

Obtención de parámetros para la modelación
hidrológica con HEC-GeoHMS.

Yassiel Zamora Rangel.

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Obtención de parámetros para la modelación
hidrológica con HEC-GeoHMS.

TESINA

Que como parte de los requisitos para obtener el
título de

INGENIERO CIVIL

Presenta:

Yassiel Zamora Rangel.

Dirigida por:

M. en C. José Antonio Quevedo Tiznado

C.U., Santiago de Querétaro, Qro.

Marzo de 2014

ÍNDICE DE TEMAS

RESUMEN	5
I.INTRODUCCIÓN	6
I.1 JUSTIFICACIÓN	7
I.2 OBJETIVO	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA	8
II.1 Antecedentes	8
II.2 Normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes	11
II.3 Conceptos hidrológicos básicos	11
II.4 Herramientas computacionales	14
III. METODOLOGÍA	17
III.1 Información requerida	17
III.1.1 Zona de estudio	17
III.1.2 Topografía	19
III.2. Procesamiento de los modelos de elevación con ArcGIS 10	22
III.3.- Procesamiento del terreno	30
III.3.1. Relleno de depresiones	30
III.3.2. Dirección del flujo	31
III.3.3. Acumulación de flujo	32
III.3.4. Definición de corriente	33
III.3.5. Segmentación de corriente	34
III.3.6. Delineación de los segmentos de captación	35
III.3.7. Procesamiento de polígonos de captación	36
III.3.8. Procesamiento de la línea de drenaje	37
III.3.9. Procesamiento de zonas de captación adjuntas	38
III.4. CONFIGURACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO	39
III.5. CARACTERÍSTICAS DEL ARROYO Y LA SUBCUENCA	44
III.5.1. Longitud del cauce	44
III.5.2. Pendiente del cauce	45
III.5.3. Pendiente de la cuenca	46
III.5.4. Camino más largo del flujo	49
III.5.5. Centroide de la cuenca	50
III.5.6. Elevación del centroide	51
III.5.7. Trayectoria del flujo más largo desde el centroide	52
III.5.8. Delimitación del polígono del MDE de usos y tipos de suelo	53
III.5.9. Parámetros hidrológicos	61
III.6. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO PARA LA EXPORTACIÓN	65
IV. RESULTADOS	68
V.CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.- Terminología de hidrogramas	12
2.- Ventana con las diferentes partes del programa Arc Map 10	15
3.- Diferentes propiedades y características de las capas	16
4.- Ubicación del punto de estudio de acuerdo a la región hidrológica correspondiente	18
5.- localización del municipio de Técpan en el estado de Guerrero	18
6.- Ventana de la página de INEGI, donde se pueden descargar los MDE	20
7.- Software TMCALC usado para la conversión de coordenadas	22
8.- Icono de “Connect to folder”	23
9.- Ventana de “Connect to folder” para seleccionar el folder correspondiente	23
10.- Ventana de Add data	24
11.- Creación del mapa del MDE	24
12.- Mapa del MDE con elevaciones del estado de Guerrero	24
13.- Ventana con la herramienta clip del Arc ToolBox Window	25
14.- Ventana de la herramienta Clip	26
15.- “Zoom to Layer” y capa de Guerrero apagada	26
16.- Ventana con la herramienta Project Raster del Arc ToolBox Window	27
17.- Ventana de la herramienta Project Raster	28
18.- Ventana de búsqueda de las coordenadas UTM	28
19.- Ventana de selección de las coordenadas UTM	29
20.- Ventana de Project Raster con las coordenadas a cambiar	29
21.- Ventana de opciones de la herramienta Fill Sinks	31
22.- Ventana de opciones de la herramienta Flow Direction	32
23.- Ventana de opciones de la herramienta Flow Direction	33
24.- Ventana de opciones de la herramienta Stream Definition	34
25.- Ventana de opciones de la herramienta Stream Segmentation	35
26.- Ventana de opciones de la herramienta Catchment Grid Delineation	36
27.- Ventana de opciones de la herramienta Catchment Polygon Processing	37
28.- Ventana de opciones de la herramienta Drainaje Line Processing	38
29.- Ventana de opciones de la herramienta Drainaje Line Processing	39
30.- Ventana de opciones de la herramienta Start New Project	40
31.- Ventana definición del nuevo proyecto	41
32.- Ubicación de la herramienta Add Project Points	42
33.- Ventana de opciones de la herramienta Add Project Points	42
34.- Ventana con las capas a crear con la generación del proyecto	43
35.- Ventana para la creación del proyecto con el área de limitada	43
36.- Ventana de opciones de la herramienta River Length	45
37.- Ventana de opciones de la herramienta River Slope	46
38.- Ventana con la herramienta Slope del Arc ToolBox Window	47
39.- Ventana de opciones de la herramienta Slope	47
40.- Ventana del Output Raster	48
41.- Ventana de opciones de la herramienta Basin Slope	49
42.- Ventana de opciones de la herramienta Longest Flowpath	50

Figura	Página
43.- Ventana de opciones de la herramienta Basin Centroid	51
44.- Ventana de opciones de la herramienta Centroid Elevation	52
45.- Ventana de opciones de la herramienta Centroid Longest Flowpath	53
46.- Ventana de Add Data (agregar la capa de uso de suelo)	54
47.- Ventana de Add Data (agregar la capa de ProjectArea)	54
48.- Ventana de opciones de la herramienta Clip	55
49.- Ventana de Add Data (agregar la capa de usosuelo)	57
50.- Mensaje de sistema de coordenadas diferente en la capa usosuelo	57
51.- Ventana de Add Data (agregar la capa de edafo)	57
52.- Ventana de opciones de la herramienta union	58
53.- Opción para abrir la tabla de atributos	59
54.- Ubicación de la herramienta Add Field	59
55.- Ventana de opciones de la herramienta Add Field	59
56.- Ubicación de las herramientas de edición de tablas	60
57.- Pasos para crear una nueva tabla	62
58.- Ventana de opciones de la herramienta Generate CN Grid	63
59.- Ventana de opciones de la herramienta Select HMS Processes	64
60.- Ventana de opciones de la herramienta Subbasin Parameter	65
61.- Ventana de selección del tipo de unidades	65
62.- Ventana de opciones de HMS Schematic	66
63.- Ubicación de la herramienta HMS Legend	66
64.- Ventana de opciones de Prepare Data for Model Export	67
65.- Ventana de opciones de Background Shape File	67
66.- Mapa con la división de las subcuencas creadas	68
67.- Tablas con los datos requeridos para los cálculos	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1.- Coordenadas del punto de salida de la cuenca platanillo	21
2.- Coordenadas usadas para la limitación del polígono de estudio	21
3.- Coordenadas geodésicas usadas para la limitación del polígono de estudio	22
4.- Coordenadas del punto de salida de la cuenca platanillo	41
5.- Contenido modificado de la capa "ncurva"	61
6.- Contenido de la tabla "CNLookUp"	62
7.- Parámetros obtenidos de las subcuencas	68

RESUMEN

Se presenta una metodología para la modelación hidrológica de una cuenca del estado de Guerrero, como parte de su estudio hidrológico, para la reproducción sistemática del comportamiento de la cuenca ante la ocurrencia de lluvias que puedan provocar inundaciones de gran magnitud, mediante la obtención de parámetros, con ayuda del software HEC-GeoHMS y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La obtención de características y parámetros hidrológicos, es de suma importancia para el cálculo y diseño de obras hidráulicas aplicadas a las vías terrestres, la correcta determinación de éstos repercute significativamente en los resultados del estudio hidrológico y por ello en el dimensionamiento de puentes, alcantarillas, vados, etc. Las etapas del estudio hidrológico de una cuenca, para el diseño de obras hidráulicas son: Información básica, pre-procesamiento de la información, análisis de la precipitación y características del escurrimiento.

Lo que se pretende con el uso de HEC-GeoHMS es obtener las características físicas de una cuenca hidrográfica para luego estimar los parámetros hidrológicos, que serán los datos de entrada para HEC-HMS. El esquema de trabajo en HEC-GeoHMS es el siguiente:

- Pre-proceso del terreno
- Extracción de la cuenca de estudio
- Procesado de la cuenca
- Obtención de la características de cauces y subcuencas
- Estimación de los parámetros hidrológicos
- Exportar datos a HEC-HMS

El algoritmo de cálculo implementado en HEC-GeoHMS se basa en la premisa de que el agua fluye siguiendo la línea de máxima pendiente. Por lo tanto, en un MDE en formato Raster, el agua que haya en una celda fluirá hacia una de las ocho celdas que la rodean, siguiendo la línea de máxima pendiente. Este algoritmo se conoce como algoritmo de flujo en ocho direcciones.

I. INTRODUCCIÓN

La modelación hidrológica es una herramienta muy importante para la elaboración del estudio hidrológico y sus características. Actualmente, con el empleo de la modelación, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis más realistas o previsibles que ofrezcan un mayor grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia.

Sin embargo, al llevar a cabo una modelación se va complicando debido a la carencia de datos, como lo intensidad de lluvia, altura de lámina de lluvia, duración de las precipitación, periodos de retorno, ya que las estaciones con las que cuenta actualmente la república, no registran algunos datos, por diferentes circunstancias, como lo son por mantenimiento de las mismas, mal manejo de la información, carencia de personal que atiendan las estaciones.

Por esta razón un estudio hidrológico elaborado sin ayuda de programas informáticos se va complicando, sin embargo al hacer uso de ayuda, como lo es un software dicho estudio se desarrolla con mayor facilidad. Hay una gran variedad de programas que existen para llevar a cabo un análisis hidrológico por medio de la modelación, siendo el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) el aplicado en la presente investigación ya que es un programa computacional gratuito, el cual provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación escurrimiento y tránsito de caudales. Este modelo utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado. Es un programa muy flexible que permite al usuario la selección de diferentes métodos para el cálculo de pérdidas, hidrogramas, flujo base y propagación en cauces.

I.1. Justificación

Actualmente la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro carece de un manual para el Software ArcGIS y HEC-HMS, por lo que se hace necesario contar con un documento en el que se explique las herramientas básicas y las formas de uso de estos programas que son de gran utilidad y ampliamente utilizados en la elaboración de estudios hidrológicos en el país.

I.2. Objetivo

El principal objetivo es realizar un manual de uso de dos de los diferentes programas informáticos empleados para llevar a cabo una modelación de una cuenca hidrográfica, dichos programas fueron usados durante el curso de actualización, mediante un recopilación de los diferente manuales ya existentes, así como también de diferentes trabajos elaborados para el análisis hidrológico de cuencas de diferentes zonas. En este trabajo se toma en cuenta las diferentes normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, especialmente la normativa para el diseño de obras hidráulicas para puentes y la normativa para el estudio hidrológico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Para tener un mejor conocimiento de las herramientas, así como de los procesos que se llevan a cabo en la modelación, fue necesario una investigación y revisión de literatura previa, para esto se buscaron artículos de trabajos elaborados con el uso de estos programas, así como también de algunos manuales existentes, para conocer las herramientas y la función que tienen en el proceso de modelación, así como los pasos y procesos necesarios.

Otro medio de información consultado fue la normativa que tiene la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), que deben ser tomadas en cuenta en la realización de los proyectos de diseño de vías terrestres. En estas normas se encuentran las relacionadas con los estudios hidráulicos e hidrológicos necesarios para el diseño y construcción de obras hidráulicas.

II.1 Antecedentes

Especialistas cubanos en los últimos años han dado pasos en la aplicación del HEC-HMS para obtener hidrogramas de avenidas en algunas zonas del país, pero la experiencia de aplicación alcanzada es todavía insuficiente. En este sentido la presente investigación realiza recomendaciones para la modelación con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba a partir de su aplicación en la cuenca Las Coloradas, obteniendo experiencias en los métodos de cálculo de mejor aplicación y los valores que alcanzan sus parámetros. Se han tenido en cuenta las particularidades físico-geográficas y climáticas de las cuencas montañosas orientales y el estado de la información hidrometeorológica en las mismas. (Estrada, 2012).

El problema de carencia o escases de hidrogramas, lo compensaron con las herramientas que trae el programa para llevar a cabo la elaboración de los mismos con ayuda de datos de medición de lluvia media diaria, tomada de estaciones cercanas a la cuenca de estudio.

Sin embargo existen problemas mayores que la carencia de datos como hidrogramas o hietogramas, en algunos casos no se cuentan con datos o parámetros de lluvia, debido a los escasos o inexistencia de estaciones cercanas, para este problema se pueden estimar o hacer predicciones de dichos parámetros, con datos medidos en estaciones cercanas a la zona de estudio.

El escurrimiento es una de las variables hidrológicas más importantes que se emplea en la mayoría de los usos de los recursos de agua. La obtención de una predicción confiable del escurrimiento superficial hacia corrientes y ríos en cuencas sin datos de aforo es un proceso difícil que consume mucho tiempo. Sin embargo, las tecnologías de percepción remota y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden complementar en gran medida a los métodos convencionales en estudios de lluvia-escurrimiento. Estas técnicas pueden ser aplicadas para estimar la variación espacial de los parámetros hidrológicos que se emplean en modelos de lluvia-escurrimientos. (Hammouri, 2007).

Para evitar problemas de inundaciones durante las temporadas de lluvia es importante llevar a cabo previamente un análisis hidrológico, en el cual las mediciones se elaboran en escalas pequeñas de tiempo para aumentar la eficiencia del mismo, sin embargo estos tipos de análisis se dificultan debido a la carencia de datos en este tipo de mediciones.

Resulta muy importante en los estudios de este tipo, sobre todo cuando no existen suficientes datos para calibrar el modelo hidrológico, contar con un análisis de los resultados de varias simulaciones de eventos que puedan producirse en la zona para conocer las características generales de las respuestas de la cuenca ante dichos eventos, y así poder tomar decisiones, partiendo de la información de la lluvia que esté cayendo en la región en un momento dado. (Rodríguez, 2010).

La problemática asociada a las avenidas y las inundaciones que provocan es compleja, ya que intervienen numerosos factores entre los cuales se encuentran la magnitud y localización de las poblaciones, las obras y la actividad antropogénica en las zonas estudiadas, las características fisiográficas de la cuenca incluyendo su sistema fluvial.

Los modelos de transformación lluvia – escurrimiento son una herramienta muy útil en la previsión de las avenidas. Contar con ellos en nuestros países es necesario, ya que se ven afectados con frecuencia por lluvias intensas, que provocan inundaciones en intervalos de tiempo relativamente cortos, las que traen consigo muchos daños sociales y económicos. El modelo obtenido brinda la posibilidad de realizar predicciones de los valores de los gastos máximos a producirse así como los hidrogramas en diferentes puntos de la cuenca, luego de conocer el pronóstico de lluvias en una zona determinada. Los resultados de tales simulaciones posibilitan tomar medidas preventivas para salvaguardar tanto vidas humanas, como bienes de los sectores económicos que se afectarán. (Gil, 2010).

Una de las aplicaciones frecuentes en el manejo de recursos hídricos tiene que ver con la producción de mapas de inundaciones a partir de registros puntuales de precipitación, utilizando de forma acoplada las herramientas de modelación hidrológica HEC-GeoHMS y HEC-HMS, y las herramientas de modelación hidráulica HEC-GeoRAS y HEC-RAS, del Cuerpo de Ingenieros delos Estados Unidos. Para la calibración del modelo hidrológico HEC-HMS se utilizan tormentas registradas, y tormentas sintéticas para la generación de eventos torrenciales, que son analizados hidráulicamente utilizando la aplicación de flujo no permanente del modelo HECRAS. Los resultados obtenidos permiten concluir que el uso adecuado, sistemático y responsable de herramientas de procesamiento de información geográfica, combinadas con la aplicación de modelos hidrológicos e hidráulicos, correctamente calibrados y validados, brinda a los tomadores de decisiones información valiosa y oportuna para la implementación de medidas que tiendan a reducir el impacto de eventos torrenciales y catastróficos sobre la población. (Rodríguez, 2007).

II. 2 Normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

El primer libro de las normativas consultado, es el manual del libro PRY PRYECTO, de tema Carreteras, parte 1 Estudios, con título Estudios Hidráulico – Hidrológicos para puentes, conformado por varios capítulos, de los cuales los utilizados son el capítulo III, IV, y V.

El capítulo III contiene los procedimientos para procesa la información necesaria, disponible, también aquella que se pueda obtener de un reconocimiento previo en campo, así como también de los levantamientos topográficos que se puedan realizar. El primer proceso referenciado en el manual es la determinación de las características de la cuenca, entre las características a determinar están el área de la cuenca, pendiente media y longitud del cauce principal, coeficiente de escurrimiento, pendientes medias del cauce principal, coeficiente de rugosidad.

Una vez determinadas éstas características sigue los procedimientos para la determinación de las características hidrológicas: como lo son: características de la precipitación a partir de los siguientes métodos: a partir de isoyetas, a partir de datos obtenidos de las estaciones pluviográficas, y de datos obtenidos en estaciones pluviométricas, así como también características del escurrimiento.

El siguiente capítulo (capítulo IV) contiene los procedimientos empleados para los análisis hidrológicos y para determinar los gastos que se utilizarán en el diseño hidráulico del puente de acuerdo con los períodos de retorno establecidos en dicho manual.

II.3 Conceptos hidrológicos básicos

Un hidrograma de escurrimiento es un registro continuo del flujo en un cauce a través del tiempo (Haan, 1994). En el manejo de agua de tormenta, es de interés el

hidrograma de escurrimiento a la salida de la cuenca y algunos puntos dentro de la misma, además que al analizar hidrogramas es posible determinar la disponibilidad efectiva de agua y su distribución temporal en condiciones naturales. (Quevedo, 2013).

En general, el hidrograma es el resultado de un hietograma de precipitación efectiva, es decir, la precipitación total menos las pérdidas (por infiltración, retención, evaporación, etc.). Esto lleva a que el volumen de agua definido por el “área bajo la curva” de un hietograma de lluvia efectiva sea igual al volumen de escurrimiento directo.

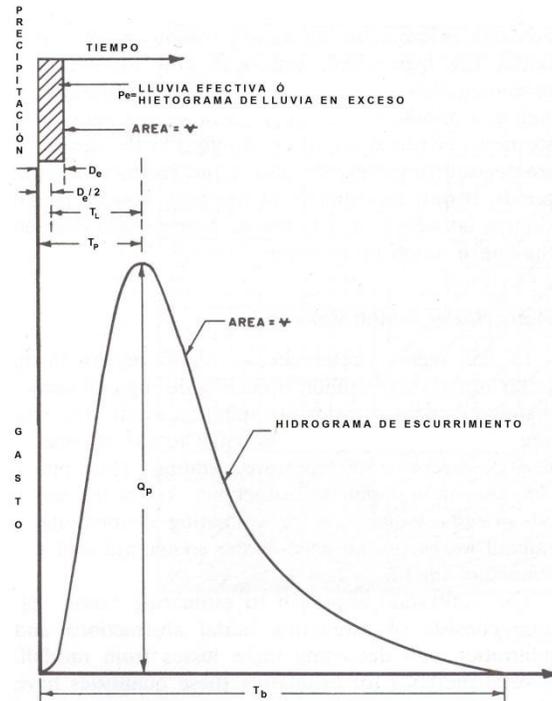


Figura 1. Terminología de hidrogramas

Las áreas bajo la curva definidas por el hidrograma y el hietograma representan el mismo volumen ∇_D de agua. Obviamente, en el gráfico anterior se han utilizado escalas diferentes para la precipitación y el escurrimiento. El máximo registro en el hidrograma es el gasto pico Q_p ; y el tiempo desde el inicio del hidrograma hasta

dicho valor se conoce como tiempo pico T_p . La duración total del hidrograma de escorrentía directa es el llamado tiempo base T_b .

Por su parte, el tiempo de concentración T_c , se define como el lapso que tarda el escurrimiento de una tormenta en viajar desde el punto más distante hasta la salida de la cuenca o sitio de proyecto, o bien el lapso transcurrido desde el final de la tormenta hasta el término del hidrograma superficial. En cambio, el tiempo de retraso, T_L , es el tiempo medido entre el llamado centro de masa de la precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escurrimiento.

Las pérdidas de lluvia por el método del SCS es un planteamiento semiempírico, propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, 1972, 1980) para estimar la precipitación en exceso que produce la escorrentía. Se trata de una técnica que determina la cantidad total de agua que escurre, después de restar "las pérdidas", pero sin evaluar su variabilidad temporal. Se le conoce también como: método de la curva CN, método SCS o método de las abstracciones. El SCS ha propuesto valores de tabulados en función del tipo y uso del suelo, de modo que para cuencas heterogéneas se puede calcular un valor compuesto (ponderado). El método contempla una corrección de CN, según las condiciones antecedentes de humedad (CAH).

El método de Muskingum es un procedimiento de tránsito hidrológico que se emplea para manejar relaciones variables de caudal-almacenamiento. Este método modela la regulación volumétrica de una creciente en un tramo de río mediante la geometría de una cuña y un prisma. Durante el avance de la onda creciente, el caudal de entrada es mayor que el de salida y corresponde a un almacenamiento de cuña. Durante la recesión, el caudal de salida es mayor al de entrada, a manera de cuña negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento definido por el tramo de río, supuesto canal prismático, de longitud y sección transversal constante con respecto a la distancia.

II.4 Herramientas computacionales

ArcGIS es un “software” de Sistema de Información Geográfica diseñado por la empresa californiana *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) para trabajar a nivel multiusuario. Está compuesto por dos aplicaciones diferentes:

- *ArcMap* 10. Permite realizar mapas a partir de capas o datos espaciales, elegir colores y simbología, interrogar a las bases de datos, analizar relaciones espaciales y diseñar mapas o salidas impresas. La interfaz de *ArcMap* se compone de una tabla de contenidos donde se listan todas las capas que forman el mapa, una ventana donde se muestra el mapa, y una serie de menús y herramientas para trabajar con las capas y mapas (Puerta, 2011).
- *ArcCatalog*. Es la aplicación que se utiliza para gestionar los archivos a utilizar: mapas, bases de datos etc. Ayuda a organizar la información geográfica y es imprescindible para mantener nuestros datos en orden.
- *ArcToolBox*: Sirve para realizar operaciones de procesamiento de información geográfica: análisis de datos espaciales, conversión de formatos, gestión de datos y muchas más operaciones.

El sistema permite separar la información en diferentes “capas” (*Layers*) temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: *Raster* y *vectorial*.

- **RASTER:** Cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor.
- **VECTORIAL:** Aquí los datos están basados en la representación vectorial de la componente espacial de los datos geográficos. Esta forma de expresión espacial implica la utilización de los tres tipos de elementos espaciales, de carácter geométrico, en que pueden ser interpretados los objetos geográficos: puntos, líneas y polígonos.

La interfaz de ArcMap se compone de dos partes principales: una, a la derecha, para mostrar la información espacial llamada área de visualización (*Map Display*), y otra, a la izquierda, que consiste en una tabla de contenidos (*Table Of Contents, TOC*) donde se listan las capas que se muestran. Además, la interfaz contiene una serie de menús y barras de herramientas (*Draw, Standard y Tools*) para trabajar con los datos. (Puerta, 2011).

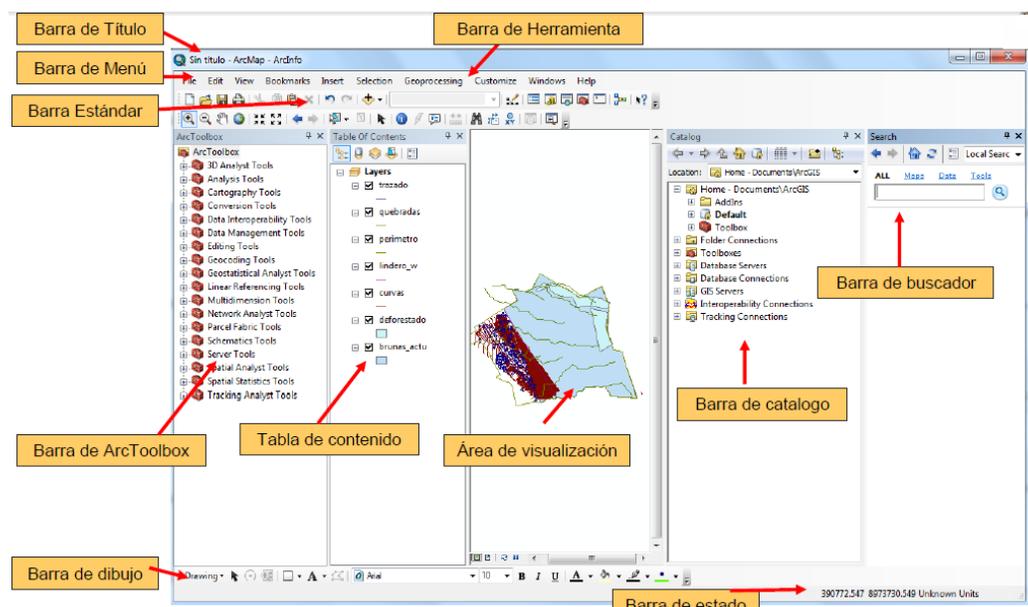


Figura 2. Ventana con las diferentes partes del programa Arc Map 10

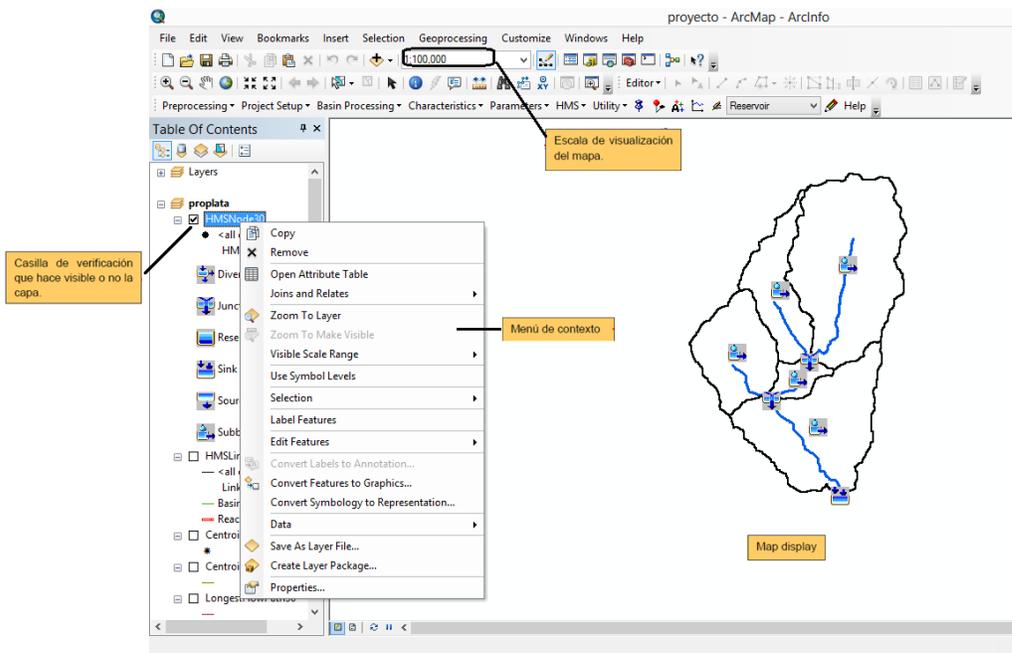


Figura3. Diferentes propiedades y características de las capas

III. METODOLOGÍA

III.1. Información requerida

III.1.1 Zona de estudio

Platanillo se localiza en el Municipio Técpan de Galeana del Estado de Guerrero México y se encuentra en las coordenadas GPS: Latitud: 17° 30' 35.76". Longitud: 100° 34' 47.27". Este municipio pertenece a la región de la Costa Grande; se ubica al suroeste de Chilpancingo, entre las coordenadas 17° 06' 57" y 17° 41' 33" de latitud norte y los 100° 27' 11" y 101° 04' 59" de longitud oeste. Cuenta con una extensión territorial de 2320 km², que representa el 3.64% con relación al total estatal. Limita al norte con Ajuchitlán y Coyuca de Catalán, al sur con el océano Pacífico, al este con Atoyac, San Miguel Totolapan y Benito Juárez, y al oeste con Petatlán.

Los tipos de suelo localizados en zonas planas son los aluviales o de acarreo; presentan color café grisáceo o café rojizo y amarillo bosque; chernozem o negro; y estepa praire o pradera con descalcificación. En la parte media y alta de la montaña aparecen los suelos de color variado, gris amarillo, crema rojizo, etcétera, con textura de migajón arenoso y arenoso con grava. Todos ellos, aptos para la agricultura y ganadería.

La conforman tres tipos de relieve: las zonas accidentadas están presentes en un 74% del territorio, localizadas en la Sierra Madre del Sur, las cuales están cubiertas por bosques forestales; las zonas semiplanas abarcan el 11% de la superficie, localizadas en la parte donde se inicia la montaña, formadas por lomeríos con pequeñas áreas cultivables; las zonas planas abarcan un 15% de la superficie municipal. Entre los ríos más importantes que recorren el municipio figuran: Tecpan, Nuxco, Zihuatlán, Grande o San Luis; se localizan también las lagunas de Nuxco y El Plan.

En la parte alta presenta un clima semicálido subhúmedo; mientras que en la parte baja, un clima cálido subhúmedo. La temperatura promedio anual es de 26 °C. Tiene una precipitación anual promedio de 1050 mm.

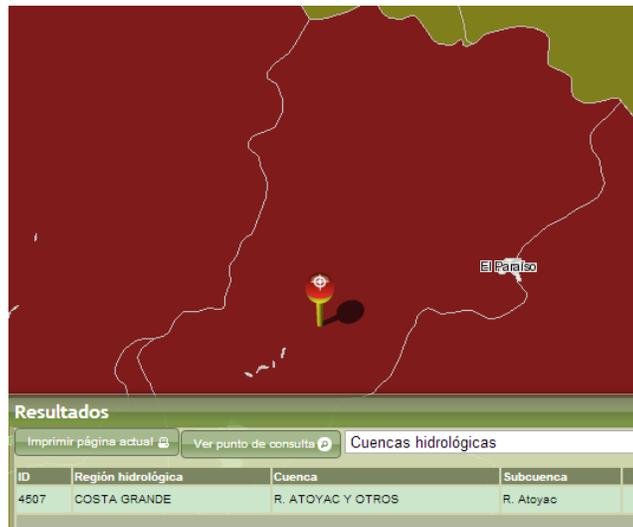


Figura 4. Ubicación del punto de estudio de acuerdo a la región hidrológica correspondiente



Figura 5. Localización del municipio de Técpan en el estado de Guerrero

Antes de iniciar con el proceso de modelación, para llevar a cabo el análisis hidrológico, para el diseño de obras hidráulicas en una vía terrestre, es necesario recabar información que se podría considerar como básica, la cual consta de cartas topográficas, cartas de tipo y uso de suelo, así como también cartas de vegetación existente en la zona de estudio.

III.1.2 Topografía

Como se mencionó en el párrafo anterior se necesita la carta topográfica de la zona de estudio, para mejor efecto se consiguió un Modelo Digital de Elevaciones (DEM, por sus siglas en inglés *Digital Elevation Model*) el cual contiene información suficiente, como su nombre lo dice contiene las elevaciones del terreno, para definir las propiedades de la red de drenaje superficial y de la cuenca hidrológica, además la zona de estudio debe de estar contenida en dicho modelo. El modelo antes mencionado se descargo del sitio web de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) con la siguiente dirección electrónica <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx>

Para el caso de estudio se descargó el DEM del estado de Guerrero, por lo que en la página antes mencionada, en la pestaña seleccionar la entidad federativa se colocará la opción de Guerrero, en resolución se dejará la opción que nos marca, la de 15 metros.



Figura6. Ventana de la página de INEGI, donde se pueden descargar los modelos digitales de elevación

Una vez descargado el archivo se crea una carpeta identificable y que contendrá únicamente los archivos que se utilizarán en este ejercicio, por ejemplo en la carpeta C:/Puente; una vez creada la carpeta se extrae el contenido del archivo descargado anteriormente, ya que el archivo descargado se encontrara en un formato comprimido.

Otra parte importante considerada también como información básica son las cartas de tipos y uso de suelo, al igual que la carta topográfica se cambiarán dichas cartas por un Modelo Digital, el cual contendrá la información necesaria de toda la república, como lo es el tipo de suelo con el cual se conforma, así como el uso de suelo que se le puede dar al tipo de suelo marcado, y un modelo edafológico.

El siguiente paso es la obtención de las coordenadas geográficas, primeramente las coordenadas que ubican la zona de estudio, así como también las coordenadas de cierre o bien del punto de salida del cauce principal de la cuenca, las cuales son las siguientes para el caso de estudio:

Tabla 1. Coordenadas del punto de salida de la cuenca platanillo

X	Y
332, 284.98	1' 936, 663.68

Tabla 2. Coordenadas usadas para la limitación del polígono de estudio

	X	Y
Inicial	327, 000	1' 947, 000
Fina	335, 000	1' 935, 000

Las coordenadas mostradas en las tablas anteriores se encuentran en coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), pero debido a que el primer programa a emplear usa coordenadas geodésicas para la delimitación de la zona del Modelo Digital de Elevaciones (DEM), es necesario la conversión de dichas coordenadas al sistema antes mencionado, en éste las coordenadas se expresan en latitud, es la distancia del meridiano medido en grados, minutos y segundos desde el Ecuador a cualquier punto en la tierra, se mide en dirección Norte o Sur, y longitud, es la distancia del paralelo medido en grados, minutos y segundos desde el Meridiano de Greenwich a cualquier punto de la tierra, se mide en dirección Este u Oeste a partir de dicho meridiano.

La conversión de coordenadas antes mencionado, se llevó cabo gracias al software TMCALC del INEGI, el cuál es un software usado para la conversión de coordenadas a cualquiera de los 4 sistemas.

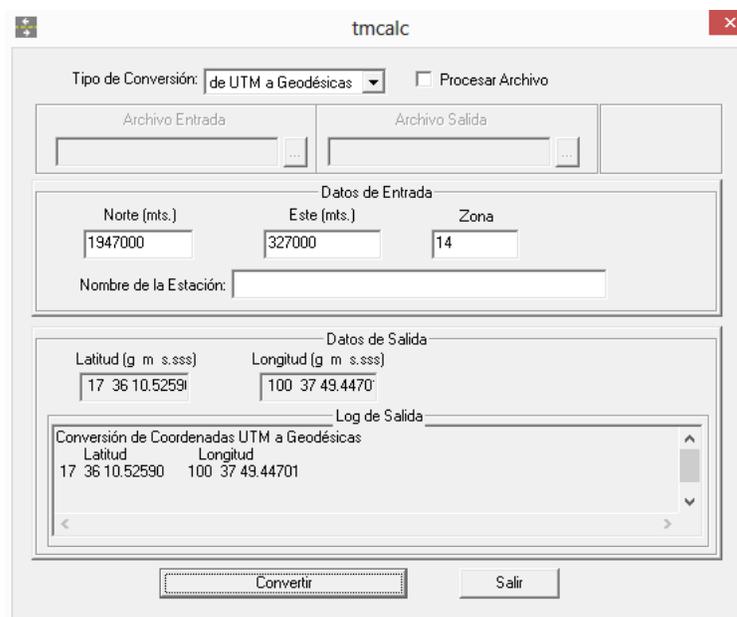


Figura7. Software TMCALC usado para la conversión de coordenadas

En la tabla siguiente se muestran las coordenadas convertidas en coordenadas geodésicas necesarias para la delimitación del polígono de estudio.

Tabla 3. Coordenadas geodésicas usadas para la limitación del polígono de estudio

	Latitud \varnothing	Longitud λ
Inicial	17° 36' 10.526"	100° 37' 49.447"
Final	17° 29' 42.371"	100° 33' 14.773"

III.2 Procesamiento de los modelos de elevación con ArcGIS 10

Para añadir una capa en ArcMap se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas *standard: File>Add data* y desde el menú contextual del *Data frame*. Si es la primera vez que se utiliza el software, es necesario conectar los folder donde se encuentre todos los archivos de la información básica previamente obtenidos, por esta razón se creó una carpeta en el disco duro en la cual se guardaron todos los archivos antes mencionados.

Para este proceso se le da clic en el botón de “connect to folder” en la ventana que se abre al dar clic en “add data”. Posteriormente se abrirá una nueva ventana en la que se nos pide buscar la carpeta deseada para conectar, en este caso se busca la carpeta Puente en la dirección C:\Puente, por último una vez localizado el folder se da clic en el botón de aceptar.



Figura8. Icono de “Connect to Folder”

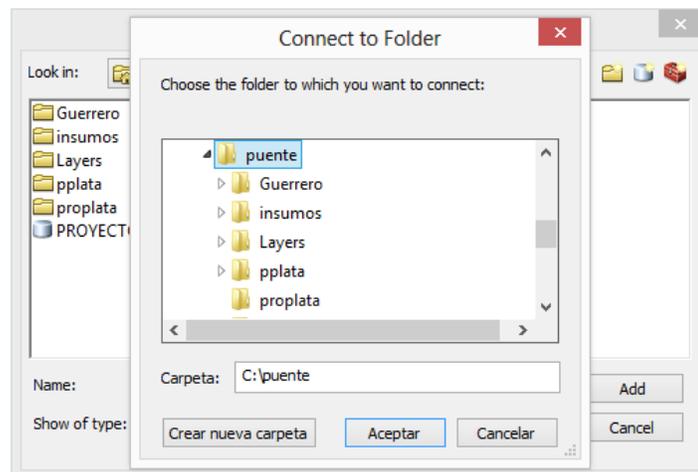


Figura9. Ventana de “Connect to Folder” para seleccionar el folder correspondiente

Una vez conectado el folder donde se encuentra el Modelo Digital de elevaciones así con la información básica recopilada previamente, se abre la carpeta de “Guerrero” que se encuentra dentro de la carpeta “Puente”, ya que el DEM se encuentra en esta subcarpeta, se abre el archivo “Guerrero30_R15m.bil”. Posteriormente se generará un mensaje en una ventana al cual se le da “Yes”.

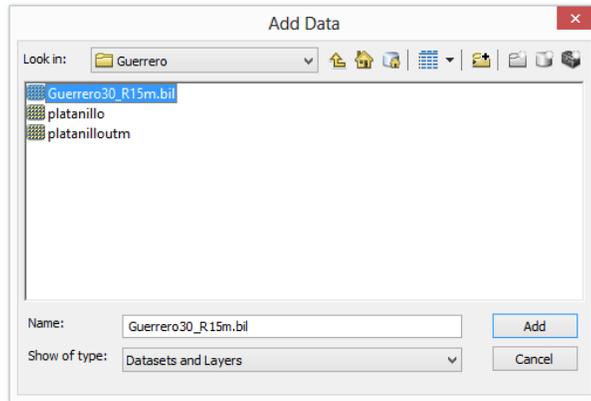


Figura10. Ventana de *Add data*

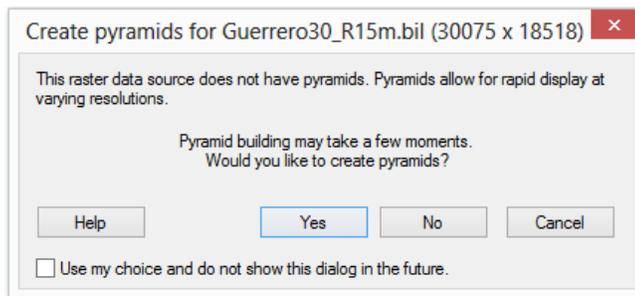


Figura11. Creación del mapa del MDE

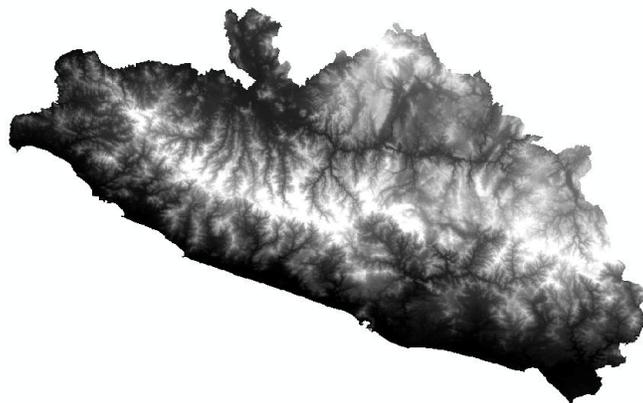


Figura 12. Mapa del MDE con elevaciones del estado de Guerrero

De esta manera se abrirá la capa del modelo digital de elevaciones del estado de Guerrero, por lo tanto el paso siguiente es delimitar la zona de estudio, es decir recortar el modelo digital abierto, con la ayuda de las coordenadas previamente calculadas, para obtener de esta forma el polígono de la zona de estudio.

Para este paso se le da clic en el botón “Arc ToolBox Window” en la barra de herramientas, de esta manera se abrirá una ventana de herramientas diferente, seleccionamos *Data Management Tools > Raster > Raster Processing > Clip*.

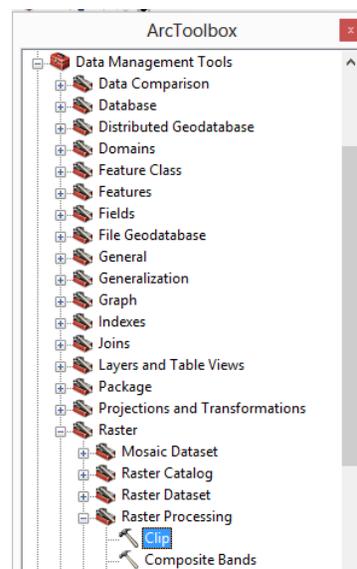


Figura13. Ventana con la herramienta clip del Arc ToolBox Window

Se abrirá una ventana de diálogo en el recuadro de *Raster* de la ventana se selecciona el archivo de Guerrero, en los recuadros de *rectangle* se introducen las coordenadas geodésicas en decimales, en el recuadro de output, se busca la siguiente dirección de la carpeta C:\Puente\Guerrero, y se le pone el nombre de platanillo.

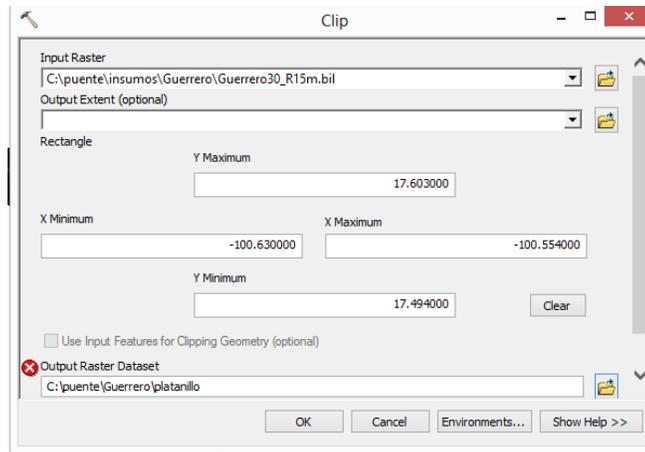


Figura 14. Ventana de la herramienta Clip

Para visualizarlo se apaga la capa de nombre “Guerrero30_R15m.bil” dando un clic en el cuadro que contiene una “palomita”, posteriormente damos clic derecho en la capa “platanillo” y seleccionamos la opción “*Zoom to Layer*”.

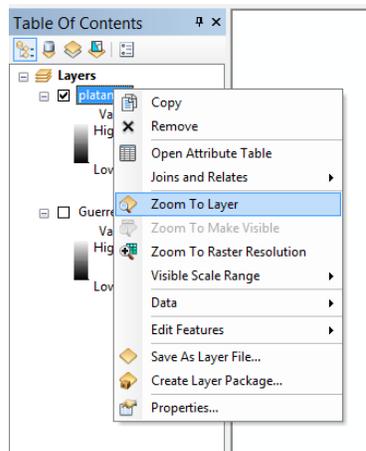


Figura 15. “*Zoom to Layer*” y capa de Guerrero apagada

Posteriormente es necesario cambiar el sistema de coordenadas, para tener un mejor manejo del modelo. Para cambiar el Modelo Digital de Elevaciones(MDE) de coordenadas geográficas a UTM (“Universal Transversa de Mercator”), en el “*ArcToolboxwindow*” se selecciona la opción *Data Management Tools > Projections and Transformations > Raster > Project Raster*.

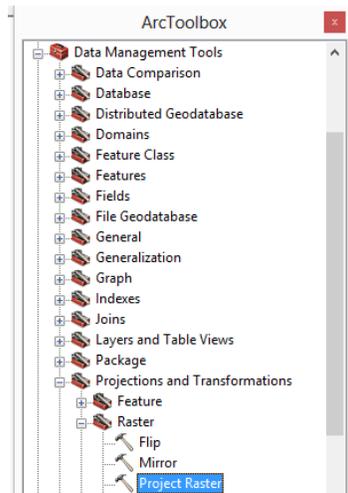


Figura 16. Ventana con la herramienta Project Raster del Arc ToolBox Window

Después del paso anterior se desplegará una nueva ventana de diálogo, en la que en la opción “*input Raster*” se selecciona el archivo platanillo (ya que es el MDE que contiene el polígono de estudio ya delimitado), en la parte de “*output Raster dataset*” se busca la carpeta C:\Puente\Guerrero y teclear el nombre de “platanilloUTM” en el campo “*Name:*” En la siguiente opción “*output coordinate system*” se le da clic en el botón que se encuentra a la derecha del campo, para buscar el sistema de coordenadas deseadas.

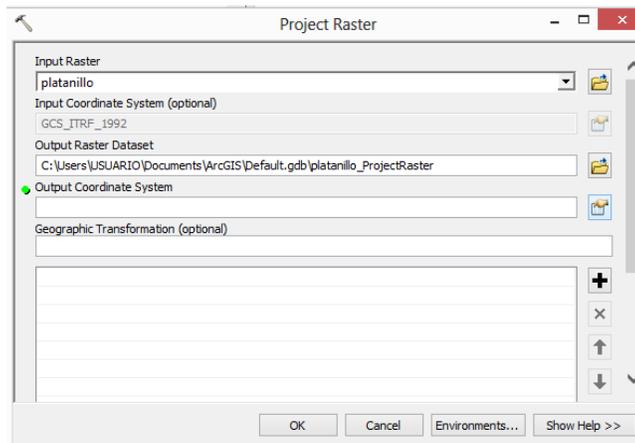


Figura 17. Ventana de la herramienta Project Raster

Se abrirá una nueva ventana, en la que se selecciona la opción “select”, se abrirá una nueva ventana en la que contiene las carpetas en donde se encuentran los archivos con los diferentes tipos de coordenadas, de ahí se sigue la siguiente ruta para llegar a las coordenadas UTM, *Projected Coordinate Systems > UTM > WGS 1984 > Northern Hemisphere > WGS 1984 UTM Zone 14N.prj*. Se da clic “Add” y después “OK”.

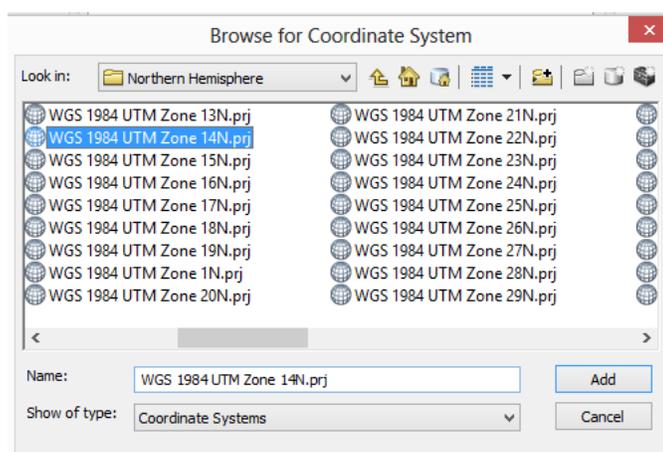


Figura 18. Ventana de búsqueda de las coordenadas UTM

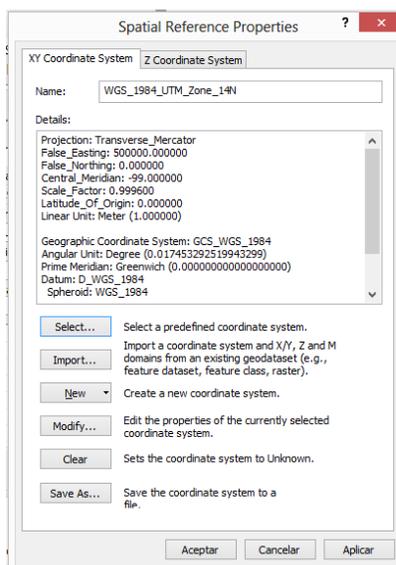


Figura 19. Ventana de selección de las coordenadas UTM

Al llevar a cabo este paso regresa a la ventana de “*Project Raster*”, en ésta en el campo de “*geographic transformation*” se selecciona primero la opción ITRF_1992_ToITRF_2000_1 y después ITRF_2000_To_ WGS_1984. Posteriormente de esto se le da clic en “*ok*”, de esta manera se termina de cambiar las coordenadas de geodésicas a UTM, creando un nuevo modelo o mejor dicho una nueva capa, con el nombre de “*platanilloUTM*”.

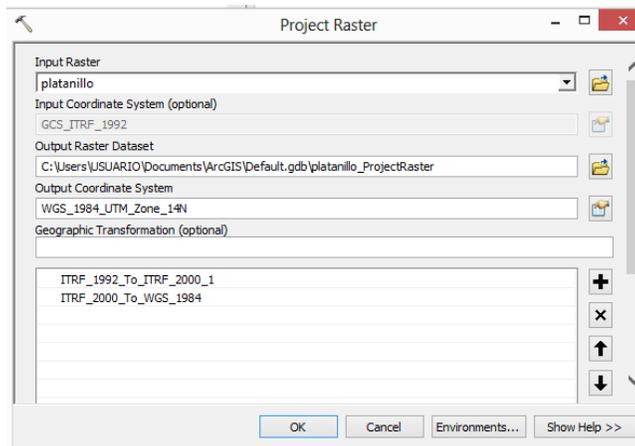


Figura 20. Ventana de Project Raster con las coordenadas a cambiar

Con este paso se comenzará a utilizar las herramientas de HEC- GeoHMS, que no son más que una barra de herramientas complementarias en el software de Arc MAP 10.

Para un mejor manejo del programa y una mejor modelación, al tener las tres capas, es necesario iniciar un nuevo archivo de mapa, sin embargo no se guardan los cambios, al abrir un archivo nuevo, se carga únicamente el MDE con el nombre de “*platanilloUTM*”, ya que es el modelo con el polígono delimitado y con las coordenadas UTM, con esta capa cargada en el archivo nuevo se procede a iniciar el proyecto, para esto es necesario guardarlo, en *File > Save*, o bien desde el menú o la barra estándar, en la carpeta C:\Puente, con el nombre de Proyecto.

III.3. Procesamiento del terreno

III.3.1 Relleno de depresiones

Para llevar a cabo con el proyecto de modelación para el análisis hidrológico de la zona de estudio, es necesario que el modelo de elevaciones a trabajar debe de no presentar depresiones en el terreno, para esto es necesario previamente a empezar el proyecto rellenar las depresiones que se presenten en el MDE, es decir es necesario aumentar las cotas de las celdas que se encuentran rodeadas por celdas con cotas mayores, De esta manera el agua podrá fluir libremente a través de las diferentes celdas sin que ésta se estanque.

Para llevar a cabo el proceso de rellenó o bien del aumento de las cotas menores se sigue el siguiente proceso.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing* > *Fill Sinks*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que seleccionar la capa deseada a rellenar, para el caso de estudio es la capa cargada la de “platanilloUTM” y se le da clic en “OK”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*fil*”.

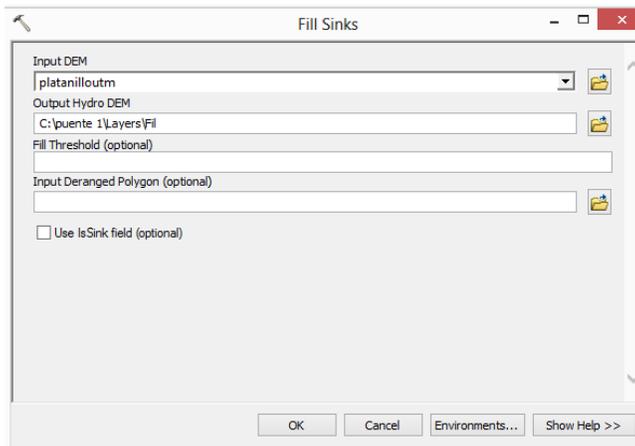


Figura21. Ventana de opciones de la herramienta Fill Sinks

Una vez terminado el proceso de relleno de depresiones en el MED, se inicia el proceso del análisis hidrológico de la zona de estudio, a partir de aquí se usa la capa del modelo sin depresiones, y en cada nuevo proceso se utiliza la capa de la salida de cada paso.

III.3.2. Dirección del flujo

En este primer paso como su nombre lo indica se lleva un análisis para observar la dirección del flujo de agua que se presenta, para esto en este primer paso se define la dirección de la mayor pendiente, el programa lo realiza evaluando las diferentes cotas de cada una de las celdas que lo rodean.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing > Flow Direction*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*input hydro DEM*” se encuentre el archivo de fil previamente elaborado y que en la opción de “*output flow direction grid*” encuentre la carpeta de C:\puente\Layers\Fdr y se le da clic en “OK”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*Fdr*”.

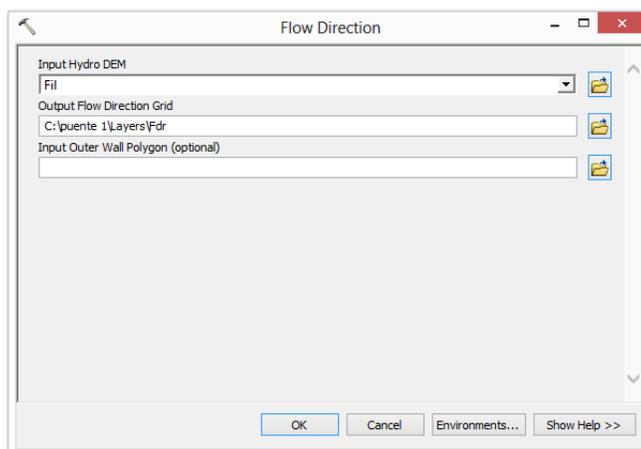


Figura22. Ventana de opciones de la herramienta Flow Direction

III.3.3. Acumulación de flujo

En este paso se determinan el número de celdas que llevan un proceso de drenaje a las demás celdas que lo rodean. Para esto se calcula un área de drenaje a partir de las celdas con capacidad de drenaje, dicha área es el cálculo del número de celdas con dicha capacidad por el área que presenta cada una de las celdas.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing > Flow Accumulation*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*input flow direction grid*” se encuentre el archivo de *Fdr* previamente elaborado y que en la opción de “*output flow accumulation grid*” se encuentre la carpeta de C:\puente\Layers\Fac y se le da clic en “OK”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “close”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*Fac*”.

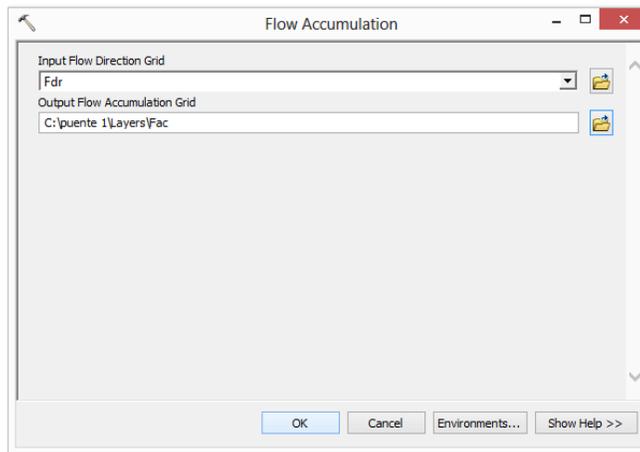


Figura 23. Ventana de opciones de la herramienta Flow Direction

III.3.4. Definición de corriente

En este paso el programa clasifica todas las celdas con flujo procedente de un número mayor de celdas a una entrada definida previamente por el usuario, relacionadas a la red de drenaje. La entrada puede especificarse como área en unidades del DEM o bien como número de celdas.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing > Stream Definition*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*input flow acumulation grid*” se encuentre el archivo de *Fdr* previamente elaborado, en la opción “*area SqKm to define stram*” se cambiará el valor por 2.7, ya que dicho valor es el más factible a usarse para llevar un análisis correcto y que en la opción de “*output stream grid*” se encuentre la carpeta de C:\puente\Layers\Str y se le da clic en “OK”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*Str*”.

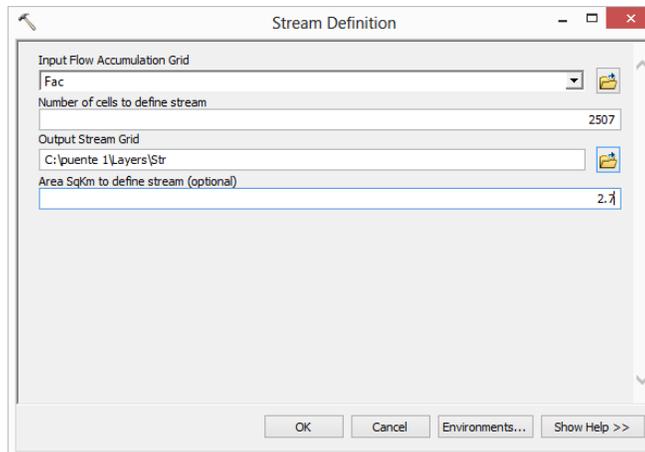


Figura 24. Ventana de opciones de la herramienta Stream Definition

III.3.5. Segmentación de corriente

Este paso divide los cauces que se encuentren en la zona de estudio en segmentos. Los segmentos divididos son tramos de cauces situados entre dos uniones de cauces que se encuentren sucesivamente, dichas uniones pueden ser una unión y la salida de la cuenca, o una unión y el límite de la cuenca.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing* > *Stream Segmentation*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*input stream grid*” se encuentre el archivo de *Str* previamente elaborado, en la opción “*Input flow direction grid*” se encuentre la capa *Fdr*, ya que dicho valor es el más factible a usarse para llevar un análisis correcto y que en la opción de “*output stream link grid*” se encuentre la carpeta de C:\puente\Layers\StrLnk y se le da clic en “*OK*”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*StrLnk*”.

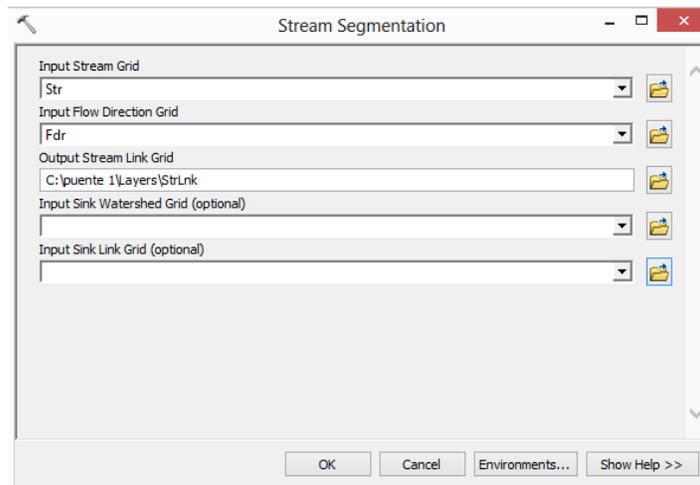


Figura 25. Ventana de opciones de la herramienta Stream Segmentation

III.3.6. Delineación de los segmentos de captación

En este paso únicamente como su nombre lo dice se delimitan y delimitan los segmentos de la zona de estudio que fueron divididos en el paso anterior y tienen como función la captación del flujo.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing* > *Catchment Grid Delineation*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*Input flow direction grid*” se encuentre la capa *Fdr*, en la segunda opción “*input link grid*” se encuentre el archivo de *StrLnk* previamente elaborado, en la opción, ya que dicho valor es el más factible a usarse para llevar un análisis correcto y que en la opción de “*output catchment grid*” se encuentre la carpeta de *C:\puente\Layers\Cat* y se le da clic en “*OK*”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*Cat*”.

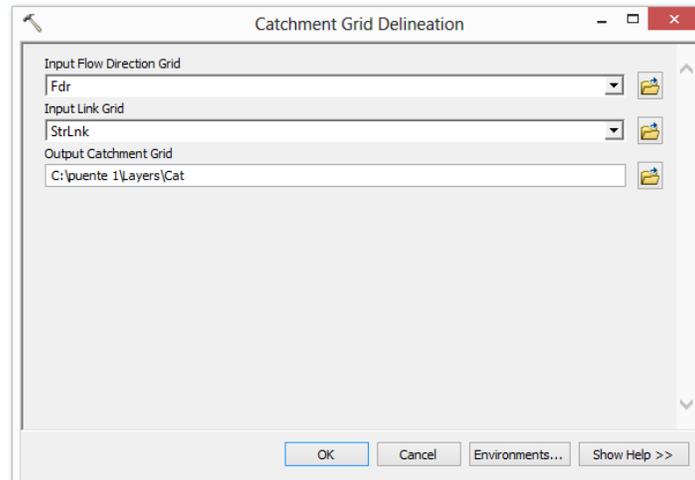


Figura 26. Ventana de opciones de la herramienta Catchment Grid Delineation

III.3.7. Procesamiento de polígonos de captación

Este paso convierte las subcuencas o bien los segmentos de la cuenca de estudio elaborados en los pasos anteriores de formato *grid* a un formato vectorial, o bien a vectores.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing > Catchment Polygon Processing*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*Input catchment grid*” se encuentre la capa *Cat*, y que en la opción de “*output catchment*” se encuentre la carpeta de C:\ puente\ Proyecto.gdb\ Layers \ Catchment y se le da clic en “*OK*”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*Catchment*”.

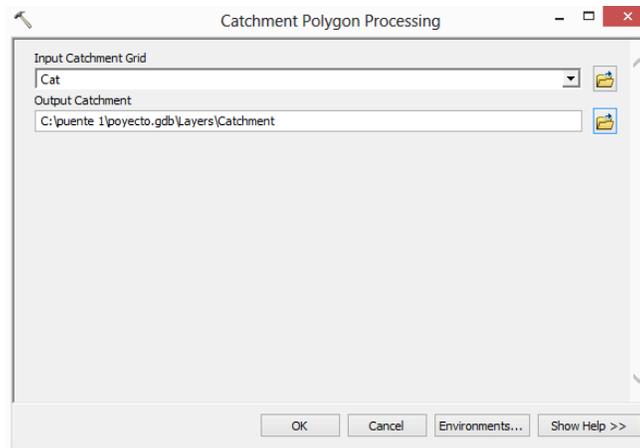


Figura 27. Ventana de opciones de la herramienta Catchment Polygon Processing

III.3.8. Procesamiento de la línea de drenaje

Este paso convierte los cauces y líneas de drenaje de la cuenca de estudio, elaborados en los pasos anteriores de formato grid a un formato vectorial, o bien a vectores.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing > Drainage Line Processing*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*Input stream link grid*” se encuentre la capa *StrLnk*, en la segunda opción “*Input Flow direction grid*” se encuentre seleccionado la capa de *Fdr* y que en la opción de “*output catchment*” se encuentre la carpeta de C:\puente\ Proyecto.gdb\ Layers \ DrainageLine y se le da clic en “OK”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “close”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*DrainageLine*”.

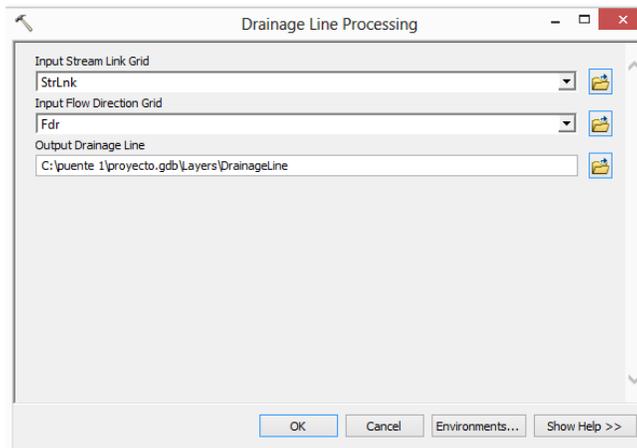


Figura 28. Ventana de opciones de la herramienta Drainaje Line Processing

III.3.9. Procesamiento de zonas de captación adjuntas

Este paso conjunta las subcuencas aguas arriba en cada unión con el arroyo. Esto es un paso necesario y se realiza para mejorar el rendimiento para subcuencas que delimitan y para mejorar la extracción de datos al definir un proyecto en Hec-GeoHMS.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS se selecciona la opción *Preprocessing >Adjoint Catchment Processing*. Una vez hecho esto se abrirá una ventana, en ésta únicamente se tiene que corroborar que los datos sean los correctos, es decir que en la opción de “*Input drainage line*” se encuentre la capa *DrainageLine*, en la segunda opción “*Input Catchment*” se encuentre seleccionado la capa de *Catchment* y que en la opción de “*output adjoint catchment*” se encuentre la carpeta de C:\ puente\ Proyecto.gdb\ Layers \ AdjointCatchment y se le da clic en “OK”. Cuando el programa haya terminado de elaborar el proceso de relleno del terreno, aparecerá una ventana con el texto de “*completed*” a la que se le da clic en “*close*”, y nos mostrará una nueva capa con el nombre de “*AdjointCatchment*”.

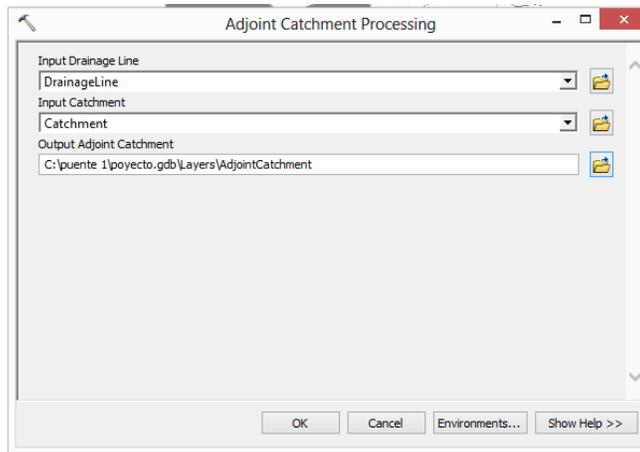


Figura29. Ventana de opciones de la herramienta *Drainage Line Processing*

III. 4. CONFIGURACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO

El menú “*HMS Project Setup*” se encarga de extraer la información necesaria de base de datos espacial y crear un proyecto HMS. Se trata de la especificación de puntos de control a la salida de la cuenca, los cuales definen los tributarios de la cuenca.

Después de definir la salida de aguas abajo, HEC-GeoHMS extraerá los datos de las bases de datos creadas con las herramientas de preprocesamiento terreno para el área de drenaje aguas arriba de la toma de corriente. Entonces HEC-GeoHMS se puede utilizar para refinar la subcuenca y corriente a delineaciones, extraer las características físicas de las subcuencas y arroyos, los parámetros del modelo estimado, y preparar archivos de entrada para HEC-HMS.

Dado que se pueden crear múltiples modelos de cuenca a partir de la misma base de datos espacial, estos modelos se gestionan a través de dos diferentes temas: uno de ellos son por pintos del proyecto “*ProjPnts.shp*” y el segundo el de área de proyecto “*ProjArea.shp*”. La gestión de estos modelos muestra las regiones ya incluidas en un proyecto. Además, dicha gestión permite la recreación de un área con diferentes entradas o borrar el proyecto y los ficheros relacionados.

Para definir un nuevo nombre de proyecto y crear un directorio que contendrá los datos extraídos y los archivos relacionados, vaya al *HMSProject Setup Menu*. El usuario ya debe tener localizada el área en la que la salida será definida antes de seleccionar estas opciones de menú.

Para comenzar con este paso seleccionar *Project Setup*, de la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, >*Start New Project*, de ahí se desplegará una ventana en la que se aceptan los nombres que el programa marca por default, “*Project Area*” y “*Project Points*”

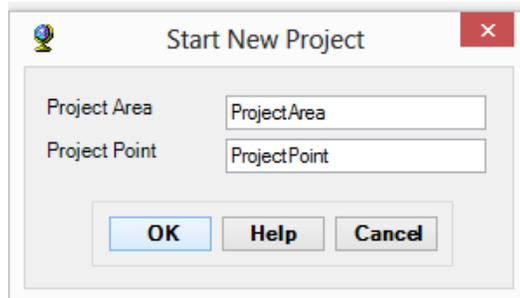


Figura 30. Ventana de opciones de la herramienta Start New Project

La capa de *Project Area* se utiliza para mostrar el área de drenaje de aguas arriba para el punto de salida y la capa de *Project Point* muestra la ubicación del punto de salida.

Una vez aceptados los datos de la ventana anterior se abrirá una nueva ventana con el nombre de “*Define New Project*”, en la cual únicamente se introduce el nombre del proyecto, así como una descripción del mismo, y se dejan las demás opciones seleccionadas, y se le da clic en “*OK*”. Posteriormente se abrirá una nueva ventana en la que se menciona que el proyecto ha sido definido correctamente.

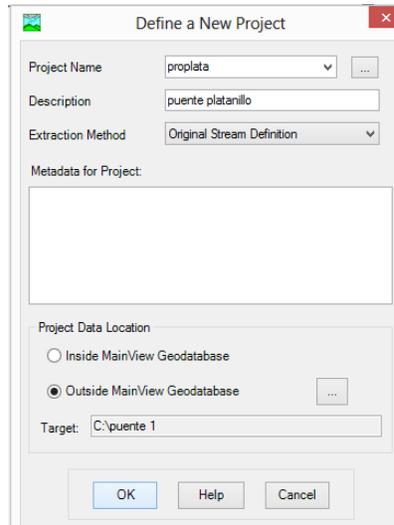


Figura31. Ventana definición del nuevo proyecto

Previo al paso de comenzar a generar el proyecto es necesario seleccionar o tener ubicada la localización del punto de salida de la cuenca, con la ubicación de las coordenadas previamente mencionadas, para esto se debe de seguir los siguientes pasos.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se encuentra una herramienta con el icono de nombre “Add Project Points”, se le da clic en dicho icono, y en la parte de *Map display*, es decir donde se muestran las capas se ubicará el punto con las siguientes coordenadas.

Tabla 4. Coordenadas del punto de salida de la cuenca platanillo

X	Y
332, 284.98	1' 936, 663.68



Figura32. Ubicación de la herramienta Add Project Points

Al tener ubicado el curso en las coordenadas se le da clic en ese punto, se abrirá una ventana de *Project Point* en la cual se puede cambiar el nombre al punto de salida y su descripción, posteriormente se le da clic en “OK”, de esta manera ya se encontrará ubicado el punto de salida de la cuenca.

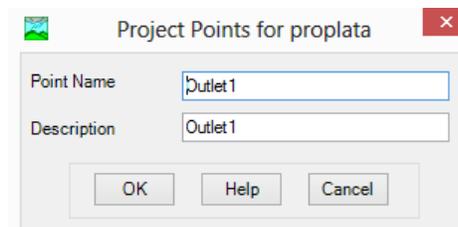


Figura33. Ventana de opciones de la herramienta Add Project Points

Con este paso se puede comenzar a generar el proyecto, en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Project Setup>Generate New Project*, de ahí se desplegará una ventana en la se muestran las diferentes capas que se crearán al generar el nuevo proyecto, se le da clic en “OK”.

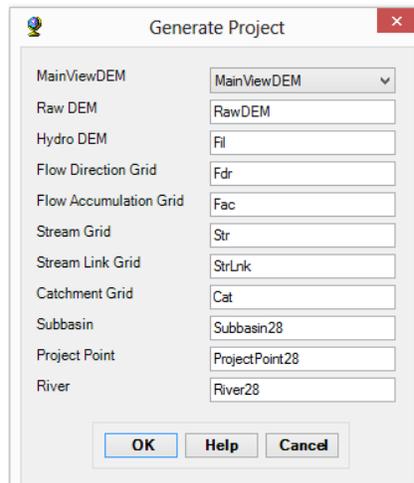


Figura34. Ventana con las capas a crear con la generación del proyecto

De aquí se desplegará una nueva ventana en la que se muestra que el programa se encuentra generando el proyecto, de ahí se abrirá una ventana donde el programa pregunta que si se quiere crear un proyecto para el área mostrada se le da clic en "Yes", por último se desplegará una ventana en la que se menciona que el proyecto ha sido generado exitosamente.

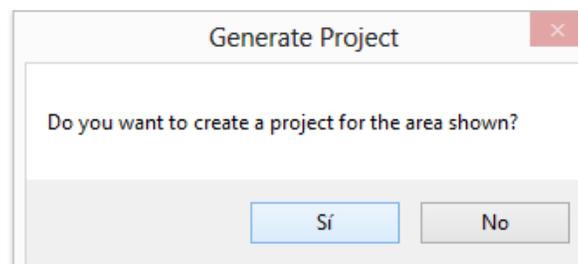


Figura35. Ventana para la creación del proyecto con el área de limitada

III. 5. CARACTERÍSTICAS DEL ARROYO Y DE LA SUBCUENCA

La herramienta complementaria, HEC-GeoHMS, calcula varias características topográficas de los cauces y de las cuencas. Estas características son útiles para comparar cuencas entre sí y estimar parámetros hidrológicos. Las características físicas de la cuenca y los cauces se almacenan en las tablas de atributos, creadas por el programa, las cuales pueden ser exportadas para ser usada en hojas de cálculo y algunos otros programas.

III.5.1. Longitud del cauce

Esta operación calcula la longitud de los cauces de todas las subcuencas los cauces de propagación contenidos en la capa "River.shp". Las longitudes calculadas se agregan a la tabla de atributos. En esta tabla ya existe una longitud calculada con los datos del fichero *Raster*. Esta operación lo hace a partir del fichero de la capa que se elaboró en formato vectorial.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics > River Lenght*, de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, permanece la capa que selecciona el programa inicial, dicha capa es la que se desarrolla al generar el proyecto, para el caso de estudio la capa es "River 28", se le da clic en "OK". Si se desarrollan los pasos correctamente el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

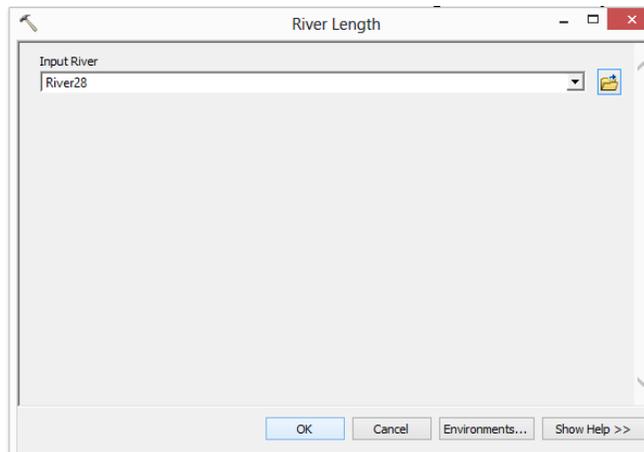


Figura36. Ventana de opciones de la herramienta River Length

Para revisar el resultado de este proceso, se revisa la tabla de atributos, en la capa mostrada en la tabla de contenidos “*River28*”, se da clic en dicha capa con el botón derecho y se selecciona la opción “*Open Attribute Table*”, de esta manera se abrirá una ventana con la tabla de atributos en donde se mostrará una columna con las longitudes de los cauces.

III.5.2. Pendiente del cauce

En esta operación el programa extrae las cotas de aguas arriba, así como también las cotas de aguas debajo de todos los cauces de la subcuenca, y con estos datos calcula la pendiente media de todas las cotas extraídas de los cauces de la subcuenca.

Para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics > River Slope*, de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, “*Input Raw DEM*”, permanece la capa que selecciona el programa inicial, dicha capa es la que se desarrolla al generar el proyecto, para el caso de estudio la capa es “*Raw DEM*”, igualmente para la segunda opción “*Input River*” permanece la capa inicial de “*River 28*”, se le da clic en “*OK*”. Si se desarrollan los pasos correctamente

el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

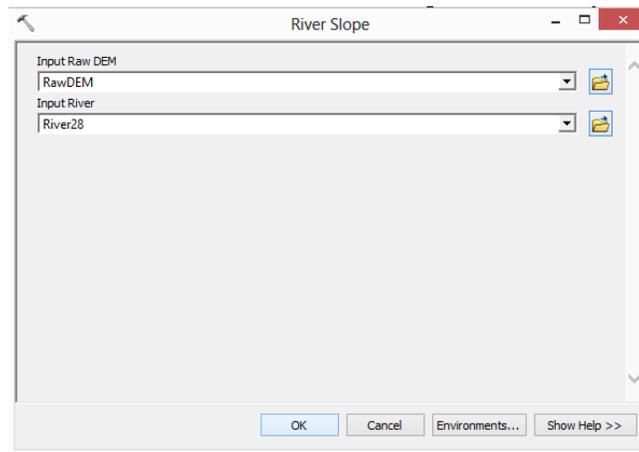


Figura37. Ventana de opciones de la herramienta River Slope

III.5.3. Pendiente de la cuenca

En este proceso el programa extrae las cotas de la cuenca y determinar la pendiente media de la misma, este proceso es necesario, ya que el programa lo usa para la determinación del parámetro del tiempo de retraso.

Para poder obtener esta característica es necesario elaborar previamente una capa con la rugosidad del cauce, para este paso se le da clic en el botón “*Arc ToolBox Window*” en la barra de herramientas, de esta manera se abrirá una ventana de herramientas diferente, seleccionamos *Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*.

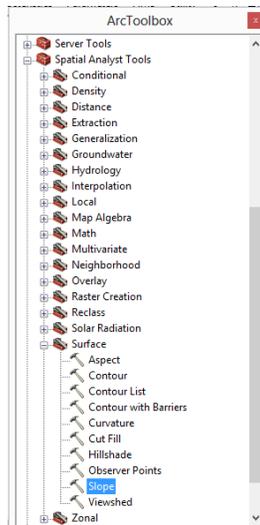


Figura 38. Ventana con la herramienta Slope del Arc ToolBox Window

De ahí el programa abrirá una nueva ventana, en la opción de “*Input Raster*” se selecciona la capa de *RawDEM*, en la parte de “*Output Raster*” se selecciona la carpeta creada y la dirección del proyecto, para el ejemplo elabora se busca la siguiente dirección *c:\Puente\PROYECTO.GDB*, y en la parte de “*Name*”, se elige el nombre para el caso es el nombre de “*Slope*”, en la tercera opción que es la de “*Output measurement*” se elige la opción de “*PERCENT RISE*” y en la última opción de *Z FACTOR*, se deja el valor inicial de 1, se le da clic en “*OK*”. Al terminar de crear la capa, se desplegará una ventana donde se avisa que la capa se ha creado exitosamente.

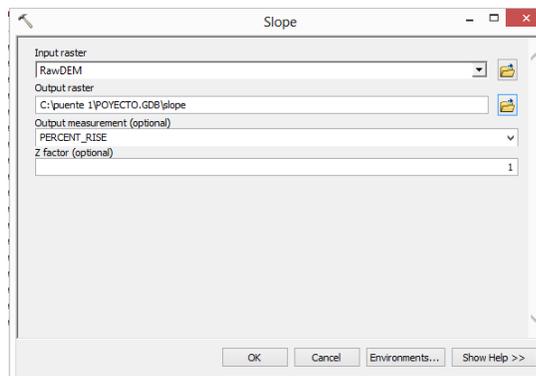


Figura39. Ventana de opciones de la herramienta Slope

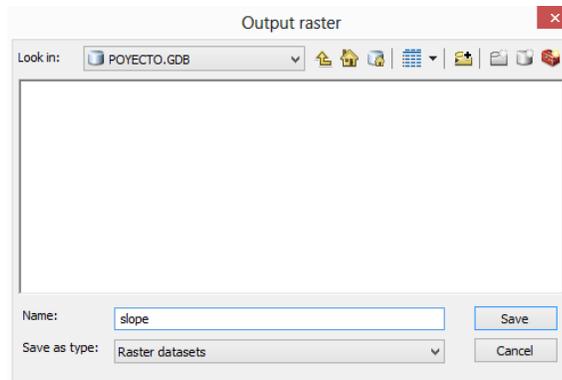


Figura40. Ventana del Output Raster

Para continuar con el proceso es necesario adicionar la capa en caso de que el programa no la adicione al proyecto automáticamente, para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas *standard: File>Add data* y desde el menú contextual del *Data frame*. Se busca la capa de *Slope* dentro del archivo de nombre “PROYECTO.GDB”.

Una vez terminada de crear la capa de *Slope*, y de haber cargado dicha capa al proyecto, ahora sí se puede continuar con la determinación de la pendiente del cauce, para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics >Basin Slope*, de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, “*Input Slope Grid*”, en esta opción es necesario seleccionar la capa en formato *Grid* que se creó en el paso previo, para el caso de estudio la capa es “*Slope*”, para la segunda opción “*Input Subbasin*” permanece la capa inicial de “*Subbasin 28*”, se le da clic en “*OK*”. Si se desarrollan los pasos correctamente el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

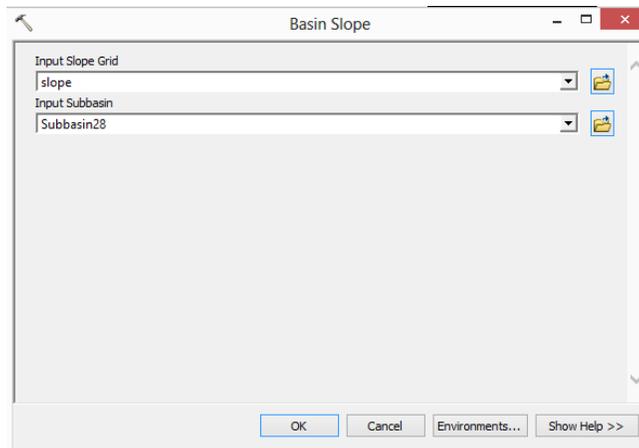


Figura41. Ventana de opciones de la herramienta Basin Slope

III.5.4. Camino más largo del flujo

La herramienta de la trayectoria de flujo más larga calcula un número de características físicas: la trayectoria de flujo más larga, la elevación de aguas arriba, la elevación aguas abajo, y la pendiente entre los puntos finales. Estas características se almacenan en la capa de trayectoria de flujo más larga.

Para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics > Longest Flow Path*, de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, *“Input Raw DEM”*, en esta opción se dejará la capa que tiene inicialmente que se creó al generar el proyecto, para el caso de estudio la capa es *“Raw DEM”*, para la segunda opción *“Input Elevation Grid”*, se deja la capa que tiene al inicio con el nombre de *“Fdr”*, en la tercera opción *“Input Subbasin”*, se deja la capa que tiene al inicio con el nombre de *“Subbasin28”*, por último en la cuarta opción, *“Output Longest Flow Path”* se deja la dirección con la carpeta de puente, para el caso estudiado es *C:\Punte\proplata\proplata.gdb\proplata\longestFlowpath28* se le da clic en *“OK”*. Si se desarrollan los pasos correctamente el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

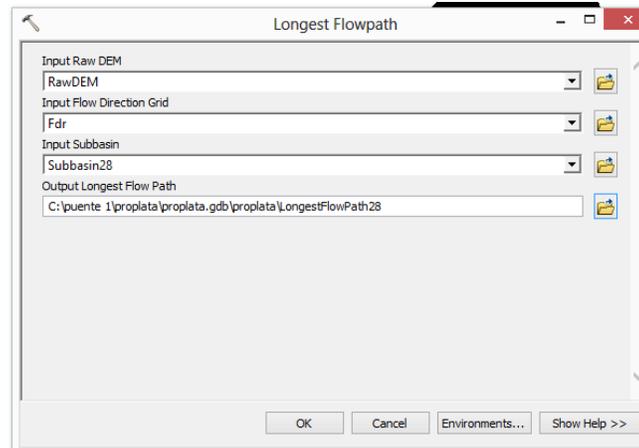


Figura42. Ventana de opciones de la herramienta Longest Flowpath

III.5.5. Centroides de la cuenca

La herramienta para determinar el centroide cuenca identificará el centro de gravedad de cada subcuenca. La función será realizada en el conjunto seleccionado de la subcuenca o de todas las subcuencas. La ubicación centroide cuenca puede ser estimado de cuatro maneras. Tres métodos pueden ser utilizados para definir el centroide, cada uno usando un algoritmo diferente y por lo tanto proporcionar un resultado diferente. La calidad del resultado es una función de la forma de la subcuenca y debe ser evaluado después de que se generan. Algunas veces el centro de gravedad se encuentra en el límite subcuenca y por lo tanto deben ser movidos o un método diferente debe ser utilizado.

Para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics > Basin Centroid* de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, "*Select Centroid Method*", en esta opción se dejará el método que tiene inicialmente, para el caso de estudio el método seleccionado "*Center of gravity*", para la segunda opción "*Input Subbasin*", se deja la capa que tiene al inicio con el nombre de "*Subbasin28*", por último en la cuarta opción, "*Output Centroid*" se deja la dirección con la carpeta de puente, para el caso estudiado es

C:\Punte\proplata\proplata.gdb\proplata\Centroid28 se le da clic en “OK”. Si se desarrollan los pasos correctamente el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

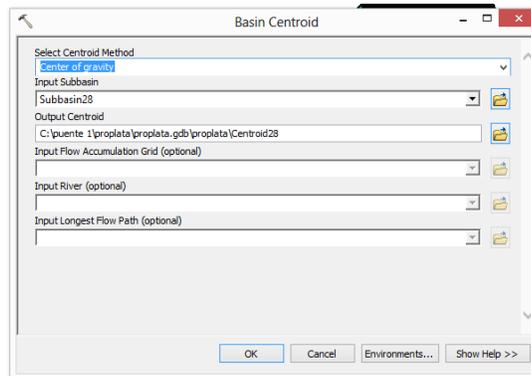


Figura43.- Ventana de opciones de la herramienta Basin Centroid

III.5.6. Elevación del centroide

En esta operación el programa calcula la elevación para cada punto donde se ubicó el centroide de la cuenca, para este proceso es necesario un DEM. Los datos de las elevaciones calculadas son almacenados en la tabla de atributos de la capa de centroides.

Para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics > Centroid Elevation* de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, “*Input Raw DEM*”, en esta opción se dejará la capa que tiene inicialmente, para el caso de estudio la capa seleccionado “*Raw DEM*”, para le segunda opción “*Input Centroid*”, se deja la capa que tiene al inicio con el nombre de “*Centroid28*”, se le da clic en “OK”. Si se desarrollan los pasos correctamente el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

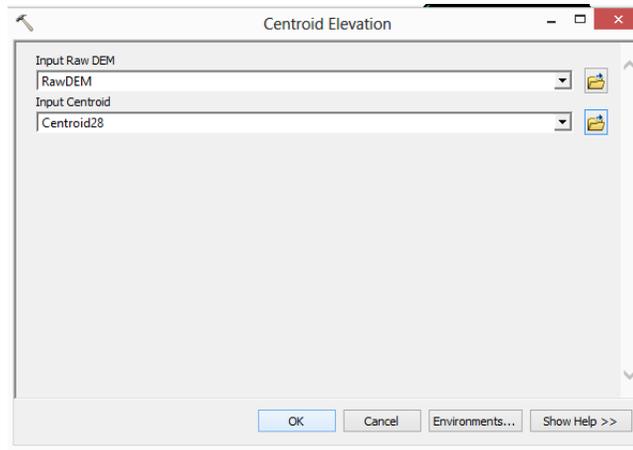


Figura44. Ventana de opciones de la herramienta Centroid Elevation

III.5.7. Trayectoria del flujo más largo desde el centroide

Esta operación calcula la trayectoria de flujo centroidal proyectando el centroide en la trayectoria de flujo más larga. La trayectoria de flujo centroidal se mide desde el punto proyectado sobre la trayectoria de flujo más larga a la salida subcuenca.

Para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, seleccionar la opción *Characteristics > Centroidal Longest Flowpath* de ahí se desplegará una ventana en la que nos muestra la opción de la capa que se va a utilizar para determinar dicha longitud, “*Input Subbasin*”, en esta opción se dejará la capa que tiene inicialmente, para el caso de estudio la capa seleccionado “*Subbasin28*”, para le segunda opción “*Input Centroid*”, se deja la capa que tiene al inicio con el nombre de “*Centroid28*”, para la opción de “*Input Longest Flowpath*” se deja la selección que viene al inicio “*LongestFlowPath28*”, para la última opción “*Output Centroidal Longest Flow Path*” se deja la dirección de la carpeta, para el caso estudiado es la siguiente C:\Puente \proplata\proplata.gdb\proplata\CentroidalLongestFlowPath28 se le da clic en “OK”. Si se desarrollan los pasos correctamente el programa desplegará una nueva ventana en la que se informa que el proceso se llevó exitosamente.

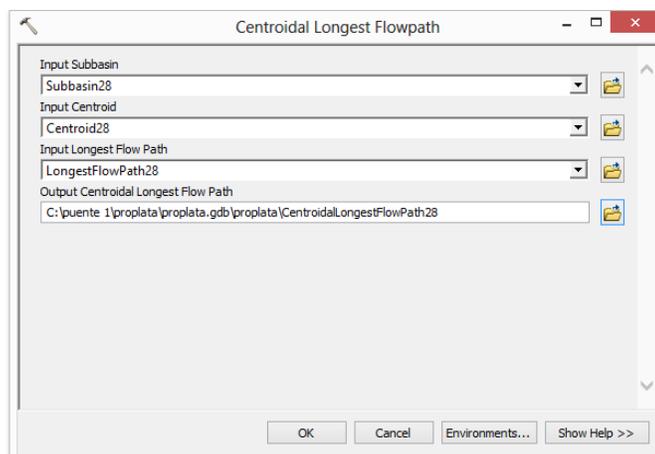


Figura45. Ventana de opciones de la herramienta Centroid Longest Flowpath

Con este proceso se termina de obtener y calcular las características del arroyo y de la subcuenca. El siguiente paso es delimitar la zona de la subcuenca en los MDE de los usos y tipos de suelo, ya que dicho modelo se encuentra el mapa de la República completo. Para esto se siguen los siguientes pasos.

III.5.8. Delimitación del polígono del MDE de usos y tipos de suelo

Se cierra el proyecto que se ha elaborado, después de haber guardado los pasos y procesos que se han elaborado, se abre un nuevo mapa.

En el nuevo mapa abierto se cargara el MDE de uso y tipo de suelo. Para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas standard: *File>Add data* y desde el menú contextual del *Data frame*. Se busca la carpeta donde se tenga guardado el MDE con el uso y tipo de suelo, para el proyecto elaborado dicho modelo se guardo en una subcarpeta de la carpeta “Puente” >Insumos > Uso suelo vegetación edafológica> uso de suelo y vegetación >uso_del_suelo_veg_250_serie_iv_v.shp.

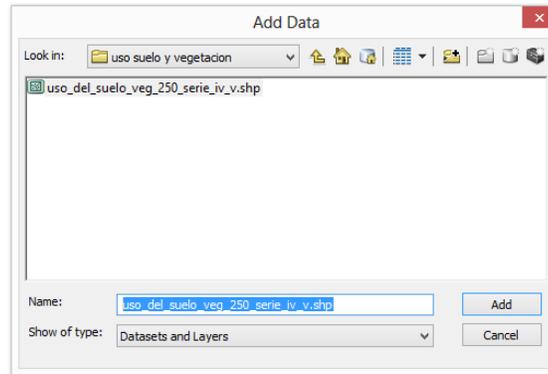


Figura46. Ventana de Add Data (agregar la capa de uso de suelo)

Una vez que ese modelo se tenga cargado se agregará la capa de “*ProjectArea*”. Para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas standard: *File>Add. “Puente” > PROYECTO.GDB > Layers > ProjectArea*.

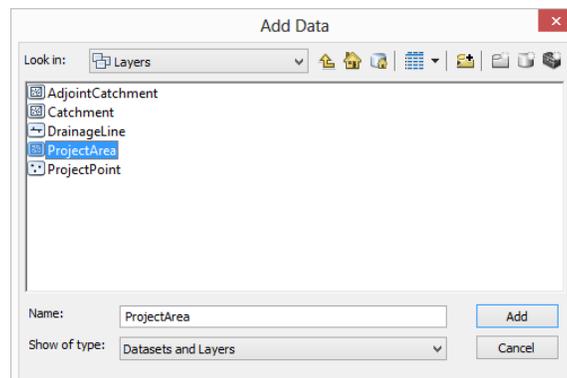


Figura47. Ventana de Add Data (agregar la capa de ProjectArea)

En la tabla de contenido en la capa de “*ProjectArea*” se le da clic con el botón derecho > Zoom to layer, para que la vista acerque la vista al área de proyecto.

Ahora se recortará el MDE del uso y tipo de suelo, para obtener únicamente un polígono de la zona de la cuenca. Para esto se da clic en la pestaña de *Geoprocessing* en la barra de herramientas > Clip. Con esto el programa desplegará

una ventana, en “Input Features” se selecciona “uso_del_suelo_veg_250_serie_iv_v.shp” en “Clip Features” se selecciona “ProjectArea”, en “Output Feature Class” se coloca la dirección de PROYECTO.GDB en la carpeta puente, y se le pone el nombre de “usosuelo”, la siguiente dirección C:\puente\POYECTO.GDB\usosuelo. Se le da clic en “OK” una vez terminado. Cuando el programa termina de recortar el MDE y crear una nueva capa aparece una ventana donde se informa que se completo el proceso.

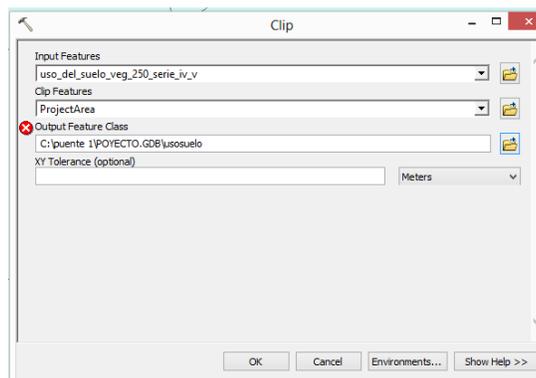


Figura48. Ventana de opciones de la herramienta Clip

El mismo proceso se lleva a cabo para el modelo edafológico de la zona, para complementar la información de tipo de suelo de la zona.

Se abre un nuevo mapa. En el nuevo mapa abierto se cargara el MDE de uso y tipo de suelo. Para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas standard: *File>Add data* y desde el menú contextual del *Data frame*. Se busca la carpeta donde se tenga guardado el MDE con el modelo edafológico, para el proyecto elaborado dicho modelo se guardó en una subcarpeta de la carpeta “Puente” >Insumos > Uso suelo vegetación edafológica> edafolo >eda251mgw.shp.

Una vez que ese modelo se tenga cargado se agregará la capa de “*ProjectArea*”. Para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas standard: *File>Add. “Puente” > PROYECTO.GDB > Layers > ProjectArea*.

En la tabla de contenido en la capa de “*ProjectArea*” se le da clic con el botón derecho > Zoom to layer, para que la vista acerque la vista al área de proyecto.

Ahora se recortará el MDE del uso y tipo de suelo, para obtener únicamente un polígono de la zona de la cuenca. Para esto se da clic en la pestaña de *Geoprocessing* en la barra de herramientas > Clip. Con esto el programa desplegará una ventana, en “*Input Features*” se selecciona “*eda251mgw.shp*” en “*Clip Features*” se selecciona “*ProjectArea*”, en “*Output Feature Class*” se coloca la dirección de PROYECTO.GDB en la carpeta puente, y se le pone el nombre de “*edafo*”, la siguiente dirección C:\puente\PROYECTO.GDB\edafo. Se le da clic en “OK” una vez terminado. Cuando el programa termina de recortar el MDE y crear una nueva capa aparece una ventana donde se informa que se completó el proceso.

Una vez que se crearon las dos capas de uso de suelo y edafológico, es necesario que se unan, para que la información que contienen se complemente, para esto se siguen los siguientes pasos.

Se abre un nuevo mapa, se cargan las capas nuevas, la de uso de suelo y la edafológica, Para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas standard: *File >Add. “Puente” > PROYECTO.GDB > usosuelo. File>Add. “Puente” > PROYECTO.GDB > edafo*. Al cargar la capa “*usosuelo*”, aparecerá una ventana en la que se menciona que dicha capa se encuentra en un sistema de coordenadas diferente, se le da clic en “*close*”.

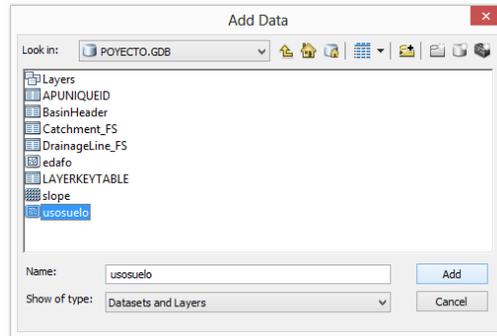


Figura49. Ventana de Add Data (agregar la capa de usosuelo)

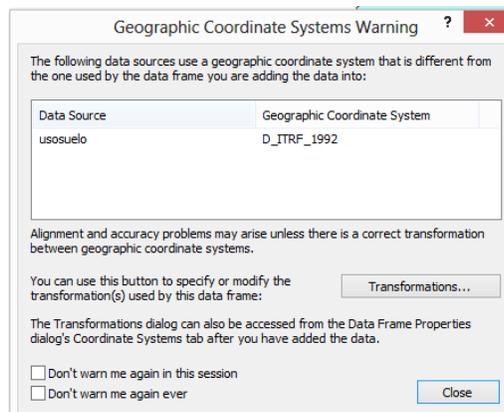


Figura50. Mensaje de sistema de coordenadas diferente en la capa usosuelo

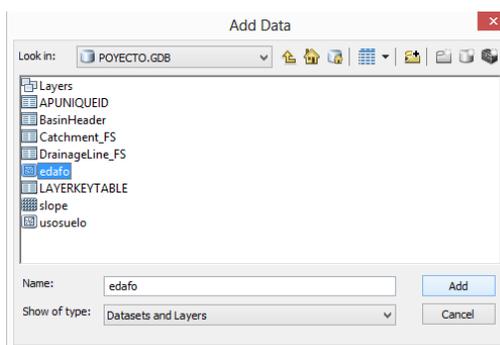


Figura51. Ventana de Add Data (agregar la capa de edafo)

Ahora se une el MDE del uso y tipo de suelo con el edafológico para obtener únicamente un polígono de la zona de la cuenca. Para esto se da clic en la pestaña de *Geoprocessing* en la barra de herramientas > Union. Con esto el programa desplegará una ventana, en “*Input Features*” se selecciona “edafo”, después en esa misma opción se selecciona “usosuelo”, en “*Output Feature Class*” se coloca la dirección de PROYECTO.GDB en la carpeta puente, y se le pone el nombre de “ncurva”, la siguiente dirección C:\puente\POYECTO.GDB\ncurva. Se le da clic en “OK” una vez terminado. Cuando el programa termina de recortar el MDE y crear una nueva capa aparece una ventana donde se informa que se completo el proceso.

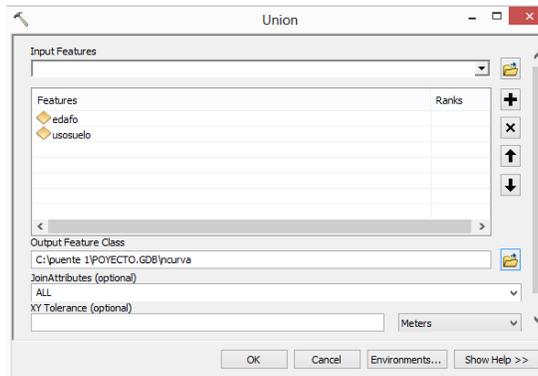


Figura52. Ventana de opciones de la herramienta unión

Se abre un nuevo mapa, se cargan la capa nueva, la “ncurva”, Para esto se utiliza el botón *Add Data*, al que se accede también desde el menú de la barra de herramientas standard: *File >Add. “Puente” > PROYECTO.GDB > ncurva*.

En la tabla de contenidos se busca la capa, se da clic derecho en la capa y se selecciona “*Open Attribute Table*”, se abrirá una ventana que muestra las características de la capa, se agregaran nuevas columnas, en el icono de “*Table options*” de la barra de herramientas de la ventana de la tabla >*Add Field*.

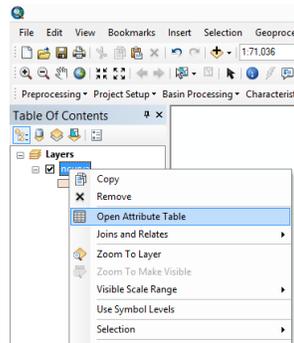


Figura53. Opción para abrir la tabla de atributos

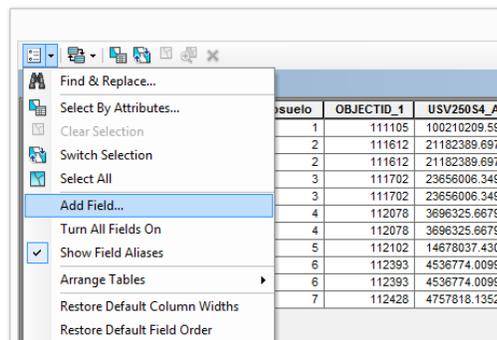


Figura54. Ubicación de la herramienta Add Field

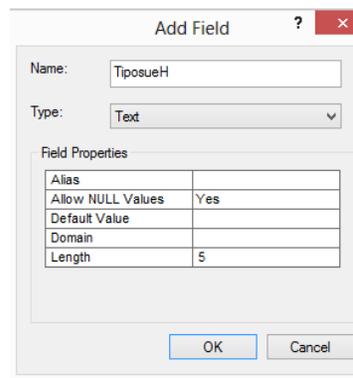


Figura55. Ventana de opciones de la herramienta Add Field

Para la primera columna en *Name*: “TiposueH” > Type: “Text” >Length : “5”. Para la segunda columna en *Name*: “PctA” > Type: “Double”. Para la tercera columna en *Name*: “PctB” > Type: “Double”. Para la cuarta columna en *Name*: “PctC” > Type: “Double”. Para la quinta columna en *Name*: “PctD” > Type: “Double”. Para la sexta columna en *Name*: “Land use” > Type: “Double”.

Para el llenado de las primeras cinco columnas se utiliza la información de la columna “*Descripcio*”, para la primera columna “TiposueH”, en las filas que sean andosol se coloca la letra “A” y para las filas que sean Acrisol la letra “D”, para la segunda columna en las filas que tengan la letra “A” se coloca el número “100” y para las demás filas “0”, para la tercera y cuarta columna se coloca “0”, ya que no hay de ese tipo de suelo dentro de la zona de estudio, para la quinta columna en las filas con “D” se coloca “100” y para las demás filas “0”. Por último en la columna de “Land use” se usa la información de la columna “Tipo_Ecov” dicha columna se ordena en orden descendente y se enumeran los diferentes tipos de suelo del 1 al 4.

Para poder editar las columnas se da clic en la barra de herramientas “*Editor*” > *Start Editing*, y de esta manera se puede comenzar a introducir los valores, cuando se termina de editar la tabla se da clic en la barra de herramientas “*Editor*” > *Save Editing*, y por ultimo para dejar de editar la tabla, se da clic en la barra de herramientas “*Editor*” > *Stop Editing*

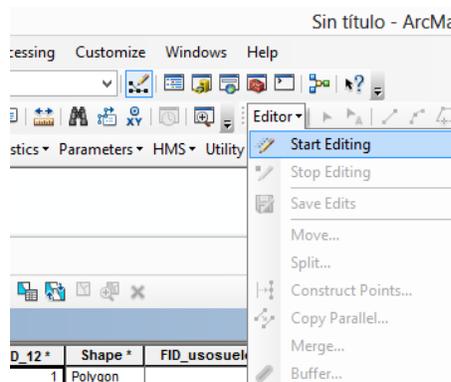


Figura56. Ubicación de las herramientas de edición de tablas

De esta manera la tabla queda de la siguiente manera:

Tabla 5. Contenido modificado de la capa “ncurva”

TiposueH	PctA	PctB	PctC	PctD	Landuse
A	100	0	0	0	3
A	100	0	0	0	2
D	0	0	0	100	2
A	100	0	0	0	2
D	0	0	0	100	2
A	100	0	0	0	1
D	0	0	0	100	1
D	0	0	0	100	2
A	100	0	0	0	4
D	0	0	0	100	4
D	0	0	0	100	4

III.5.9. Parámetros hidrológicos

Se cierra la capa del nuevo modelo con la tabla de tipo de suelo. Se abre el proyecto que se generó en los pasos anteriores, para continuar con la modelación del mismo, en la parte derecha de la ventana del programa, hay una barra que es la barra de catálogos, en esta se da clic para desplegarla, se busca Home-Puente > PROYECTO.GDB. Se da clic con el botón derecho, para abrir una nueva ventana *New > Table*. Esto para agregar una nueva tabla de propiedades, se abre una nueva ventana, en la parte de *Name*: “CNLookUp”, clic en siguiente, de nuevo se da clic en el botón de siguiente, respetando los valores seleccionados inicialmente, y por últimos se da clic en el botón de “*Finish*”.

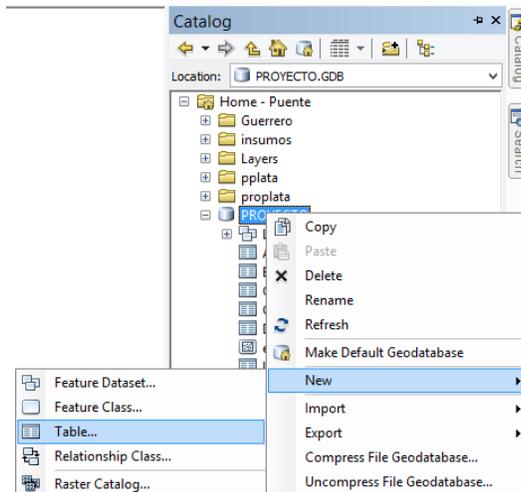


Figura57. Pasos para crear una nueva tabla

En la tabla de contenidos se busca la tabla creada, se da clic con el botón derecho y se selecciona “*Open Attribute Table*”, se modifica la tabla ya que no contiene ningún dato, los pasos para la modificación de la tabla son los mismos ya descritos. En esta tabla únicamente se tendrán 6 columnas.

Para la primera columna en *Name*: “LUValue” > *Type*: “ShortText”. Para la segunda columna en *Name*: “Description” > *Type*: “Text”. Para la tercera columna en *Name*: “A” > *Type*: “Short Text”. Para la cuarta columna en *Name*: “B” > *Type*: “Short Text”. Para la quinta columna en *Name*: “C” > *Type*: “Short Text”. Para la sexta columna en *Name*: “D” > *Type*: “Short Text”.

El llenado de las filas debe ser como se muestra en la siguiente imagen:

Tabla 6. Contenido de la tabla “CNLookUp”

OBJECTID *	LUValue	Description	A	B	C	D
1	1	BOSQUE DE PINO	36	60	73	79
2	2	BOSQUE DE PINO-ENCINO	25	55	70	77
3	3	BOSQUE MESOFILO DE MONTANA	45	66	77	83
4	4	PASTIZAL CULTIVADO	49	69	79	84

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *Utility > Generate CN Grid*, se abrirá una nueva ventana, en “*Input Hydro Dem*” se selecciona la opción de *RawDEM*, en la segunda opción “*Input Soil Landuse Polygon*” se selecciona la capa de “*ncurva*”, en la siguiente opción “*Input Curve Number Lookup*” se selecciona la tabla “*CNLookUp*”, y en la última opción “*Output Curve Number Grid*” se busca la carpeta de puente > proplata y se le pone el nombre de *CNGrid*, quedando la siguiente dirección en la opción “*C:\puente 1\proplata\CNGrid*”. Se da clic en “*OK*”.

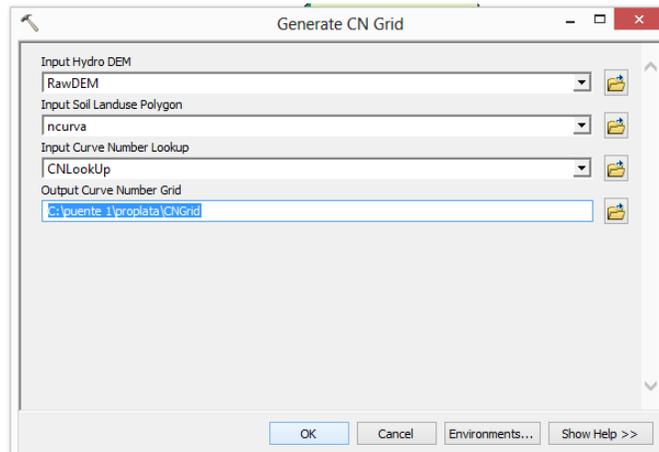


Figura58. Ventana de opciones de la herramienta Generate CN Grid

Una vez terminados estos pasos se inicia con la determinación de los parámetros del modelo, para esto en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *Parameter > Select HMS Processes*. Se abrirá una ventana, en las primeras opciones se respetan las capas que vienen al inicio, en “*Subbasin-Loss Method*” se selecciona la opción “*SCS*”, en “*Subbasin-Transform Method*” se selecciona la opción “*SCS*”, en “*Subbasin-Baseflow Method*” se elige la opción “*None*”, y en “*River-Route Method*” se pone “*Muskingum*”. Se da clic en “*OK*”.

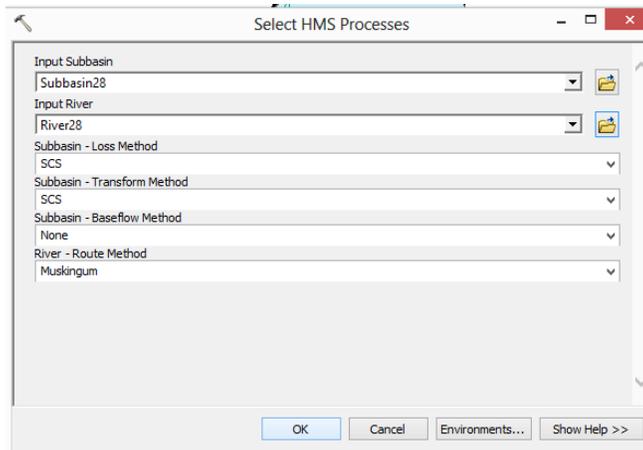


Figura59. Ventana de opciones de la herramienta Select HMS Processes

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *Parameter > River Autoname*. Se abrirá una ventana, se respeta la opción que nos marca inicialmente “River28”. Se da clic en “OK”.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *Parameter > Basin Autoname*. Se abrirá una ventana, se respeta la opción que nos marca inicialmente “Subbasin28”. Se da clic en “OK”.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *Parameter > Subbasin Parameters from Raster*. Se abrirá una ventana, en la primera opción se respeta la opción que nos marca inicialmente “Subbasin28”, en la última opción “Input Curve Number Grid” se selecciona “CNGrid”, mientras que las demás opciones se dejan en blanco. Se da clic en “OK”.

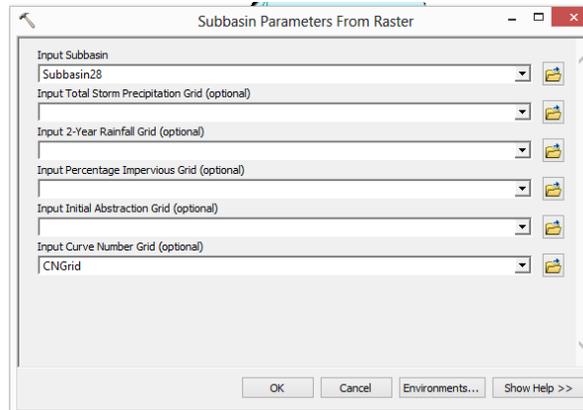


Figura60. Ventana de opciones de la herramienta Subbasin Parameter

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *Parameter > CN Lag*. El programa procesará la opción y al finalizar aparece una ventana donde se informa que el proceso se completó.

III. 6. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO PARA LA EXPORTACIÓN

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *HMS >Map to HMS Unit*. Se abrirá una ventana, se cambia la opción que nos marca inicialmente “English” a “SI”. Se da clic en “OK”.

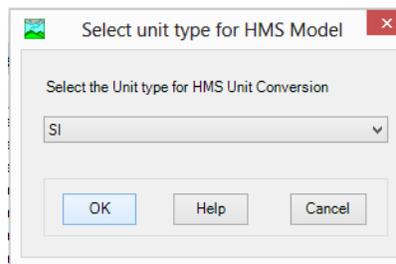


Figura61. Ventana de selección del tipo de unidades

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en *HMS >Check Data*. Se abrirá una ventana donde se informa que el proceso terminó. Se da clic en “Yes”.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en HMS > HMS Schematic. Se abrirá una ventana, se respetan las opciones que nos marca inicialmente. Se da clic en “OK”. Y se abre una ventana donde se informa que el proceso terminó.

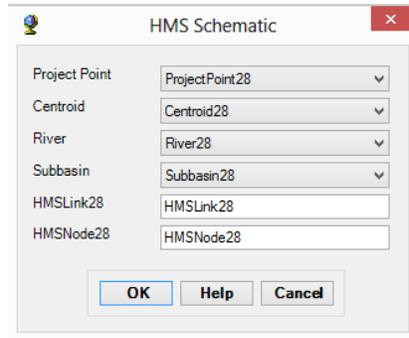


Figura62. Ventana de opciones de HMS Schematic

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en HMS > *Toogle Legend* > *HMS Legend*.

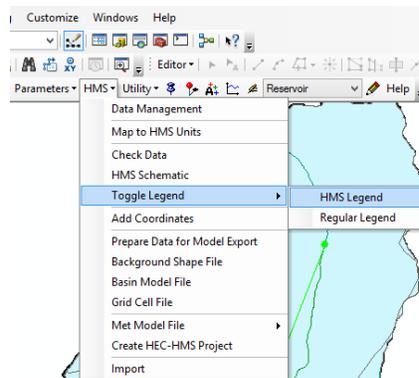


Figura63. Ubicación de la herramienta HMS Legend

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en HMS > *Add Coordinated*. Se abrirá una ventana donde se informa que no hay una referencia espacial para las coordenadas “Z” se le da clic en “OK”. Por último muestra una ventana con la información de que el proceso terminó correctamente, se da clic en “OK”.

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en HMS > *Prepare Data for Model Export*. Se abrirá una ventana, se respetan las opciones que nos marca inicialmente. Se da clic en “OK”. Y se abre una ventana donde se informa que el proceso terminó.

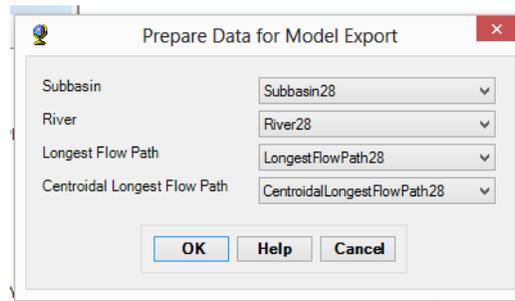


Figura64. Ventana de opciones de Prepare Data for Model Export

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en HMS > Background Shape File. Se abrirá una ventana, se respetan las opciones que nos marca inicialmente. Se da clic en “OK”. Y se abre una ventana donde se informa que el proceso terminó.

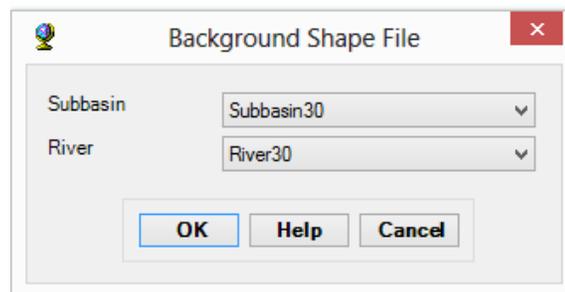


Figura65. Ventana de opciones de Bakground Shape File

El último paso es exportar el modelo elaborado a diferentes tipos de archivos para utilizar en el programa HEC-HMS. En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se da clic en HMS > Basin Model File.

IV. RESULTADOS

A continuación se muestran los parámetros obtenidos con ayuda del software antes descrito, se muestra una imagen con la división de la cuenca en las respectivas subcuencas, con los ríos o cauces correspondientes. Después de la imagen se muestra una tabla con los datos obtenidos.

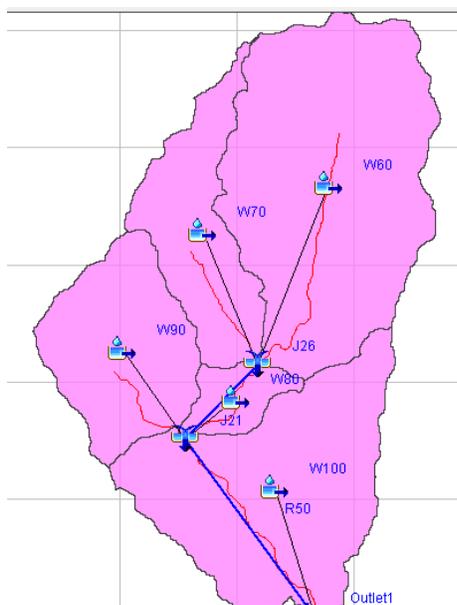


Figura 66. Mapa con la división de las subcuencas creadas

Tabla 7. Parámetros obtenidos de las subcuencas

Subcuenca	Área (km ²)	Número de curva (NC)	Tiempo de retraso (min)
W 100	11.2412	70.6094	1027.4
W 90	6.2289	38.741	1684.1
W 80	1.4731	57.321	330.33
W 70	5.3374	44.823	1315.1
W 60	15.353	44.641	2037.9

A continuación se muestra una comprobación de los parámetros que se obtienen con el software, calculándolos mediante las formulas establecidas en la literatura existente. Subcuenca W100:

$$T_L = 0.60T_c \quad (4.1)$$

El tiempo de retraso, T_L , es el tiempo medido entre el llamado centro de masa de la precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escurrimiento:

$$T_c = \frac{0.00227 \ell^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{Y^{0.5}} \quad (4.2)$$

Donde ℓ es la distancia desde el punto más alejado hasta la salida de la cuenca, en m; CN es el número de curva de escurrimiento, función del tipo y cobertura del suelo, Y es la pendiente promedio de la cuenca, expresada en forma de porcentaje. Con ayuda del software Excel se calcula primero el tiempo de concentración, para posteriormente calcular el tiempo de retraso.

Tabla 8. Resultados obtenidos con la aplicación de fórmulas

CN=	70.609375			
L=	6467.422074			
Y =	0.078721			
TC =	28.54717695			
TL=	17.12830617	horas	1027.69837	min

Los valores de Y fue obtenido de la tabla de atributos de Subbasin30, mientras que el valor de L de la tabla de atributos de LongestFlowPath 30.

Subbasin30			LongestFlowPath30	
Name	TotStormP	BasinSlope	Shape *	Shape_Length
W60	<Null>	0.088442	Polyline	7279.07467
W70	<Null>	0.218387	Polyline	7106.5211
W80	<Null>	0.401491	Polyline	4670.566556
W90	<Null>	0.090889	Polyline	6467.422074
W100	<Null>	0.078721	Polyline	2818.012986

Figura 67. Tablas con los datos requeridos para los cálculos

V. CONCLUSIONES

Los estudios hidrológicos apoyados en las herramientas informáticas actuales brindan muchas posibilidades, entre las que se pueden citar la visualización y el análisis de los datos, además de que se reduce notablemente el tiempo en la modelación. La modelación hidrológica de las cuencas hidrográficas permite realizar pronósticos de las posibles afectaciones de una zona debido a la ocurrencia de lluvias extremas máximas, es por ello que estudios de este tipo son de suma importancia y se ven complementados con herramientas informáticas de última generación como son los casos de los SIG y de los modelos de simulación hidrológica como el software Hec-HMS por ejemplo.

El uso de sistemas de información geográfica (SIG) en el geoprocesamiento de la información disponible de la cuenca, permite definir con relativa facilidad las características geomorfológicas y algunos valores previos de varios de los parámetros incluidos en los principales modelos hidrológicos disponibles en HEC-HMS. Así mismo, utilizando modelos de elevación digital, se pueden determinar las condiciones geométricas que definen las características del flujo en canales naturales y/o artificiales y las zonas de inundación aledañas a estos. Antes de contar con estas herramientas computacionales, todos los datos se debían de calcular de manera manual con las fórmulas que se contaban, lo cual se complicaba la modelación y su elaboración era más tardía, además con los modelos digitales con los que se cuentan actualmente no es necesario tener que ir a la zona de estudio para elaborar estudios de campo, ya que dichos modelos cuentan con estos datos, además de que algunas veces por cuestiones de tiempo es necesario contar con los datos de manera urgente y no es posible llevar a cabo un estudio de campo y con estos modelos se recaba dicha información.

La ayuda de estas herramientas facilita la elaboración de modelos de gran magnitud ya que pueden obtener los cálculos de los parámetros, sin que resulte tan laborioso como era el calcularlos de manera manual.

V. FUENTES DOCUMENTALES

- ESTRADA SIFONTES, Valentina. Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. 2012.
- FLEMING J., Mathew. HEC-Geo HMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. US Army Corps of Ingeniering
- HAMMOURI, Nezar. Naqa, Ali. Hidrological modeling of ungaugedwadis in arid enviroments using GIS: a case study of wadimadoneh in Jordan. UNAM 2007.
- NORMATIVIDAD DE LA SECRETARÍA DE CMINOS Y TRANSPORTE PARA OBRAS HIDRÁULICAS
- PUERTA TUESTA, RONALD. ARCGIS Básico 10. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. 2011
- RODRÍGUEZ LÓPEZ, Yakelin. Metodología para la simulación hidrológica de eventos extremos máximos en ausencia de datos hidrométricos a escala horaria. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2010.
- RODRÍGUEZ LÓPEZ, Yakelin, GIL URRUTÍA, Laura. Modelo lluvia-escurrimiento para la cuenca del río Reno. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2010
- RODRÍGUEZ S., Erasmo Alfredo. Propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río Las Ceibas (Neiva- Huila). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2007.
- QUEVEDO TIZNADO, José Antonio, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE HIDROGRAMAS UNITARIOS CON BASE FÍSICA PARA LA MODELACIÓN DE ESCURRIMIENTOS PLUVIALES., Universidad Autónoma de Querétaro.
- <http://guerrero.gob.mx/municipios/costa-grande/tecpan-de-galeana/> ; PÁGINA VISITADA EL DÍA 2 DE ENERO DE 2014.



Centro Universitario, Enero 15, 2014.

C. YASSIEL ZAMORA RANGEL, y
 Pasante (s) del área de Ingeniería Civil,
P R E S E N T E .

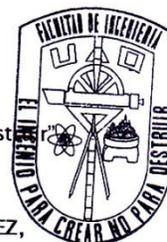
En respuesta a la solicitud que Usted (es) plantea (n) sobre la ASIGNACIÓN de ASESOR, necesario para la elaboración de la TESINA, y requisito para la acreditación del DIPLOMADO EN VÍAS TERRESTRES se le (s) designa al (la) MC. JOSÉ ANTONIO QUEVEDO TIZNADO, para desarrollar el tema: "OBTENCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA HEC-GeoHMS" por lo que deberá (n) dirigirse al catedrático para ponerse de acuerdo y realizar el trabajo correspondiente tomando en cuenta los lineamientos que para su elaboración otorga el Centro de Educación Continua.

Por lo anterior me permito hacer de su conocimiento que la tesina deberá entregarse debidamente empastada y en disco compacto; aprobada por su asesor y la coordinación del área a más tardar el día 10 de marzo del 2014.

ATENTAMENTE

"El ingenio para crear, no para destruir"

M. en I. RUBÉN RAMÍREZ JIMÉNEZ,
 COORDINADOR



CENTRO DE
 EDUCACIÓN
 CONTINUA

FIRMA DE ACEPTACIÓN DEL ASESOR

MC. JOSÉ ANTONIO QUEVEDO TIZNADO

Nombre: José Antonio Quevedo Tiznado

Firma: Antonio Quevedo

Fecha: 27 de Enero de 2014

De enterado



Cp. Archivo.
 Cpr*



Centro Universitario, febrero 13, 2014.

A QUIEN CORRESPONDA:

Hago constar que el (os) pasante (s) de la Licenciatura de Ingeniería Civil **C. YASSIEL ZAMORA RANGEL**, aprobó (n) la TESINA del **DIPLOMADO EN VÍAS TERRESTRES** impartido por el Centro de Educación Continua para lo cual presenta (n) el trabajo titulado: "*Obtención de parámetros para la modelación hidrológica con HEC-GEOHMS*"

Aprobada con fines de Titulación.

Antonio Quevedo

M. en C. JOSÉ ANTONIO QUEVEDO TIZNADO
ASESOR DE TESINA