



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO HIDROLOGICO
CON HEC-HMS 3.5.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Elías Bladimir González Rivera

Tutor

Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía

Managua, mayo de 2017

Dedicatoria

Le dedico este esfuerzo a **Dios padre**, quien me presta vida y conocimiento para poder realizar este documento.

Agradecimientos

Para poder realizar este documento tengo especial agradecimientos a las siguientes personas

Lilliam Lorena Duarte Fonseca, por la ayuda prestada en la forma de este documento.

A mis padres Elías González Vaques Y Auxiliadora Rivera Angulo por ser un soporte logístico y social en mi vida.

A mi tutor Dr. Ing. Néstor lanza, por ser más que mi tutor un amigo que impulsa a los jóvenes a investigar.

A mi profesor MSc. Ing. Ricardo Javier Fajardo González, por haber sido mi profesor de hidrología e incentivar la práctica del software HEC – HMS en su clase.

A mi amigo ing. Jorge Cisneros Obando, por ser mi profesor en el mundo extenso del sistema de información geográfica.

RESUMEN EJECUTIVO

Con la finalidad de realizar un estudio hidrológico, y con un rendimiento más óptimo, la tecnología nos ha facilitado programas computacionales para realizar estos estudios, entre estas tenemos el HEC-HMS 3.5, un objetivo principal de estas herramientas es determinar la escorrentía en forma de un Hidrograma a partir de un evento de precipitación llamado Hietograma.

Esta herramientas son ampliamente usadas en el mundo y sirven como referencia en la hidrología, a la vez esta tiene como auxilio otros programas de tipo SIG (Sistema de Información Geográficas) como ha sido el ArcGis, que también ha desarrollado a la par con el HEC (centro hidrológico de ingeniería), un sub programa llamado HEC-GEO HMS, y le permiten a HEC-HMS modelar datos espaciales de terreno y extraer el modelo hidrográfico que será de gran ventaja para el rendimiento de este estudio.

Con respecto a la metodología también se realizó esquema metodológico para la facilidad de comprensión, utilizando normas y criterios de los manuales utilizados en Nicaragua, específicamente el ministerio de infraestructura y transporte.

Parte de la metodología es utilizar datos que se puedan encontrar en el país, para esto se define los ministerios, institutos y departamentos, donde se podrán obtener los datos específicos a solicitar, para el estudio. Esto servirá para saber con exactitud lo que se requiere para la elaboración de la metodología y estudio explícitamente

Por otra parte, este documento fue pensado en tres niveles de explicación: El primero son los esquemas metodológicos, que facilitan orientarse por una imagen la secuencia de los procedimientos de forma conceptual y práctico. El segundo será el procedimiento por softwares que serán ejecutados secuencialmente en orden descendente en el documento, y fueron provistos de imágenes para que el lector pueda orientarse mejor en la realización de la metodología.

El tercer nivel es la aplicación práctica de la metodología utilizando los softwares, este documento y presentaciones de manera conjunta en formato visual a través de videos didácticos que permita terminar cualquier duda del lector.

Así esta metodología servirá como herramienta, y fundamento base para cualquier explicación de los métodos hidrológicos.

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. CONCEPTOS BÁSICO DE HIDROLOGÍA	6
2.1.1. <i>HIDROLOGIA</i>	6
2.1.2. <i>CUENCA HIDROLÓGICA</i>	6
2.1.3. <i>CAUCE</i>	6
2.1.4. <i>PRECIPITACION</i>	6
2.1.5. <i>ESCORRENTIA</i>	7
2.1.6. <i>MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN A CAUDAL</i>	7
a) Método número de curva	7
b) Hidrógrama adimensional del SCS.....	12
c) Calculo de intensidad	12
d) Método del bloque alterno	13
e) Tiempo de concentración-definición	14
f) Tránsito de caudales	15
⇨ Método Muskingum	15
⇨ Método de Muskingum- Cunge	18
2.2. CONCEPTOS SISTEMA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG	19
2.2.1. <i>¿QUE ES SIG?</i>	19
⇨ Organización de datos:.....	19
⇨ Visualización de datos:	19
2.2.2. <i>¿Qué es un Mapa?</i>	20
2.2.3. <i>Base de datos</i>	21
2.2.4. <i>Proyecciones</i>	22
a) Proyecciones planas.....	24
b) Proyecciones geodésicas.....	24
c) La proyección Mercator transversal	25

2.2.5.	HEC-GEO HMS.....	27
2.3.	CONCEPTOS HEC-HMS.....	28
2.3.1.	¿Que es HEC-HMS?.....	28
2.3.2.	Componentes de hec-hms.....	28
a)	Componentes del modelo de la cuenca.....	28
b)	Componentes del modelo meteorológico	31
c)	Componentes de las especificaciones de control	31
d)	Componentes de la entrada de datos.....	32
2.3.3.	Interfaz de usuario.....	32
a)	Explorador de cuenca.....	32
b)	Editor de componentes.....	34
c)	Registro de mensajes	35
d)	Escritorio.....	35
3.	ESQUEMA METODOLÓGICO	36
3.1.	GENERALIDADES	36
3.2.	RECOLECCIÓN DE DATOS	37
3.2.1.	HIDROGRAFÍA	37
3.2.2.	MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN.....	38
3.2.3.	DATOS TIPO Y USO DE SUELO	39
3.2.4.	REGISTROS PLUVIOGRAFICOS.....	40
3.2.5.	DATOS DE AFORO DE CAUDAL.....	42
3.3.	PROCESO DEL MODELO HIDROGRAFICO.....	42
3.3.1.	PROCESO DEL TERRENO.....	43
a)	MANAGEMENT (Manejo de datos).....	45
b)	FILL SINK (Llenado de depresiones).....	45
c)	FLOW DIRECTION (Dirección de flujo)	46
d)	FLOW ACCUMULATION (Acumulación de flujo).....	47
e)	STREAM DEFINITION (Definición de cauces).....	48
f)	STREAM SEGMENTATION (Segmentación de cauces).....	49
g)	CATCHMENT GRID DELINEATION (Delineación de la sub-cuenca).....	50
h)	CATCHMENT POLYGON PROCESSING (Polígono de la sub-cuenca)	50
i)	DRAINAGE LINE PROCESSING (Red de drenaje)	51
j)	ADJOINT CATCHMENT PROCESSING (Unión de las sub-cuenca)	52

3.3.2.	<i>ESTABLECIMIENTO DE UN PROYECTO</i>	52
a)	DATA MANAGEMENT (Manejo de datos)	53
b)	STAR NEW PROJECT (Iniciar un proyecto).....	54
c)	ADD PROJECT POINT (AGREGAR UN PUNTO PROYECTO).....	55
d)	GENERATE PROJECT (Generar un proyecto)	56
3.3.3.	<i>PROCESO DEL MODELO HIDROLOGICO</i>	57
a)	Proceso de la cuenca.....	59
	↻ Data Management	59
	↻ BASIN MERGE (UNIÓN DE SUB-CUENCAS)	60
	↻ BASIN SUBDIVISION (DIVISIÓN DE SUB-CUENCAS).....	61
	↻ RIVER MERGE (UNIÓN DE CAUCE)	62
	↻ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA	62
	↻ RIVER LENGTH (LONGITUD DE CAUCE)	63
	↻ RIVER SLOPE (PENDIENTE DEL CAUCE).....	63
	↻ LONGEST FLOW PATH (Ruta del flujo mas alejado)	64
	↻ BASIN CENTROID (CENTROIDE DE LA CUENCA)	64
	↻ CENTROID ELEVATION (ELEVACIÓN DEL CENTROIDE)	66
	↻ CENTROIDAL LONGEST FLOW PATH (Centroide de la ruta del flujo más largo)	66
b)	Parámetros hidrológicos	67
	↻ SELECT HMS PROCESSES (Selección del proceso de hms).....	67
	↻ RIVER AUTO NAME (Nombramiento de cauces)	68
	↻ BASIN AUTO NAME (Nombramiento de las subcuencas)	68
	↻ PARAMETROS DE NUMERO DE CURVA CN.....	69
	↻ Subbasin Parameters from Raster	72
	↻ CN lag.....	73
	↻ MUSKINGUM-CUNGE AND KINEMATIC WAVE PARAMETERS.....	73
c)	Modelación hidrológica (HMS).....	74
	↻ MAP TO HMS UNITS (UNIDADES EN EL MAPA DE HMS).....	74
	↻ DATA CHECK (Verificación de los datos).....	75
	↻ HEC-HMS SCHEMATIC (Esquema de del modelo hec-hms)	76
	↻ HMS LEGEND (Leyenda HMS)	77
	↻ ADD COORDINATES (AGREGAR COODENADAS AL LEYENDA)	78
	↻ PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT (PREPARA EL MODELO PARA EXPORTAR	79
	↻ BACKGROUND SHAPE FILE (Archivos shape para fondo)	79
	↻ BASIN MODEL FILE (ARCHIVO DE MODELO DE LA CUENCA).....	80

3.4. PROCESO DEL MODELO HEC-HMS	80
3.4.1. <i>PROYECTO NUEVO</i>	81
3.4.2. <i>CREACIÓN DE COMPONENTES</i>	82
a) BASIN MODEL (MODELO DE LA CUENCA)	82
↗ Importación del modelo de la cuenca de ArcGis	82
b) INPUT DATA – TIME SERIES DATA (datos de entrada – datos de series temporales)	83
↗ PRECIPITACIÓN GAGES (MEDIDORES DE PRECIPITACIÓN)	83
c) METEOROLOGIC MODEL (MODELO METEOROLÓGICO)	87
d) CONTROL SPECIFICATION (Especificaciones de control)	89
3.4.3. <i>CALCULO DE SIMULACIÓN</i>	91
a) Creación de simulación	91
b) Corrida de simulación	95
3.4.4. <i>RESULTADOS</i>	96
a) Visualización de resultados e interpretación de resultados	96
4. CONCLUSIONES	100
5. RECOMENDACIÓN	101
6. BIBLIOGRAFIA	102

INDICE DE FIGURAS

Fig.2. 1 Esquema de cuña de almacenamiento de un cauce	16
Fig.2. 2 Conceptualización de proyección plana	22
Fig.2. 3 Tipos de proyecciones	23
Fig.2. 4 Proyección de objetos a un plano.....	24
Fig.2. 5 Proyección de mercador, proyección tipo cilíndrica	25
Fig.2. 6 Representación de proyección Mercator en Sistema Geográfico	26
Fig.2. 7 Proyección cilíndrica, unidades transversales de Mercator.....	26
Fig.2. 8 Barra de GEOHMS utilizada en ARCGIS	27
Fig.2. 9 Interfaz de Usuario HEC-HMS	33
Fig.2. 10 Explorador de Cuenca	34
Fig.2. 11 Editor de Componentes de un Modelo de Cuenca	34
<hr/>	
FIG. 3. 1 Esquema metodológico	36
FIG. 3. 2 Tipos de información recolectada	37
FIG. 3. 3 Mapa red hidrográfica de Nicaragua.....	38
FIG. 3. 4 ASTERDEM en Global Mapper 14	39
FIG. 3. 5 Capas shape agroecológico a la izquierda y uso de suelo a la derecha	40
FIG. 3. 6 Hietograma de lluvia	41
FIG. 3. 7 Curvas IDF	41
FIG. 3. 8 Hidrograma elaborado con datos de aforo de una cuenca.....	42
FIG. 3. 9 Esquema de proceso del modelo SIG	43
FIG. 3. 10 Esquema de proceso del terreno	44
FIG. 3. 11 Cuadro dialogo de manejo de datos en proceso del terreno	45
FIG. 3.12 Proceso de llenados de huecos.....	46
FIG. 3. 13 Evaluación de los ocho pixel más próximos.....	46
FIG. 3. 14 Raster de dirección de flujo.....	47

FIG. 3. 15 Representación raster y numérica de acumulación de flujo	47
FIG. 3. 16 Tabla de clasificación de área según su tamaño.....	48
FIG. 3. 17 Tabla clasificación de área según su método.....	48
FIG. 3. 18 Representación del archivo stream definition	49
FIG. 3. 19 Representación del archivo stream segmentation	49
FIG. 3. 20 Representación del archivo catchment grid delineation	50
FIG. 3. 21 Representation vectorial catchment polygon processing	51
FIG. 3. 22 Representación vectorial drainage line processing.....	51
FIG. 3. 23 Representación vectorial adjoint catchment processing.....	52
FIG. 3. 24 Esquema de establecimiento de un proyecto.....	53
FIG. 3. 25 Ubicación de Data Management.....	53
FIG. 3. 26 cuadro de dialogo de Data Management	54
FIG. 3. 27 Ubicación de generar el proyecto	54
FIG. 3. 28 Cuadro de dialogo para definir el proyecto	55
FIG. 3. 29 Ubicación de icono para agregar punto de control	56
FIG. 3. 30 Cuadro de dialogo para nombrar el punto de control	56
FIG. 3. 31 Ubicación para generar el proyecto	56
FIG. 3. 32 Ubicación para ubicar las capas del nuevo el proyecto	57
FIG. 3. 33 Esquema de proceso del modelo hidrológico	58
FIG. 3. 34 Ubicación de data management	59
FIG. 3. 35 Capas que requiere data management.....	59
FIG. 3. 36 Unificaciones de sub-cuencas	60
FIG. 3. 37 Ubicación de Basin Merge.....	60
FIG. 3. 38 Ubicaciones de icono subbasin divide	61
FIG. 3. 39 Ubicación de la localización del punto sobre la red de cauces	61
FIG. 3. 40 Ubicación de river merge.....	62
FIG. 3. 41 Ubicación de river length.....	63
FIG. 3. 42 Ubicación river slope	63

FIG. 3. 43 Ubicación de longest flow path	64
FIG. 3. 44 Ubicación de BASIN CENTROID	65
FIG. 3. 45 Ubicación de CENTROID ELEVATION	66
FIG. 3. 46 Ubicación de CENTROIDAL LONGEST FLOW PATH	66
FIG. 3. 47 Ubicación de SELECT HMS PROCESSES	67
FIG. 3. 48 Ubicación de SELECT HMS PROCESSES	68
FIG. 3. 49 Ubicación de BASIN AUTO NAME	68
FIG. 3. 50 Tabla de atributos de tipo de suelo preparado.....	70
FIG. 3. 51 Tabla uso de suelo.....	70
FIG. 3. 52 Tabla CNLookUp	71
FIG. 3. 53 ubicación CN grid	72
FIG. 3. 54 Cuadro de dialogo CN grid.....	72
FIG. 3. 55 Cuadro de dialogo Subbasin Parameters from Raster.....	72
FIG. 3. 56 Ubicación de CN Lag.....	73
FIG. 3. 57 Ubicación de Muskingum-Cunge and Kinematic Wave Parameters	74
FIG. 3. 58 Ubicaciones de MAP TO HMS UNITS.....	75
FIG. 3. 59 Ubicación de DATA CHECK	76
FIG. 3. 60 Ubicación de HEC-HMS SCHEMATIC.....	76
FIG. 3. 61 cuenca esquemática de HEC-HMS SCHEMATIC	77
FIG. 3. 62 Ubicación de HMS Legend.....	77
FIG. 3. 63 Esquema con HMS Legend.....	78
FIG. 3. 64 Ubicación de ADD COORDINATES.....	78
FIG. 3. 65 Ubicación de.....	79
FIG. 3. 66 ubicaciones de	79
FIG. 3. 67 ubicaciones de PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT	80
FIG. 3. 68 Esquema del proceso del modelo HEC-HMS	81
FIG. 3. 69 Cuadro de dialogo para crear nuevo proyecto	81
FIG. 3. 70 Ubicación para importar el basin file.....	82

FIG. 3. 71 Ubicación de precipitación gage	83
FIG. 3. 72 Creación de nuevo gage.....	84
FIG. 3. 73 Ubicación de en explorador de componentes	84
FIG. 3. 74 Configuración de Intervalo de Tiempo	84
FIG. 3. 75 Ubicación de en explorador de componentes	85
FIG. 3. 76 ubicación de en editor de componentes	85
FIG. 3. 77 Ubicación en editor de componentes.....	86
FIG. 3. 78 Ubicación de en editor de componentes.....	86
FIG. 3. 79 Ubicación de Discharge Gage	87
FIG. 3. 80 Creación de un meteorologic model.....	88
FIG. 3. 81 Ubicación de en explorador de componentes	88
FIG. 3. 82 Ubicación del editor de componentes- modelo meteorológico.....	88
FIG. 3. 83 Ubicación del editor de componentes- Cuenca	89
FIG. 3. 84 Ubicación del editor de componentes- Subcuenca	89
FIG. 3. 85 Ubicación de Control Specification	90
FIG. 3. 86 Creación de nuevo control specification.....	90
FIG. 3. 87 Generación de nuevo control specification	90
FIG. 3. 88 Parámetros de Intervalo de Tiempo y Fecha – Control Specifications	91
FIG. 3. 89 Ubicación de simulation run.....	92
FIG. 3. 90 Nombre de Simulación (Paso-1)	92
FIG. 3. 91 Selección modelo hidrológico (Paso-2).....	93
FIG. 3. 92 Alternativa modelo meteorológico (Paso-3)	93
FIG. 3. 93 Especificación de Control (Paso-4)	94
FIG. 3. 94 Ubicación de componentes de simulación	94
FIG. 3. 95 Ubicación de editor de componentes de simulación	95
FIG. 3. 96 Ubicación de compute run.....	95
FIG. 3. 97 Mensajes cuando el software ha hecho el cálculo de la simulación.....	96
FIG. 3. 98 Ubicación de resultado.....	96

FIG. 3. 99 Ubicación de resultado.....	97
FIG. 3. 100 Ubicación de Hidrograma resultante de nuestra delimitación	97
FIG. 3. 101 Resultados de Caudal Pico y Volumen	98
FIG. 3. 102 Ubicación de tabla del Hidrograma resultante	99

INDICE DE TABLA

Tabla 2. 1 Clases Antecedentes de Humedad	10
Tabla 2. 2 Números de Curva de Escorrentía	11
Tabla 2. 3 Representación tabular de una base de datos	22
Tabla 2. 4 Componentes de conexión en HEC-HMS.....	29
Tabla 2. 6 Tabla métodos de cálculo de sub-cuenca	30
Tabla 2. 6 Descripción de los Métodos Incluidos en el modelo Meteorológico.....	31
Tabla 2. 7 Componentes de los datos de entrada	32

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, para realizar un estudio hidrológico el ingeniero proyectista tiene una metodología de cálculo basada en procesos mecánicos y complejos. Su principal herramienta es AutoCAD, utilizado para extraer los parámetros físicos de la cuenca en estudio, también requiere el uso de Excel para poder realizar los cálculos de transformación de lluvia a caudal, y realizar los respectivos tránsitos de caudales a su punto de cierre, todo esto vuelve el proceso de cálculo lento y tedioso.

Debido a estas multitareas se han creado mejores prácticas utilizando nuevos software, lo cual requiere crear una nueva metodología para realizar estas tareas antes mencionadas aplicadas a la realidad actual de Nicaragua.

Esta metodología, se aplicara con el software HEC-HMS (Hidrologic Engineering Center- Hidrologic Modeling System), lo cual permitirá dar respuestas a las múltiples tareas de un estudio hidrológico de manera eficiente.

HEC-HMS requiere realizar un modelo de cuenca, llamado modelo hidrográfico el cual simula de forma esquematizada la cuenca, y los parámetros físicos de esta, este modelo hidrográfico será construido con sistema de información geográfico (SIG) y como plataforma del SIG será ARCGIS, esta herramienta también será auxiliada por otro software llamado HEC-GEO HMS, que es una herramienta que permitirá convertir el modelo del sistema de información geográfica a el software HEC-HMS.

Seguidamente será importado el modelo hidrográfico al HEC-HMS como un archivo BASIN MODEL anteriormente descrito.

Ya definido el modelo se procede a ingresar los datos de precipitación (Hietograma de lluvia), el cual el programa utiliza para transformar a precipitación a escorrentía.

A continuación se creará el modelo meteorológico el cual será requerido para definir el comportamiento del Hietograma en las sub cuencas, y especificando que sub-cuenca será afectada por este.

También será necesario definir un intervalo de tiempo de un evento, que relacione el modelo de la cuenca con el Hietograma de lluvia, el cual deberá usar la misma fecha y hora del Hietograma de lluvia. Una vez definido el intervalo de tiempo, el proceso de la simulación será dividido en dos etapas, la primera es la creación de simulación, donde se define modelo de cuenca, Hietograma de precipitación, modelo meteorológico y especificaciones de control. La segunda etapa será el cálculo de la simulación, que se obtiene de forma automatizada en el software HEC-HMS, su fin es convertir el evento precipitación a escorrentía a través del modelo hidrográfico.

Con la interfaz gráfica de esta herramienta, se podrá visualizar los resultados de la simulación, permitiendo extraer los Hidrogramas de caudal por cada sub cuenca, los cuales son la finalidad de un estudio hidrológico.

1.2. ANTECEDENTES

En 1964, el Cuerpo de Ingenieros de la armada de los Estados Unidos (US Army Corps) formó el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hidrologic Engineering Center) donde se desarrolló una aplicación poderosa para el modelado hidrológico HEC-HMS (HMS-Hydrologic Modeling System).

Con los años, HEC ha desarrollado y publicado una serie de documentos de métodos técnicos que abordan la amplia gama de tecnologías en análisis de planificación y estudios hidrológicos, definidos según criterios de diseño Estadounidenses. El formato y contenido de los cursos técnicos han evolucionado, los cuales desde el principio han sido uno de los pilares del programa HEC. Con adiciones recientes incluyen soporte GIS. HEC-GEOHMS es quizás el más conocido de estos programas de renombre en la Hidrología Aplicada.

En Nicaragua son ampliamente conocidas estas metodologías y software, pero de forma individual, con el desarrollo de tecnologías en sistemas e información geográfica, es posible articular estas con HEC-HMS, lo que permite dar un salto de la hidrología superficial convencional, a una hidrología superficial automatizada, que mejora la eficiencia de los procedimientos y resultados, restando solo, adecuar estas metodologías a la realidad de nuestro país.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El interés de realizar este tema, surge ante la falta de una metodología que se aplique en Nicaragua sobre hidrología superficial computarizada, haciendo uso de nuevas tecnologías como lo es el Software HEC-HMS 3.5, de manera que sea accesible tanto a estudiantes como a profesionales interesados en la rama de la hidrología superficial como ingenieros civil y agrícolas, que les facilite la elaboración de un estudio hidrológico.

Para el uso de estas herramientas tecnológicas, actualmente no existe una metodología acorde a las condiciones y normas nacionales, es por ello que a través de este trabajo se pretende proporcionar una metodología que satisfaga los requerimientos en los diseños de obras hidráulicas de forma eficiente y eficaz.

Esta nueva práctica aumentará el rendimiento en la elaboración del estudio hidrológico. Cambiando el método convencional, donde delimitar una cuenca puede tardar meses y resulta un trabajo impreciso, por una metodología práctica, eficiente y automatizada, que permite analizar diversas alternativas, ahorrar tiempo de trabajo e invertirlo en búsqueda de soluciones.

Con la implementación de metodología automatizada se pretende mejorar el currículum del ingeniero, teniendo herramientas que es usada internacionalmente. Los resultados del uso de HEC-HMS dentro de la metodología, facilitaran la toma de decisiones como; selección de la ubicación de la obra hidráulica, determinación del tipo y dimensión de la obra, evaluar situaciones de riesgo hídrico, así como estudiar el impacto de las crecientes, todo esto como parte esencial en un diseño hidráulico.

1.4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

1. Desarrollar una Metodología para Realización de un Estudio Hidrológicos con HEC-HMS 3.5 a través de datos obtenidos por Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Definir esquema metodológico general y por procesos
2. Crear una metodología de programas especializados para realizar estudios hidrológicos aplicados a la realidad en Nicaragua
3. Modelar una cuenca hidrológica con la metodología propuesta
4. Crear material audio visual de la metodología aplicada

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS BÁSICO DE HIDROLOGÍA

2.1.1. HIDROLOGIA

Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

En la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua¹.

2.1.2. CUENCA HIDROLÓGICA

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde si fueran impermeable las gotas de lluvia que caen sobre ella, tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida².

2.1.3. CAUCE

El cauce es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas³.

2.1.4. PRECIPITACION

Precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua⁴.

¹ Fundamento de la hidrología de superficie pag.13

² Fundamento de la hidrología de superficie pag.19

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Cauce>

⁴ Fundamento de la hidrología de superficie pag.113

2.1.5. ESCORRENTIA

El escurrimiento o escorrentía se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca⁵.

2.1.6. MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN A CAUDAL

a) Método número de curva

El método número de curva de escorrentía, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelo (ahora el Servicio de Conservación de Recursos Naturales), es quizás la herramienta más comúnmente usada para estimación de volúmenes de escorrentía. Este método será usado para cuencas con áreas de drenaje menores de 8.1 km². Este método es un procedimiento para abstracciones hidrológicas donde la profundidad de la escorrentía (profundidad efectiva de lluvia) está en función de la profundidad de lluvia total y un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, o CN. El número de curva varía en el rango de 1 a 100, siendo una función de las siguientes propiedades de producción de escorrentía de la cuenca:

- Tipo de suelo hidrológico
- Uso de la tierra y tratamiento
- Condición superficial del suelo
- Condiciones de humedad antecedente

La abstracción inicial consiste principalmente de intercepción, infiltración, y almacenaje de superficie, todo lo cual ocurre antes de que comience la escorrentía.

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

⁵ Fundamento de la hidrología de superficie pag.27

Donde:

Q = escorrentía (in.)

P = precipitación (pulgadas.)

I_a = abstracción inicial (pulgadas.)

S = retención máxima potencial después que comienza la precipitación (pulgadas)

La cual está físicamente sujeta a la restricción que **P ≥ I_a**

La abstracción inicial (I_a) incluye todas las pérdidas antes de iniciar la escorrentía superficial: depresión de almacenaje, intercepción, evaporación, e infiltración, I_a que puede ser altamente variable pero el SERVICIO DE CONSERVACION DE RECURSOS NATURALES – NATURAL RESOURCE CONSERVATION SERVICES (NRCS) ha encontrado que puede ser empíricamente aproximado por:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

Esta relación fue obtenida basada en datos de lluvia – escorrentía de cuencas pequeñas experimentales. Por lo que la ecuación anterior se reduce a:

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

La cual está sujeta a la restricción que **P ≥ 0.2 S**, esta restricción evita resultado de Q resultara negativo.

Finalmente, S es una función del suelo de la Cuenca y condiciones de cobertura como es representado por el número de curva de escorrentía (CN) en un rango de 1 a 100 en la siguiente forma:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Por lo tanto, la escorrentía puede ser calculada usando solamente el número de curva y precipitación. Los números de curva son determinados por el tipo de

cobertura de tierra, condición hidrológica, antecedentes de condiciones de humedad (ACH), y grupo hidrológico de suelo (GHS).

Frecuentemente un único número de curva sopesado de área es usado para representar una cuenca consistente de sub-áreas con diferente número de curvas. Mientras esa aproximación es aceptable si los números de curvas son similares, si la diferencia en números de curvas es mayor que 5 el uso de un número de curvas pesado reduce significativamente la cantidad estimada de escorrentía de la cuenca. Esto es especialmente problemático con combinaciones permeable/impermeable: “la combinación de áreas impermeables con áreas permeables puede implicar una pérdida inicial significativa que puede no tomar lugar.” (Servicio de Conservación de Suelo, 1986) Por lo tanto, la escorrentía de diferentes sub-áreas debe ser calculada separadamente y después combinada o pesada apropiadamente. En un mínimo, la escorrentía de áreas permeables e impermeable conectadas directamente deben ser estimadas separadamente para lluvias menores de aproximadamente 4 pulgadas. (NJDEP, 2004)

El método del número de curva es menos preciso para lluvias que generan menos de 0.5 pulgadas de escorrentía y el Servicio de Conservación de Suelos (1986) recomienda el uso de otro procedimiento como una revisión para estas situaciones.

Por ejemplo, la profundidad de lluvia que resulta en 0.5 pulgadas de escorrentía varía de acuerdo a la CN; para áreas impermeables (CN de 98) es un 0.7-pulgadas de lluvia, para “Espacio Abierto” en buena condición en suelos C (CN de 74) es 2.3 pulgadas, para bosques en buena condición en suelos B (CN de 55) es sobre 3.9 pulgadas.

Tabla 2.1 Clases Antecedentes de Humedad

Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS		
Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	sobre 1.1	Sobre 2.1

(Fuente: Soil conservation Service, 1972, tabla 4.2 pag. 4.12)

Tabla 2. 2 Números de Curva de Escorrentía ⁶

Números de Curva de Escorrentía para Usos Selectos de Tierra Agrícola, Sub-urbana y Urbana (condiciones antecedentes de humedad, II, I_a= 0.2 x S)					
Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del Suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones optimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o mas	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocio (85% impermeable)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
residenciales:					
tamaño promedio del lote	porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	69	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
	pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

⁶ Ref. MANUAL PARA REVISION ESTUDIOS HIDROTÉCNICOS DE DRENAJE MAYOR pag.20

b) Hidrógrama adimensional del SCS

El Hidrograma adimensional del SCS (Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU.) es un Hidrograma unitario sintético en el cual se expresan los caudales en función del caudal pico, Q_p y los tiempos en función del tiempo al pico T_p .

Los valores de Q_p y T_p se estiman basándose en el Hidrogramas unitario triangular del SCS. Dada la siguiente formula:

$$QP = \frac{0.208 * Q * A}{Tp}$$

Donde

Q: es precipitación efectiva en mm

A: es el área en kilómetros cuadrados

T_p : tiempo pico Horas

Q_p : caudal pico en m³/s

$$Tp = \frac{\Delta t}{2} + L$$

Δt = es intervalo de la duración de la lluvia, = 0.4 x L, horas

L= tiempo de retardo, minutos, horas, donde L=0.6 TC

c) Calculo de intensidad

La intensidad media (mm/h) de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se podrá obtener por medio de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{A}{(tc + d)^b}$$

Donde:

I (mm/h): La intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno.

a,d,b: Parámetros que varían para las curvas que se generan en cada estación hidrometeorológica.

Tc: Tiempo concentración en minutos

Cuando se tiene el gráfico de curvas IDF, en el eje de las abscisas se encuentra el tiempo de duración en minutos y en el de las ordenadas la intensidad de la lluvia en mm/hora, por lo solamente será necesario determinar el tiempo de duración o tiempo de concentración, interceptar la curva del tiempo de retorno deseado y verificar la intensidad de lluvia correspondiente⁷

d) Método del bloque alterno

El método de bloque alterno es una forma simple para desarrollar un Hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad duración y frecuencia. El Hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2 \Delta t$, $3\Delta t$ y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse para cada unidad adicional de tiempo Δt . Este incremento o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la izquierda del bloque central para formar el Hietograma de diseño⁸.

⁷ MANUAL PARA REVISION ESTUDIOS HIDROTÉCNICOS DE DRENAJE MAYOR pag.22

⁸ Hidrología aplicada – Ven Te Chow pag.477

e) Tiempo de concentración-definición

Es el tiempo transcurrido entre el final del Hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el **T_c** como el tiempo comprendido entre el centroide del Hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del Hidrograma de escurrimiento directo. Además se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores. Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este tiempo son las siguientes:

⇒ **Kirpich**: Aplicable a cuencas pequeñas de agricultura, con áreas menores de 80ha.

$$T_c = \frac{0.06628L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

En el cual;

T_c: Tiempo de concentración, en horas

L: Longitud del río principal desde la divisoria hasta la descarga, en kilómetros.

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima, en metros por metros.

⇒ **Temez**:
$$T_c = 0.126 \left(\frac{L}{S^{0.35}} \right)^{0.75}$$

⇒ **Pasini**:
$$T_c = 0.023 \left(A \frac{L}{S} \right)^{0.5}$$

⇒ **Pizarro**:
$$T_c = 13.548 \left(\frac{L^2}{H} \right)^{0.77}$$

Para el caso de cuencas pequeñas, en Nicaragua se ha venido aplicando, la fórmula propuesta por el Ing. Eduardo Basso, el método del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA)

$$t_c = 3.28 \left(\frac{3.28L}{\sqrt{S_c}} \right)^{0.77}$$

Donde:

- T_c:** Tiempo de concentración (min)
- L:** Longitud del cauce principal en (Km)
- S_c:** Pendiente del cauce principal (m/m)
- A:** Área de la cuenca (Km²)
- H:** Diferencia de alturas (m)

Si el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno fuera relativamente apreciable, como es el caso de la rasante de la carretera y de los márgenes que a ella vierten, la fórmula anterior no resulta aplicable. Si el recorrido del agua sobre la superficie fuera menor de treinta minutos, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de cinco minutos. Este valor se podrá aumentar de cinco a diez minutos al aumentar el recorrido del agua por la rasante de treinta (30) a ciento cincuenta (150) m.⁹

f) Tránsito de caudales

↗ Método Muskingum

Para realizar el método se deberá tener presente el método Muskingum el cual sirve como base para poder realizar el método de Muskingum- Cunge.

El método de Muskingum fue presentado por McCarthy (1938) y maneja relaciones caudal almacenamiento variables. Este método modela el

⁹ MANUAL PARA REVISION ESTUDIOS HIDROTÉCNICOS DE DRENAJE MAYOR pag.23

almacenamiento en un cauce mediante la combinación de dos tipos de almacenamientos.

Un almacenamiento prismático, formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo del cauce prismático.

Un almacenamiento en cuña, formado por la diferencia entre los caudales de entrada y salida, o bien, por la pendiente de la lámina de agua en el tramo considerado.

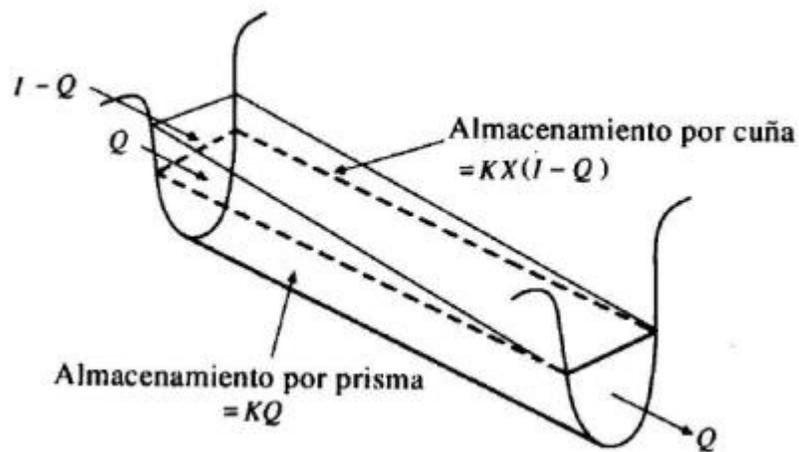


Fig.2. 1 Esquema de cuña de almacenamiento de un cauce

Durante el avance de la avenida el caudal de entrada es mayor que el de salida y se forma lo que se denomina cuña positiva y durante la recesión el caudal de entrada es menor al caudal de salida, formándose una cuña negativa.

El volumen de almacenamiento prismático es proporcional al caudal de salida, ya que se supone que el caudal de salida es proporcional al área de la sección del cauce:

$$S_p = KQ$$

El valor de K se considera igual al tiempo de tránsito de la onda de avenida a través del tramo. El volumen de almacenamiento por cuña es proporcional a la diferencia entre las entradas y las salidas:

$$S_c = KX(I - Q)$$

Donde X es un factor de ponderación tal que puede tomar valores entre 0 y 0,5, en función de la forma de almacenamiento en cuña. Cuando X = 0, no existe cuña, no hay curva de remanso y el almacenamiento en el cauce será tipo embalse: S = KQ. En este caso se produciría la máxima atenuación posible. Cuando X = 0,5; se dice que la cuña está completamente desarrollada y no existiría atenuación alguna del pico.

En cauces naturales muy caudalosos y de baja pendiente, X suele ser próximo a 0, y será más cercano a 0,5 cuanto más pendiente y menos caudal tenga el cauce. En ríos en general poco caudalosos, se puede tomar como media un valor de 0,3 a 0,35.

El almacenamiento total en el tramo de cauce considerado sería entonces:

$$S = KQ + KX(I - Q)$$

Que puede reordenarse como:

$$S = K[XI + (1 + X)Q]$$

Esta ecuación representa el modelo lineal de almacenamiento para la propagación de avenidas en cauces por el método de Muskingum. Si analizamos el volumen de almacenamiento en dos instantes, 1 y 2, al comienzo y al final de un intervalo de tiempo Δt , éstos pueden determinarse como:

$$S_1 = K[XI_1 + (1 + X)Q_1]$$

$$S_2 = K[XI_2 + (1 + X)Q_2]$$

La variación en el almacenamiento a través del tramo sería la diferencia entre ambos almacenamientos:

$$S_1 - S_2 = K\{[XI_2 + (1 + X)Q_2] - [XI_1 + (1 + X)Q_1]\}$$

Utilizando la ecuación de continuidad, la variación en el almacenamiento es igual a:

$$S_2 - S_1 = \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t$$

Sustituyendo obtenemos:

$$K[X(I_2 - I_1) + (1 - X)(Q_2 - Q_1)] = \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t$$

Y despejando Q2 nos queda:

$$Q_2 = \frac{KX - \frac{\Delta t}{2}}{K(1 - X) + \frac{\Delta t}{2}} I_1 + \frac{-KX + \frac{\Delta t}{2}}{K(1 - X) + \frac{\Delta t}{2}} I_2 + \frac{K(1 - X) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1 - X) + \frac{\Delta t}{2}} Q_1$$

O bien:

$$Q_2 = C_1 I_1 + C_2 I_2 + C_3 Q_1$$

Donde:

$$C_1 = \frac{KX - \frac{\Delta t}{2}}{K(1 - X) + \frac{\Delta t}{2}}; C_2 = \frac{-KX + \frac{\Delta t}{2}}{K(1 - X) + \frac{\Delta t}{2}}; C_3 = \frac{K(1 - X) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1 - X) + \frac{\Delta t}{2}}$$

Se verifica que la suma de C1, C2 y C3 debe ser igual que 1 ¹⁰.

La correcta aplicación de este método requiere elegir correctamente el Δt , donde deberá encontrarse dentro esta relación $K > \Delta t > 2 * KX$ ¹¹.

↪ Método de Muskingum- Cunge

Cunge combinó métodos hidráulicos con la simplicidad del método de Muskingum. Calcula las dos constantes utilizadas en el método de Muskingum, K y X, mediante parámetros hidráulicos del cauce

$$K = \frac{\Delta x}{c}$$

$$X = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right]$$

$$C = \left(\frac{1.49 * S^2}{N} \right) * \left(\frac{5}{3} \right) * y^{2/3}$$

Δx : Longitud del tramo del cauce considerado (m)

C: "Celeridad de la onda" m/s

S_0 : Pendiente media del cauce (adimensional)

Q: Caudal (m³/s)

B: Anchura del cauce (m)

y: Tirante (m)

N: Número de Manning (m)

¹⁰ MANUAL PARA REVISION ESTUDIOS HIDROTÉCNICOS DE DRENAJE MAYOR pag.27

¹¹ http://hidrologia.usal.es/temas/Transito_Hidrogramas.pdf_pag6

$$y = \left(\frac{N * Q}{1.49 * S^2 * B} \right)$$

2.2. CONCEPTOS SISTEMA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG

2.2.1. ¿QUE ES SIG?

SIG es un sistema de hardware y software para gerenciamiento y visualización de datos espaciales

De modo simplificado, un SIG combina layers (niveles de información) de un lugar de modo de ofrecer una mejor comprensión sobre este lugar. La selección de los layers a ser combinados, depende del propósito: encontrar el mejor local para una nueva tienda, analizar daños ambientales, observar crímenes similares en una ciudad para detectar patrones, y etc

También SIG es un sistema de hardware, software y datos que facilita el desarrollo, modelamiento y visualización de datos georreferenciados multivariados

Aunque algunos ejemplos de uso de los SIG puedan ser encontrados en las definiciones, serán listadas aquí algunas tareas ejecutadas por SIG.

- ⇒ Organización de datos: almacenar datos de modo de substituir una mapoteca analógica por una mapoteca digital posee ventajas obvias, entre las cuales pueden ser citadas una reducción en el espacio físico; el fin del deterioro de los productos en papel; la pronta recuperación de los datos; la posibilidad de ser producidas copias sin pérdida de calidad; y diversas otras.
- ⇒ Visualización de datos: la posibilidad de seleccionar los niveles de información deseados, montándose mapas temáticos de acuerdo con el contexto supera cualquier producto en papel. A pesar de subestimada, la capacidad de análisis de lo ojo humano es esencial en un estudio que involucra la información espacial.

- ⇒ Producción de mapas: en general los SIG poseen herramientas completas para la producción de mapas, tornando bastante simples la inclusión de grillas de coordenadas, escalas gráfica y numérica, leyenda, norte y textos diversos, siendo mucho más indicados para la cartografía del que los simples sistemas CAD.
- ⇒ Consulta espacial: posiblemente la función más importante de los SIG. La posibilidad de preguntar cuáles son las propiedades de un determinado objeto, o en cuales lugares tienen tales propiedades, Esto vuelve la interacción entre el usuario y los datos extremadamente dinámicos y poderosos.
- ⇒ Análisis espacial: consiste en el uso de un conjunto de técnicas de combinación entre los niveles de información, de modo de evidenciar patrones dentro de datos anteriormente ocultos al analista. es una manera de inferir significado a partir de los datos.
- ⇒ Previsión: Uno de los propósitos de los SIG es el de verificación de escenarios, modificándose los parámetros de manera de evaluar como los eventos, naturales o no, ocurrirían si las condiciones fuesen diferentes, obteniendo un conocimiento más general de los objetos o área en estudio.

2.2.2. ¿QUÉ ES UN MAPA?

Un mapa representa las características del mundo real, utilizando puntos, líneas y áreas. Para describir las características de los mapas se utilizan símbolos y etiquetas. Tales características y como son representadas, son determinadas por la persona que hace los mapas. Un mapa en especial, es solo uno de una gran cantidad de tipos de mapas que pueden producirse para la misma situación o de los mismos datos.

Un mapa puede ser ideado solamente como un croquis de la realidad en el que pueden ser representadas solo características significativas del tema que queremos estudiar

2.2.3. BASE DE DATOS

Una característica de los SIG es trabajar con datos que poseen un componente espacial (una posición geográfica definida) y un componente no-espacial (sus atributos: propiedades y valores) implica que un usuario debe tener conocimiento de las herramientas de diseño (parte gráfica) y de tablas y relacionamientos (banco de datos). En este contexto, cabe aquí una definición de algunos términos que serán útiles.

- ↪ **Datos:** son un conjunto de registros distintos y objetivos, relativos a eventos. Los datos son los registros en bruto, Registros detallados que existen en grandes volúmenes en toda organización. Una búsqueda mineral, corresponde aquí los que se han recolectado en el campo.
- ↪ **Información:** tiene significado son "datos dotados de relevancia y propósito", representadas por la formalización ordenada y útil de los datos. Típicamente, información son datos obtenidos a través de un procesamiento y presentados de una manera que sea relevante al receptor.
- ↪ **Conocimiento:** es la capacidad de transformar información en resultado de valor. Las informaciones son creadas a partir de una base de datos y los conocimientos, a su vez, son creados a partir de la base de información en función de los resultados de valor.

Aunque existan diversos modelos de bancos de datos, como por ejemplo los bancos de datos jerárquicos, las relacionales en los orientados a objeto, en general el modelo relacional es una manera conveniente de representar la realidad, y será descrito aquí por este motivo.

Un banco de datos relacional ésta compuesto por tablas, en la cuales se almacena la información sobre objetos. El contenido de una línea de la tabla, o registro, representa un objeto con todas sus características, y por tanto cada objeto está relacionado a un (y solo a un) registro. Cada columna, o campo, se refiere a una propiedad o atributo de este objeto, y aún es posible que sean establecidos relacionamientos entre diferentes tablas, basados en un campo común entre las

mismas, de modo que sea posible consultar atributos de un objeto que estan almacenados en tablas diferentes.

Tabla 2. 3 Representación tabular de una base de datos

Ponto	X	Y	TipoDeSolo
1	452215	7845232	A
2	456256	7845212	B
3	486423	7845985	B
4	452365	7844956	C

campos

registro

relacionamento

Ponto	Coloração
1	cinza
2	marrom
3	vermelho
4	amarelo

2.2.4. PROYECCIONES

La representación cartográfica del globo terrestre, ya sea considerado esté como una esfera o una elipsoide, supone un problema, ya que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla e incluso de llegar a representarla fielmente, ya que la superficie de una esfera no es desarrollable en su conversión a un soporte papel (a una representación plana).

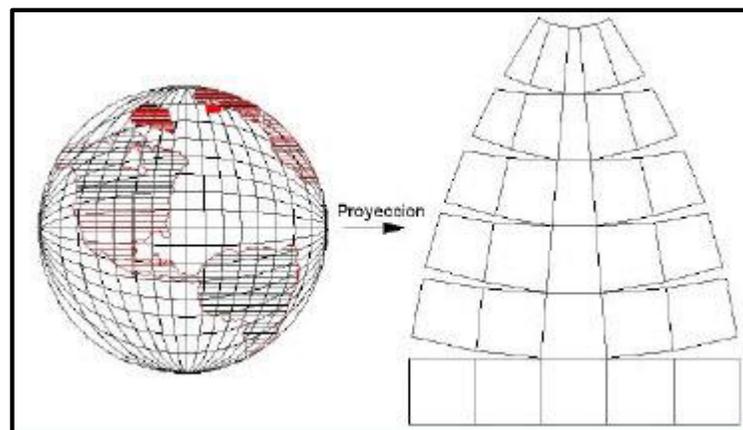


Fig.2. 2 Conceptualización de proyección plana

Las proyecciones estudian las distintas formas de desarrollar la superficie terrestre minimizando, en la medida de lo posible, las deformaciones sufridas al representar la superficie terrestre.

En todos los casos conservan o minimizan los errores, dependiendo de la magnitud física que se desea conservar; su superficie, las distancias, los ángulos, etc., teniendo en cuenta que únicamente se podrá conservar una de las magnitudes anteriormente descritas y no todas a la vez:

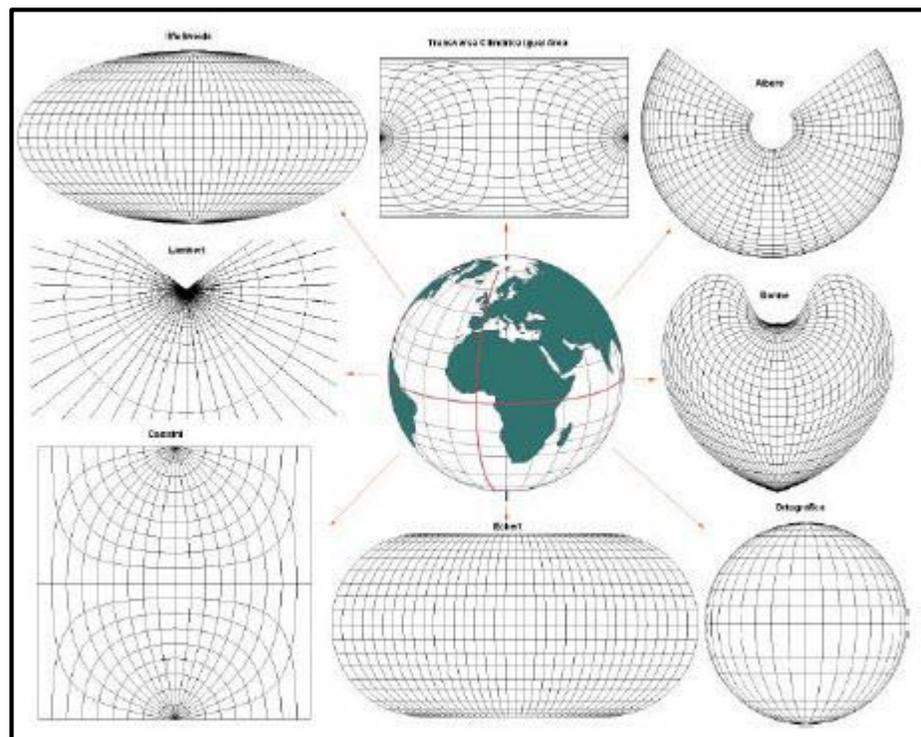


Fig.2. 3 Tipos de proyecciones

Se recurre a un sistema de proyección cuando la superficie que estamos considerando es tan grande que tiene influencia la esfericidad terrestre en la representación cartográfica. Esta representación de la tierra entra dentro del campo de la **Geodesia**.

a) Proyecciones planas

Cuando la superficie a representar es pequeña y por lo tanto la esfericidad terrestre no va a influir en la representación cartográfica, por ejemplo en pequeños levantamientos topográficos, se recurre a su representación de forma plana, de forma que todos los puntos representados están vistos desde su perpendicular:

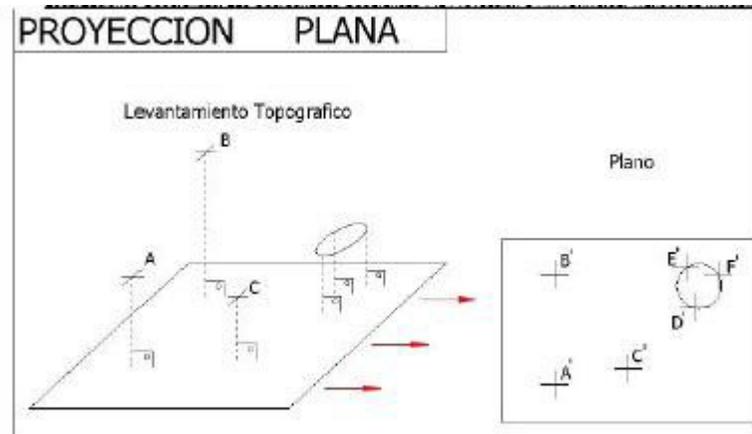


Fig.2. 4 Proyección de objetos a un plano

A la representación cartográfica obtenida, ya sea en soporte papel o en soporte magnético, se le denomina "plano". Esta representación de la superficie, generalmente en el sistema de planos acotados, está dentro del campo de la Topografía, la Agrimensura, etc.

b) Proyecciones geodésicas

Las proyecciones geodésicas son proyecciones en las que la esfericidad terrestre tiene repercusión importante sobre la representación de posiciones geográficas, sus superficies, sus ángulos y sus distancias.

El sistema UTM es un sistema de proyección geodésica ideado en 1569 por Gerhard Kremer, denominado Mercator al latinizar su apellido. Es un sistema en el cual se construye geoméricamente el mapa de manera que los meridianos y paralelos se transformen en una red regular, rectangular, de manera que se conserven los ángulos originales.

c) La proyección Mercator transversal

La Proyección **UTM** conserva los ángulos pero distorsiona todas las superficies sobre los objetos originales así como las distancias existentes.

Otra de las formas de clasificar a las proyecciones en función de la figura geométrica empleada al proyectar. La proyección **UTM** está dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial para proyectar las situaciones geográficas.

El sistema de proyección **UTM** toma como base la proyección **MERCATOR**. Este es un sistema que emplea un cilindro situado de forma tangente al elipsoide en el ecuador:

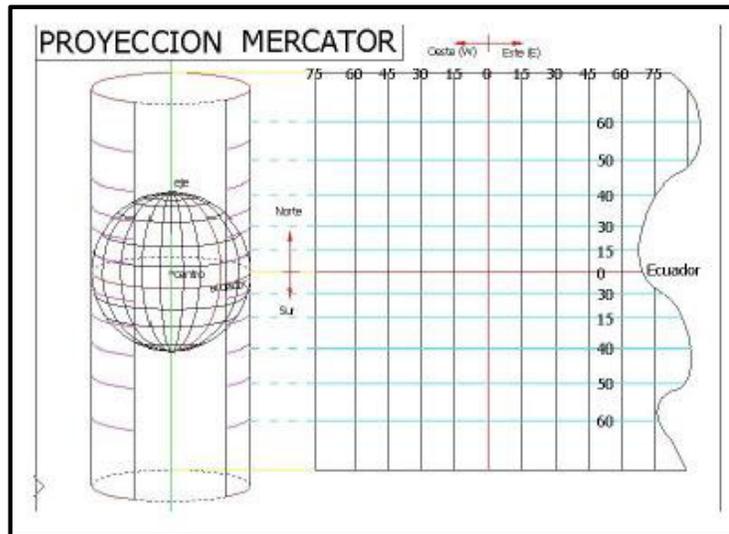


Fig.2. 5 Proyección de mercador, proyección tipo cilíndrica

La red creada hace que tanto meridianos como paralelos formen una cuadrícula oblicua, "grid" o rejilla, de manera que una recta oblicua situada entre dos paralelos forma un ángulo constante con los meridianos.

Como ejemplo de esta proyección se muestra el desarrollo de todo el globo terráqueo en la proyección mercator:

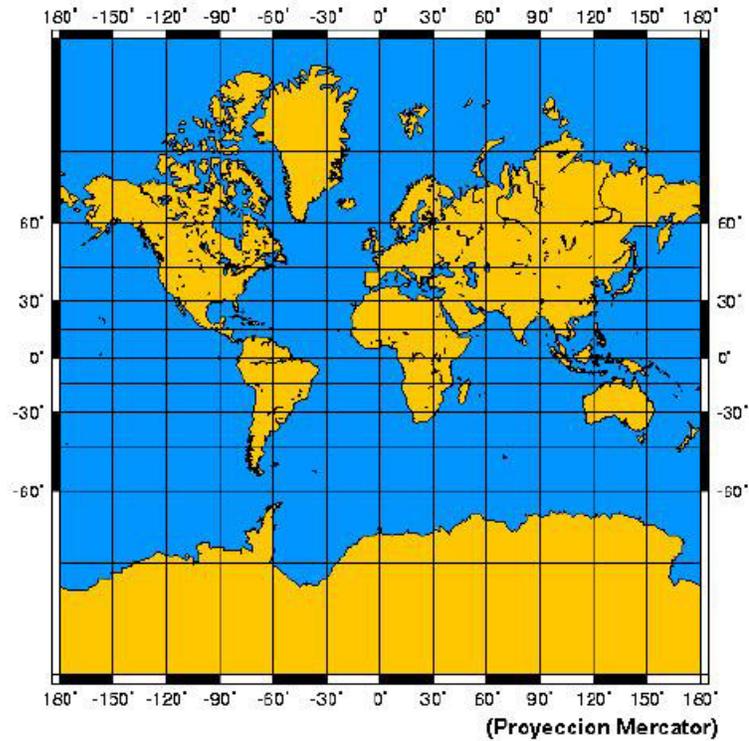


Fig.2. 6 Representación de proyección Mercator en Sistema Geográfico

La proyección Transversal Mercator (Utm), toma como base la proyección Mercator, sin embargo la posición del cilindro de proyección es transversal respecto del eje de la tierra:

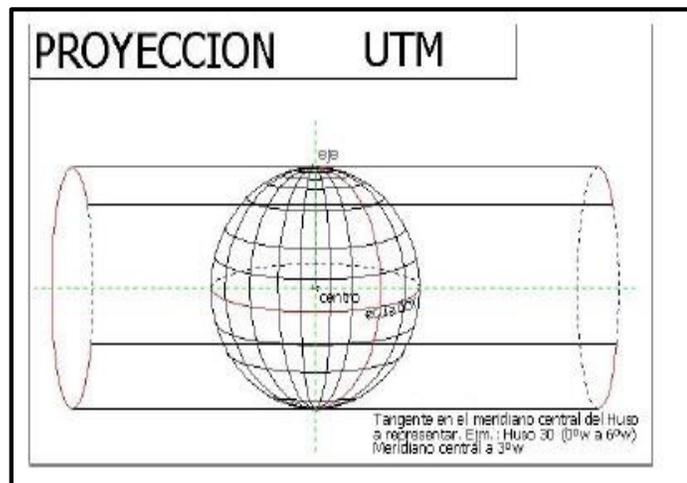


Fig.2. 7 Proyección cilíndrica, unidades transversales de Mercator

Se define un uso horario como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Cada huso puede contener 3°, 6° u 8°. El Sistema UTM emplea Husos de 6° de Longitud.

La proyección UTM genera husos comprendidos entre meridianos de 6° de Longitud, generándose en cada huso un meridiano central equidistante 3° de longitud de los extremos de cada huso. Los husos se generan a partir del meridiano = de Greenwich, 0° a 6° E y W, 6° a 12° E y W, 12 a 18° E y W. Esta red creada, ("grid"), se forma huso a huso, mediante el empleo de un cilindro distinto para generar cada uno de los husos, siendo cada uno de los cilindros empleados tangente al meridiano central de cada huso, cuya longitud es de 3°, o múltiplo de esta cantidad con 6° de separación.

2.2.5. HEC-GEO HMS

HEC-Geo HMS es una barra de herramientas de dominio público desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. en colaboración con ESRI y que funciona en Windows bajo el software ArcGis 10.2.2 de ESRI.

Esta herramienta es una implementación de la tecnología SIG a la Ingeniería Hidrológica, proporciona la conexión para trasladar la información espacial a los modelos hidrológicos, con el uso de HEC-Geo HMS se obtiene las características físicas de una cuenca hidrográfica para posteriormente estimar los parámetros hidrológicos, que serán los datos de entrada para HEC-HMS.



Fig.2. 8 Barra de GEOHMS utilizada en ARCGIS

2.3. CONCEPTOS HEC-HMS

2.3.1. ¿QUE ES HEC-HMS?

El Sistema de Modelación Hidrológica (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos. El software incluye muchos procedimientos de análisis hidrológico tradicional tales como la infiltración, Hidrogramas unitarios, y el enrutamiento hidrológico. HEC-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua incluyendo la evapotranspiración, la fusión de la nieve, y la contabilidad de la humedad del suelo. Las capacidades avanzadas también se proporcionan para la simulación de la escorrentía cuadrículada usando la escorrentía cuasi-distribuido transformación lineal (ModClark). Herramientas de análisis suplementarios se proporcionan para la estimación de parámetros, un análisis en profundidad de la zona, el flujo de pronóstico, erosión y transporte de sedimentos, nutrientes y la calidad del agua.

El software dispone de un entorno de trabajo totalmente integrado que incluye una base de datos, los servicios públicos de entrada de datos, motor de cálculo, y los resultados de herramientas de informes. Una interfaz gráfica de usuario permite la circulación fluida de usuario entre las diferentes partes del software. Resultados de la simulación se almacenan en HEC-DSS (sistema de almacenamiento de datos) y se pueden utilizar en conjunción con otro software para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, la previsión de flujo, el futuro impacto urbanización, diseño aliviadero del embalse, la reducción de daños por inundaciones, regulación de llanura de inundación, y operación de los sistemas.

2.3.2. COMPONENTES DE HEC-HMS

a) Componentes del modelo de la cuenca

El modelo de la cuenca representa la cuenca física. El usuario desarrolla el modelo de la cuenca incluyendo y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir procesos físicos que se producen en la cuenca.

Tabla 2. 4 Componentes de conexión en HEC-HMS

Elemento Hidrológico	Descripción
Subcuenca (subbasin)	Se usa para representar la cuenca física. Dada la precipitación, la salida de agua de la subcuenca se calcula restando las pérdidas a la precipitación y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca, sumando finalmente el caudal base.
Tramo (Reach)	Se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca, definidos ambos en el modelo de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del Hidrograma de entrada.
Union (Junction)	Se usa para sumar flujos de agua que provienen de elementos hidrológicos situados aguas arriba de la unión. La respuesta es simplemente la suma de los Hidrogramas de todos los elementos conectados a la unión.
Fuente (Source)	Se usa para introducir agua dentro del modelo de la cuenca. Este elemento no tiene entrada y la salida está definida por el usuario.
Sumidero (Sink)	Se usa para representar el punto de salida de la cuenca. La entrada puede provenir de uno o más elementos situados aguas arriba del sumidero. Este elemento no tiene salida.
Deposito (Reservoir)	Se usa para modelar la retención y atenuación de un Hidrograma causado por un embalse o depósito de retención. La entrada puede provenir de uno o varios elementos hidrológicos situados aguas arriba del depósito. La salida puede calcularse de 2 maneras: el usuario define una relación almacenamiento-salida, cota-almacenamiento-salida ó cota-área-salida o bien el usuario define una relación cota-almacenamiento o cota-área y una o más estructuras de salida.
Derivación (Diversion)	Se usa para modelar un flujo de agua que abandona un tramo de cauce. La entrada proviene de uno o varios elementos de aguas arriba. La salida de este elemento consiste un flujo derivado y otro no derivado (que sigue por el cauce). El flujo derivado se define por el usuario. Tanto los flujos derivados como no-derivados se pueden conectar aguas abajo con otros elementos.

Los métodos de cálculo que se usan en los tramos son los relativos a la propagación de caudales y son:

- Onda cinemática
- Retardo
- Puls modificado (embalse a nivel)
- Muskingum
- Muskingum-Cunge

Tabla 2. 5 Tabla métodos de cálculo de sub-cuenca

Tipo de Modelo	Método
Pérdidas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déficit y tasa constante (DC) ▪ Inicial y tasa constante ▪ Exponencial ▪ Numero de curva CN SCS ▪ Green y Ampt ▪ Consideración de la humedad del suelo (SMA) ▪ DC por celdas ▪ CN SCS por celdas ▪ SMA por celdas
Transformación lluvia-caudal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hidrograma Unitario (HU) de Clark ▪ Onda cinemática ▪ Mod Clarkk ▪ HU SCS ▪ HU Snyder ▪ HU Especificado por el Usuario ▪ Hidrograma en S del usuario
Flujo Base	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recesión restringida ▪ Constante mensual ▪ Deposito lineal ▪ Recesión

b) Componentes del modelo meteorológico

El modelo meteorológico calcula la entrada de precipitación que requiere un elemento de sub cuenca. El modelo meteorológico puede usar precipitación puntual o por celdas y puede modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración. Los métodos de evapotranspiración incluyen el método constante mensual y el de Priestle y Taylor. Un método de evapotranspiración se requiere únicamente cuando se desee una respuesta de la cuenca continua o a largo plazo.

Tabla 2. 6 Descripción de los Métodos Incluidos en el modelo Meteorológico

Métodos de Precipitación	Descripción
Tormenta asociada a frecuencia	Se usa para desarrollar un evento de precipitación donde los volúmenes correspondientes a distintas duraciones tienen una probabilidad de excedencia consistente.
Pluviómetros con pesos	Este método aplica pesos definidos por el usuario a los pluviómetros que el usuario desee.
Precipitación por celdas	Este método permite usar productos con precipitación por celdas, como por ejemplo los datos de Radar.
Inversa de la distancia	Se usa para calcular la precipitación media en una subcuenca aplicando una ponderación basada en la inversa de la distancia al cuadrado.
Tormenta del SCS	Este método aplica una distribución temporal tipo SCS a un volumen total de lluvia en 24 horas.
Hietograma especificado	Este método aplica un hietograma definido por el usuario a un elemento de subcuenca.
Tormenta de proyecto estándar	Este método aplica una distribución temporal a un volumen índice de precipitación (este índice se extrae de un Manual del Corps of Engineers y es válido sólo para Estados Unidos. Está actualmente en desuso).

c) Componentes de las especificaciones de control

Las especificaciones de control se refieren al tiempo de duración de la simulación, incluyendo también fecha y hora de comienzo y fin del proyecto e intervalo de cálculo

d) Componentes de la entrada de datos

Datos de series temporales, pares de datos y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno en los modelos de la cuenca y meteorológicos. En la Tabla 4 se presenta una lista de los datos de entrada. Los datos de entrada pueden introducirse a mano o bien pueden referenciarse a un registro en un fichero HEC-DSS (HEC-Data Storage System).

Todos los datos por celdas deben referenciarse a un registro HEC-DDS existente.

Tabla 2. 7 Componentes de los datos de entrada

Series temporales de datos	Pares de datos	Datos por celdas
Pluviómetros Medidores de caudal Limnómetros Termómetros Medidores de radiación solar Medidores de coeficientes de cultivo	Funciones almacenamiento-caudal Funciones cota-almacenamiento Funciones cota-área Funciones cota-caudal Funciones caudal-derivación Secciones transversales Hidrogramas unitarios Curvas de porcentaje Funciones de fusión de nieve Patrones de tasa de fusión de nieve	Precipitación Temperatura Radiación solar Coeficiente de cultivo Capacidad de almacenamiento Tasa de percolación Coeficientes de almacenamiento Déficit de humedad Área impermeable Número de curva CN SCS Cotas Equivalente de agua de nieve Contenido de agua Tasa de fusión de nieve

2.3.3. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario consiste en una barra de menú, barra de herramientas y cuatro paneles principales en el cual el usuario podrá apreciar de forma gráfica los componentes de programa

a) Explorador de cuenca

El explorador de cuenca está desarrollado para dar un rápido acceso a todos los componentes de un proyecto HEC-HMS. Se puede navegar del modelo de la cuenca a un pluviómetro y después al modelo meteorológico sin abrir ventanas

adicionales. El explorador de cuenca está dividido en 3 partes: “Components”, “Compute” y “Results”. La estructura jerárquica de los componentes del modelo, tales como el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico, las especificaciones de control, etc., está disponible en la pestaña “Components”. Los componentes del modelo están organizados en carpetas individuales. Cuando se selecciona un componente, el explorador de cuenca lo expande para mostrar los subcomponentes. Los signos más (+) y menos (-) pueden usarse para expandir o colapsar el explorador. Desde la pestaña “Compute” puede accederse a las simulaciones, optimizaciones y análisis. En la pestaña “Results” encontraremos todos los resultados del proyecto. Incluso los resultados de diferentes simulaciones pueden compararse en un mismo gráfico o tabla.

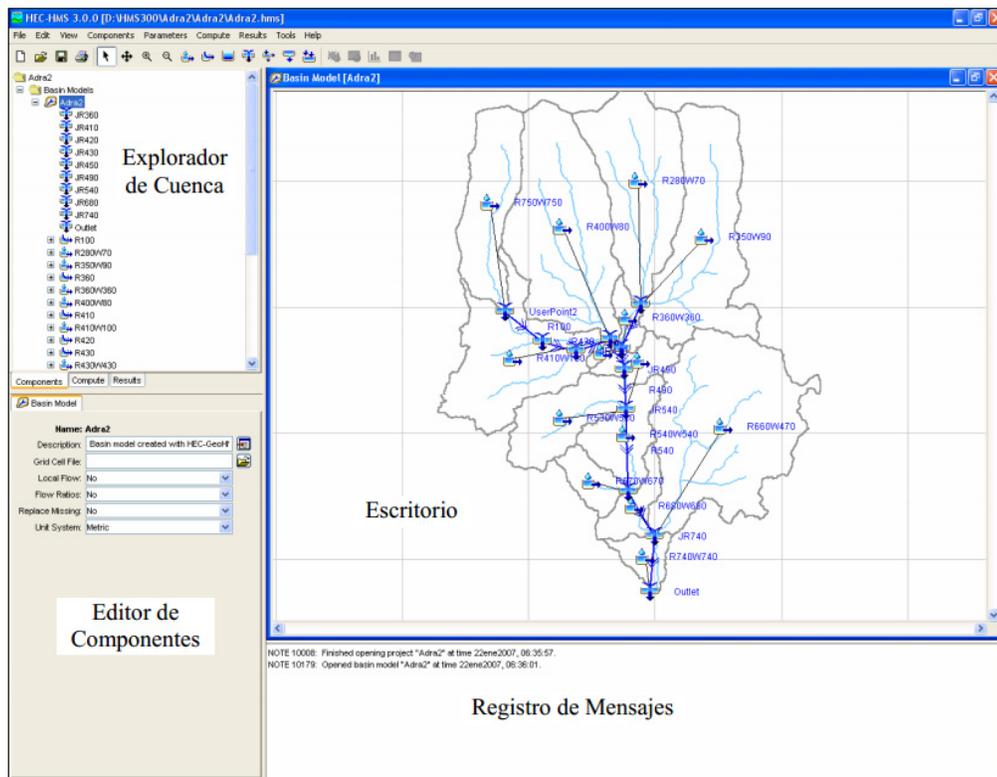


Fig.2. 9 Interfaz de Usuario HEC-HMS

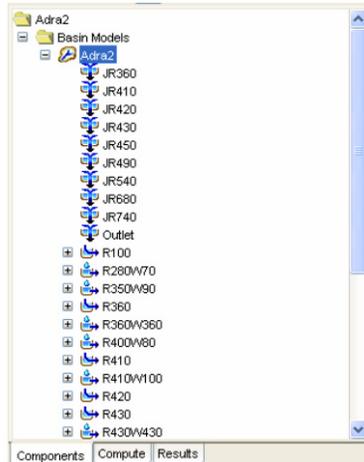


Fig.2. 10 Explorador de Cuenca

b) Editor de componentes

Cuando un componente o subcomponente se activa en el explorador de cuenca haciendo clic en el nombre del componente, se abre un editor de componente específico. Todos los datos requeridos por los componentes se ingresan en el editor de componentes.

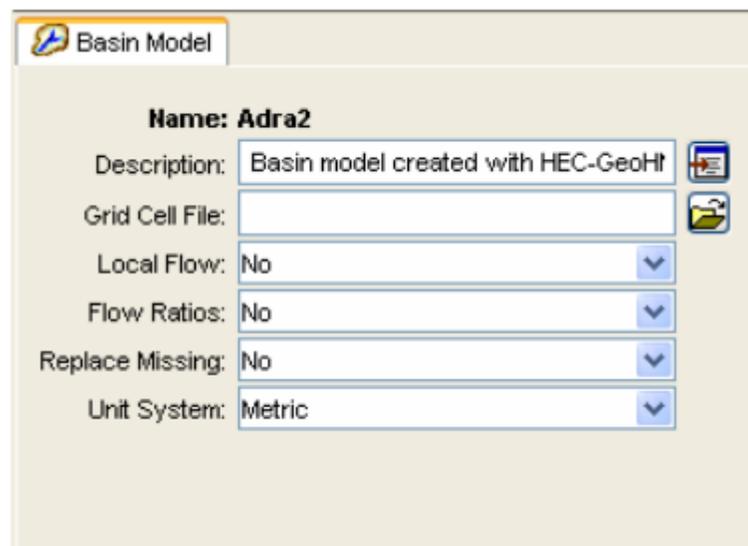


Fig.2. 11 Editor de Componentes de un Modelo de Cuenca

c) Registro de mensajes

Las notas, avisos (warning) y errores, se muestran en el registro de mensajes. Los mensajes son útiles para identificar porqué una simulación ha fallado o porqué una acción requerida no ha sido completada.

d) Escritorio

En el escritorio pueden aparecer varias ventanas, incluyendo tablas de resumen, de series temporales, gráficos, editores globales y el mapa del modelo de la cuenca. El mapa del modelo de la cuenca está confinado al área del escritorio, pero las ventanas de resultados no lo están.

Una opción de configuración del programa permite mostrar los resultados fuera del área de escritorio. El mapa del modelo de la cuenca se usa para dar forma al modelo de la cuenca. Los distintos elementos pueden añadirse a partir de la barra de herramientas y conectados para representar la red de drenaje del área de estudio. Pueden importarse también mapas de fondo para ayudar a visualizar la cuenca

3. ESQUEMA METODOLÓGICO

3.1. GENERALIDADES

Esta metodología está basada en la elaboración de un Estudio Hidrológico haciendo uso del software HEC-HMS, a la vez se añade, como una plataforma, el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG) a través de las herramientas de ArcGis, que proporcionan un manejo integral de lo que es un modelo hidrológico.

La metodología elaborada será una guía a través de procesos que se implementan para la generación de un Estudio Hidrológico. Desde su inicio con la obtención de los datos requeridos, como datos de entrada, para la elaboración del modelo Hidrográfico, haciendo uso de ArcMap como plataforma y Hec-Geo

HMS todo esto como parte del SIG. Posteriormente se da la creación de un Modelo Hidrológico en HEC-HMS, que permite la modelación de escorrentía de la cuenca en estudio, una vez modelada se hacen simulaciones de eventos reales e hipotéticos, para luego finalmente obtener los Hidrogramas de respuesta que son la finalidad del estudio.



(VER FIG.3.1) se muestra el esquema metodológico en función de tareas secuenciales.

FIG. 3. 1 Esquema metodológico

3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

La información previa a la implementación de esta metodología será tomada de la institución del país INETER. Así mismo también se obtendrán datos del proyecto ASTER DEM de la NASA.

En general serán recolectados dos tipos de datos uno tipo SIG, en el caso de modelo digital de elevación, trazo de cuencas, datos de uso de suelo y datos de tipo de suelo, son para los parámetros físicos del modelo hidrográfico de la cuenca. Y el segundo tipo de dato es estadístico, como los Hietogramas de lluvia, Hidrogramas de aforos son requeridos para el modelo hidrológico de la cuenca de estudio. *(VER*

FIG. 3.2)

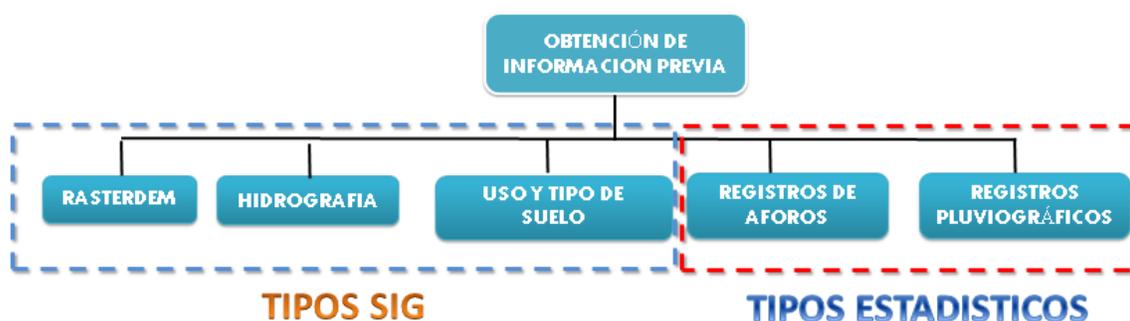


FIG. 3. 2 Tipos de información recolectada

3.2.1. HIDROGRAFÍA

Esta información es del tipo SIG, obteniéndose en el Instituto Nicaragüense de Estudio Territoriales, dirección de Hidrografía, la cual consiste en la delimitación hidrográfica de las cuencas principales del país y el trazado de ríos y cauces, todo esto para definir el área de influencia del proyecto. *(VER FIG.3.3)*

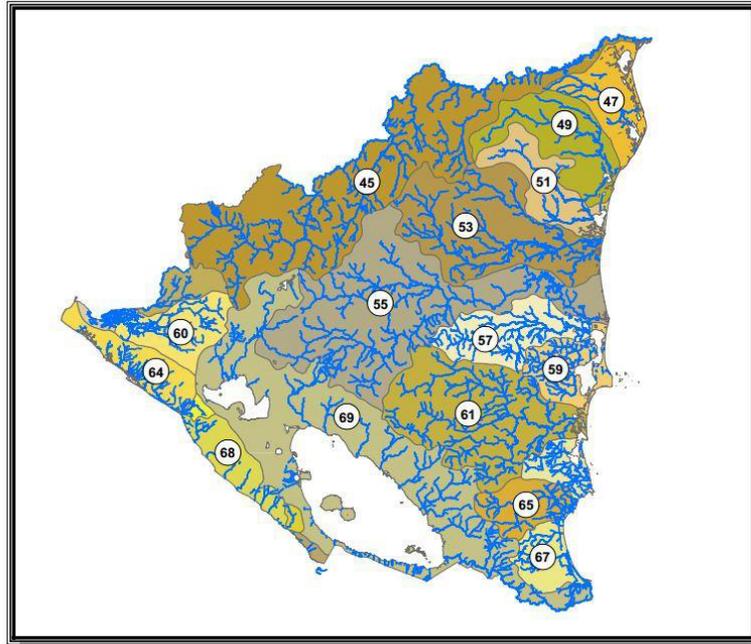


FIG. 3.3 Mapa red hidrográfica de Nicaragua

3.2.2. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son una variación de modelos del terreno también llamados RASTERDEM, ya que contienen información de la elevación con respecto al nivel medio del mar, pueden contener diversos tipos de georreferencias, lo usual para estos modelos en Nicaragua son los que están referidos a la proyección UTM WGS 84 Y NAD 27. Las zonas que están en Nicaragua son la ZONA 16 para la REGIÓN DEL PACIFICO y central, y ZONA 17 para la REGIÓN DEL ATLÁNTICO.

Este MDE es obtenido a través del proyecto ASTER DEM de la NASA, el cual facilita de manera gratuita imágenes Rasterdem del globo terráqueo. ([VER FIG.3.4\)](#)

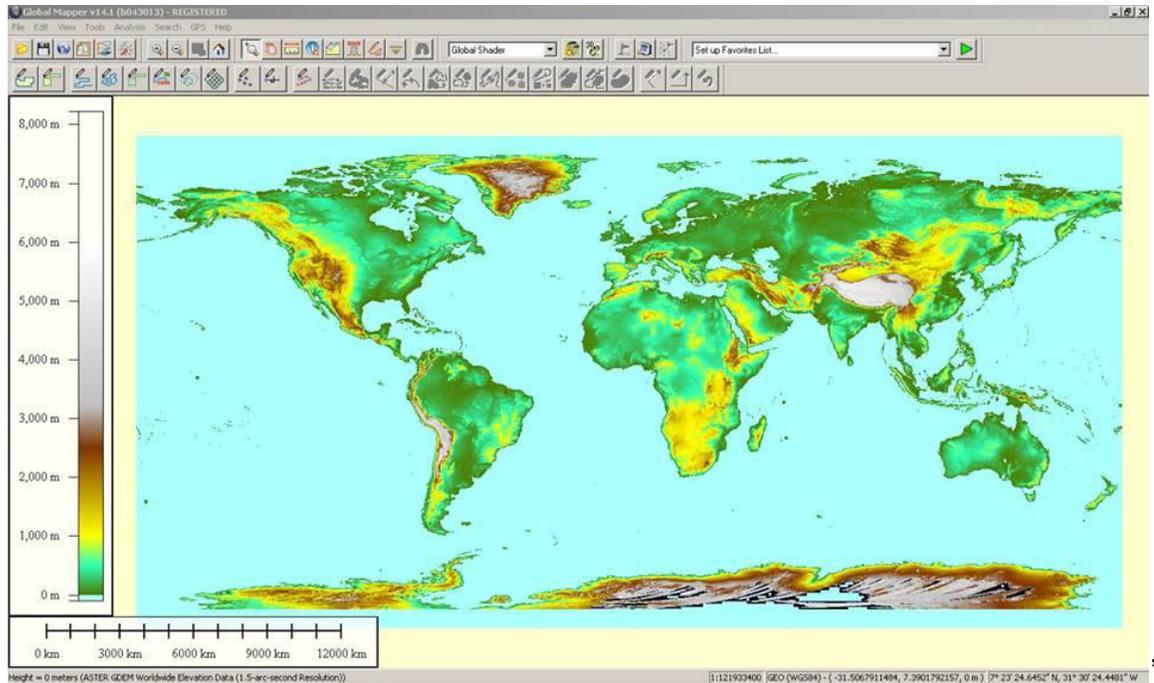


FIG. 3. 4 ASTERDEM en Global Mapper 14

3.2.3. DATOS TIPO Y USO DE SUELO

Estos datos son del tipo SIG, obtenidos en el Ministerio Agropecuario y Forestal, en ella se contienen la clasificación del suelo presente en la cuenca de estudio, esta información es requerida en el cálculo de los parámetros de pérdida de escorrentía para el método del número de la curva del servicio de conservación de suelos de Estados Unidos.

El tipo de suelo y uso de suelo se pueden obtener en la institución MAGFOR en las capas de uso potencial del suelo llamado agroecológico y usos de suelo.

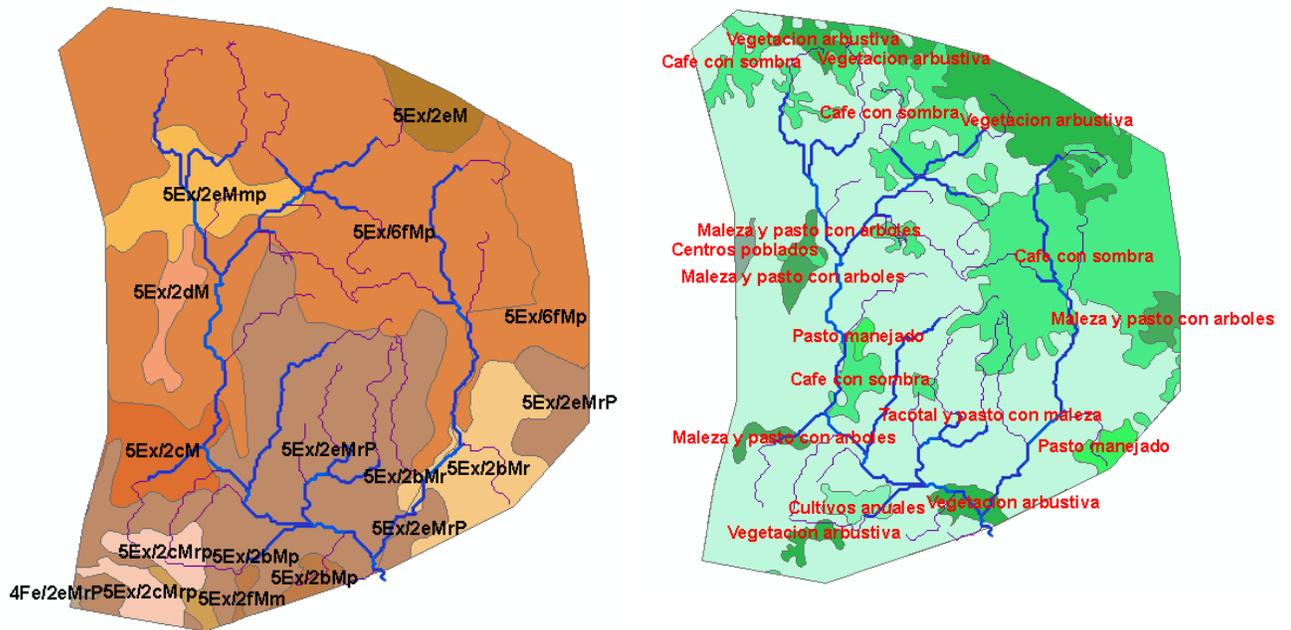


FIG. 3. 5 Capas shape agroecológico a la izquierda y uso de suelo a la derecha

3.2.4. REGISTROS PLUVIOGRAFICOS

Esta información es tipo estadística, brindada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en la dirección de Meteorología. Esta información consiste en Hietogramas de lluvia y curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.

El Hietograma consiste en un gráfico que muestra los eventos máximos ocurridos en la zona de estudio, relacionando la precipitación y la duración del evento, mostrando la distribución de la lluvia a lo largo de un periodo de tiempo. **(VER FIG.3.6)**

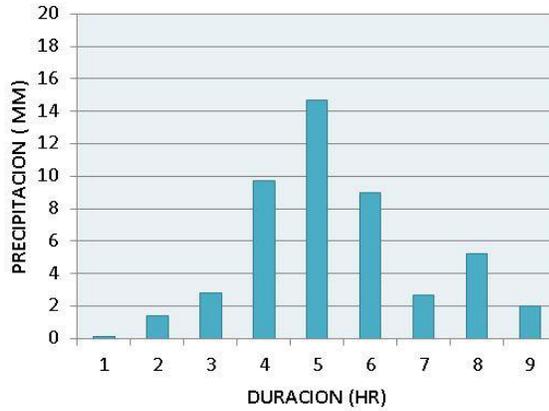


FIG. 3. 6 Hietograma de lluvia

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) representan la probabilidad de ocurrencia de una Intensidad en un periodo de tiempo dado, se obtienen a través de un proceso estadístico llevado a cabo en la estación meteorológica ([VER FIG.3.7](#)), este dato es indispensable para la simulación del modelo en HEC-HMS.

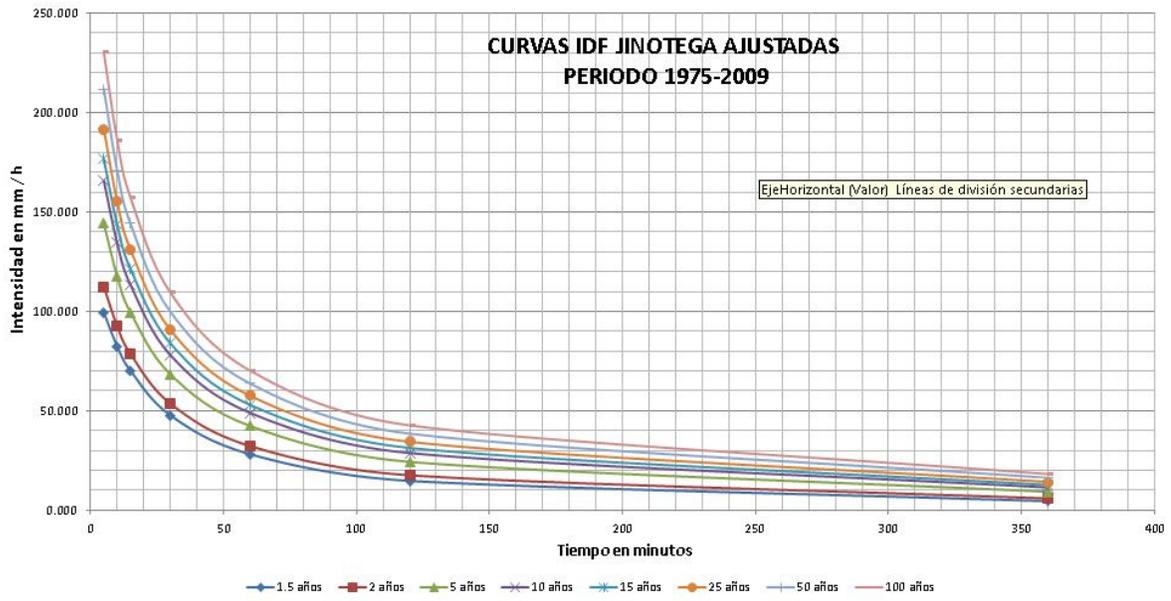


FIG. 3. 7 Curvas IDF

3.2.5. DATOS DE AFORO DE CAUDAL

Esta información es tipo estadística, brindada por el Instituto nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en la dirección de Hidrografía. Consiste en el caudal escurrido en una estación limnimétrica representado por un Hidrograma (VER FIG.3.8), los cuales serán útiles en la posterior calibración del Modelo Hidrológico de la cuenca dentro de HEC-HMS.



FIG. 3. 8 Hidrograma elaborado con datos de aforo de una cuenca

3.3. PROCESO DEL MODELO HIDROGRAFICO

Un modelo hidrográfico, es la representación espacial y se crea a través de un SIG manejado por ARCGIS este SIG se compone de un MDE con datos, para extraer las características físicas del modelo y una serie de capas en formato shape, la que se extraerá los parámetros hidro meteorológicos de la cuenca en estudio.

Esta metodología se realiza en tres proceso basado en la herramienta HEC-GEOHMS, El primer proceso prepara el modelo del terreno para convertirlo al modelo hidrológico, el segundo proceso establece un proyecto en una área determinada en función de un punto de cierre donde se requiere la evaluación de un caudal, y el tercer proceso es la creación y establecimiento del modelo que será usado por HEC-HMS para su simulación.

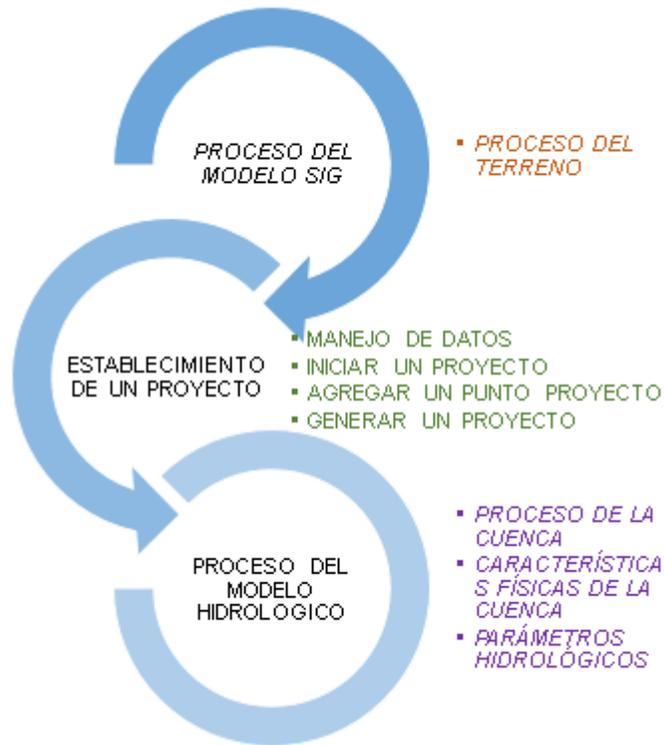


FIG. 3.9 Esquema de proceso del modelo SIG

3.3.1. PROCESO DEL TERRENO

En esta etapa el MDE es utilizado como dato de entrada para obtener nueve archivos adicionales, los cuales se convierten en ráster con atributos varios y vectores, procesados a través de la herramienta HEC-GEOHMS, así permitiendo una primera delimitación de los cauces y las sub-cuencas.

Esta etapa servirá como adaptación del MDE para la realización del proceso hidrológico en sub tareas. A continuación se presenta un esquema la cual muestra el proceso del terreno, los sub texto serán los datos necesarios para realizar dicha tarea.

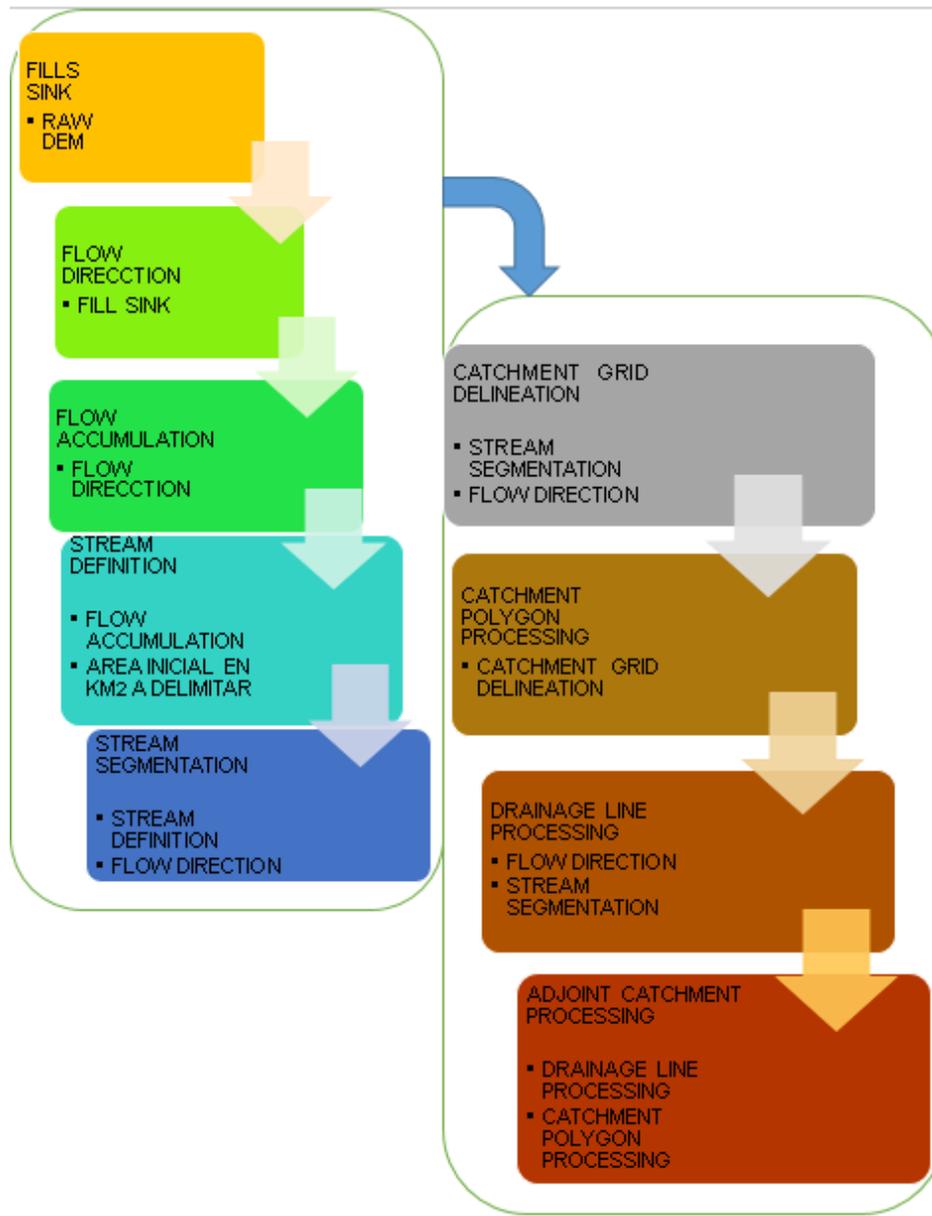


FIG. 3. 10 *Esquema de proceso del terreno*

a) [MANAGEMENT \(Manejo de datos\)](#)

Nos es necesario localizar las capas según su orden y nombre a utilizar, esto le permitirá introducirle al software las capas necesarias y ordenadas, lo cual visualizamos a través del siguiente cuadro de dialogo.

Cuando sea un inicio de un proyecto, las capas necesarias serán Raw Dem, el cual será nuestro MDE inicial

- **Menu Preprocessing > Data Management**

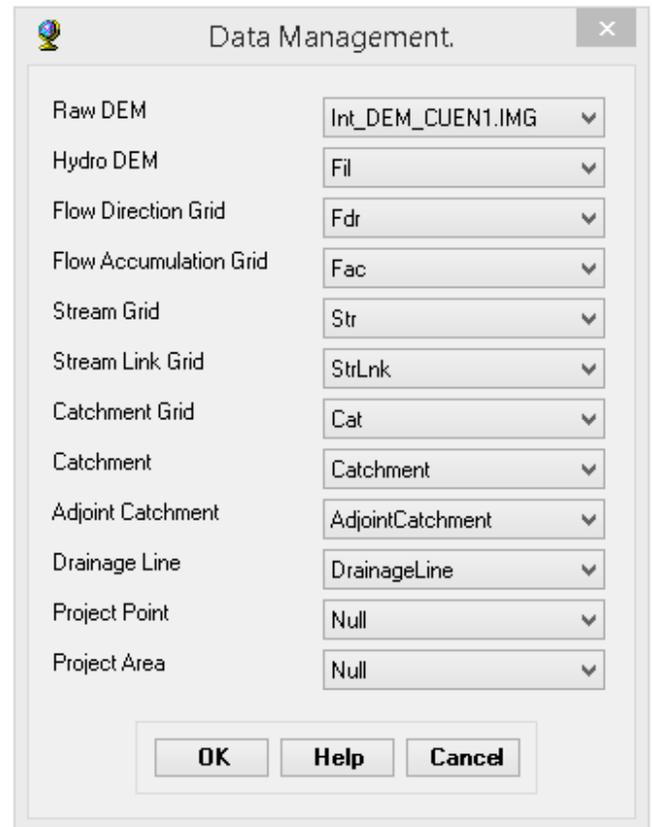


FIG. 3.11 Cuadro dialogo de manejo de datos en proceso del terreno

b) [FILL SINK \(Llenado de depresiones\)](#)

Es de vital importancia identificar las depresiones que no permiten fluir la escorrentía en el MDE, esto hará tomando el área de la depresión y seleccionando la elevación más profunda como referencia, luego se irá incrementando las elevaciones hasta eliminar dicha depresión, esto con el fin de eliminar errores en los procesos siguientes, nos entrega un MDE. **(VER FIG. 3.12)**

- **Menu Preprocessing > Fill Sinks**

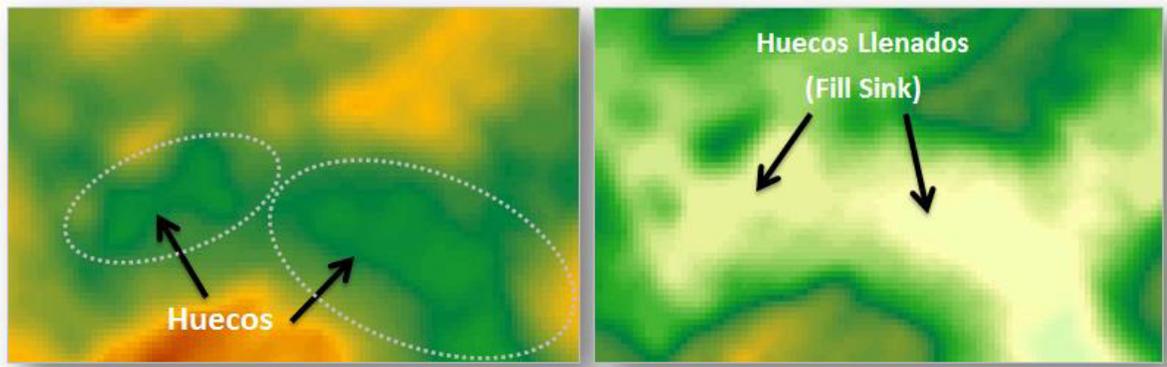


FIG. 3.12 Proceso de llenados de huecos

c) FLOW DIRECTION (Dirección de flujo)

La determinación de dirección de flujo se lleva a cabo partiendo de las elevaciones del terreno a través del atributo del pixel de la imagen, de este HEC-GEOHMS, evalúa uno a uno los pixel determinando la elevación más baja en comparación a los ocho pixel más próximos y de esta forma va trazando la dirección que llevara el flujo en la cuenca, por donde conducirá la escorrentía, Este proceso nos entrega en formato raster con valores con atributos de dirección. (**VER FIG. 3.13**)

- **Menu Preprocessing > Flow Direction**



FIG. 3.13 Evaluación de los ocho pixel más próximos

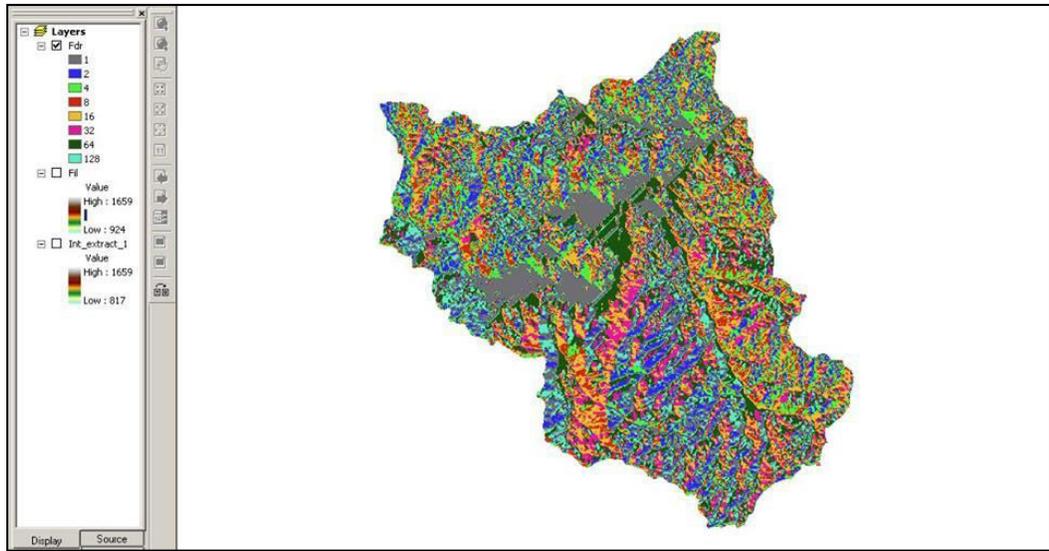


FIG. 3. 14 Raster de dirección de flujo

d) FLOW ACCUMULATION (Acumulación de flujo)

Habiendo localizado las direcciones de flujo se obtiene el archivo de acumulación de flujo. Este paso determina el número de celdas en formato raster que drenan a cada celda (**VER FIG. 3.15**). La acumulación de flujo es una medida del área de drenaje, expresada en unidades de celdas, que puede ser pasada a m² o km² multiplicando el número de celdas por el tamaño de celda del modelo. Nos entrega un raster, dará la primera visualización de lo que será la red de drenaje de la cuenca.

▪ **Menu Terrain Preprocessing > Flow Accumulation**

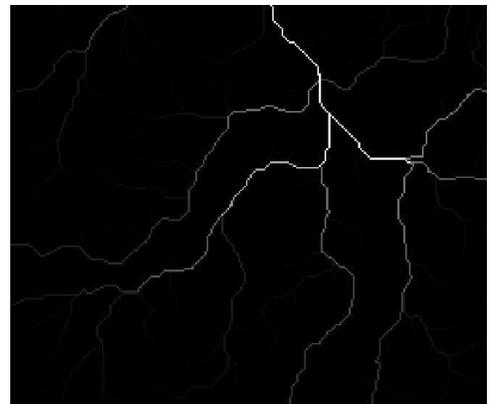
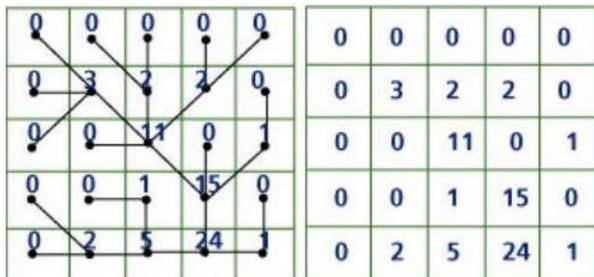


FIG. 3. 15 Representación raster y numérica de acumulación de flujo

e) STREAM DEFINITION (Definición de cauces)

Se definirá el cauce a partir del archivo de acumulación de flujos, esto ira en función de un área determinada, el área mínima será de 1 km² para contener una correcta consistencia del modelo, también se clasifica las sub-cuenca según **FIG.3.16 Y FIG.3.17** lo que se pretende realizar con esta capa es extraer la celda más acumulada y clasificarla, este raster generado servirá como punto de partida para la delimitación de los cierres hidrográficos para cada sub-cuenca. **(VER FIG.3.16)**

▪ **Menu Terrain Preprocessing> Stream Definition**

Rangos de áreas	Clases de tamaño
Hasta 3.0	Pequeña
3.01 - 8.0	Mediana
8.01 - a más	Grande

FIG. 3. 16 *Tabla de clasificación de área según su tamaño*¹²

Método	Limitación de tamaño	Comentarios
Racional	0 – 3.0 km ²	El Método puede ser usado para la estimación de flujos picos y el diseño de sitios pequeños o subdivisión de sistemas de alcantarillado pluvial. No usarse para diseñar almacenamientos.
SCS ²	0 – 8.10 km ²	El Método puede ser usado para la estimación de flujos picos e hidrogramas para todas las aplicaciones de diseño.
USGS	0.10 km ² a 64.75 km ²	El Método puede ser usado para estimación de flujos picos para todas las aplicaciones de diseño.
USGS	0.51 km ² a 64.75 km ²	El Método puede ser usado para estimación de hidrogramas para todas las aplicaciones de diseño.

FIG. 3. 17 *Tabla clasificación de área según su método*¹³

¹² Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor- MTI 2008- pág. 23

¹³ Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Mayor- MTI 2008- pág. 17

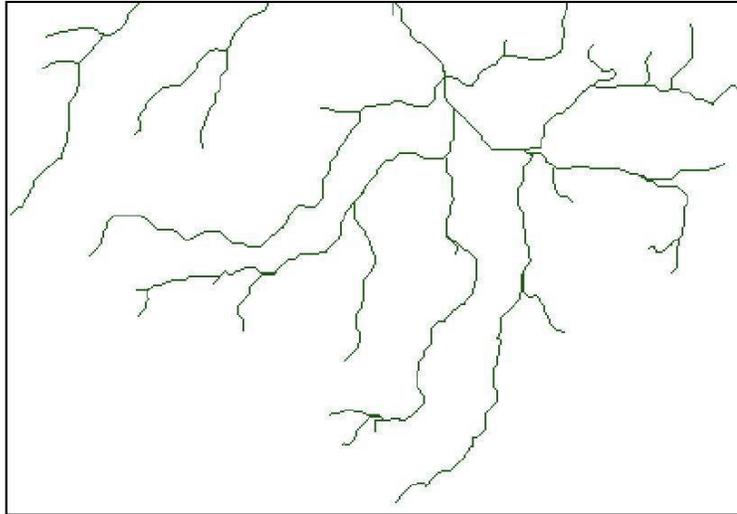


FIG. 3. 18 *Representación del archivo stream definition*

f) STREAM SEGMENTATION (Segmentación de cauces)

Habiendo definido los cauces se procede a segmentar los tramos de cauce. Todas las celdas que formen parte de un mismo tramo se les asigna el mismo número su tramo. Este paso nos permitirá posteriormente encontrar los puntos de unión para la delimitación de las sub-cuencas. **(VER FIG.3.19)**

- **Menu Preprocessing > Stream Segmentation**

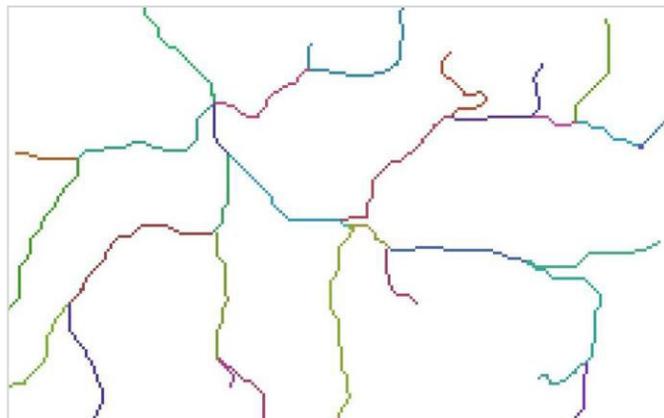


FIG. 3. 19 *Representación del archivo stream segmentation*

g) CATCHMENT GRID DELINEATION (Delineación de la sub-cuenca)

Esta delineación de las sub-cuenca se procede en función del inicio y final de cada tramo definido en la segmentación de cauce, este nuevo ráster será la primera visualización de la sub-cuenca delimitada. *(VER FIG.3.20)*

- **Menu Preprocessing > Catchment Grid Delineation**

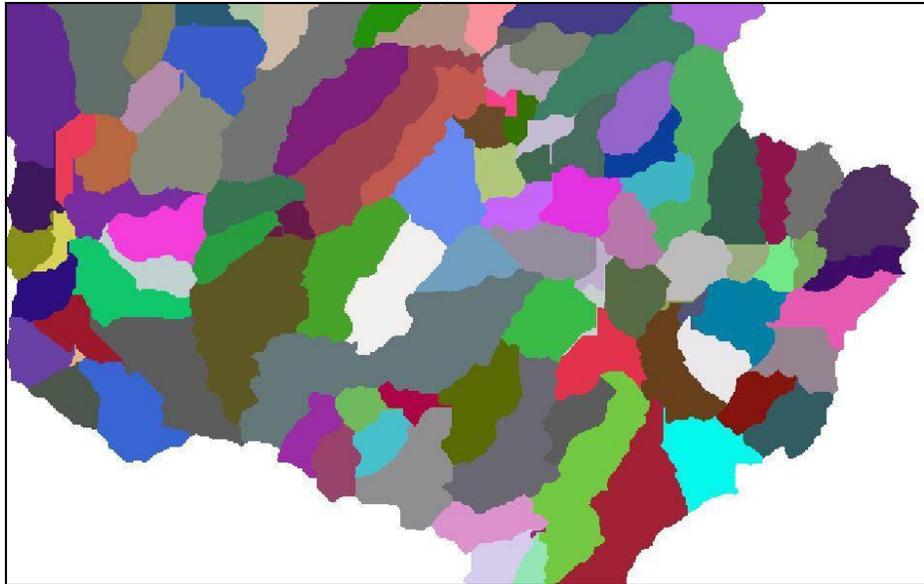


FIG. 3. 20 *Representación del archivo catchment grid delineation*

h) CATCHMENT POLYGON PROCESSING (Polígono de la sub-cuenca)

El ráster creado en la delineación de sub-cuenca, se convertirá en un vector en forma de polígono que contiene atributos de área y perímetro, dándole forma al modelo hidrográfico. *(VER FIG.3.21)*

- **Menu Preprocessing > Catchment polygon Processing**

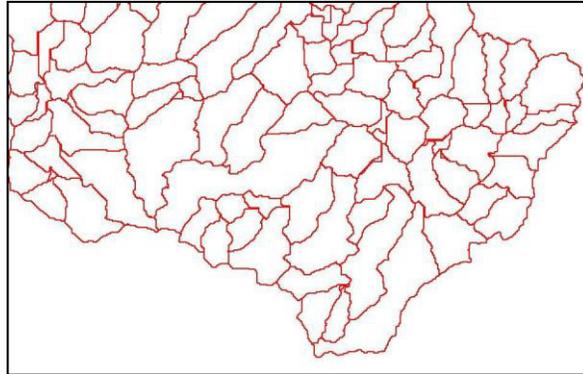


FIG. 3. 21 Representation vectorial catchment polygon processing

i) [DRAINAGE LINE PROCESSING \(Red de drenaje\)](#)

La red de drenaje se desarrolla a partir del archivo segmentación de cauce (Stream Segmentation) donde se vectoriza las líneas de red de drenaje, con atributos de longitud de cauce y la red nodal que determina la secuencia del flujo.

- **Menu Preprocessing > Drainage Line Processing**

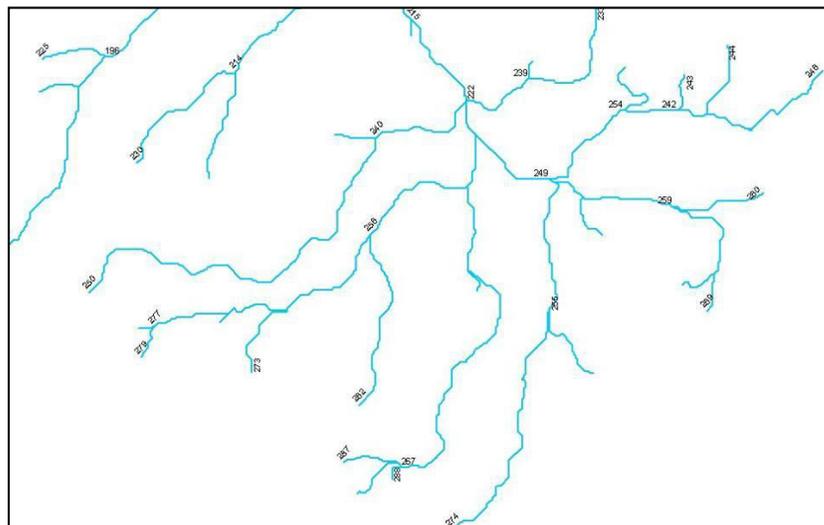


FIG. 3. 22 Representación vectorial drainage line processing

j) ADJOINT CATCHMENT PROCESSING (Unión de las sub-cuencas)

Esto es un arreglo de optimización de las sub cuencas que será determinado por las confluencias de aguas arriba de cada cauce interceptado.

Estas uniones de sub-cuencas no tienen ningún significado en el proceso hidrológico, pero se hace necesario para mejorar el rendimiento del procesamiento de datos, facilitando la extracción de datos en el establecimiento de un proyecto.

- **Menu Preprocessing > Adjoint Catchment Processing**

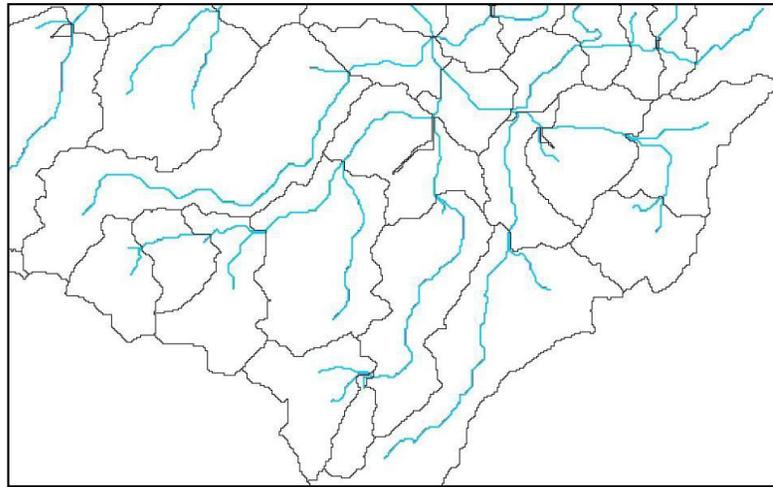


FIG. 3. 23 Representación vectorial adjoint catchment processing

3.3.2. ESTABLECIMIENTO DE UN PROYECTO

Una vez que se ha completado el proceso del terreno, se procede a establecer el proyecto, utilizando la barra HEC-Geo HMS en el menú Project Setup, primeramente se definirá la ubicación en las capas creadas en el proceso anterior. Seguidamente se creara una base de datos por medio de un cuadro de dialogo que permitirá localizar y definir el nombre del proyecto.

Ya realizado el proyecto, se localiza y se nombra el punto de cierre de la cuenca en estudio, la cual será el punto de partida para delimitar la cuenca hidrográfica corriente arriba, este punto de cierre será definido por el icono **add Project point**. Agregado el punto de cierre, se permitirá generar el proyecto y así establecer el proyecto y aparecerá el nombre del proyecto en la tabla de contenido

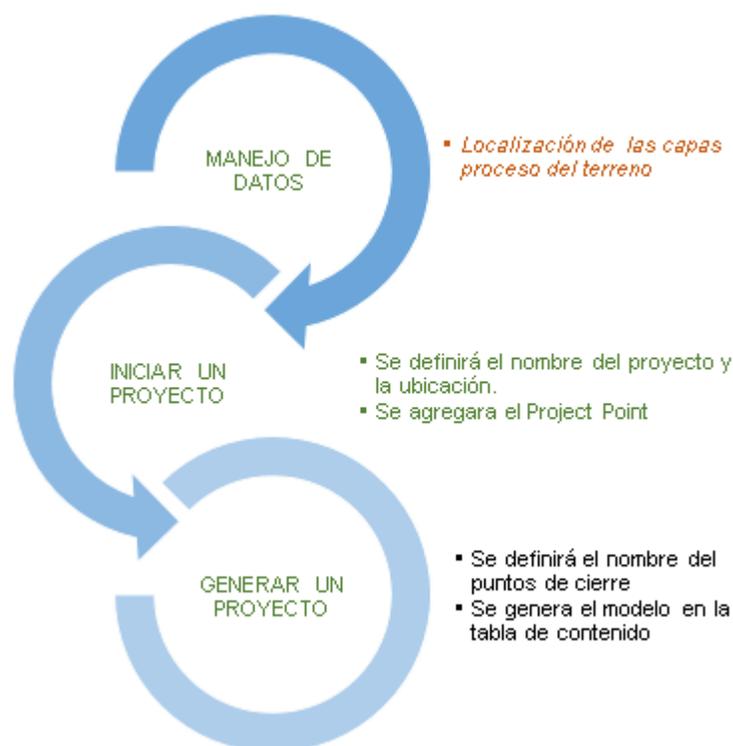


FIG. 3. 24 Esquema de establecimiento de un proyecto

a) DATA MANAGEMENT (Manejo de datos)

Este es el inicio para definir un nuevo proyecto, el cual se definen las capas que a utilizar, estas capas están creadas anteriormente en el pre-proceso. Es importante que las capas tengan el mismo nombre y orden con las que el programa las definió, así para evitar posibles equivocaciones.

- **Project Setup > Data Management**

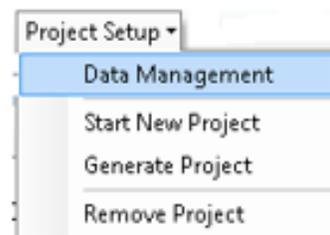


FIG. 3. 25 Ubicación de Data Management

La siguiente descripción es para colocar y ordenar, los siguientes campos en Data Management, las únicas dos capas que serán creadas, serán Project Point, Project área. A continuación algunas capas a considerar.



FIG. 3. 26 cuadro de dialogo de Data Management

Raw Dem: esta capa será, el ráster Dem inicial

Hydro dem: este campo será la capa Fill, que es raster dem inicial con el proceso de llenado de depresiones (fill sink) en el proceso del terreno

Project Point: esta capa será creada y deberá contener los puntos de control.

Project área: esta capa será creada y deberá contener el área que define desde el punto de control hacia agua arriba, en teoría la cuenca hidrográfica

b) [STAR NEW PROJECT \(Iniciar un proyecto\)](#)

En seguida es necesario dar inicio a un nuevo proyecto, donde se define el nombre del proyecto, una descripción, y una ruta de los archivos a guardar. Este paso podrá ser utilizado repetidamente si dentro del área donde se tiene información, hay un sin número de proyectos.

- **Project Setup > Star New Project**

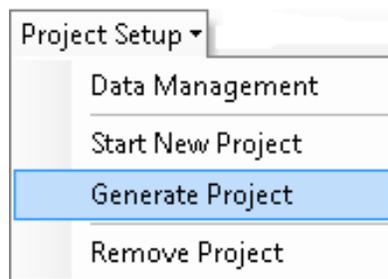


FIG. 3. 27 Ubicación de generar el proyecto

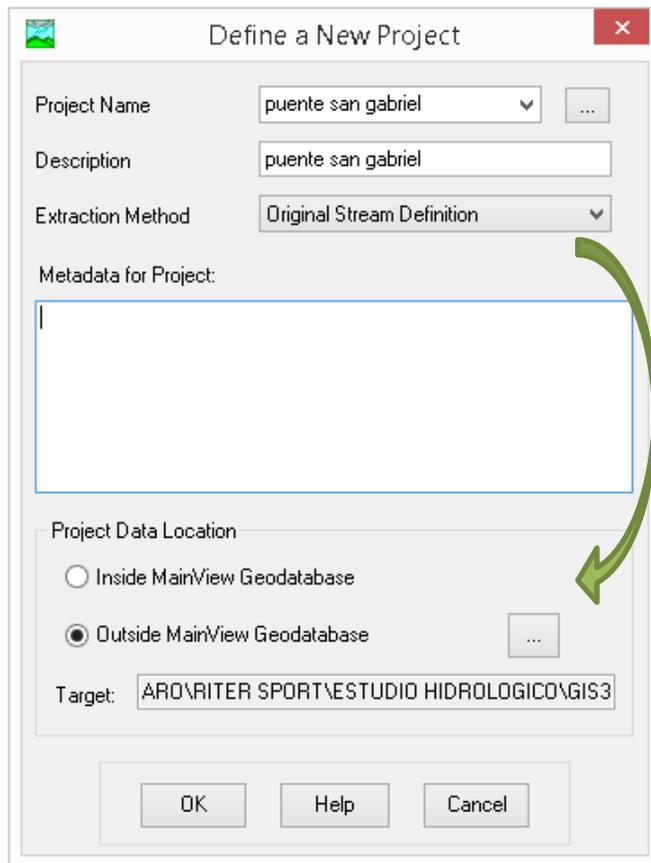


FIG. 3. 28 Cuadro de dialogo para definir el proyecto

Project Name: Añade un nombre de proyecto

Description: Añade descripción del proyecto

Extraction Method: Selecciona el método de extracción de datos basado en cauce original (original stream definition)

Project Data Location: Agrupa todo el proyecto en un nuevo grupo de capas necesarias para los procesos siguientes. (Outside MainView Geodatabase)

Target: Permite crear una ruta para almacenar la base de datos del proyecto, es conveniente que la carpeta que se creara para dicho proyecto contenga el mismo nombre del proyecto.

c) ADD PROJECT POINT (AGREGAR UN PUNTO PROYECTO)

Los puntos de control son puntos geográficos donde se requiere medir el caudal de la esorrentía, estos puntos son obras hidráulicas existente o a proponer (alcantarillas, puentes existentes), también a partir de este punto se comienza a delimitar el parte aguas. Para generar el proyecto se deberá tener la ubicación exacta de dicho punto, y requerirá el nombre y descripción de dicho punto.

- **HEC- Geo Hms > add project point**



FIG. 3.29 Ubicación de icono para agregar punto de control

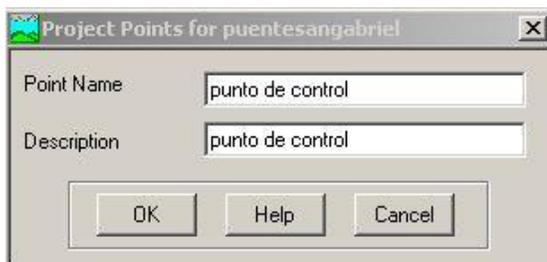


FIG. 3.30 Cuadro de dialogo para nombrar el punto de control



d) [GENERATE PROJECT \(Generar un proyecto\)](#)

La generación del proyecto es un proceso, por el cual se define el nombre de la capas proveídas por el usuario, asociadas al área del proyecto. Como requisito deberá anteriormente estar seleccionado el proyecto en cuestión en star new project.

- **Project Setup > Generate Project**

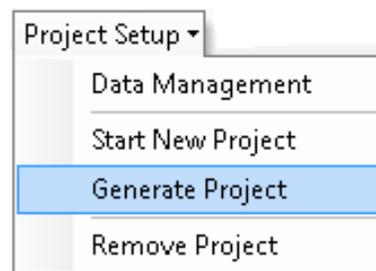


FIG. 3.31 Ubicación para generar el proyecto

A continuación nos pide el nombre de las capas con las cual podremos identificar posteriormente. Como recomendación dejar los nombres propuestos por el software.

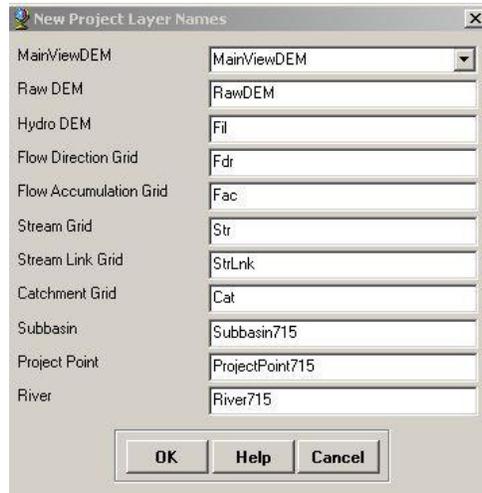


FIG. 3. 32 Ubicación para ubicar las capas del nuevo el proyecto

3.3.3. PROCESO DEL MODELO HIDROLOGICO

Una vez creado y establecido el proyecto el proceso hidrológico es el encargado de crear y personalizar el modelo hidrológico utilizado en HEC-HMS, en este componente será utilizada la barra de herramienta HEC-GeoHMS, que permitirá personalizar la cuenca en función de nuestro criterios, y extraer las características físicas como son longitudes, áreas, pendientes. Y definir los parámetros hidrológicos que serán usados por los métodos de cálculos. Además permite exportar el proyecto con el fin de que el software HEC-HMS pueda ser usado por este.

En estos pasos se define por proceso de la cuenca que permite optimizar la delimitación de la cuenca en función de las necesidades, seguidamente se hace la extracción de las características físicas de la cuenca que servirán para calcular los parámetros hidrológicos, y a continuación se definen los parámetros hidrológicos que contendrá el modelo y por último se prepara el modelo para exportar al HEC-HMS.



FIG. 3. 33 Esquema de proceso del modelo hidrológico

a) Proceso de la cuenca

Este proceso tiene la finalidad de revisar y personalizar la red hídrica, en función de los criterios que el usuario usa para mejorar la lógica del delineado de la cuenca y cauces. Es importante tomar en cuenta el área máxima de sub-cuenca, y longitud máxima de cauce en función del método a usar. La metodología es iterativa hasta que se llegue a condición óptima prevista por el usuario.

Entre los criterios usados se puede decir que es recomendable usar áreas de sub cuencas en función de los métodos y rango de área para mantener homogeneidad en modelo hidrográfico aportando estabilidad.

Data Management

Este apartado es un organizador de capas lo cual el software podrá reconocer y utilizar las capas a modificar. Es importante tener las capas según su nombre puesto a la derecha.

- **HEC GeoHMS > Basin processing > Data Management**

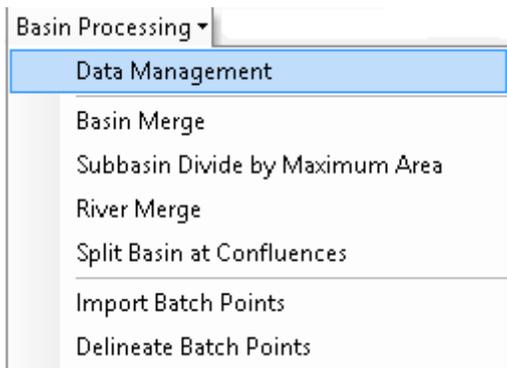


FIG. 3. 34 Ubicación de data management

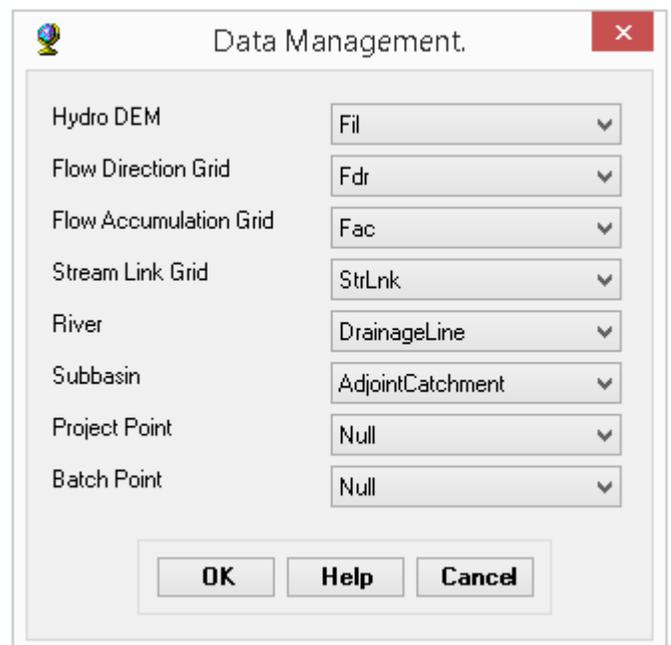


FIG. 3. 35 Capas que requiere data management

↳ BASIN MERGE (UNIÓN DE SUB-CUENCAS)

Este ítem de este proceso permite unificar múltiples sub cuencas en una sola. Esta herramienta es iterativa, según las sub cuencas a unificar.

Entre las consideraciones a tomar son: las sub cuencas deben estar relacionadas en la misma confluencia, y deberán estar adyacentes previamente seleccionadas, se podrá tomar dos o más sub cuencas.

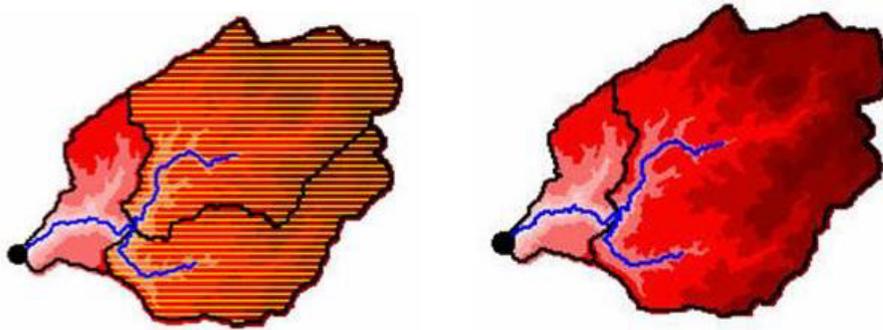


FIG. 3. 36 Unificaciones de sub-cuencas

Como se muestra en la figura. Anterior dos sub cuencas seleccionadas podrán ser unificadas.

- **HEC GeoHMS > Basin processing > *Basin Merge***

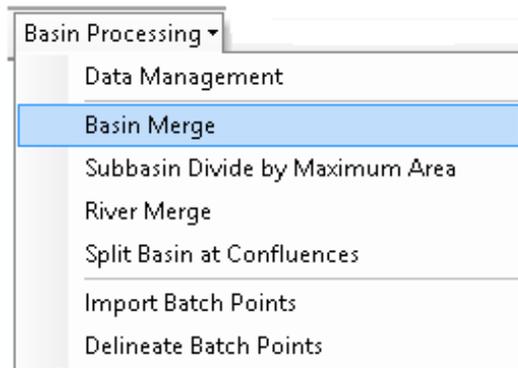


FIG. 3. 37 Ubicación de Basin Merge

➤ BASIN SUBDIVISION (DIVISIÓN DE SUB-CUENCAS)

Este es el proceso que permite dividir una sub cuenca en dos, siempre una aguas arriba y otra la cual le drena, es importante señalar no dejar áreas muy pequeñas menores a un kilómetro cuadrado ni mayor a cinco kilometro cuadrados, también es recomendable mantener sub cuencas de la misma área. Para este procedimiento será utilizado el icono subbasin divide. **(VER FIG. 3.38)**

- **HEC GeoHMS > Basin processing > *Basin Subdivision***



FIG. 3.38 Ubicaciones de icono subbasin divide

Seguidamente se deberá localizar el punto sobre la red cauce (drainage line). Así automáticamente será dividida la sub-cuenca. **(VER FIG. 3.39)**

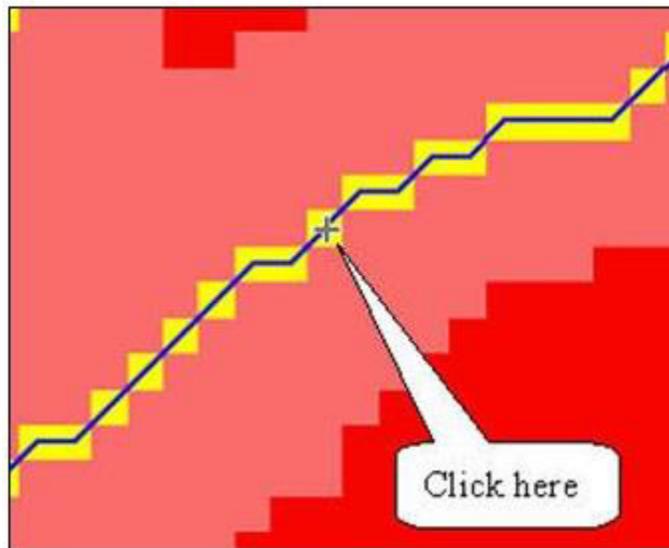


FIG. 3.39 Ubicación de la localización del punto sobre la red de cauces

➤ RIVER MERGE (UNIÓN DE CAUCE)

Cuando se llevan a cabo uniones y subdivisiones en la sub cuenca, se crean segmentos de cauces como resultado de estos. Al crear un proyecto de HEC-HMS, a partir de estos dos segmentos serán tratados como cauces independientes. Si se tiene la intención de modelar enrutamiento con varios tramos, el usuario tendrá que definir parámetros para ambos tramos. Sin embargo, si se tiene la intención de modelar el cauce como un solo, entonces el usuario tendrá que fusionar ambos segmentos de la corriente. Este paso permitirá corregir tal situación lo cual ayudara a mejorar la estabilidad del modelo y la simplificación de este.

El proceso será el siguiente, se deberá seleccionar los dos cauce a unificar, seguidamente deberá utilizar el comando de la **(FIG. 3.40)** , a continuación dará el resultado de la unión de cauce.

- **HEC GeoHMS > Basin processing > Basin Merge**

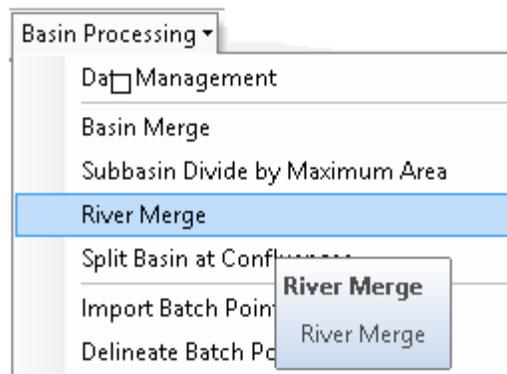


FIG. 3.40 Ubicación de river merge

➤ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA

Este proceso se definirá las características físicas de la cuenca, se definen los atributos de las tablas de contenido de las capas River y subbasin, estos procesos serán: cálculo de longitud del cauce, pendiente del cauce, pendiente promedio de las subcuencas, y ruta del flujo más largo para determinar el tiempo de concentración.

➤ RIVER LENGTH (LONGITUD DE CAUCE)

Este proceso permitirá calcular la longitud de los cauces en la capa RIVER LENGTH, se añadirá un campo de longitud en la tabla de atributos, las unidades se toman de la capa del modelo de elevación.

- **HEC GeoHMS >Characteristics > River Length**

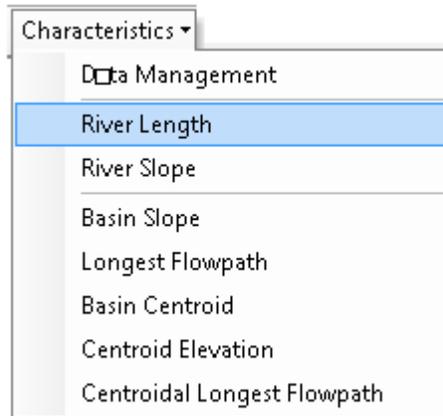


FIG. 3. 41 Ubicación de river length

➤ RIVER SLOPE (PENDIENTE DEL CAUCE)

Este paso extrae la elevación de aguas arriba y aguas abajo de un tramo de río y calcula la pendiente. La elevación y la pendiente de aguas arriba y aguas abajo se agregan a la tabla de atributos de la capa de río con los títulos de las columnas: "ElevDS" "ElevUP", y "SLP".

- **HEC GeoHMS >Characteristics > River Slope**

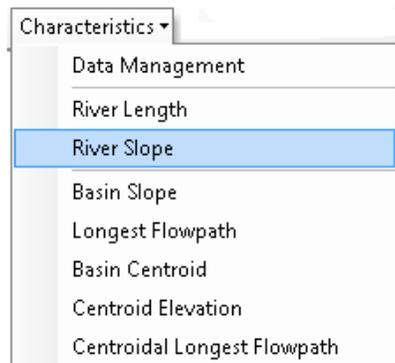


FIG. 3. 42 Ubicación river slope

↳ LONGEST FLOW PATH (Ruta del flujo mas alejado)

En esta etapa, se creará una nueva capa llamada longest flow path, la cual determinará la ruta vectorial de los puntos más alejados y el cierre de cada sub-cuenca utilizando la topografía del terreno, así definiendo los parámetros para el cálculo de tiempo de concentración, se almacenará en la tabla de atributos la longitud, elevación aguas arriba y aguas abajo, y determinará la pendiente.

- **HEC GeoHMS >Characteristics > Longest Flow Path**

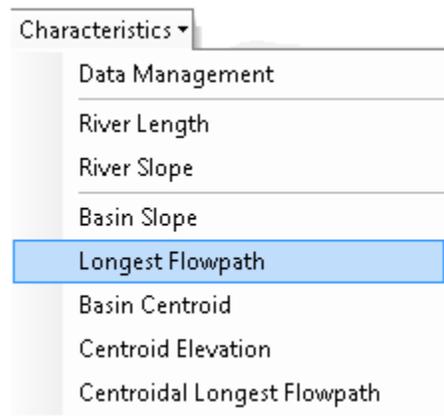


FIG. 3. 43 Ubicación de *longest flow path*

↳ BASIN CENTROID (CENTROIDE DE LA CUENCA)

La herramienta Cuenca Centroid identificará el centro de gravedad de cada sub-cuenca. La función operará en el conjunto seleccionado de sub-cuencas o todas las sub-cuencas. La ubicación del centroide de la cuenca puede ser estimada de cuatro maneras.

Tres métodos pueden ser utilizados para definir el centroide, cada uno usando un algoritmo diferente y proporcionando así un resultado diferente. La calidad de los resultados es una función de la forma de la sub-cuenca y debe ser evaluado después de que se generan.

El cuarto método es especificado por el usuario, donde el usuario desplaza el centro de gravedad a la ubicación deseada después de su creación. A veces, el centro de gravedad se encuentra en el límite sub-cuenca y por lo tanto debe ser movido o un método diferente se debe utilizar.

A continuación se describe cada uno de los métodos:

Método 1: Centro de gravedad método:

El centro de gravedad método calcula el centroide como el centro de gravedad de la sub cuenca. Si el centro de gravedad está fuera de la sub cuenca, que se ajusta al límite más cercano.

Método 2: Método de la ruta de flujo más larga (LONGEST FLOW PATH)

El método de la ruta de flujo más larga calcula el centroide como el punto medio de la trayectoria de flujo más larga dentro de la sub-cuenca.

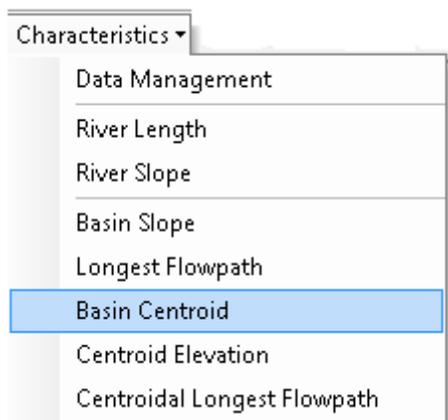
Método 3: 50% Método área

El método area 50% calcula el centroide como el punto que tiene un área que contribuye igual a 50% del área de la sub-cuenca

Método 4: Centroide especificado por el usuario Ubicación

Cuando los tres métodos anteriores no producen estimaciones satisfactorias del centroide, el usuario puede editar manualmente la capa de centroide para mover el centro de gravedad a un lugar más adecuado.

El método que se usara para esta metodología será:

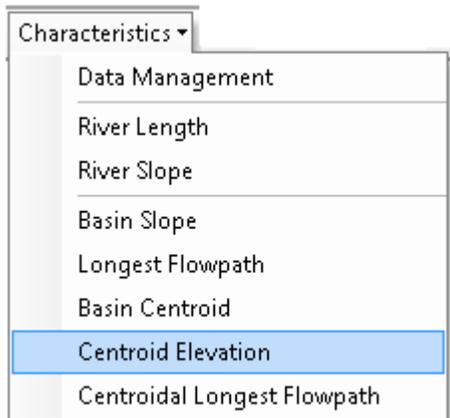


Método 2: Método del ruta de flujo más larga (LONGEST FLOW PATH), *debido que utiliza la topografía del terreno para definir el centroide.*

- **HEC GeoHMS >Characteristics > BASIN CENTROID**

FIG. 3. 44 Ubicación de *BASIN CENTROID*

↗ CENTROID ELEVATION (ELEVACIÓN DEL CENTROIDE)



Esta operación calcula la elevación de cada punto centroide usando un DEM. Las elevaciones se almacenan en la tabla de atributos de la capa centroide.

- **HEC GeoHMS >Characteristics > CENTROID ELEVATION**

FIG. 3. 45 Ubicación de *CENTROID ELEVATION*

↗ CENTROIDAL LONGEST FLOW PATH (Centroide de la ruta del flujo más largo)

Esta operación calcula la trayectoria de flujo más larga centroidal proyectando el centroide en la trayectoria de flujo más larga. El circuito de flujo centroidal más largo se mide desde el punto proyectado sobre la trayectoria de flujo más larga a la salida sub-cuenca

- **HEC GeoHMS >Characteristics > CENTROIDAL LONGEST FLOW PATH**

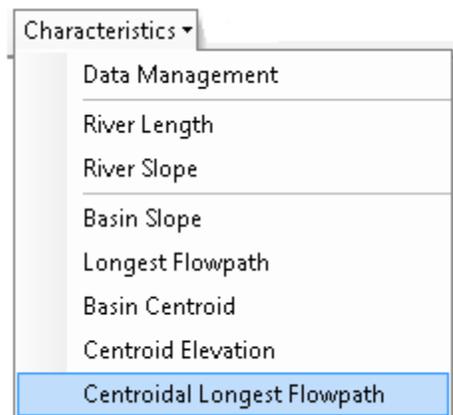


FIG. 3. 46 Ubicación de *CENTROIDAL LONGEST FLOW PATH*

b) Parámetros hidrológicos

Después que se han extraído las características físicas de los cauce y sub cuencas, los usuarios tienen que definir los métodos a utilizar, los métodos transformación de precipitación a caudal para cada sub cuenca, el método de tránsito de avenida, método para el flujo base en las sub cuencas, el método de pérdidas de escorrentía. A continuación de esto se deberá nombrar cada cauce de la capa River y cada sub cuenca de la capa sub Basin

📌 SELECT HMS PROCESSES (Selección del proceso de hms)

Esta herramienta permite a los usuarios seleccionar los métodos de modelado HEC-HMS que se utilizarán en el estudio. Esta información se guarda en tablas de atributos de las capas de las sub cuencas y cauces y que se incluirá en los archivos del proyecto HEC-HMS creados por HEC-Geo HMS.

- **HEC GeoHMS >Parameters > SELECT HMS PROCESSES**

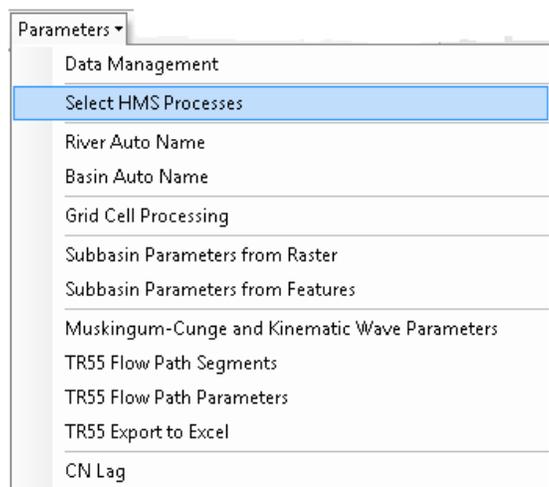


FIG. 3. 47 Ubicación de *SELECT HMS PROCESSES*

➤ RIVER AUTO NAME (Nombramiento de cauces)

Este proceso nombra en la secuencia de aguas arriba a aguas abajo. El convenio de denominación combina la letra "R" y un número, el tramo aguas arriba comienza con R500 y R490 a continuación, R480, R470, etc. son los nombres de cauce procedentes de aguas abajo. La intención de esta herramienta es nombrar rápidamente los cauces.

- **HEC GeoHMS > Parameters > RIVER AUTO NAME**

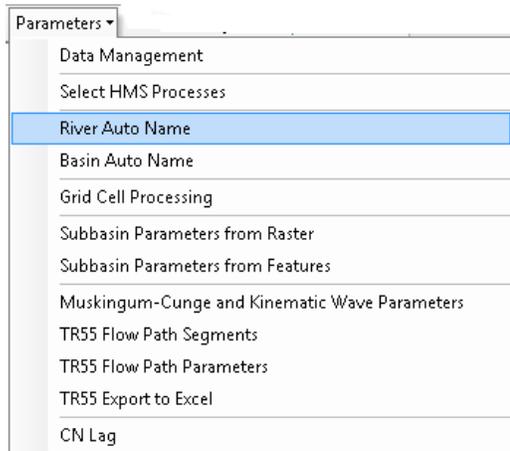


FIG. 3. 48 Ubicación de *SELECT HMS PROCESSES*

➤ BASIN AUTO NAME (Nombramiento de las subcuencas)

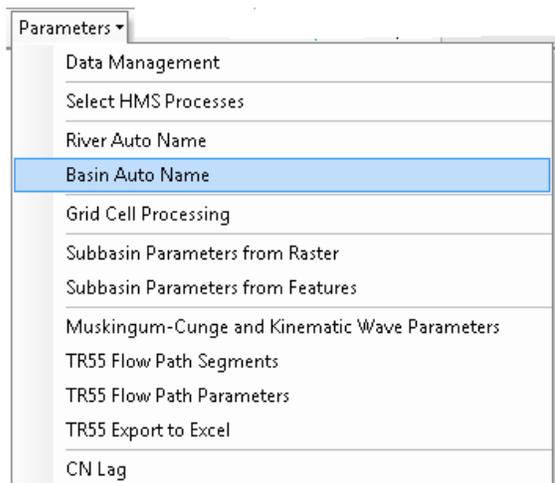


FIG. 3. 49 Ubicación de *BASIN AUTO NAME*

Nombra este proceso, las sub cuencas en secuencia desde aguas arriba a aguas abajo. El convenio de denominación combina la letra "W" y un número. Por ejemplo, la sub cuenca del río arriba comienza con W500 y luego W490, W480, W470, etc. son los nombres de las sub cuencas que avanzan río abajo. La intención de esta herramienta es nombrar rápidamente sub cuencas.

- **HEC GeoHMS > Parameters > BASIN AUTO NAME**

➤ PARAMETROS DE NUMERO DE CURVA CN

Los parámetros número de la curva llamado CN es un método del servicio de conservación de suelo de Estados Unidos, el número de la curva permite cuantificar la capacidad del suelo para retener escorrentía, en función de pendiente, uso y tipo del suelo.

Para esto se deberá tener la capa de agroecológico en formato shape que permitirá obtener el tipo de suelo, su clasificación funcional ya sea arenoso, arcilloso, limoso, pendiente y precipitación promedio. A continuación debemos tener el uso actual de suelo que es el uso que se le da al terreno ya sea cultivo anuales, pastizales, bosque, latifoliados. Todo esto permitirá en el siguiente proceso obtener el CN y el tiempo de retardo lag time para cada sub cuenca.

- **Preparación de uso y tipo de suelo**

La preparación de tipo de suelo consiste en crear campos, en la tabla de atributo contenidos en capa, seguidamente debemos editar y llenar los campos con el código según el tipo de suelo, el método es en función suelo predominante: A para arena como poco limo y arcilla, B para arenas finas, C arenas muy finas, limos con alto contenido de arcilla y D con arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con sub-horizonte de roca sana suelos muy impermeable. El campo será **SOILCODE** de tipo texto y longitud 1. Y que según el código de la capa shape agro ecológico “a” es arenoso, “A” es arcilloso, “F” es franco y “L” es limoso.

También se deberá crear otros campos, que indicaran el porcentaje del tipo de suelo, ya que en un suelo no siempre se contiene un tipo de suelo, así de esta manera se crearan campos PctA, PctB, PctC, y PctD, de tipo short integer y longitud 3.

Table

AGROECOLOGICO_2

	Perf_Leye	SoilCode	PctA	PctB	PctC	PctD
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	2.Prof. >100cm,FA,FA,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	50	50	0
	6.Prof. >100cm,A,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	0	100	0
	6.Prof. >100cm,A,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	0	100	0
	6.Prof. >100cm,A,A,Dren.Bueno,GE Bueno,Fert.Alta	C	0	0	100	0

AGROECOLOGICO_2

FIG. 3. 50 Tabla de atributos de tipo de suelo preparado

Para la preparación del uso de suelo, se deberá crear el campo landuse, en la tabla de atributos de tipo short integer y longitud 3.

Table

USOSUELO_2

FID	Shape *	CLASEFINAL	COUNT	SOURCETHM	AREA	PERIMETER	ACRES	landuse
0	Polygon	Cafe con sombra	845	merge6.dbf	655168677.108	2462635.669	15040.603	1
1	Polygon	Centros poblados	5	merge6.dbf	1823978.139	20586.641	41.873	2
2	Polygon	Cultivos anuales	49	merge6.dbf	15903365.917	109670.106	365.091	3
3	Polygon	Maleza y pasto con arboles	336	merge6.dbf	220336212.26	1030196.564	5058.223	4
4	Polygon	Pasto manejado	248	merge6.dbf	228382322.051	1018294.936	5242.937	5
5	Polygon	Tacotal y pasto con maleza	1039	merge6.dbf	2363743722.34	8039486.25	54264.089	6
6	Polygon	Vegetacion arbustiva	442	merge6.dbf	192185834.251	1205806.084	4411.98	7

USOSUELO_2

FIG. 3. 51 Tabla uso de suelo

Seguidamente debemos crear, editar y llenar los campos de la tabla CNLookUp, dicha tabla deberá tener los siguientes campos, LUValue, el cual será la misma numeración del campo landuse este será short integer y longitud 3, también deberá tener los campos A, B, C y D, que serán los datos que tomaran las subcuencas con atributos CN sus características serán short integer y longitud 3 donde tomaremos del libro ventec Chow.

OID	CLASEFINAL	LUValue	A	B	C	D
0	Cafe con sombra	1	70	79	84	85
1	Centros poblados	2	72	82	87	89
2	Cultivos anuales	3	70	79	84	85
3	Maleza y pasto con arboles	4	47	67	81	88
4	Pasto manejado	5	47	67	81	86
5	Tacotal y pasto con maleza	6	47	67	81	86
6	Vegetacion arbustiva	7	56	75	86	91

FIG. 3. 522 Tabla CNLookUp

- **Unión uso de suelo y tipo de suelo**

Para esta tarea deberemos utilizar las herramientas de **ARCCATALOG > ANÁLISIS TOOL > OVERLAY > UNION**. Donde se hará una unión de la capa uso de suelo y tipo de suelo.

- **Cn_grid**

A continuación se deberá transformar la unión anterior a un raster así que se procede de la siguiente manera.

Se deberá utilizar el hidro dem llamado fill para cálculo de la pendiente, seguidamente la unión de uso y tipo suelo seguidamente utilizar la tabla CNLookUp y por ultimo localizar y nombrar y llamarlo CNGrid

- **HEC GeoHMS >UTILITY > CN GRID**

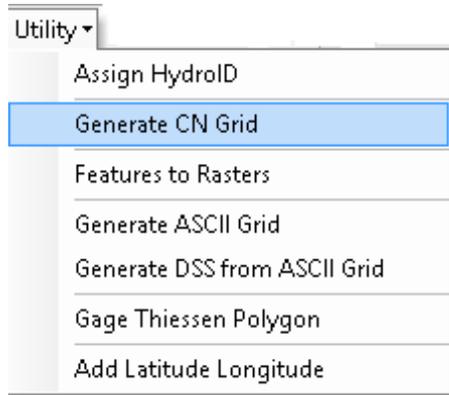


FIG. 3. 53 ubicación CN grid

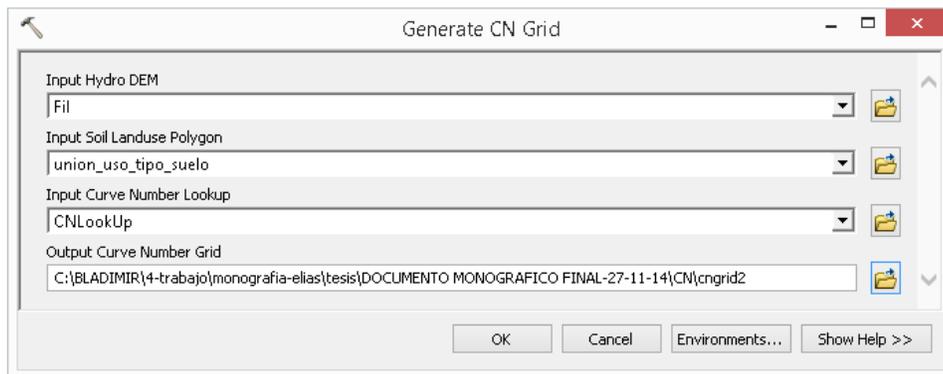
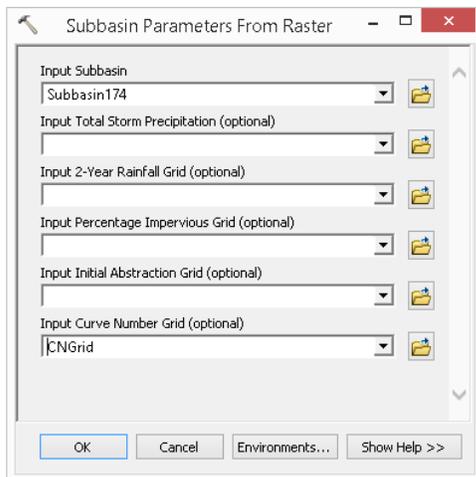


FIG. 3. 54 Cuadro de dialogo CN grid

📁 Subbasin Parameters from Raster



Ya creado el CN grid es vital importancia extraer del CN raster para que sean identificado por las sub cuencas y sean colocados en nuestro modelo hidrográfico del HEC-HMS.

- **HEC GeoHMS > Parameters > Subbasin Parameters from Raster**

FIG. 3. 55 Cuadro de dialogo Subbasin Parameters from Raster

↗ CN lag

CN lag permite calcular el tiempo de retado lag time de nuestras sub-cuencas y colocarnos en el modelo del HEC-HMS que nos permitirá transformar precipitación en escorrentía.

- **HEC GeoHMS > Parameters > CN lag**

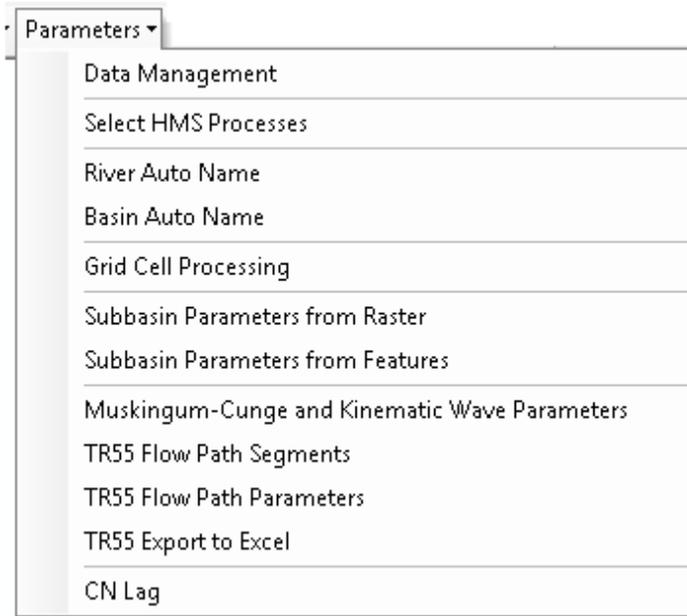


FIG. 3. 56 Ubicación de CN Lag

↗ MUSKINGUM-CUNGE AND KINEMATIC WAVE PARAMETERS

Para facilitar los parámetros de entrada para los métodos de Muskingum-cunge para método de la onda cinemática. Se requiere ingresar el tipo de forma, taludes, Manning del cauce que tendrá que ser dado por visita de campo.

- **HEC GeoHMS > Parameters > Muskingum-Cunge and Kinematic Wave Parameters**

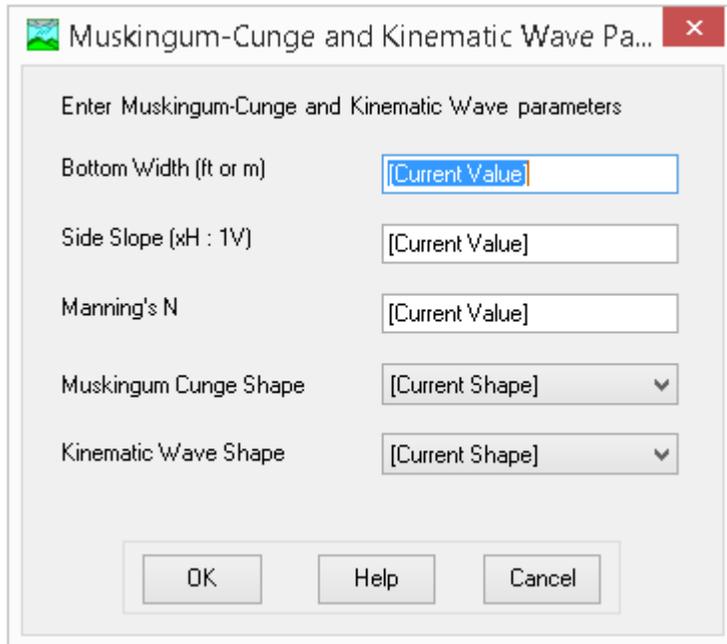


FIG. 3. 57 Ubicación de Muskingum-Cunge and Kinematic Wave Parameters

c) Modelación hidrológica (HMS)

Se denomina sistema de modelación hidrológica, debido que en este proceso se crea el modelo de la cuenca utilizado por el HEC-HMS, se define las unidades que se utilizarán en el proyecto, se hará una revisión al modelo que hasta el momento se han creado revisando la conectividad de los elementos y su nombramiento. A partir de esto se procederá a un esquema del modelo que será representado por una leyenda. Y al final se crearán los archivos que serán importados al software HEC-HMS con el cual finalizará el proceso del modelo SIG.

➤ MAP TO HMS UNITS (UNIDADES EN EL MAPA DE HMS)

Este paso convierte las características físicas de cauce y sub cuencas a un sistema de unidades seleccionado por el usuario. El usuario tiene la opción de convertir las unidades del mapa para Sistema Internacional (SI) o Inglés.

Los resultados de la operación de conversión de unidades en columnas adicionales serán añadidos a la tabla de atributos de las capas de las sub cuencas y cauces. Las nuevas columnas terminarán en "HMS". Una columna será llamada "Area_HMS" se añade a la tabla de atributos de la capa sub cuenca. Las unidades

para los datos de esta columna serán millas o kilómetros cuadrados, dependiendo del sistema de la unidad seleccionada.

- **HEC GeoHMS > HMS > MAP TO HMS UNITS**

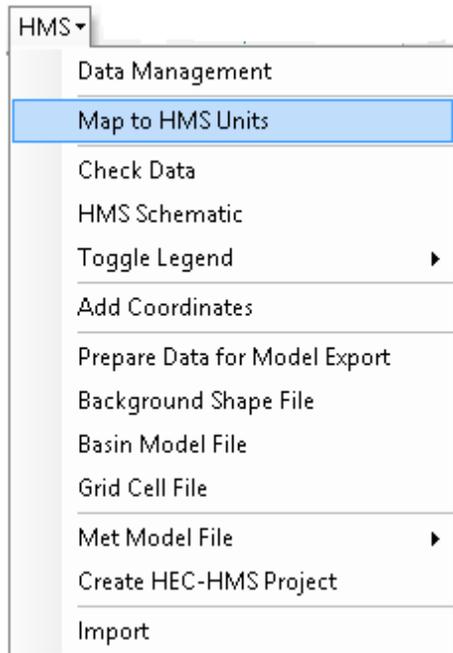


FIG. 3. 58 Ubicaciones de *MAP TO HMS UNITS*

📍 DATA CHECK (Verificación de los datos)

Este paso comprueba los conjuntos de datos para la consistencia en la descripción de la estructura hidrológica del modelo. El programa comprueba para nombres únicos seguros fueron utilizados para tramos de río y sub cuencas. Además, el programa comprueba que los cauces y centroide están contenidas dentro de un sub cuenca. Esto es necesario para la colocación de los nombres de los elementos hidrológicos y la conectividad elemento hidrológico.

En general, el programa realiza un seguimiento de la relación entre los segmentos de cauces, sub cuencas, y puntos de salida. Estos controles son necesarios porque las relaciones entre los elementos hidrológicos pueden haber sido roto por el uso intencional de subdivisión y fusión de herramientas.

El programa produce un archivo de texto, "SkelConsChk.txt", que contiene el resumen de la verificación de datos. Este paso no soluciona ninguno de los

problemas; sin embargo, el usuario puede solucionar los problemas de forma manual utilizando HEC-GeoHMS o HEC-HMS.

- **HEC GeoHMS > HMS > DATA CHECK**

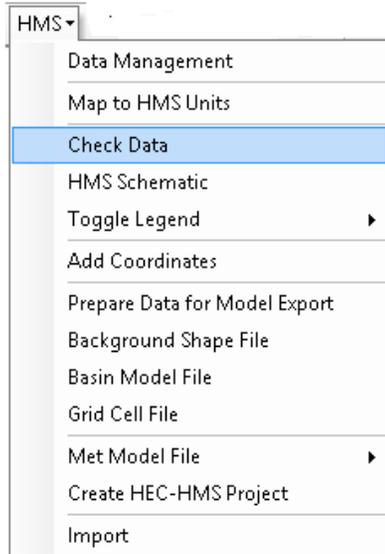
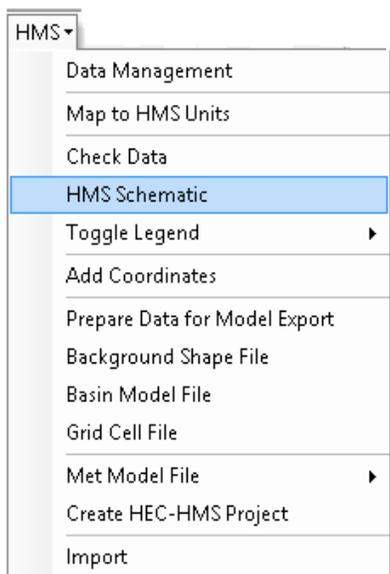


FIG. 3. 59 Ubicación de *DATA CHECK*

↗ HEC-HMS SCHEMATIC (Esquema de del modelo hec-hms)



La cuenca esquemática HMS es la representación de SIG del modelo HEC-HMS. Esta herramienta va a construir una red hidrológica simple que contiene los elementos del modelo HEC-HMS y muestra su conectividad. Este paso crea una capa HMS Link, que muestra la conectividad, y la capa HMS Node, que muestra las ubicaciones sub cuenca y de nodo de conexiones. Lugares de nudo para sub cuencas se colocan en el centro de gravedad de la sub cuenca

- **HEC GeoHMS > HMS > HEC-HMS SCHEMATIC**

FIG. 3. 60 Ubicación de *HEC-HMS SCHEMATIC*

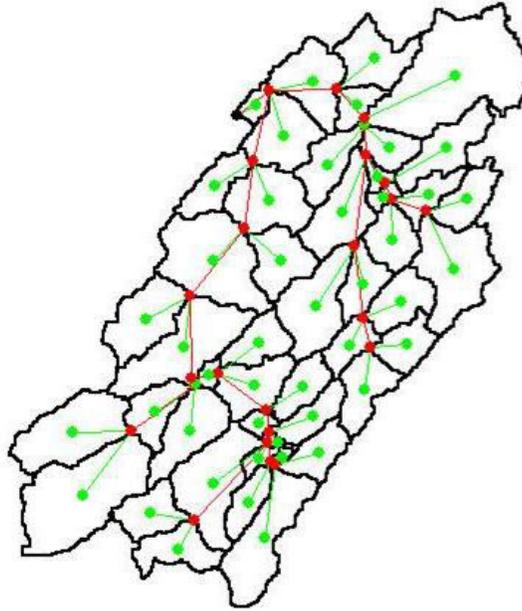


FIG. 3. 61 cuenca esquemática de *HEC-HMS SCHEMATIC*

↗ HMS LEGEND (Leyenda HMS)

Para representar puntos y líneas características en las capas HMS nodo y los HMS Link el usuario tiene la opción de cambiar entre el HMS y la Regular, normalmente se utiliza la simbología HMS, esta opción es totalmente de visualización no afecta nada en el modelo hidrológico

- **HEC GeoHMS > HMS > Toggle legend > HMS Legend**

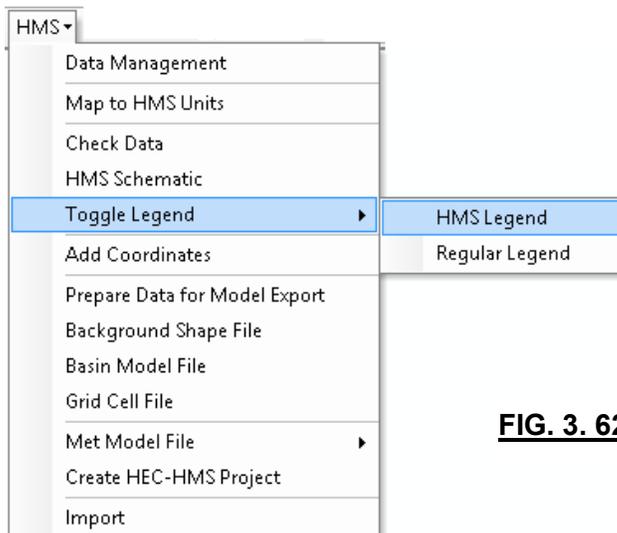


FIG. 3. 62 Ubicación de HMS Legend

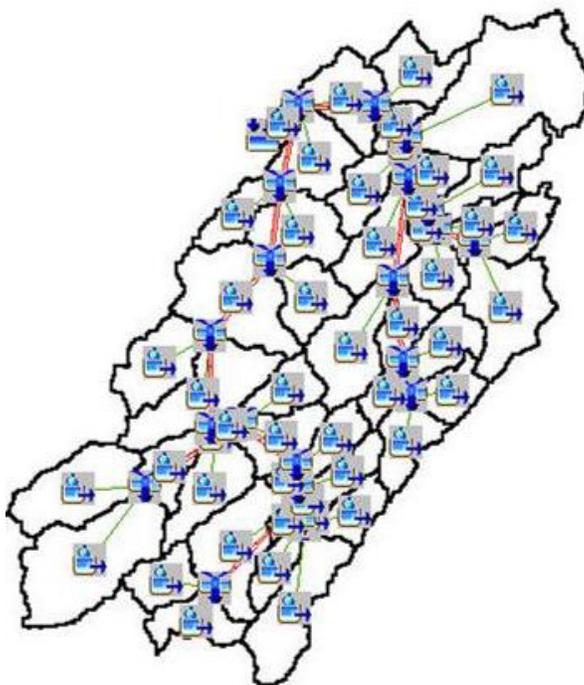
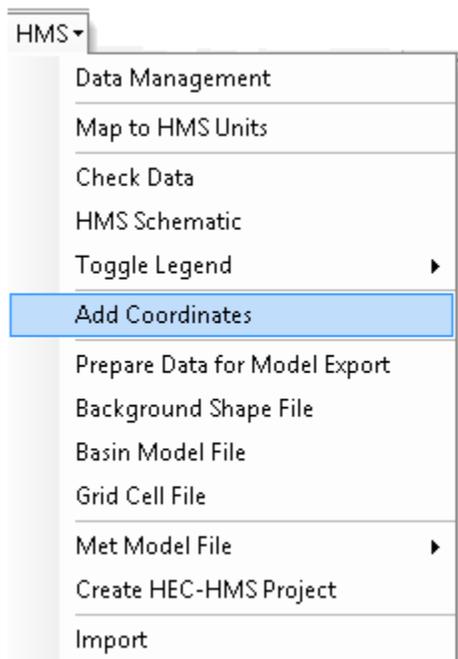


FIG. 3. 63 Esquema con HMS Legend

⇒ ADD COORDINATES (AGREGAR COODENADAS AL LEYENDA)

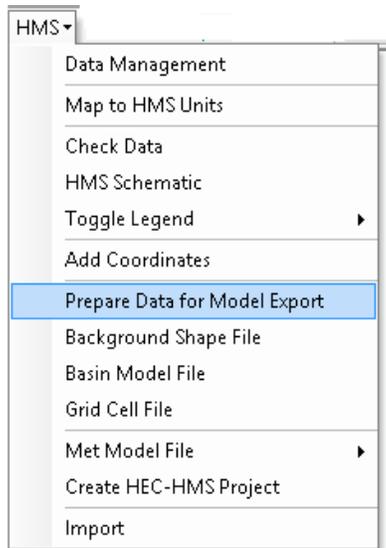


Este paso se une coordenadas geográficas a las características de las capas HMS nodo y los HMS Link. Las coordenadas se añaden a las tablas de atributos. La unión de coordenadas permite que los datos de SIG para ser exportados a un formato ASCII y conserva la información geoespacial. Además permite tener un sistema de coordenadas en HEC-HMS.

- **HEC GeoHMS > HMS > ADD COORDINATES**

FIG. 3. 64 Ubicación de *ADD COORDINATES*

➤ PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT (PREPARA EL MODELO PARA EXPORTAR)

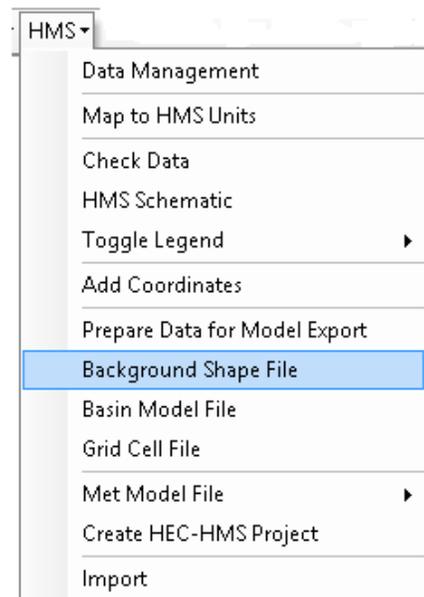


Un archivo de modelo de cuenca HMS contiene la estructura de datos hidrológicos, que incluye los elementos hidrológicos, su conectividad y parámetros relacionados. HEC-GeoHMS. Esta herramienta recopilará datos de los parámetros almacenados en las tablas de atributos de las capas de las sub cuencas y cauces y prepararlos para la exportación al archivo de modelo de cuenca HEC-HMS

- **HEC GeoHMS > HMS > PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT**

FIG. 3. 65 Ubicación de
PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT

➤ BACKGROUND SHAPE FILE (Archivos shape para fondo)



HEC-HMS permite tener imágenes de fondo, de la delimitación de la cuenca y cauces en formato shape. Esta etapa permite exportar las capas de River y Sub basin para poder importar en HEC.

- **HEC GeoHMS > HMS > BACKGROUND SHAPE FILE**

FIG. 3. 66 ubicaciones de
PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT

➤ BASIN MODEL FILE (ARCHIVO DE MODELO DE LA CUENCA)

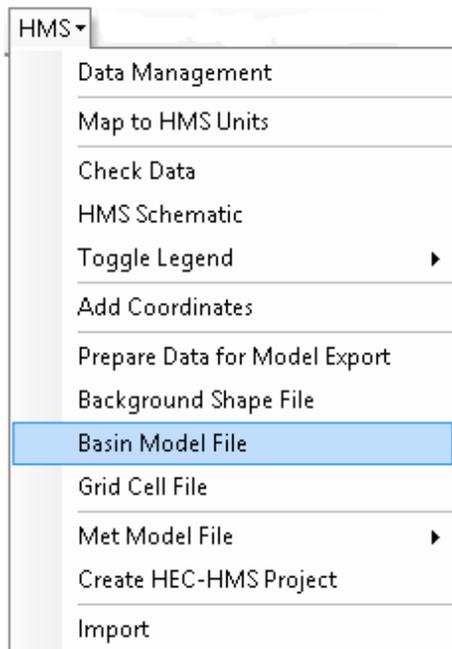


FIG. 3. 67 ubicaciones de *PREPARE DATA FOR MODEL EXPORT*

El modelo de cuenca (basin Model) captura los elementos hidrológicos, su conectividad, e información geográfica derivada en un archivo de texto ASCII que se puede cargar en un proyecto de HEC-HMS. Este archivo será creado por GeoHMS, para ser importado a HEC-HMS. Este archivo contiene todo el modelo hidrográfico de la cuenca delimitada a partir del punto de cierre.

- **HEC GeoHMS > HMS > BACKGROUND SHAPE FILE**

3.4. PROCESO DEL MODELO HEC-HMS

Este proceso es la creación del modelo hidrológico el cual permitirá modelar la escorrentía superficial. Una de las tareas es la transformación de la precipitación de lluvia a caudal, y realizar el tránsito de avenida que transita el caudal por cada sub cuenca y cauce, para determinar el caudal pico de un hidrograma resultante en la salida como punto de cierre.

Primeramente se tendrá que crear un proyecto y definir su nombre y su ubicación. Seguidamente se deberá importar el basin file creado por HEC-GEOHMS, así se tiene el modelo hidrográfico, se definirá los parámetros hidrológicos, área, tiempo de retardo, coeficientes de escorrentías.

A continuación se crearan los componente necesarios para fusionar el modelo hidrográfico con los datos de series temporales que son los datos de precipitación, y el modelo meteorológico que permite controlar la precipitación dada a las sub

cuencas, seguidamente las especificaciones de control que nos permiten definir el los intervalos de tiempo con que se evaluará nuestro evento.

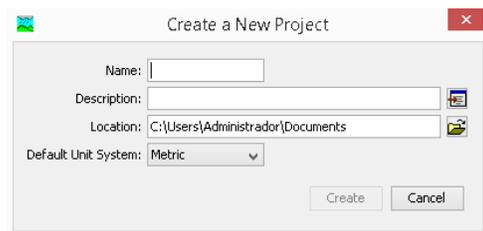
Ya conseguido todo esto se procederá generar una simulación, y correr esta simulación para que presente los resultados de la corrida del sistema de forma gráfico llamados hidrogramas y tablas de tiempo versus caudal.



FIG. 3. 68 Esquema del proceso del modelo HEC-HMS

3.4.1. PROYECTO NUEVO

Necesario y no menos importante es crear un proyecto, donde se definirá el nombre del proyecto, descripción y ubicación.



▪ **FILE > NEW >**

FIG. 3. 69 Cuadro de dialogo para crear nuevo proyecto

3.4.2. CREACIÓN DE COMPONENTES

a) BASIN MODEL (MODELO DE LA CUENCA)

El basin model, es parte de los archivos de un proyecto de HEC-HMS, en este archivo se contiene todo los elementos hidrográfico, como son las sub cuecas (sub basin), cauces (reach), uniones, divisiones, salida (sink). **VER TABLA 2.5 PÁGINA 29.**

↳ Importación del modelo de la cuenca de ArcGis

El modelo de la cuenca será importado a partir de un archivo con extensión basin file creado por HEC-GEOHMS anteriormente. El proceso es importar en proyecto nuevo o existente. Ya importado el modelo ya no es necesario crear una sub cuenca o un cauce, ya que todo el modelo es puesto desde HEC-GEOHMS, pero si el usuario desea hacer una modificación podrá hacerlos con las herramientas de creación del HEC-HMS.

▪ **FILE > IMPORT > BASIN MODEL**

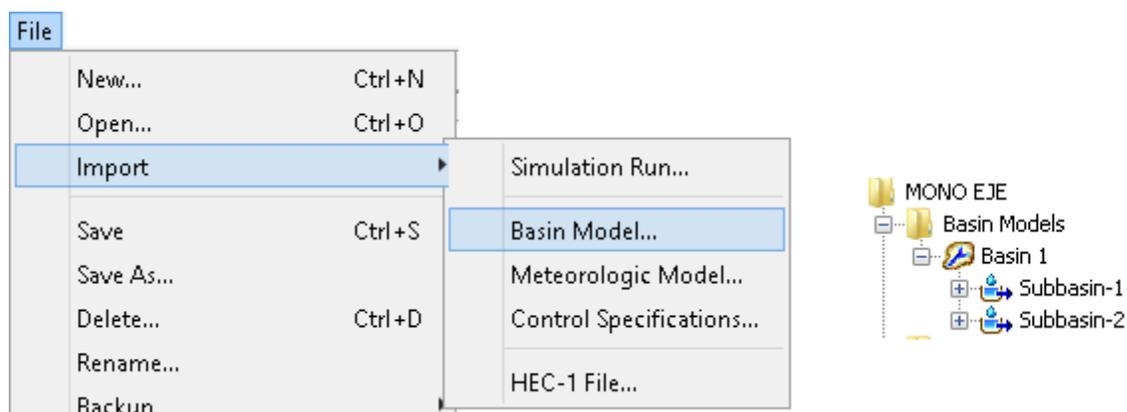


FIG. 3. 70 Ubicación para importar el basin file

b) INPUT DATA – TIME SERIES DATA (datos de entrada – datos de series temporales)

Dentro de los datos de entrada requeridos esencialmente en el HEC-HMS son los datos de precipitación y datos de caudales aforados, todo estos en función del tiempo, entre estos se tienen datos de precipitación obtenidos de un pluviómetro o un pluviografo, también los datos de mediciones caudales obtenidos por un estudio de aforo con un limnómetro o limnifrafo.

↗ PRECIPITACIÓN GAGES (MEDIDORES DE PRECIPITACIÓN)

Los datos de precipitación podrán ser un evento tipo real o hipotético, el real podrá ser un evento máximo extraordinario captado de algún pluviómetro, los hipotéticos podrá serán obtenidos por medio de métodos estadístico para un periodo de retorno dado.

- **FILE > COMPONENTS > TIME SERIES DATA MANAGER> PRECIPITATION GAGES**

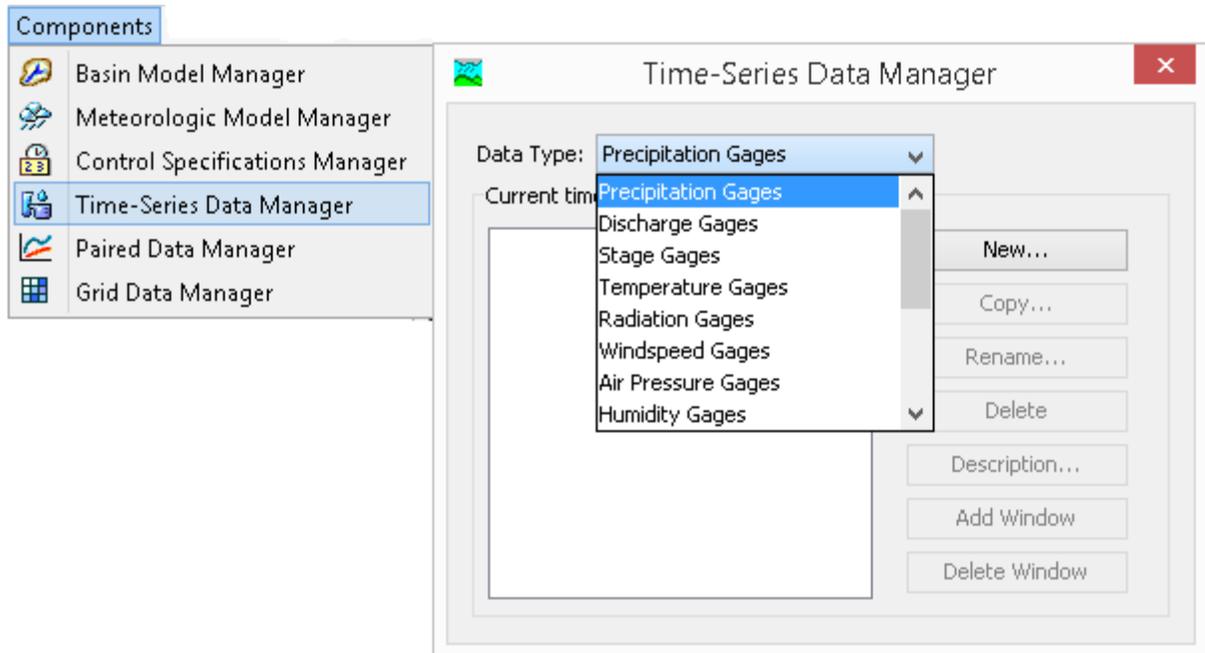


FIG. 3. 71 Ubicación de precipitación gage

Al crear el componente será requerido en nombre y una descripción de la estación meteorológica. Esto para poder identificar el componente gage.

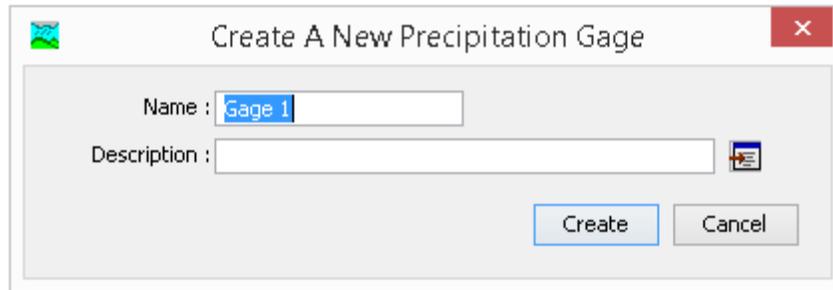


FIG. 3. 72 Creación de nuevo gage

Seguidamente se localiza en el explorador de componentes el gage creado.

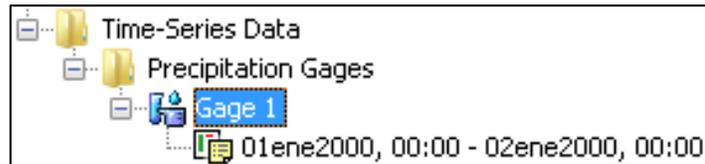


FIG. 3. 73 Ubicación de en explorador de componentes

A continuación se seleccionará el gage y se modificará en el editor de componentes las unidades que será definido incremental millimeters, y el tiempo de intervalo será según se ha conformado en el Hietograma de diseño.

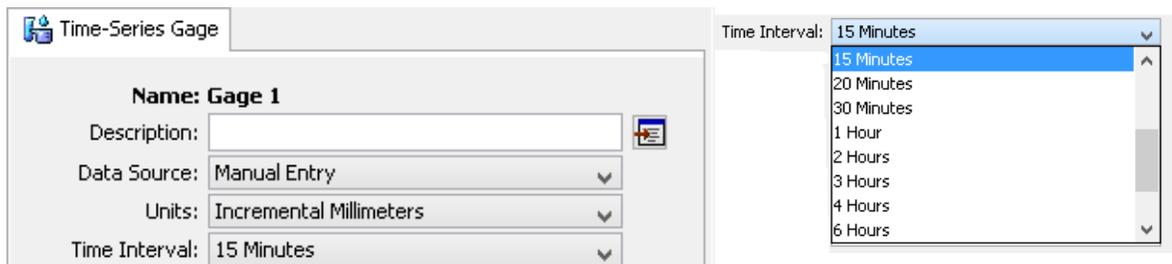


FIG. 3. 74 Configuración de Intervalo de Tiempo

Concluido la creación, se proporcionara al programa el evento de lluvia, tiempo y precipitación de forma tabular. Para esto se debe seleccionar a continuación la fecha.

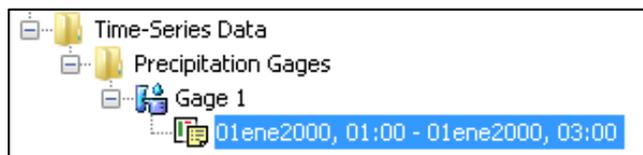


FIG. 3. 75 Ubicación de en explorador de componentes

Seguidamente se definirá en la pestaña de Windows time, la fecha de inicio y a continuación la hora de inicio, seguidamente la fecha y hora que terminará nuestro evento.

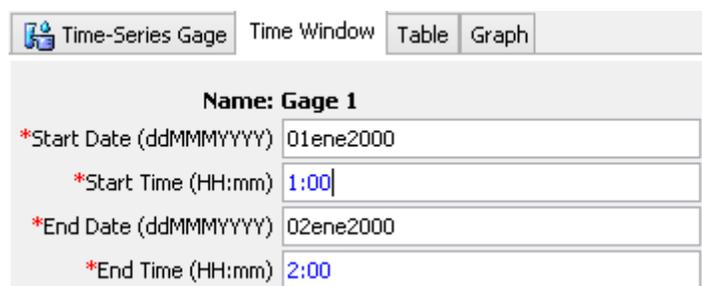


FIG. 3. 76 ubicación de en editor de componentes

Ya habiendo definido esto se procederá a ingresar en el Hietograma del evento de diseño de forma tabular. Para esto se seleccionará la pestaña tabla y aparecerán dos columnas, la primera representara el tiempo, en formato de fecha y hora, el tamaño de las filas fue determinado anteriormente en time interval y time Windows. En la segunda columna se escribirá las alturas de precipitación en milímetros, el formato ya ha sido definido en unidades.

Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01ene2000, 01:00	
01ene2000, 01:15	1.0
01ene2000, 01:30	2.0
01ene2000, 01:45	3.0
01ene2000, 02:00	4.0
01ene2000, 02:15	3.5
01ene2000, 02:30	3.0
01ene2000, 02:45	2.0
01ene2000, 03:00	1.0

FIG. 3.77 Ubicación en editor de componentes

Seguidamente como representación gráfica del evento, se ingresará a la pestaña graph, que representa el Hietograma de precipitación y tiempo de la tabla anterior.

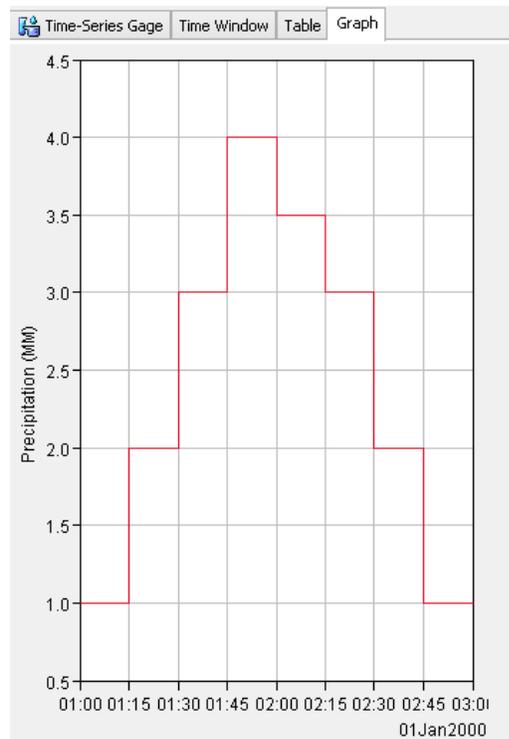


FIG. 3.78 Ubicación de en editor de componentes

c) METEOROLOGIC MODEL (MODELO METEOROLÓGICO)

El modelo meteorológico define como se comportara la distribución de la precipitación en el modelo hidrográfico, se predeterminara la precipitación requerida en las sub cuencas. Los métodos más usados son specified hyetograph y gage weights, el primero servirá cuando se ha proveído de un Hietograma de lluvia, y el segundo cuando se tiene más de un Hietograma de diferente medidor de precipitación.

▪ **COMPONENTS > METEOROLOGIC MODEL MANAGER>**

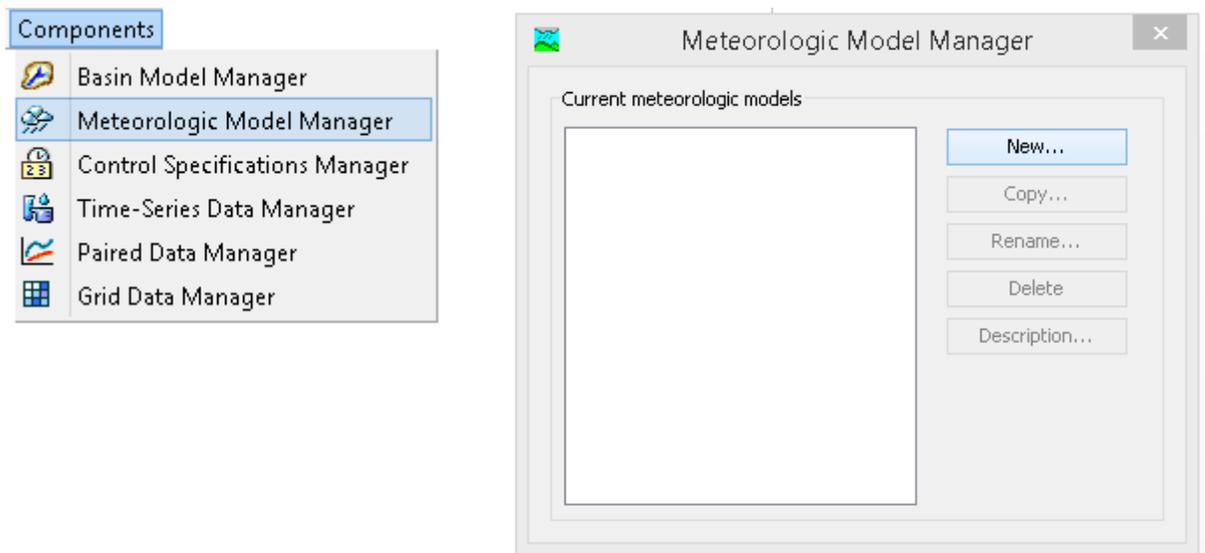


FIG. 3. 79 Ubicación de Discharge Gage

Al crear el componente será requerido en nombre y una descripción del modelo meteorológico. Esto para poder identificar el componente.

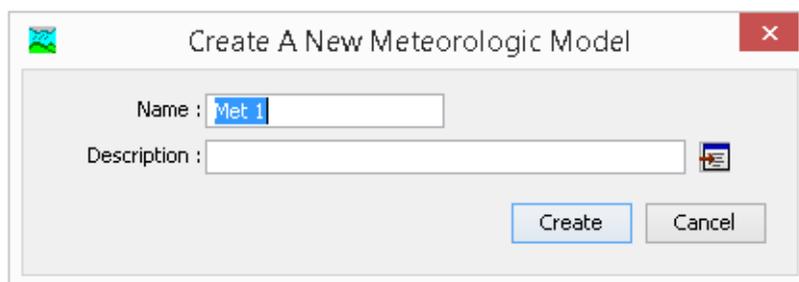


FIG. 3. 80 Creación de un meteorologic model

Seguidamente se podrá tener localizado en el explorador de componentes.



FIG. 3. 81 Ubicación de en explorador de componentes

A continuación se definirá el tipo de distribución de la precipitación, siendo las opciones specified hyetograp como Hietograma de un sola estación usada, y gage weight usando más de un Hietograma.

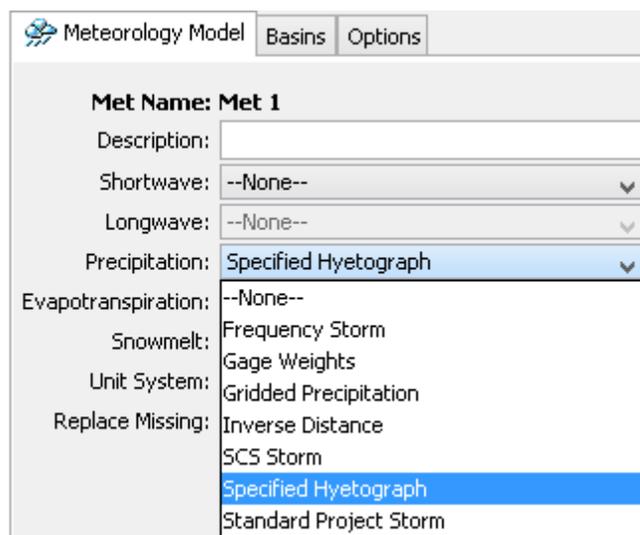


FIG. 3. 82 Ubicación del editor de componentes- modelo meteorológico

Definiendo la precipitación es necesario incluir el modelo de la cuenca que ser afectado por este modelo meteorológico.

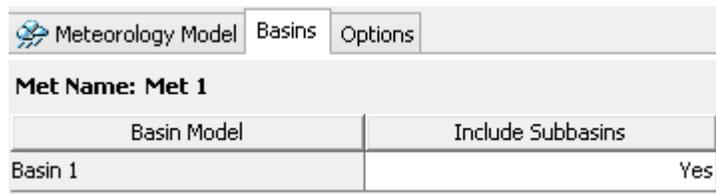


FIG. 3. 83 Ubicación del editor de componentes- Cuenca

Para finalizar de definirá las sub cuencas que serán afectadas por el medidor de precipitación anteriormente creado (precipitation gage)

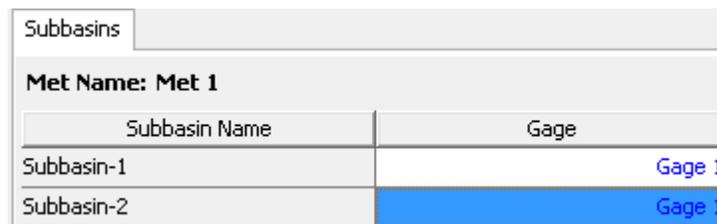


FIG. 3. 84 Ubicación del editor de componentes- Subcuenca

d) [CONTROL SPECIFICATION \(Especificaciones de control\)](#)

Las especificación de control, define la duración del evento, y los intervalos con que se representaran, es importante definir el tiempo de evento mayor al evento propuesto en los datos de entrada de precipitación, para evitar error en el Hidrograma resultante. El intervalo de tiempo será igual o mayor a la definición tiempo de intervalo (time interval) tanto para precipitación gages y discharge gage. Los parámetros que se definen son la fecha donde comienza el evento y la hora, tanto para el inicio como para el final.

- **FILE > COMPONENTS > CONTROL SPECIFICATION**

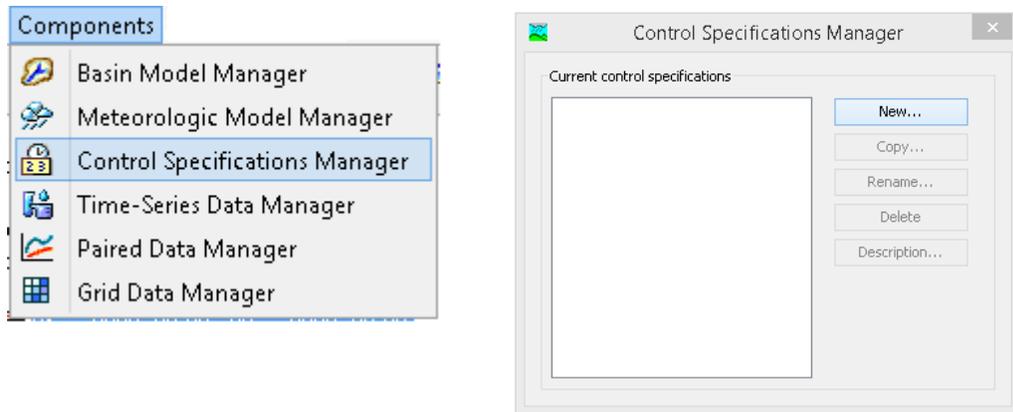


FIG. 3. 85 Ubicación de Control Specification

Al crear el componente será requerido en nombre y una descripción de especificación de control. Esto para poder identificar el componente.

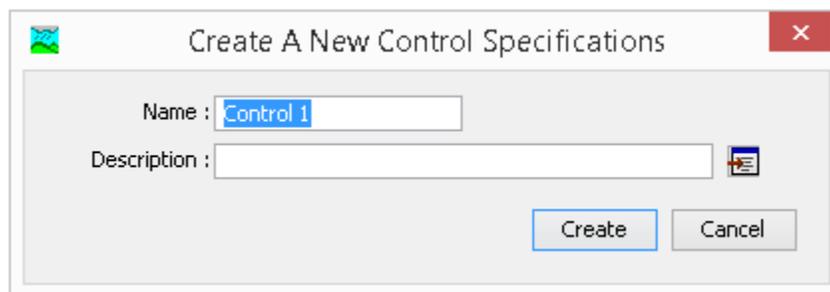


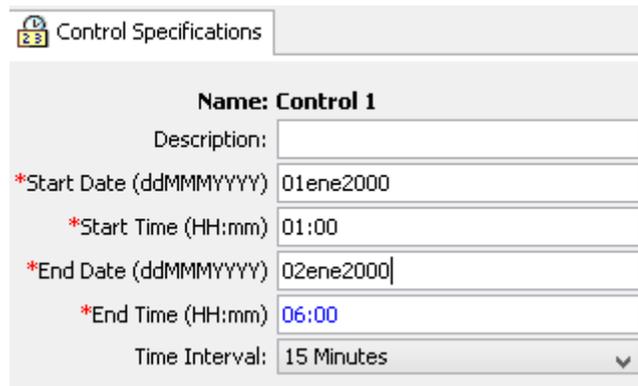
FIG. 3. 86 Creación de nuevo control specification

Seguidamente se podrá tener localizado en el explorador de componentes.



FIG. 3. 87 Generación de nuevo control specification

A continuación se definirá, la fecha de inicio y seguidamente la hora de inicio, posteriormente la fecha y hora que terminara el evento. Es de vital importancia definir la hora final mucho mayor el intervalo de tiempo definido en tiempo de intervalo (time interval) tanto para precipitación gages y discharge gage



Control Specifications	
Name: Control 1	
Description:	
*Start Date (ddMMYYYY)	01ene2000
*Start Time (HH:mm)	01:00
*End Date (ddMMYYYY)	02ene2000
*End Time (HH:mm)	06:00
Time Interval:	15 Minutes

FIG. 3. 88 Parámetros de Intervalo de Tiempo y Fecha – Control Specifications

3.4.3. CALCULO DE SIMULACIÓN

La simulación es la relación y preparación de los modelos: modelo hidrológico, modelo meteorológico, especificaciones de control, medidores de precipitación y descarga para la el cálculo y análisis del modelo hidrológico. Se podrá crear diversas alternativas de simulación según los datos obtenidos

a) Creación de simulación

La creación de la simulación será ejecutada por etapas, a partir de los componentes creados anteriormente. Primeramente, se escribe el nombre de la simulación, seguidamente se selecciona basin model, a continuación el modelo meteorológico y para finalizar especificación de control.

- **COMPUTE** > CREATE COMPUTE > SIMULACION RUN

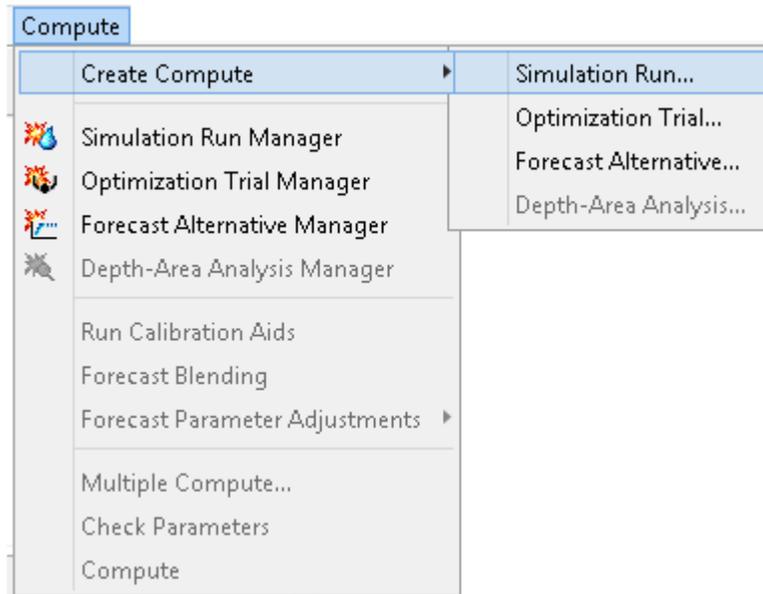


FIG. 3. 89 Ubicación de simulation run

El proceso se deberá crear por pasos, como primer paso el nombre de la alternativa de la simulación.



FIG. 3. 90 Nombre de Simulación (Paso-1)

Seguidamente seleccionar el modelo hidrográfico, llamado basin.

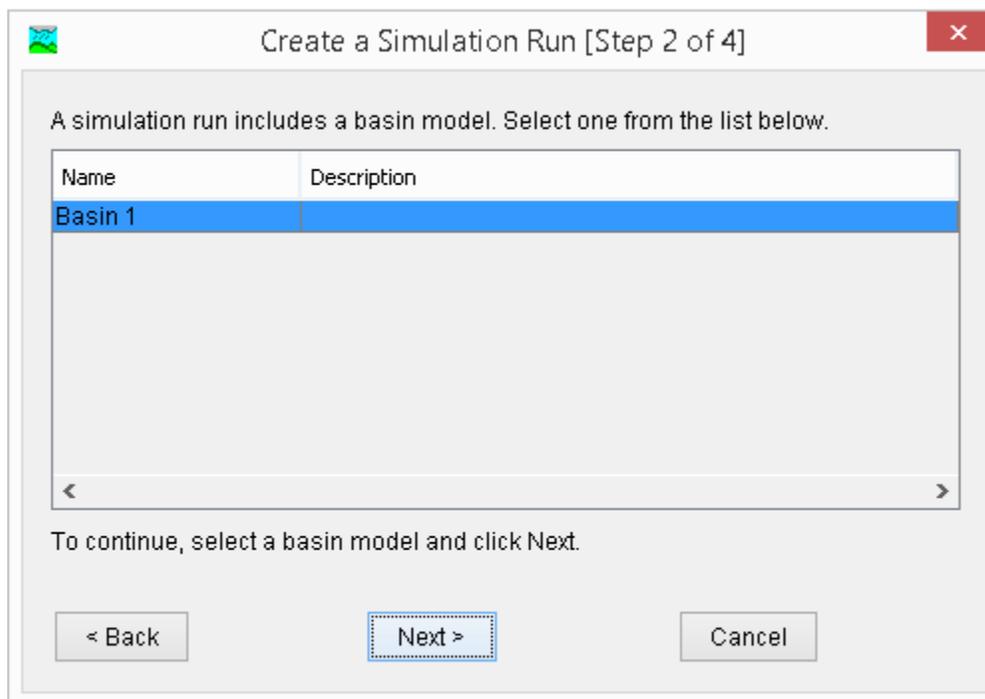


FIG. 3. 91 Selección modelo hidrológico (Paso-2)

Como tercer paso se deberá seleccionar la alternativa del modelo meteorológico.

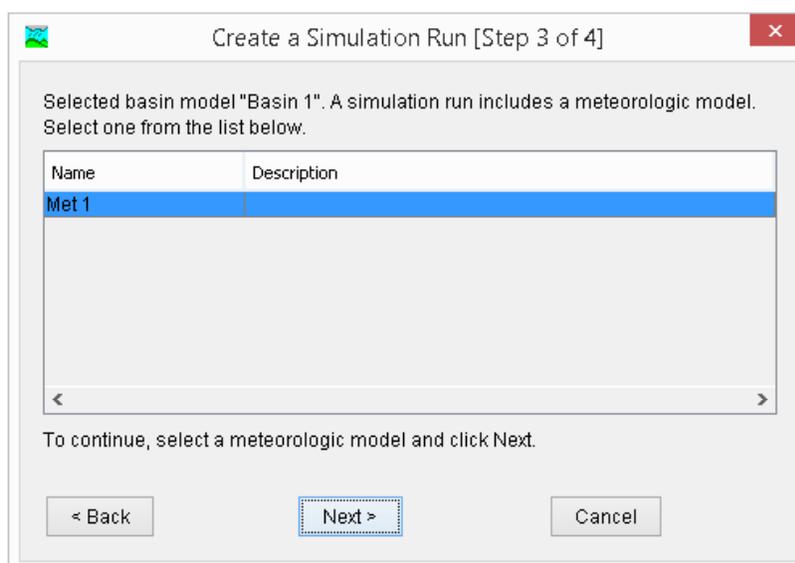


FIG. 3. 92 Alternativa modelo meteorológico (Paso-3)

Como último paso se define la especificación de control.

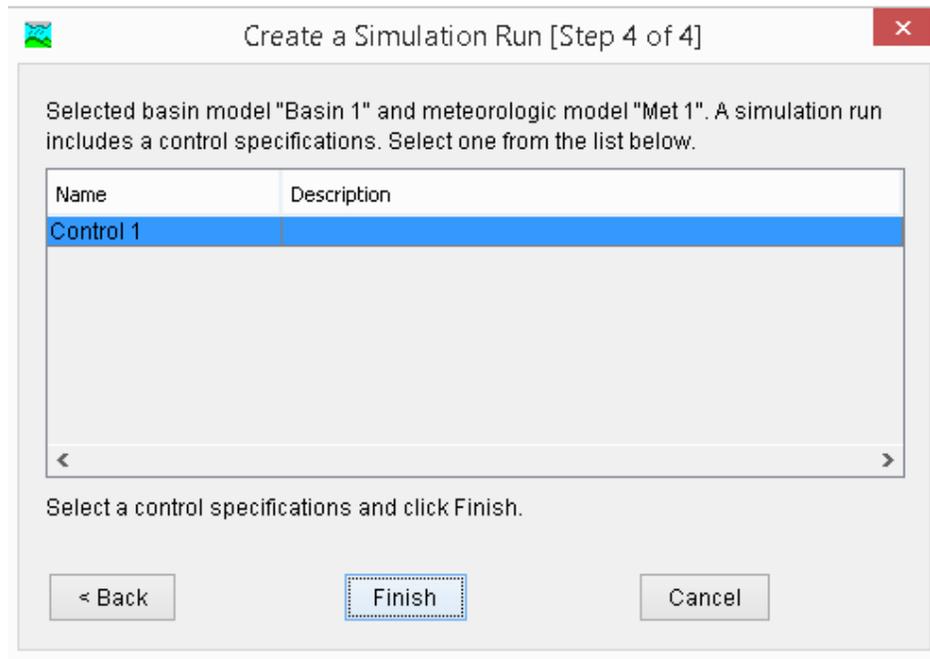


FIG. 3. 93 Especificación de Control (Paso-4)

Seguidamente se podrá revisar en explorador de componentes la simulación creada.

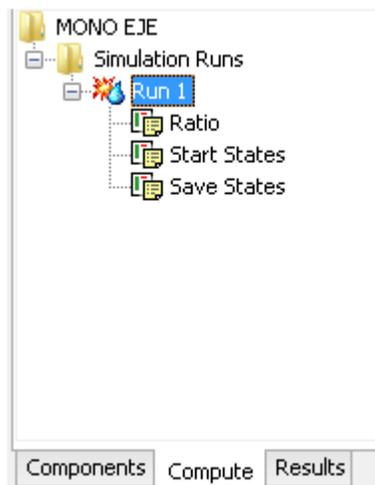


FIG. 3. 94 Ubicación de componentes de simulación

Seguidamente se podrá modificar en editor de componentes la simulación creada.



FIG. 3. 95 Ubicación de editor de componentes de simulación

b) Corrida de simulación

La corrida llamada **run**, es el cálculo y simulación que ejecuta el programa, con esto se podrá obtener el caudal en diversos tiempos.

▪ **COMPUTE > COMPUTE RUN**

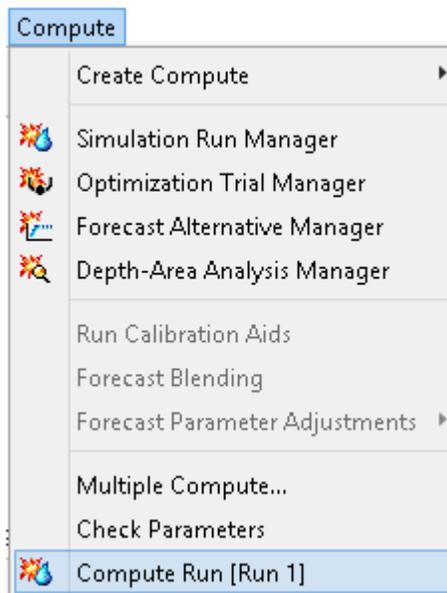


FIG. 3. 96 Ubicación de compute run.

Seguidamente se deberá mostrar la finalización de la simulación

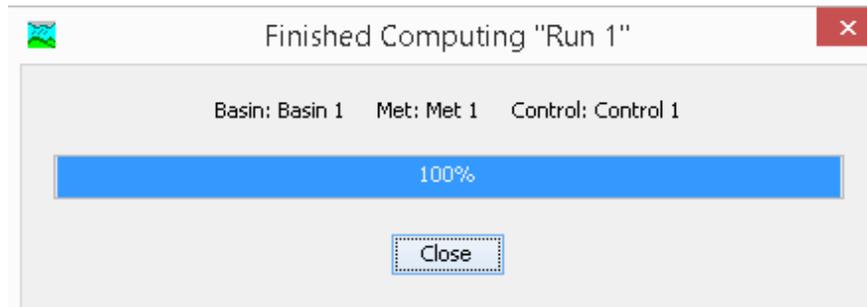


FIG. 3. 97 Mensajes cuando el software ha hecho el cálculo de la simulación

3.4.4. RESULTADOS

Después de haber realizado el cálculo de la simulación, los resultado se podrán visualizar el explorador de componentes, la forma en que se podrá visualizar es por medio de resultado global. También se podrá explorar los resultados por sub cuencas y cauces estos independientemente, la forma de representación de forma tabular y gráfica.

El objeto más importante visualizar es el llamado sink el cual es el punto de cierre de la cuenca y es el que contiene el caudal de diseño.

a) Visualización de resultados e interpretación de resultados

Para visualizar los resultados se selecciona la pestaña resultado, en el explorador de componentes. Y aquí se visualizan los elementos hidrológicos, tanto como global, por elemento y la salida sink.

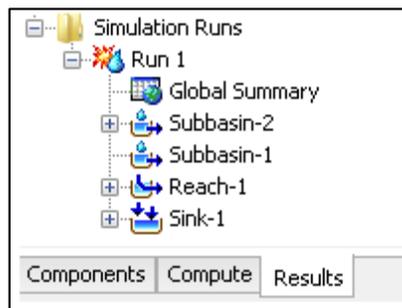


FIG. 3. 98 Ubicación de resultado

Seguidamente se podrá visualizar la sumatoria global, que representa de forma tabular, elemento hidrológico, el área de la cuenca, caudal pico en cada elemento, el tiempo en que ocurrió el caudal pico, y el volumen dividido entre 1000,

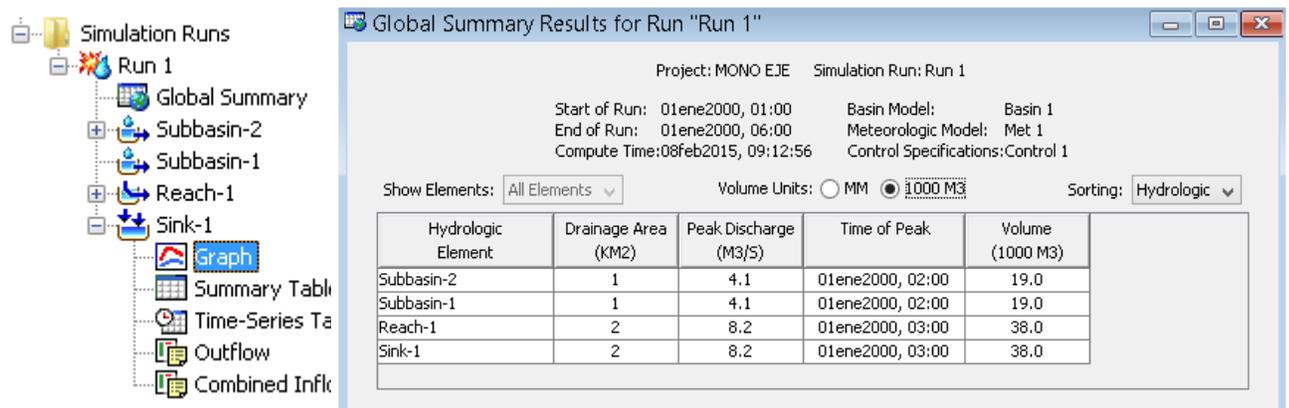


FIG. 3. 99 Ubicación de resultado

Seguidamente se analizará la salida, el cual muestra, un gráfico llamado Hidrograma, el cual muestra el caudal en función del tiempo, y encontrar el caudal pico que es nuestro objetivo.

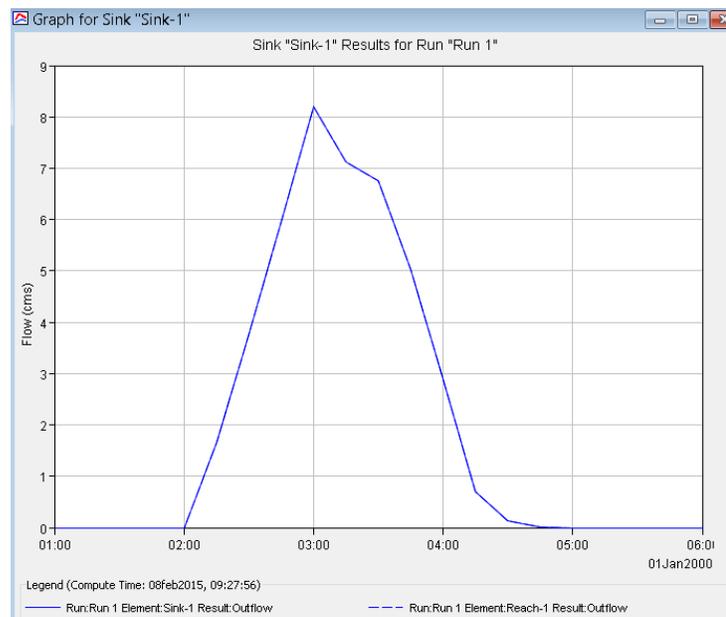


FIG. 3. 100 Ubicación de Hidrograma resultante de nuestra delimitación

Seguidamente se seleccionará la tabla de sumatoria que permite visualizar el inicio y el final del evento, y los resultados de cálculo, que son caudal pico, el volumen y tiempo pico de nuestro Hidrograma anterior.

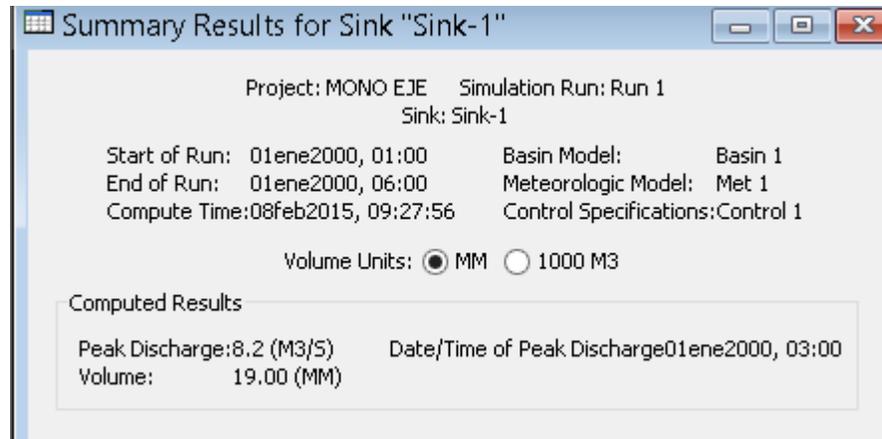


FIG. 3. 101 Resultados de Caudal Pico y Volumen

Como último resultado se podrá visualizar más a detalle el Hidrograma de forma tabular. Se podrá determinar en qué tiempo estará escurriendo el caudal.

Time-Series Results for Sink "Sink-1"

Project: MONO EJE Simulation Run: Run 1
Sink: Sink-1

Start of Run: 01ene2000, 01:00 Basin Model: Basin 1
End of Run: 01ene2000, 06:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 08feb2015, 09:27:56 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Outflow (M3/S)
01ene2000	01:00	0.0
01ene2000	01:15	0.0
01ene2000	01:30	0.0
01ene2000	01:45	0.0
01ene2000	02:00	0.0
01ene2000	02:15	1.7
01ene2000	02:30	3.8
01ene2000	02:45	6.0
01ene2000	03:00	8.2
01ene2000	03:15	7.1
01ene2000	03:30	6.8
01ene2000	03:45	5.0
01ene2000	04:00	2.9
01ene2000	04:15	0.7
01ene2000	04:30	0.1
01ene2000	04:45	0.0
01ene2000	05:00	0.0
01ene2000	05:15	0.0
01ene2000	05:30	0.0
01ene2000	05:45	0.0
01ene2000	06:00	0.0

FIG. 3. 102 Ubicación de tabla del Hidrograma resultante

4. CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones en este tema monográfico tenemos:

1. Se contara a partir de este documento una metodología que está pensada para tener una guía práctica y técnica, para desarrollar delimitaciones hidrográficas, a raíz de esto también el cálculo de Hidrogramas resultantes en punto de cierre conocido.
2. Es posible con el uso de estas herramientas y metodología hacer valoraciones hídricas, que permitan tomar decisiones para evento dado ya sea la ubicación de un puente o evaluar la capacidad de una alcantarilla.
3. Se demuestra la mejora del rendimiento en función de tiempo y la exactitud del proceso, al realizar el proceso de forma manual con rango de 1 semana para una cuenca 200km², al ejecutar este proceso a un día.
4. Al terminar la lectura del documento el lector tendrá conocimiento en sistema información geográfica y vera la modelación de un punto de vista más profundo y podrá tomar mejores decisiones ante un proyecto, lo cual permite visualizar la red de drenaje, y su clasificación de su forma.
5. se podrán obtener mapas hidrográficos mediante ArcGis, tablas de lo calcula mediante HEC-HMS, que podrán usado en el informe para justificar del estudio.

5. RECOMENDACIÓN

Dentro de las recomendaciones propuestas a continuación

1. El lector deberá tener conocimiento básico de hidráulica e hidrología y software ArcGis, HEC-HMS para poder realizar esta metodología.
2. La recopilación de información es importante que sea recolectada a partir de las instituciones del gobierno, para tener como base de referencia y seguridad, y si no hubiere tales como modelos de elevación, serán provistos por servidores internacionales o empresas dedicadas a estas.
3. La obtención de software, son de forma gratuita y serán obtenido de la página oficial del HEC.
4. Es muy importante que lector, lleve el estudio de este documento a los 3 niveles de aprendizaje, teórico, práctico y multimedia, que están estrechamente relacionado.
5. Se recomienda tener en consideración, el Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor y mayor- MTI. Para la aplicación de la metodología.

6. BIBLIOGRAFIA

Libros

1. **FUNDAMENTO DE LA HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE** – Francisco Javier Aparicio Mijares –Limusina- 1992
2. **MANUAL PARA REVISION ESTUDIOS HIDROTÉCNICOS DE DRENAJE MAYOR**. Ministerio De Transporte E Infraestructura – División De Planificación. Octubre 2008
3. **HIDROLOGÍA APLICADA** – Ven Te Chow – Mc GRAW – HILL- enero 2000
4. **HEC-GEO HMS - User manual**. Us Army Corps – Hidrologic Engineering Center. may 2012 version 10.1
5. **HEC- HMS - User manual**. Us Army Corps – Hidrologic Engineering Center. December 2013 version 4

Páginas web

1. <http://hidrologia.usal.es/hidro.htm> - Departamento de Geología . Universidad de Salamanca (España)
2. <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/hydrology/?cid=stelprdb1043063> - The Natural Resources Conservation Service (NRCS)