (%)		----
		Max storage (mm)		----
		Crop coefficient		----
	Surface Method (Método de superficie) Precipitación que puede quedar retenida en pequeñas retenciones superficiales, para infiltrarse o evaporarse. Suele utilizarse solamente en modelos de simulación continua.	None	Se escoge si el dato que se tiene ya es la precipitación neta, es decir ya se han restado las pérdidas por infiltración y evaporación.	----
Gridded Simple Surface		Initial storage (%)	----	
		Storage Grid	----	
Surface Simple (Canopy simple)		Initial storage (%)	----	
		Max storage (mm)	----	
Loss Method (Método de pérdidas) Precipitación que se infiltra. Si los dos aspectos anteriores no son tenidos en cuenta (Por defecto, HMS los muestra desactivados), se calcula este proceso: qué parte de	None (Ninguno)	Se escoge si el dato que se tiene ya es la precipitación neta, es decir ya se han restado las pérdidas por infiltración y evaporación.	----	
	Deficit and constant (Déficit y constante)	Initial Deficit (mm)	----	
		Maximun Deficit (mm)	----	
		Constant Rate (mm/h)	----	
		Impervious (%)	----	
	Exponential	Initial Range (mm)	----	

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	
las precipitaciones se infiltran en el suelo. El resto se considera lluvia neta y se utilizará para calcular la escorrentia generada.		Initial Coef ((mm/h)^(1-X))	----	
		Coef Ratio	----	
		Exponent	----	
		Impervious (%)	----	
	Green and ampt		Initial Content	----
			Saturated Conten	----
			Suction (mm)	----
			Conductivity (mm/h)	----
			Impervious (%)	----
	Gridded Deficit Constant		Initial Deficit Grid	----
			Maximun Deficit Grid	----
			Constant Rat	----
			Impervious Grid	----
			Initial Deficit Grid Ratio	----
			Maximun Deficit Grid Ratio	----
			Constant Rate Ratio	----
	Gridded Green and ampt (Cuadrícula Verde y ampt)		Initial Content Grid	----
			Sat Content Grid	----
			Suction Grid	----
			Conductivity Grid	----
	Gridded SCS Curve Number		Impervious Grid	----
			Curve Number Grid	----
			Ratio	----
	Gridded Soil Moisture Accounting (Cuadrícula de contabilidad de la humedad del suelo)		Factor	----
			Max Infiltration Grid	----
			Initial soil (%)	----
			soil storage grid	----
			Tension storage grid	----
			Soil percolation grid	----
			Initial GW 1 (%)	----
			GW 1 storage grid	----
			GW 1 percolation grid	----
			GW 1 Coefficient grid	----
			Initial GW 2 (%)	----
			GW 2 storage grid	----
	Initial and constant (Inicial y constante)		GW 2 percolation grid	----
			GW 2 Coefficient grid	----
			Perdida Initial (mm)	----
	SCS Curve Number		Constant Rate (mm/h)	----
			Impervious (%)	----
			Initial abstraction (mm) (Po) (Abstracción inicial o umbral de escorrentía)	----
	Ec - Smith-parlange		Curve Number CN (Curva número)	----
			Impervious (%) (Impermeabilidad)	----
			Initial content	----
			Residual content	----
			Saturated content	----
			Bubbling pressure (mm)	----
			Pore distribution	----
	Conductivity (mm/h)	----		
	Soil Moisture		Impervious (%)	----
Temperature gage			----	
		Soil (%)	----	

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	
	Accounting	Groundwater 1 (%)	----	
		Groundwater 2 (%)	----	
		Max Infiltration (mm/h)	----	
		Impervious (%)	----	
		Soil storage (mm)	----	
		Tension storage (mm)	----	
		Soil percolation (mm/h)	----	
		GW 1 storage	----	
		GW 1 percolation (mm/h)	----	
		GW 1 Coefficient (horas)	----	
		GW 2 storage	----	
		GW 2 percolation (mm/h)	----	
GW 2 Coefficient (horas)	----			
Transform Method (Métodos de Transformación)	None (Ninguno)	----	----	
	Clark Unit Hydrograph	Time of Concentration (horas)	----	
		Storage Coefficient (horas)	----	
	Kinematic Wave (Onda Cinemática)	Se utiliza para canales de diferentes formas (circular, trapezoidal, etc). Y pide las dimensiones de las secciones transversales, las cuales deben ser uniformes a lo largo del tramo de estudio.		----
		ModClark	Time of Concentración (horas)	----
	Storage Coefficient (horas)		----	
	SCS Unit Hydrograph (Hidrograma unitario del SCS)	Graph Type (Tipo de gráfico)	Standard (estándar) Delmarva	
		Lag Time (min) (Tiempo de concentración) (minutos)	(0.6 * Tiempo de concentración)	
	Snyder Unit Hydrograph	Method Standard	Standard Lag (horas)	
			Peaking coefficient	
		Method Ft worth district	Length (Km)	
			Centroid Length (Km)	
			Weighted slope (m/Km)	
			Urbanization (%)	
			Sand (%)	
		Peaking coefficient		
	Method Tulsa district	Length (Km)		
Centroid Length (Km)				
Weighted slope (m/Km)				
Channelization (%)				
User-Specified S-Graph	S-Graph	----		
	Lag Time (horas)	----		
User-Specified Unit Hydrograph	Unit Hydrograph	----		
Baseflow Method Se refiere al modo de añadirle al hidrograma resultante de la precipitación el caudal base que tenía la cuenca antes de la crecida, y que debe continuar por debajo del hidrograma de la crecida.	None	Indica que no existe flujo base, es decir que únicamente se alimenta de la precipitación.	----	
	Bounded recession (Recesión limitada)	Initial Type: Discharge - Discharge per area	----	
		Initial Discharge (m ³ /s) - (m³/s /Km²)	----	
		Recession Constant	----	
		January (m ³ /s)	----	
		February (m ³ /s)	----	
		March (m ³ /s)	----	
		April (m ³ /s)	----	
		May (m ³ /s)	----	
		June (m ³ /s)	----	
		July (m ³ /s)	----	
August (m ³ /s)	----			
September (m ³ /s)	----			

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS
		October (m ³ /s)	----
		November (m ³ /s)	----
		December (m ³ /s)	----
	Constant monthly	January (m ³ /s)	----
		February (m ³ /s)	----
		March (m ³ /s)	----
		April (m ³ /s)	----
		May (m ³ /s)	----
		June (m ³ /s)	----
		July (m ³ /s)	----
		August (m ³ /s)	----
		September (m ³ /s)	----
		October (m ³ /s)	----
		November (m ³ /s)	----
		December (m ³ /s)	----
	Bounded recession (Recesión limitada)	Initial Type: Discharge - Discharge per area	----
		GW 1 Initial (m ³ /s) - (m ³ /s /Km ²)	----
		GW 1 Coefficient	----
		GW 1 Reservoirs	----
		GW 2 Initial (m ³ /s) - (m ³ /s /Km ²)	----
		GW 2 Coefficient	----
	Nonlinear Boussinesq	GW 2 Reservoirs	----
		Initial Type: Discharge - Discharge per area	----
		Initial Discharge (m ³ /s) - (m ³ /s /Km ²)	----
		Threshold type: ratio to peak - threshold discharge	----
		Ratio - flow (m ³ /s)	----
		Length (m)	----
		Conductivity (mm/h)	----
	Recession	Porosity	----
		Initial Type: Discharge - Discharge per area	----
		Initial Discharge (m ³ /s) - (m ³ /s /Km ²)	es el caudal del río previo a la tormenta
		Recession Constant	----
		Threshold type: ratio to peak - threshold discharge	----
Ratio - flow (m ³ /s)	----		

Procesos, métodos y datos de entrada del elemento Reach, del módulo cuenca HEC-HMS.

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS
Routing method	None		----
	Kinematic wave	Length (m)	----
		Slope (m/m)	----
		Manning's n	----
		Subreaches	----
		Invert (m)	----
		Shape	Forma: depende la forma del canal, pide las dimensiones
	Lag	Lag (min)	----
	Modified Puls	Stor - Dis Function	----
		Subreaches	----
		Initial: Discharge - Inflow=Outflow	----
		Discharge (m3/s)	----
		Elev - Dis Function - Elev - Dis Function	----
		Invert (m) - Invert (m)	----
	Muskingum (Muskingum)	Muskingum K (horas)	----
		Muskingum X	----
		Subreaches	----
Muskingum-Cunge	Tipe Step Method: Automatic adaption - Automatic fixed interval	----	
	Length (m)	----	
	Slope (m/m)	----	
	Manning's n	----	
	Invert (m)	----	
	Shape	----	
Straddle Stagger	Lag (min)	----	
	Duration (min)	----	
Loss/Gain Method	None		----
	Constant	Flow Rate (m ³ /s)	----
	Percolation	Fraction	----
		Rate (m3/s / 1000 m ²)	----

Procesos, métodos y datos de entrada del elemento Divert, del módulo cuenca HEC-HMS.

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS	
divert method	None	----	----	
	Max Volume (1000 m ³)	----	----	
	Max Flow (m ³ /s)	----	----	
	Constant flow		Diversion (m ³ /s)	----
			Pattern	----
	Inflow function		Inf-Dif Function	----
	Lateral weir		Method	----
			Channel rating curve	----
			Tailwater rating curve	----
			Elevation (m)	----
			Longitud (m)	----
	Pump station		Coefficient (M ^{0.5} /S)	----
			Method	----
			Channel rating curve	----
			Tailwater rating curve	----
			Number units	----
			Intake elevation (m)	----
			Line elevation (m)	----
			On elevation (m)	----
			Off elevation (m)	----
Minimum rest (min)			----	
Minimum run (min)	----			
Specified flow (Flujo especificado)		Equipment loss (m)	----	
		Head - discharge curve	----	
		Diversion gage (Medidor de derivación (pluviografo 1))	----	

Procesos, métodos y datos de entrada del elemento Source, del módulo cuenca HEC-HMS.

PROCESOS	METODOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS EXTRAS
Área	----	----	----
Flow method	None	----	----
	Constant	Discharge (m ³ /s)	----
		Pattern	----
Discharge Gage (medidor de descarga)		None (Limnigrafo 1))	----

ANEXO

Se adjunta en medio magnético;

ANEXO A. Información IDEAM