

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Hidráulica de Ríos

MODELACIÓN BIDIMENSIONAL HEC – RAS 5.0*

*La guía que se presenta a continuación está basada en el manual de usuario de HEC-RAS (*HEC-RAS 5.0 2D Modelling users manual*) el cual puede ser consultado en el siguiente enlace: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf>

La última versión de HEC-RAS incorpora un nuevo módulo que permite realizar un análisis bidimensional del flujo bajo condiciones de flujo permanente y no permanente, resolviendo las ecuaciones de Saint Venant/Ecuaciones de Onda Difusa 2D. Adicionalmente, dado que la interfaz de modelación Unidimensional se conserva, es posible integrarla a un modelo 2D. Las herramientas relacionadas con el ingreso de estructuras al esquema de modelación, aún no se encuentran habilitadas para la interfaz 2D, sin embargo, es posible tenerlas en cuenta si se vinculan como un modelo 1D.

La solución a ambos conjuntos de ecuaciones (Saint-Venant y Onda Divusa) se realiza por medio de un algoritmo de volúmenes finitos, el cual ofrece mayor estabilidad y robustez. Las celdas pueden iniciar desde una condición seca y manejar un repentino cambio de nivel en el área. Al igual que en 1D puede manejar condiciones de flujo subcrítico, supercrítico y mixto.

El software fue desarrollado para emplear mallas no-estructuradas, pero puede manejar ambas. El algoritmo de solución es el mismo para ambos casos, excepto que en mallas estructuradas toma en cuenta la ortogonalidad de las celdas para simplificar el cálculo. Los elementos están condicionados a polígonos de no más de 8 lados y la configuración de la malla puede ser mixta. El dominio de modelación es definido mediante un polígono del área de interés.

Cada celda toma en cuenta la topografía sobre la cual está ubicada, caracterizando hidráulicamente el terreno que se encuentra debajo de ella misma (High resolution subgrido model). HEC-RAS realiza un preprocesamiento de las celdas para determinar estas propiedades. Cada una de las caras de la celda es analizada como una sección transversal, obteniendo sus propiedades hidráulicas detalladas. Esto permite al modelador emplear celdas de un tamaño superior al que se encuentra la información del terreno y aun así tener en cuenta las características del terreno en una escala menor. Es recomendable poner caras paralelas a las barreras naturales de flujo ya que reduce los tiempos computacionales.

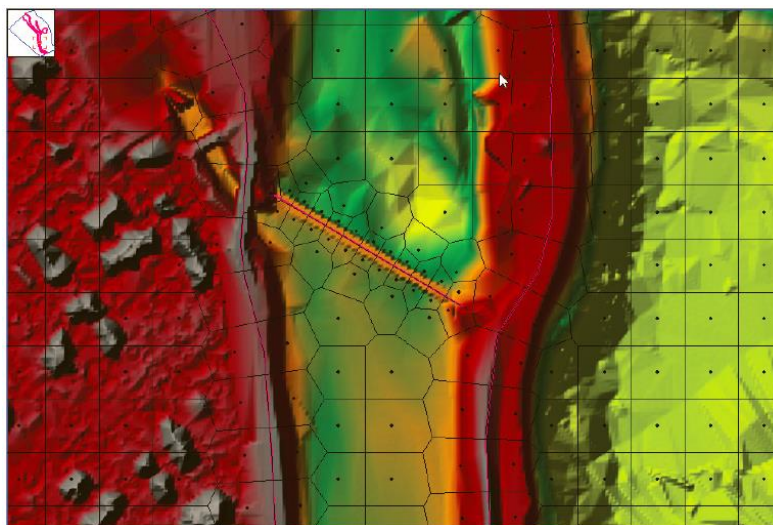


Figura 1. Tomado del Manual de Usuario HEC-RAS 5.0

Una de sus principales características consiste en la inclusión de una interfaz nueva denominada RAS Mapper, en la cual se puede visualizar la información espacial requerida como: modelo digital de terreno, coberturas de suelo, geometría del cauce, etc. Esta misma interfaz permite visualizar y animar los resultados de la simulación a lo largo del intervalo de tiempo según los parámetros fijados por el usuario al momento de la ejecución.

HEC-RAS 2D aún cuenta con ciertas limitaciones relacionadas con el nuevo módulo de modelación bidimensional, estas se mencionan a continuación:

- No se puede llevar a cabo análisis de transporte de sedimentos en la interfaz 2D, sin embargo, sigue activa en el módulo unidimensional
- No se puede realizar análisis de calidad de agua en el módulo bidimensional
- No se pueden conectar sistemas de bombeo con áreas bidimensionales

Desarrollo del modelo

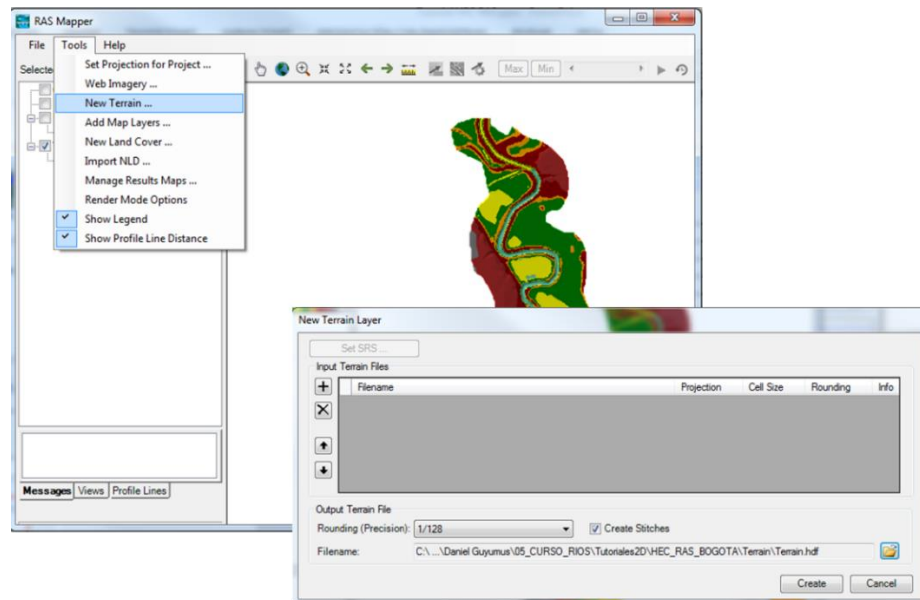
**Antes de iniciar el proceso de modelación, diferentes ejemplos realizados dentro del propósito del curso han permitido observar un tipo de error atípico al momento de realizar la simulación. Un mensaje recurrente refiriéndose a un error ventana de tiempo de simulación escogida, a pesar de que esta se encuentra bien configurada, impide la ejecución del modelo; para solucionarlo se recomienda cambiar el idioma de su computador a Inglés (Estados Unidos) y nuevamente ejecutar el modelo. Este caso ha ocurrido en computadores con versión Windows 7, en versiones Windows 10 no se ha presentado este inconveniente.*

1. Crear un proyecto nuevo
 - a. Configurar las unidades de análisis fijando SI como el sistema por defecto
 - b. File/New Project/... Seleccionar ubicación
2. Abrir Ras Mapper
 - a. GIS Tools/RAS Mapper
 - b. Configurar el sistema de coordenadas. Cargar archivo de proyección (*.prj puede ser tomado de los archivos de ArcGis) RAS Mapper/Tools/Set projection for Project

3. Crear el modelo de terreno

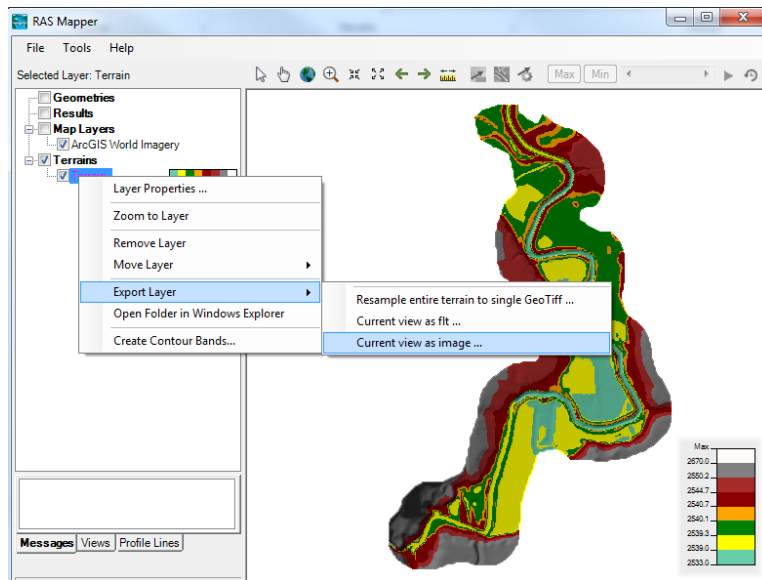
- a. Cargar los datos del terreno que será empleado para crear la superficie de modelación siguiendo la siguiente ruta: *RAS Mapper/Tools/New Terrain*. También se debe seleccionar una ruta para guardar los archivos que se crean con este paso. El campo ‘Rounding precision’ se deja por defecto. RAS Mapper puede importar datos de terreno de archivos con formato TIF, FLT, ADF.

Múltiples archivos pueden ser cargados al modelo, pero es importante darle un orden jerárquico de tal forma que los archivos con mejor resolución queden por encima de los otros antes de crear el modelo de terreno combinado.

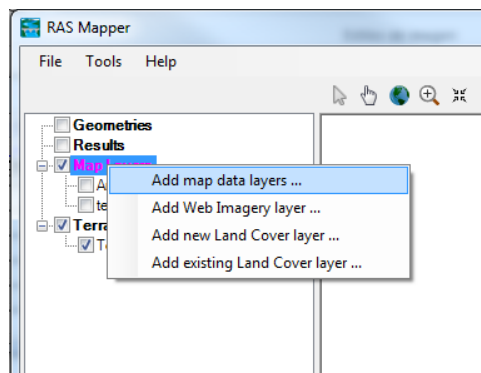


Una vez se agreguen todos los archivos requeridos, hacer Clic en ‘Create’ para generar la superficie.

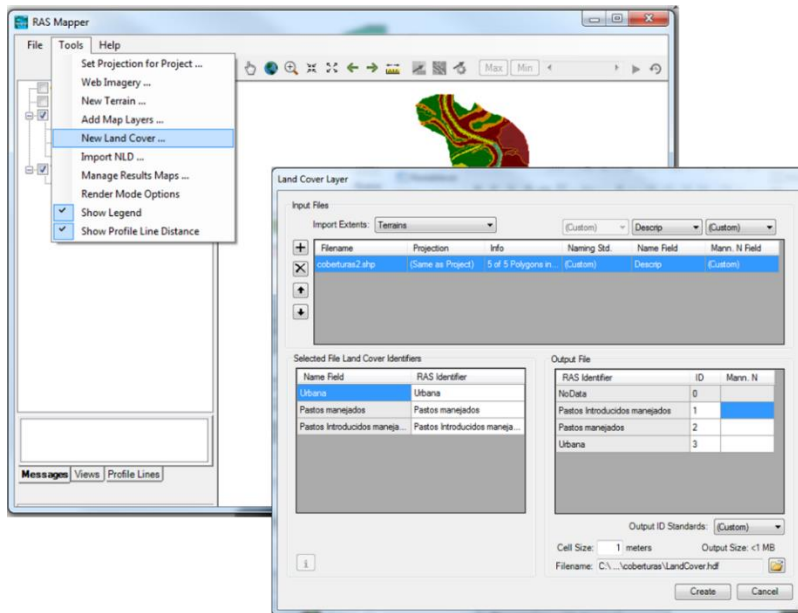
- b. Crear imagen a partir del terreno cargado: *RAS Mapper/Select terrain layer/Export Layer/Current view as image...* Esto con el fin de permitir un manejo más fluido de la interfaz.



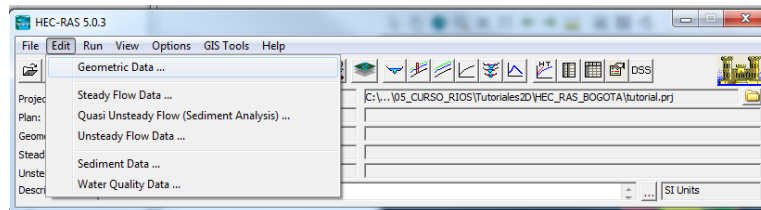
c. Importar imagen creada a la ventana de RAS Mapper como una capa

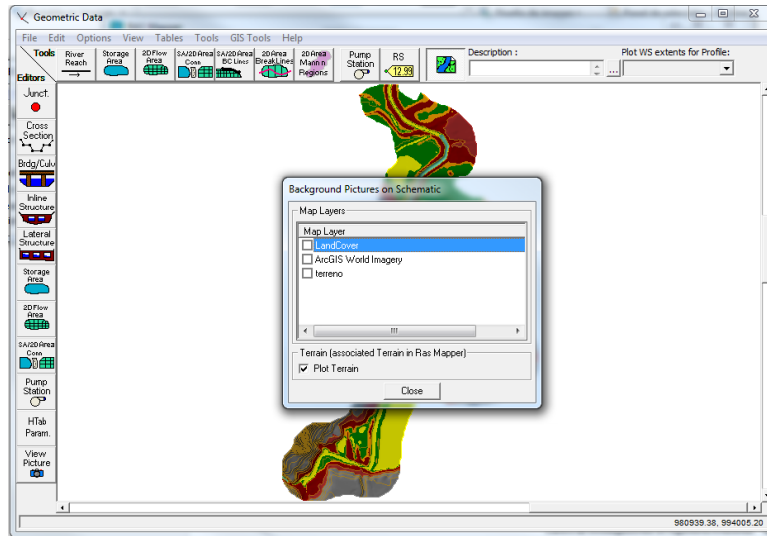


4. Crear una clasificación de coberturas con el fin de definir los valores de Manning de cada una de estas. RAS Mapper permite asociar la información de coeficientes de rugosidad a una topografía previamente cargada. Esta información puede ser en formato shapefile o raster.
 - a. Importar un shapefile con información de coberturas de suelo: *RAS Mapper/Tools/New Land Cover*

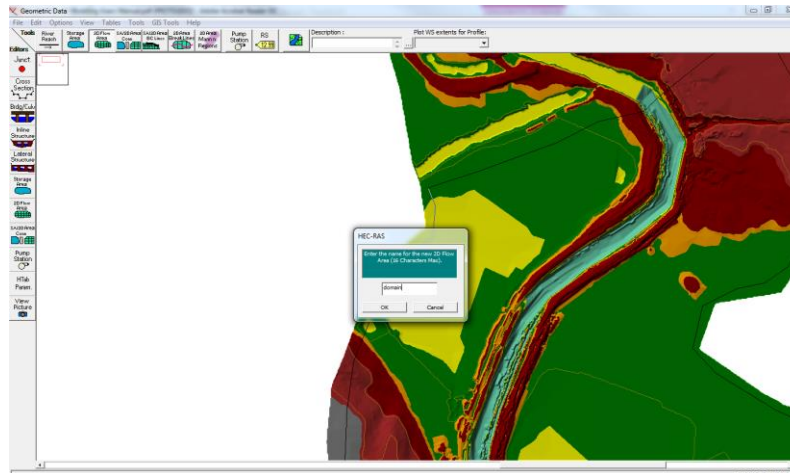


- b. Definir para cada tipo de cobertura un coeficiente de rugosidad. HEC-RAS asume el modelo de Manning como válido para el análisis.
 - c. Generar raster con la información de rugosidad con celdas de igual tamaño al raster del terreno.
5. Definir la geometría de análisis
 - a. Abrir Geometric Data. Para visualizar el terreno, agregar imagen creada empleando la opción *select layer to view in background*.

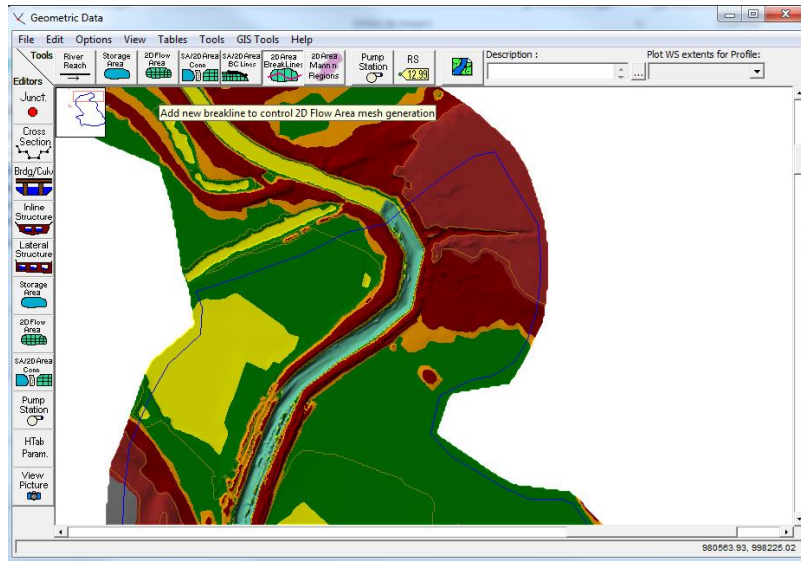




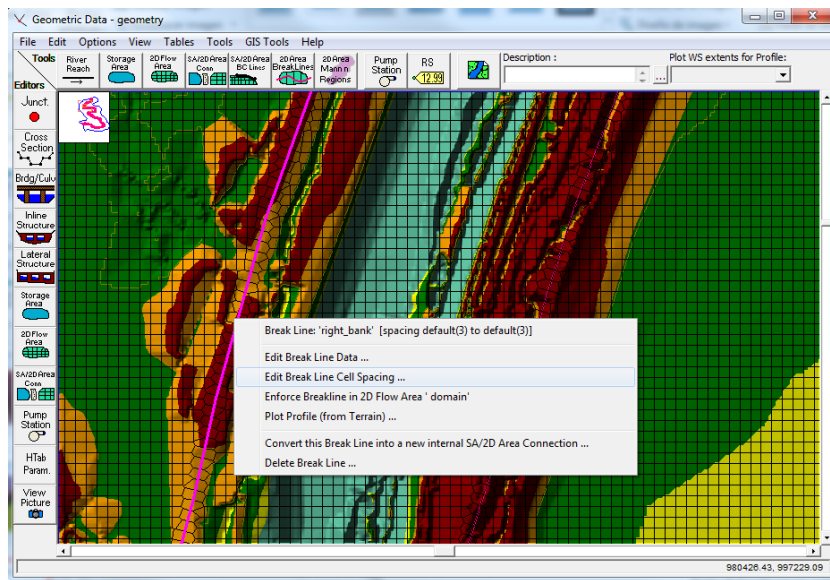
- b. Definir el dominio de modelación mediante el botón *2D flow area*. Agregar punto a punto y finalizar con doble clic. Clic derecho centra la pantalla.



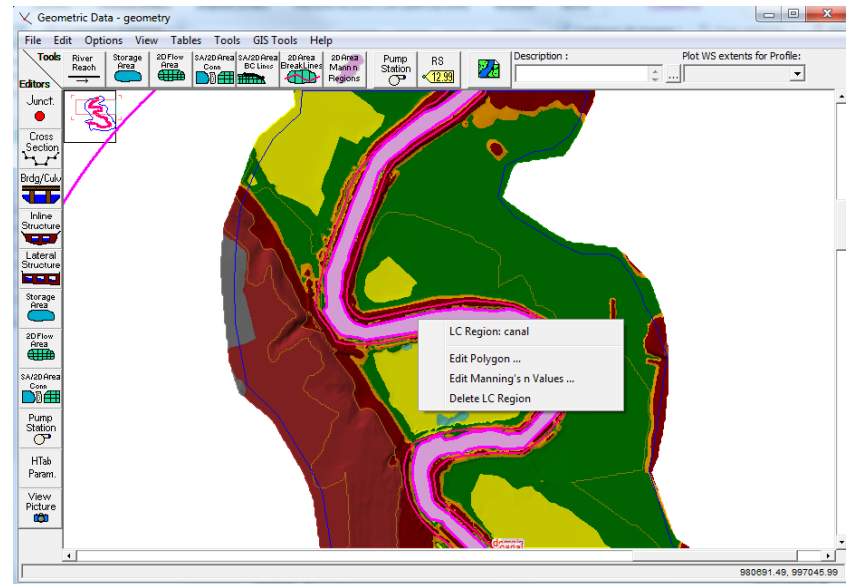
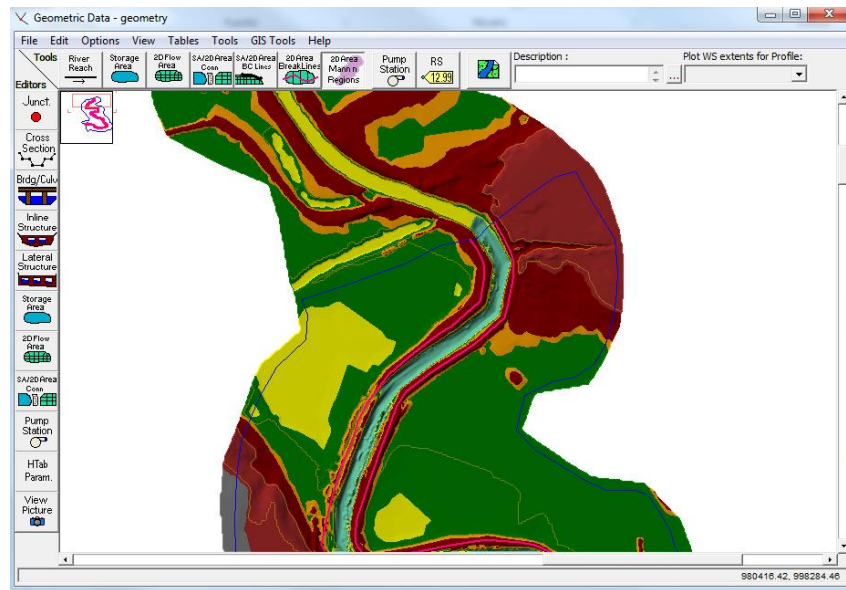
- c. Agregar *breaklines* (*2D área breaklines*) en los elementos dentro del área de simulación que representen barreras para el flujo (i.e., diques, estructuras, caminos). Definir un tamaño adecuado de las celdas para la transición de estos elementos con mayor detalle y la superficie adyacente. Estos elementos pueden ser dibujados a mano o agregados como una lista de coordenadas.



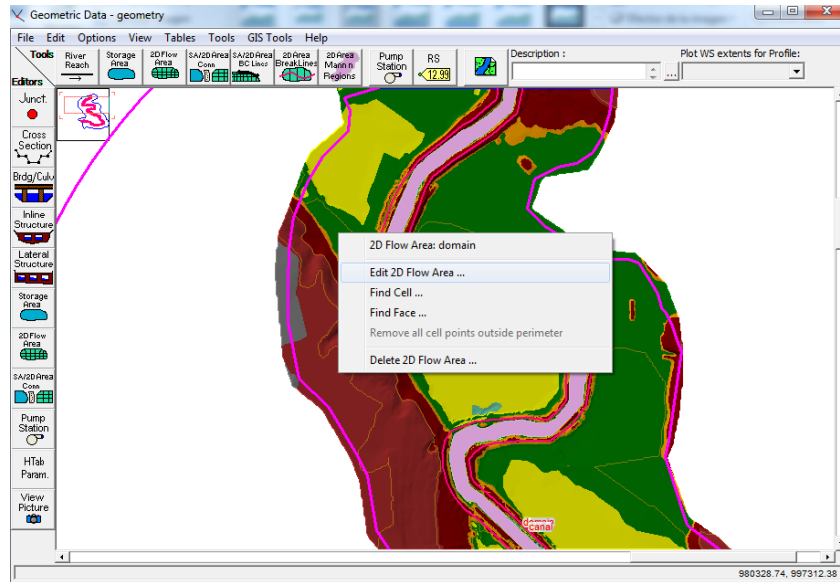
- d. Editar el espaciamiento de las celdas con el objetivo de llevar a cabo una transición entre el tamaño de las celdas que se originan a partir de cada 'breakline' hasta el espaciamiento que con el cual se desea representar el terreno. Hacer clic izquierdo sobre el elemento *Edit Break Line Cell Spacing*...



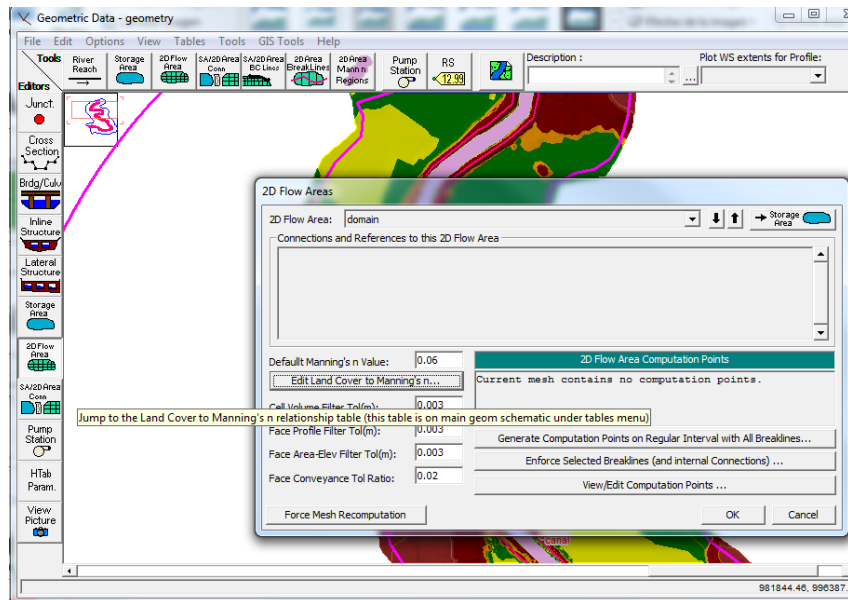
6. Es posible considerar un coeficiente de rugosidad diferente para el área que representa el canal o río que se quiere simular, para ellos es necesario identificar el área dentro del dominio de modelación que a él corresponde para posteriormente asignarle un coeficiente de rugosidad distinto. Emplear el botón *2D Manning n Regions*.



7. Crear malla de modelación.
 - a. Clic izquierdo sobre el dominio de modelación: *Edit 2D Flow Area*



- b. Verificar los coeficientes de rugosidad dentro del dominio de modelación. *Edit land cover to manning's n*. En este paso es posible editar el coeficiente de rugosidad que se desea para el canal o río.



Es posible observar dentro de esta ventana los siguientes componentes:

Cell volumen filter tol: Esta tolerancia es usada para reducir el número de puntos en las curvas de elevación vs volumen de las celdas después de ejecutar el pre procesamiento. Pocos puntos aumentarán la rapidez de los cálculos, pero reducirá la precisión de los resultados.

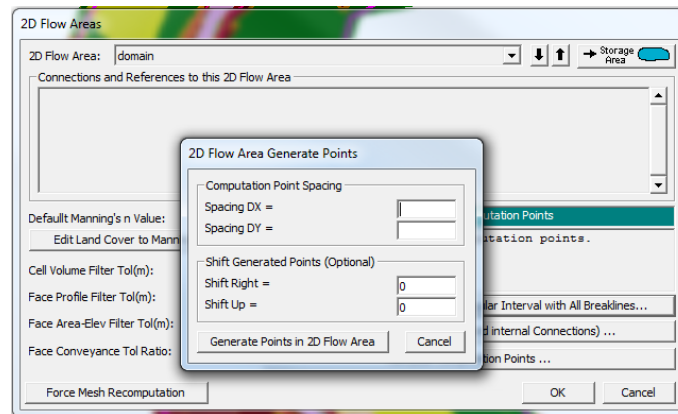
Face profile filter tol: Esta tolerancia disminuye el número de puntos que son extraídos del terreno para cada celda.

Face Area-Elev filter tol: Esta tolerancia reduce el número de puntos en las curvas de propiedades hidráulicas de cada celda, esto aumentará la rapidez de cálculo pero reducirá la precisión de los resultados.

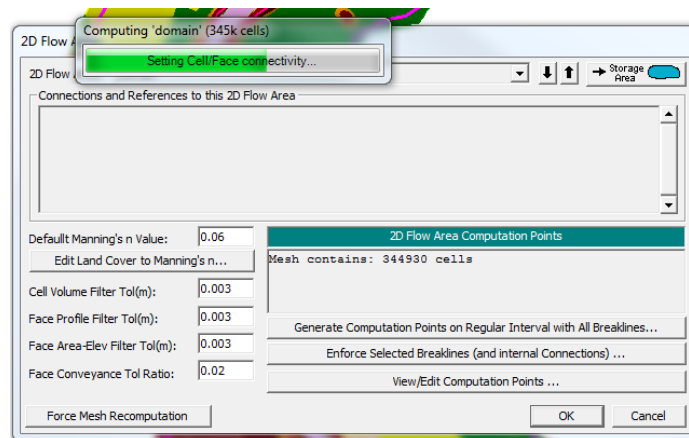
Face conveyance tol ratio: Esta tolerancia permite determinar si se requieren más o menos puntos al final de la curva de propiedades hidráulicas de cada celda.

Todos los campos se dejan con los valores por defecto.

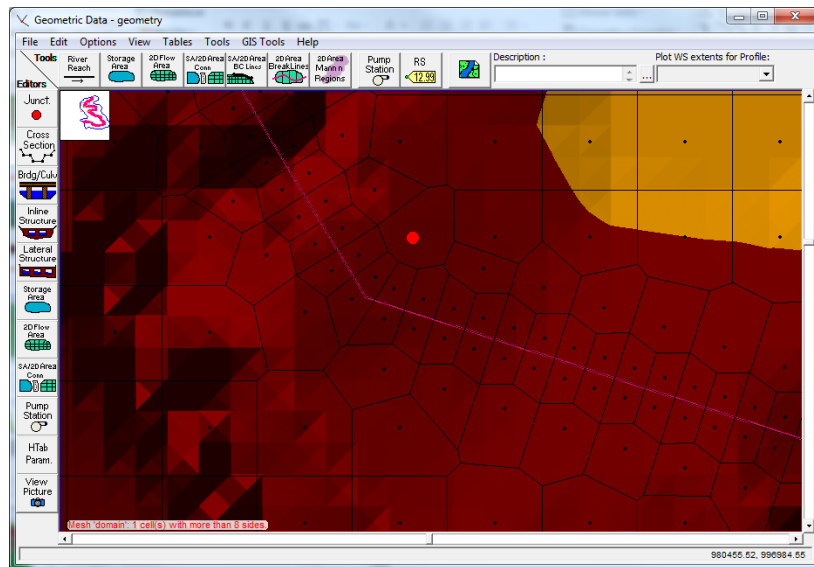
- c. Generar los puntos (centroides) de las celdas, previa definición del espaciamiento del enmallado. *Generate computation points...*



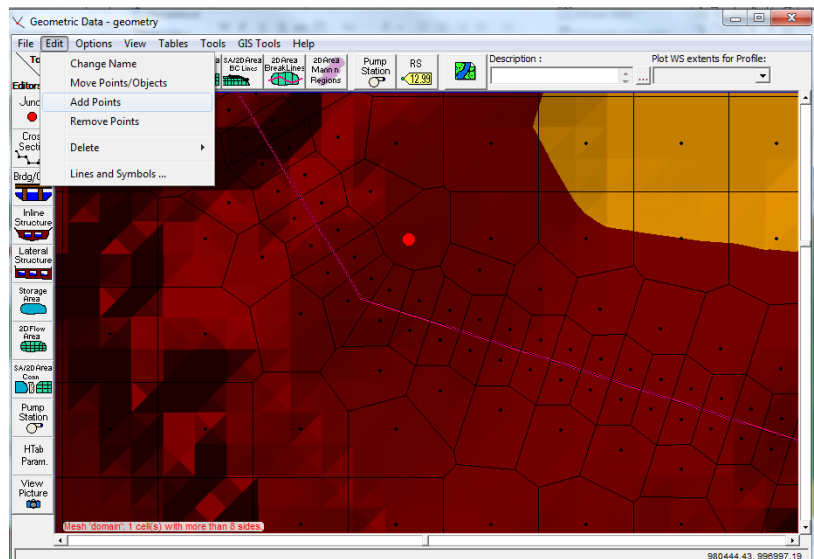
- d. Finalmente, generar la malla de modelación haciendo clic en 'ok'



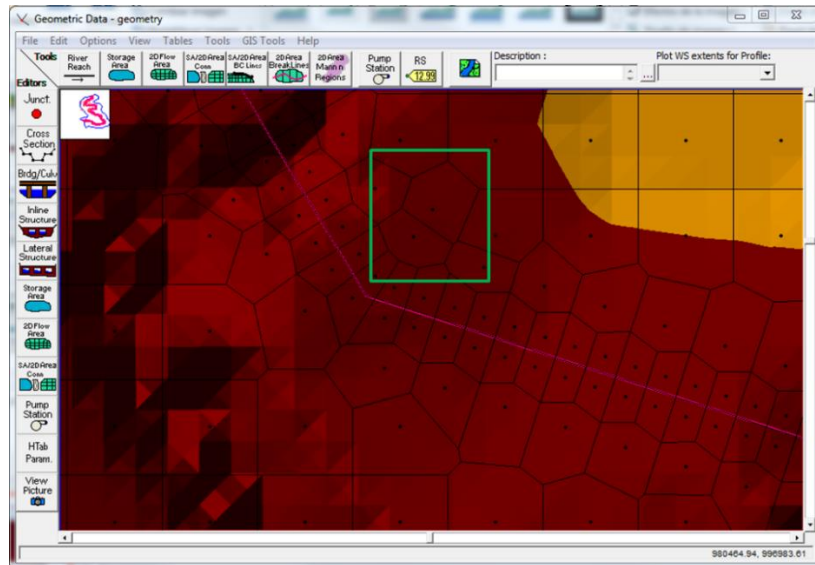
Nota: Al generar la malla HEC-RAS advierte sobre las celdas que presentan errores. Esto es, generalmente producto de celdas con más de 8 lados. Una solución a esto, es agregar un punto adicional sobre el área que presenta problemas de tal forma que la celda original de 8 lados sea dividida en celdas más pequeñas.



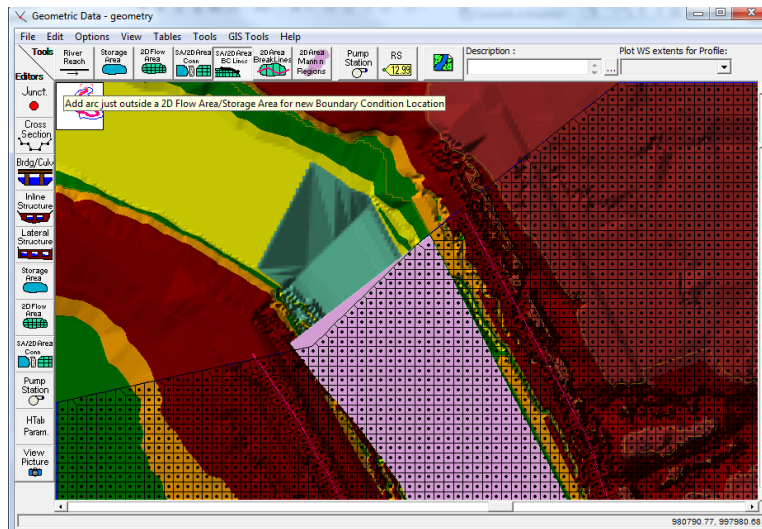
Se agrega un nuevo punto dentro de la celda problema de forma tal que se pueda subdividir esta región.



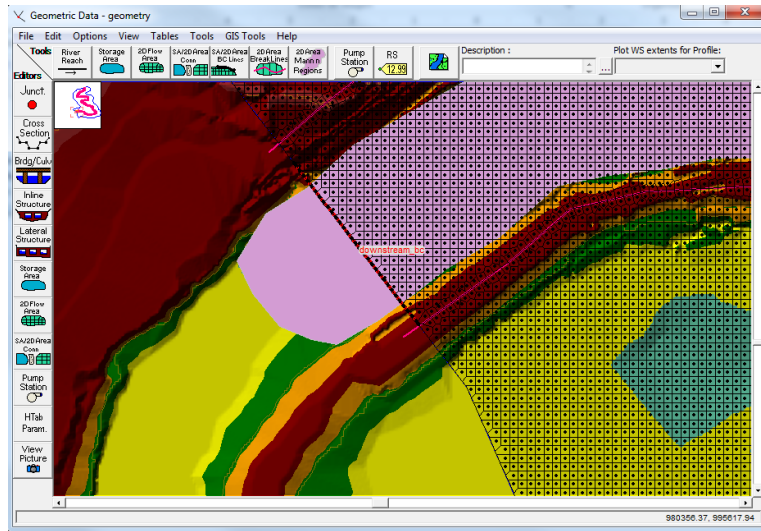
Se recalculará automáticamente el nuevo enmallado. De no hacerlo, es posible regresar a la ventana de *Edit 2D flow area* y hacer clic en '*Force Mesh recomputation*'.



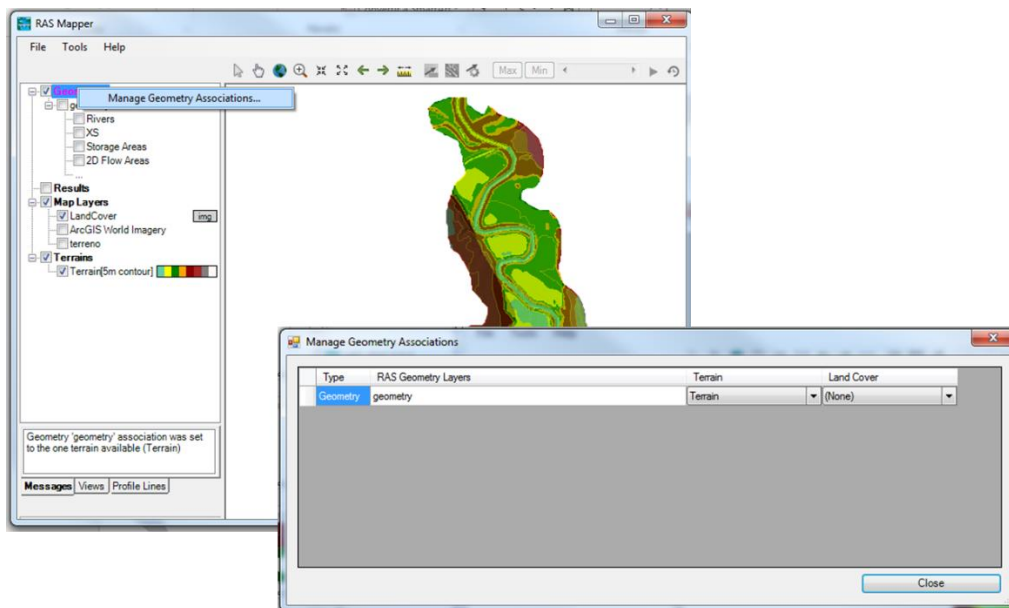
8. Crear las condiciones de frontera, esto es, generar polilíneas aguas arriba y aguas abajo del río o canal y asignar a estas la información del flujo.
 - a. Emplear la herramienta *SA/2D Area BC Lines*



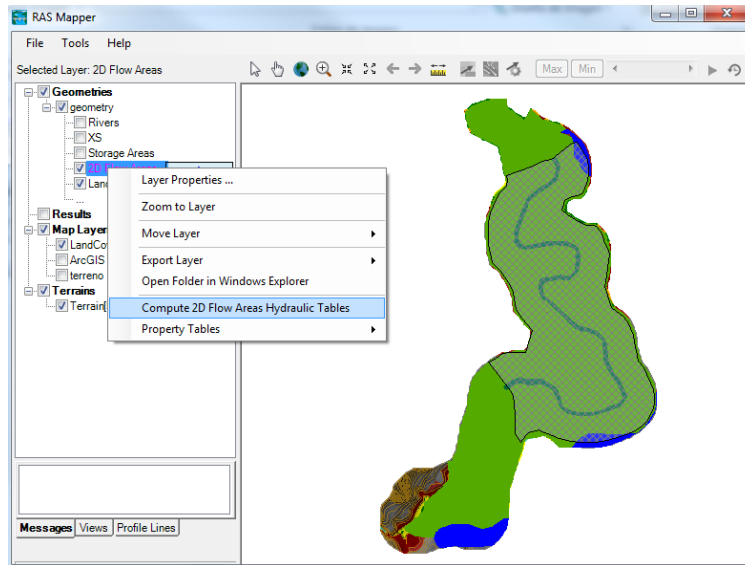
- b. Dibujar una polilínea sobre la sección de río o canal que cuente con información de flujo
 - c. Identificar cada una con un nombre único.



9. Generar las tablas de propiedades hidráulicas del área de modelación.
 - a. Guardar la geometría: File/Save Geometry Data.
 - b. Volver a RAS Mapper. Asociar la información de las coberturas del suelo con la geometría del dominio de modelación. Volver a RAS Mapper, luego *Clic derecho sobre Geometries/Manage Gemetry Associations...*



- c. En *Geometries/2D Flow Areas/Compute 2D Flow Areas Hydraulic Tables*

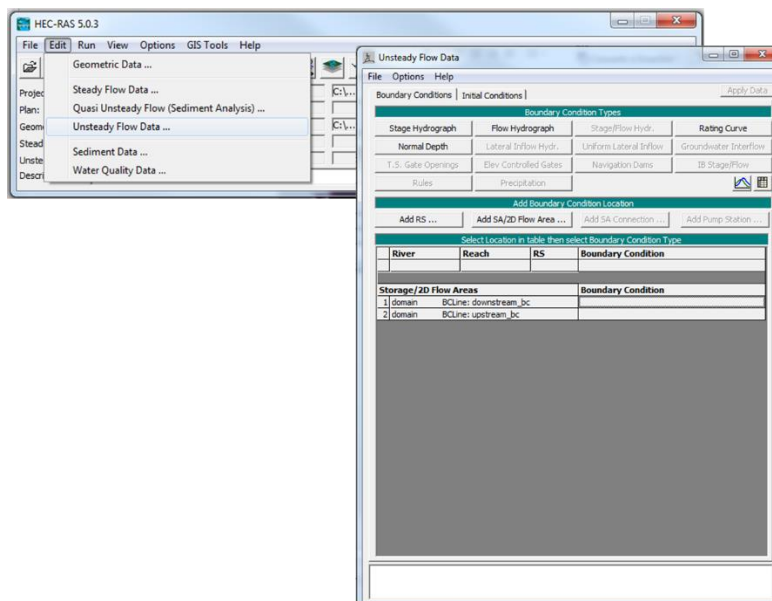


d. Verificar la información asociada como coeficientes de rugosidad y elevación.

Nota: Este paso es opcional, en caso de no realizarlo, al momento de ejecutar la simulación verificar que *Geometric Preprocessor* esté marcado.

10. Definir las condiciones de flujo no uniforme

- En la ventana principal de HEC-RAS, clic en *Edit/Unsteady Flow Data*
- Asociar a cada *Boundary Conditions Line* la información del flujo correspondiente (Hidrograma de caudal o elevación de la lámina de agua, curva de calibración de la sección, profundidad normal, etc). El flujo que ingresa al área se toma como valores positivos y el que sale del área como valores negativos



- c. Para *Flow Hydrograph* es necesario además definir la pendiente de la línea de energía a lo largo de la sección. *EG Slope for distributin flow along BC Line*, normalmente asumido como 5%

Flow Hydrograph

SA: domain BCLine: downstream_bc

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: Time:

☒ Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m ³ /s)
1		00:00	
2		01:00	
3		02:00	
4		03:00	
5		04:00	
6		05:00	
7		06:00	
8		07:00	
9		08:00	
10		09:00	
11		10:00	
12		11:00	
13		12:00	

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

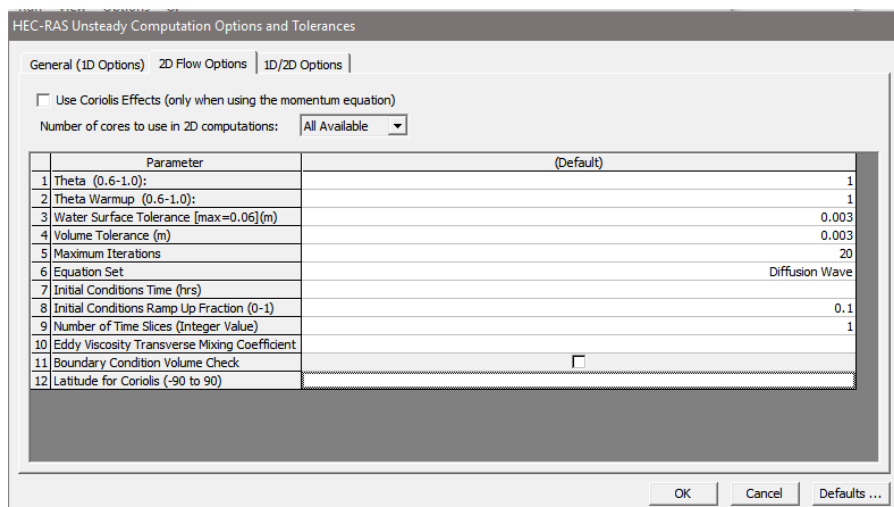
Min Flow: Multiplier: EG Slope for distributing flow along BC Line:

Plot Data OK Cancel

- d. Las condiciones de profundidad normal sólo pueden ser usadas como condiciones de salida del modelo, es necesario definir la pendiente de fricción para dicha área; esta puede ser definida basada en la pendiente del terreno en la proximidad.

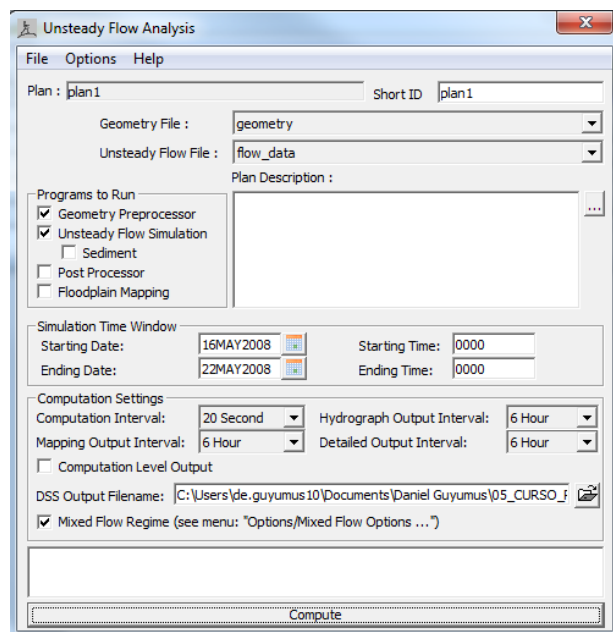
Nota: las condiciones iniciales por defecto del modelo, son condiciones secas. Sí se desea iniciar a partir de una condición de lámina de agua ir a la pestaña *Initial conditions* y definir la elevación de la lámina de agua a lo largo del río o canal. Esto también es posible hacerlo a partir de los resultados de una simulación anterior.

También es posible llevar a cabo un 'calentamiento del modelo' basado en las condiciones iniciales y manteniendo constante las condiciones de borde en su valor inicial durante un periodo de tiempo definido por el usuario. Esto permite al modelo estabilizarse en elevaciones y flujo de agua que sean consistentes con las ecuaciones de flujo no permanente. Esta opción puede ser ajustada en la interfaz de ejecución del modelo. *Unsteady flow analysis/Options/Calculation Options and Tolerances...*



11. Ejecutar el modelo.

- Clic *Run/Unsteady flow analysis*
- Crear un plan de modelación
- Marcar las casillas *Geometry Preprocessor*, *Unsteady flow Simulation/ floodplain Mapping*
- Definir el periodo de simulación y el intervalo de tiempo para el cálculo.



Nota: *Post Processor* sólo está disponible para análisis 1D y combinación de 1D y 2D, ofrece mayor detalle en los resultados de la simulación. La opción *Flood Mapping* se emplea para generar mapas durante el proceso de simulación para ser empleados en herramientas como CWMS o HEC-WAT, la opción por defecto se ‘desactivada’ ya que los mapas pueden ser visualizados en RAS Mapper posteriormente. Siguiendo la ruta *Unsteady flow analysis/Options/Calculation Options and Tolerances...* es posible definir el conjunto de ecuaciones que se quieren resolver, el tiempo de calentamiento del modelo, tolerancia de los errores en volumen y profundidad entre otros, generalmente se dejan los valores por defecto, a excepción del caso en donde se desee considerar calentamiento del modelo.

MODELACIÓN BIDIMENSIONAL ISIS 2D 3.7*

*La guía que se presenta a continuación está basada en el manual de usuario de ISIS 2D el cual puede ser consultado en el siguiente enlace: <https://www.floodmodeller.com/api/download?id=12351>

ISIS 2D es un modelo bidimensional empleado para representar inundaciones en llanuras de ríos y costas. ISIS 2D hace parte de la suite ISIS que incluye además de un modelo unidimensional (ISIS 1D), ISIS MAPPER, una herramienta para preparar y procesar la información espacial y visualizar los resultados del modelo. La interfaz gráfica permite configurar parámetros del modelo como delta de tiempo de simulación, el tamaño de las celdas en la malla de modelación que representa la superficie, la localización de los archivos de salida, y la ejecución del modelo.

Los principales resultados del modelo corresponden a la profundidad de la lámina de agua, la elevación de la superficie de agua, velocidades y caudales para el intervalo de tiempo definido por el usuario. ISIS MAPPER permite visualizar dichos resultados y realizar presentaciones animadas de los mismos.

Los modelos bidimensionales son empleados cuando se desconocen las direcciones del flujo dentro de una superficie de modelación, aunque son más sencillos que los modelos en tres dimensiones. Estos modelos son empleados cuando los modelos unidimensionales no son suficientes para representar la complejidad del flujo en las llanuras de inundaciones, pero aún se puede representar el flujo por medio de la solución de las ecuaciones de Saint-Venant.

Una de las diferencias entre la variedad de modelos bidimensionales que pueden ser usados para representar un caso de estudio particular corresponde a la manera como la herramienta discretiza el área de simulación, esto es, la construcción de la malla computacional. Los modelos que emplean mallas estructuradas (como es el caso de ISIS 2D) se basan en la representación del terreno por medio de celdas cuadradas, esto es, el tamaño y la orientación de las celdas son iguales. Estos modelos son fáciles de configurar y su ejecución es relativamente rápida, sin embargo, pueden no representar muy bien escalas más pequeñas.

Información Requerida

La información requerida por el modelo ISIS 2D consiste en modelos digitales de elevación, coeficientes de rugosidad, condiciones de frontera y entradas hidrológicas. En la siguiente tabla se resume la información necesaria.

Datos	Posibles Fuentes	Formato
Topografía	LIDAR; Modelos Digitales de Terreno	ASCII
Elementos topográficos	Dominios de simulación, coberturas de suelo, estructuras de defensa, etc.	Shapefiles
Rugosidad	Coefficientes de rugosidad	ASCII, Shapefiles
Condiciones de frontera	Análisis Hidrológico	Polilínea Shapefile, Series de tiempo en formato de texto plano

Datos	Posibles Fuentes	Formato
Elevación de la superficie del agua. Condiciones de frontera	Análisis estadístico, estaciones hidrométricas o hidrológicas	Polínea Shapefile, series de tiempo en formato de texto plano
Entradas hidrológicas	Análisis estadístico de profundidad duración frecuencia de la lluvia, estaciones pluviométricas	Polígono shapefile, series de tiempo en formato de texto plano

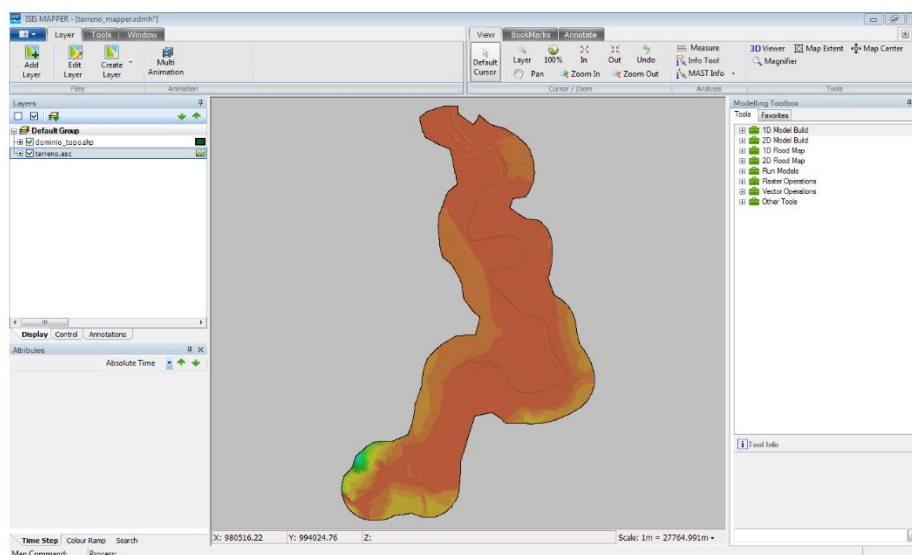
Tomado del Manual de Usuario ISIS 2D

Para el desarrollo del modelo en ISIS 2D es necesario seguir las siguientes fases:

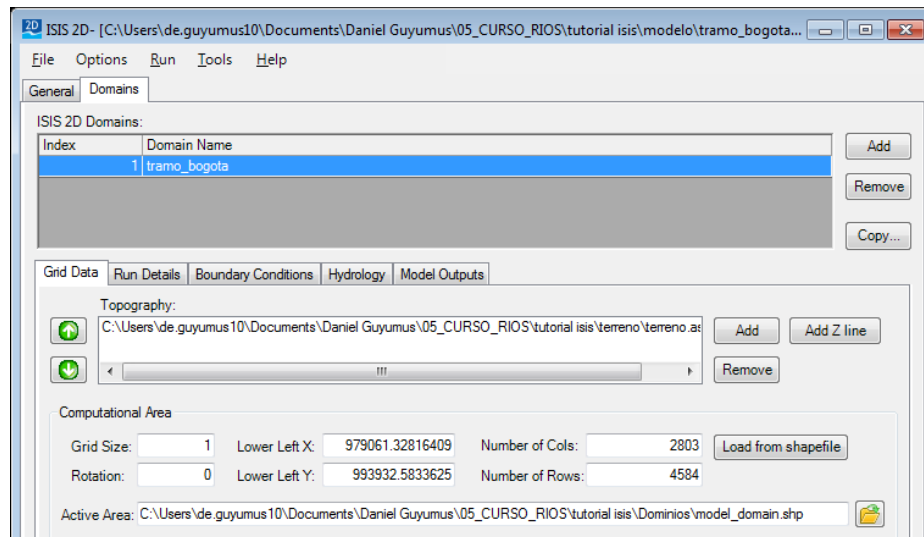
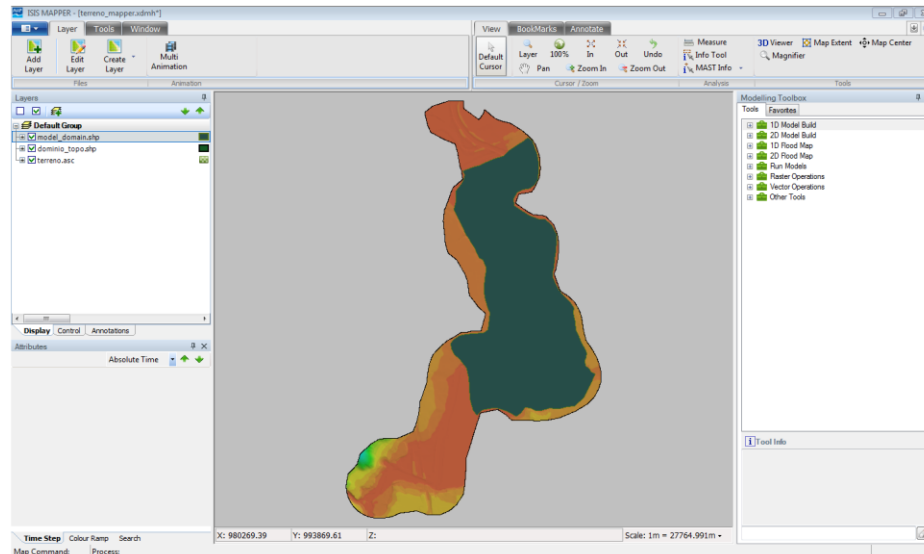
1. Definir los datos del terreno mediante un modelo digital de elevación en formato ASCII
2. Definir el área de estudio mediante un shapefile.
3. Definir el área activa (dominio de simulación) mediante un shapefile. En caso de que este archivo no sea cargado al modelo, éste tomará como área activa el área correspondiente al anterior shapefile que representa el área computacional.
4. Localizar una o más polilíneas que representen las entradas de flujo al área de simulación, esto se logra dibujando dichas líneas en la interfaz gráfica ISIS MAPPER o añadiendo un shapefile creado anteriormente.
5. Incluir en el modelo la localización de estructuras que representen barreras de flujo mediante un shapefile tipo puntos, polígonos o polilíneas.
6. Establecer las condiciones de frontera del modelo. Estas pueden ser representadas por una serie de tiempo o un valor fijo.
7. Fijar los valores de rugosidad del área de simulación.
8. Configurar los parámetros de simulación como tiempo de inicio de simulación, delta de análisis, finalización. También los parámetros correspondientes al formato y localización de los archivos de salida.

Desarrollo del modelo

1. Importar información que represente la topografía del área a modelar. Esto se hace mediante un archivo ASCII y la interfaz gráfica de ISIS denominada ISIS MAPPER



2. Importar información asociada al dominio de modelación, generalmente para definir esto puede emplearse un shapefile tipo polígono que represente el área de estudio y un segundo shapefile que represente la subárea que se requiere modelar. En caso de que no se añada el segundo shapefile, el dominio de simulación será tomado como la totalidad del área añadida inicialmente.



3. Las polilíneas que representan las condiciones de frontera, pueden ser creadas directamente en la interfaz gráfica ISIS MAPPER o pueden ser importadas desde un shapefile, cada línea debe estar debidamente identificada y debe coincidir la identificación de las series de tiempo que se ingresarán más adelante.
4. Es posible incluir cambios o actualizaciones en la topografía que representen estructuras como barreras de flujo mediante polilíneas o puntos con una determinada elevación; esta altura reemplaza la altura del modelo digital del terreno durante el preprocesamiento. Para

tener esto en cuenta es necesario agregar los shapefiles que se consideren necesarios, estos pueden ser creados en otras herramientas GIS o bien en la interfaz RAS MAPPER.

Es aconsejable, sin embargo hacer este tipo de modificaciones mediante herramientas GIS de forma tal que el DEM que se emplee en la simulación incluya ya este tipo de cambios en la topografía.

5. Las condiciones de frontera definen cuánta agua y en qué tiempo, ésta ingresa al área de simulación. ISIS 2D permite definir las condiciones de frontera mediante 5 tipos de datos:
 - a. Caudal total
 - b. Caudal por unidad de ancho
 - c. Flujo vertical
 - d. Flujo vertical por unidad de ancho
 - e. Elevación de la lámina de agua

Estos pueden ser representados como series de tiempo o por un valor fijo, puede ser leído desde un archivo en formato .csv o puede ser ingresado directamente en la interfaz de ISIS 2D.

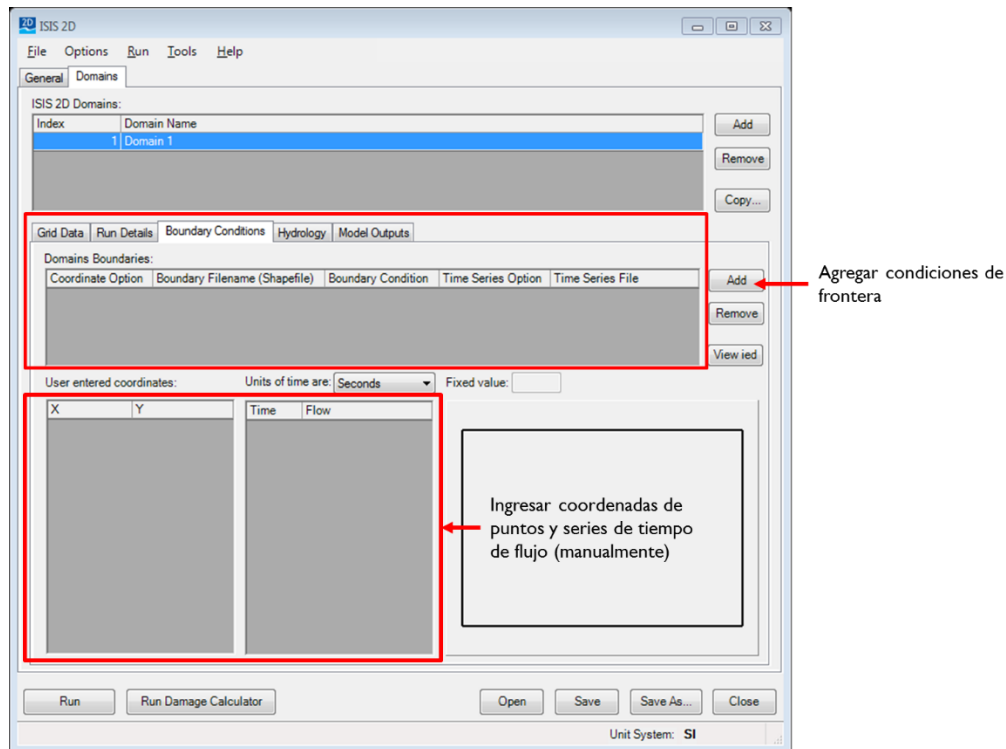
ISIS 2D permite asociar esta información al modelo mediante dos métodos principales, el primero consiste en asociar los datos a un punto dentro del dominio de simulación especificando coordenadas X y Y que definan cada punto; el segundo consiste en asociarlo a un shapefile, el cual puede ser un punto, una línea o un polígono. En este último caso, el shapefile debe contener un campo denominado **'node'** el cual deberá contener un nombre que identifique cada elemento, exactamente igual al encabezado de las columnas que contienen la serie de tiempo de caudales.

También es posible especificar la información asociada a cada 'boundary condition', esta puede ser un valor constante o se puede definir una serie de tiempo, la cual es leída desde un archivo en formato csv o ingresada manualmente por el usuario. La unidad de tiempo debe ser definida en la interfaz de ISIS 2D.

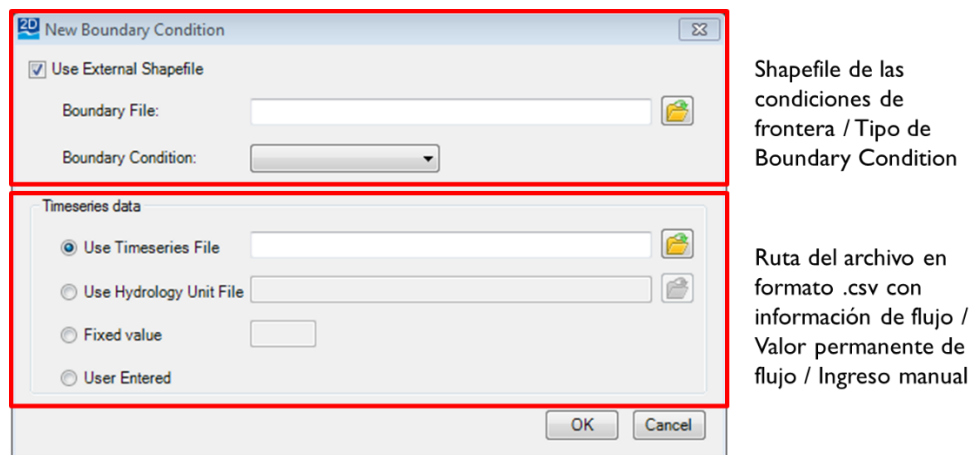
El formato del archivo *.csv se muestra a continuación. La primera fila contiene los encabezados 'time' y el nombre de los nodos, a partir de la fila 2 se encuentran los datos.

		Boundary1	Boundary2	
		↓	↓	
Encabezados	→	time	north	south
		0	0	0
		900	20	20
		3600	0	0

Las condiciones de frontera son ajustadas en la pestaña 'boundary conditions' en la interfaz de ISIS 2D.



Al dar clic en el botón 'Add' se abrirá la siguiente ventana, en donde se deberá ingresar la ruta del archivo en formato shapefile que represente las condiciones de frontera. Al desmarcar la opción 'Use External Shapefile' es posible entonces asociar las condiciones de frontera a uno o múltiples puntos identificados con coordenadas. Por otra parte, en la lista desplegable denominada 'Boundary Condition' es necesario especificar qué tipo de condición de frontera se está ingresando.



-Water elevation: representa el nivel de la lámina de agua en el punto o sección asociado, esto es, la elevación de la superficie de agua dado un datum.

-Total Flow: Puede ser considerado como flujo horizontal, es decir. El caudal que ingresa al área de simulación.

-Flow per unit width: Corresponde al caudal convertido a un valor por unidad de ancho.

-Vertical Flow: es el flujo proveniente del subsuelo, como fugas del sistema de alcantarillado, inundaciones de estructuras subterráneas, etc.

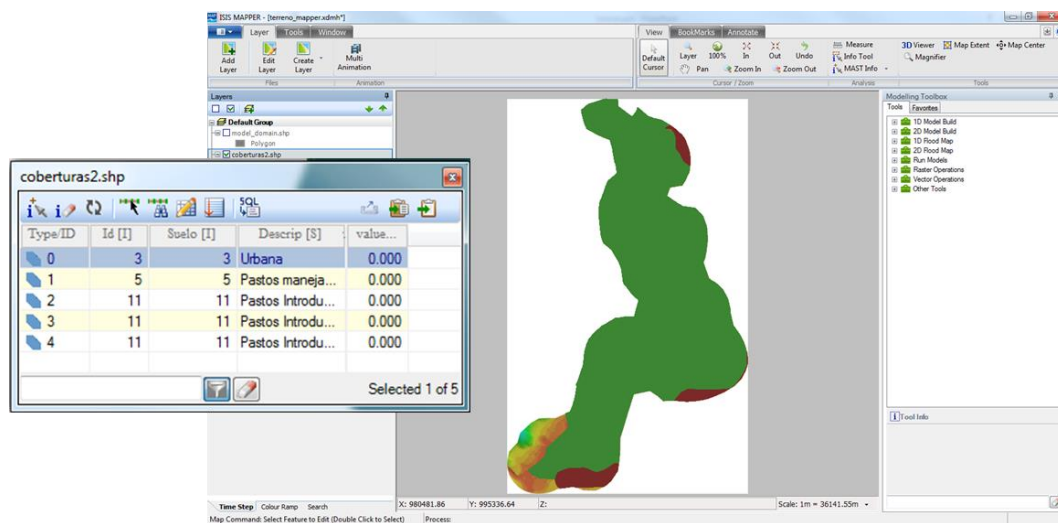
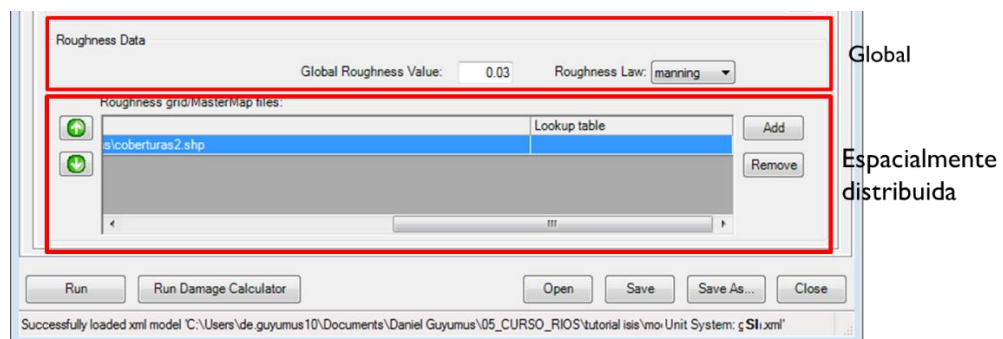
-Vertical flow per unit width: Corresponde al flujo vertical convertido por unidad de ancho.

Elevation: Al igual que Water elevation, representa la elevación de la lámina de agua.

-Depth: Equivalente a la profundidad del agua.

6. Para calcular las pérdidas de energía debido a la fricción calculadas bien sea con la ecuación de Manning o Chezy, es necesario especificar la información de rugosidad del suelo puede tomarse como global para todo el dominio de simulación o puede definirse espacialmente variada.

- a. Rugosidad Global: En la interfaz de ISIS 2D puede fijarse un valor de rugosidad (obedeciendo a manning o chezy) para toda el dominio de simulación.
- b. Espacialmente variada: Cuando se estiman diferentes coeficientes de rugosidad dentro del dominio de simulación, esto es considerado mediante la importación de un archivo (raster o shapefile) que defina dichos coeficientes. Para el archivo tipo raster, cada celda deberá tener el valor de dicho parámetro; en caso de cargar un archivo tipo shapefile, la información asociada deberá contar con un atributo denominado '**value**' o '**set**' para ser leído por el software.



7. Uno de los parámetros de simulación corresponde a la escogencia del esquema de simulación, este puede corresponder a tres tipos ADI, TVD o ISIS FAST. ADI y TVD resuelven las ecuaciones de Saint Venant, representando la conservación de la masa y el momento; ADI está diseñado para resolver flujos subcríticos, TVD por otro lado, es capaz de manejar flujos subcríticos y supercríticos. Esto no significa que no se pueda emplear ADI para resolver flujos en donde la probabilidad de ocurrencia de flujos supercríticos existe, pero las cuales ocurren áreas aisladas en donde la velocidad y profundidad no son de gran importancia.

Para seleccionar el método de solución, dirigirse a la pestaña ‘Run details’ en la sección ‘Standar Parameters’ se puede seleccionar el esquema que mejor se ajuste a las necesidades del modelador. La tabla siguiente resume las posibilidades con que cuenta ISIS 2D.

Método de solución	Descripción	Ejemplo de aplicaciones	¿Cuándo usar?	¿Cuándo no usar?
ADI	Direcciones alternas implícitas	Inundación costera y de ríos; modelación de la superficie de agua.	Opción por defecto.	Menos apropiado para flujos supercríticos
TVD	Disminución de la variación total	Rotura de presa; modelación de vertederos; modelación de la superficie de agua y cuencas de fuerte pendiente.	Se requieren detalles de flujo subcrítico y supercrítico	Largos tiempos de simulación
ISIS FAST	Aproximación rápida	Aproximación de la superficie de agua.	Se requieren aproximaciones rápidas de profundidades de inundación	Cuando se requieren detalles importantes de la dinámica del flujo
ISIS FAST Dynamic	Aproximación rápida en múltiples tiempos	Pronóstico de inundaciones.	Se requieren aproximaciones de profundidad en diferentes tiempos	Sólo se está interesado en los niveles finales, en ese caso usar ISIS FAST

Tomado del Manual de Usuario ISIS 2D

En general se recomienda el uso de ADI como opción por defecto, a menos que se tenga conocimiento de la ocurrencia de lugar donde el ocurre flujo supercrítico y se requiera detalle de la transición entre ambos.

La escogencia del intervalo de tiempo es otro de los parámetros a configurar en ISIS 2D, existen algunas recomendaciones para calcularlo que relacionan las dimensiones de la malla y el tiempo. La solución de las ecuaciones es mejor cuando dt/dx se encuentra en un rango entre 1/2 a 1/40 para el esquema ADI y 1/10 a 1/100 para el TVD. Simulaciones que no

cambian mucho en el tiempo requieren de intervalos pequeños para una buena solución, si el tiempo es demasiado largo, el modelo se vuelve inestable o producirá resultados erróneos, demasiado pequeños conllevan costo computacional. Para configurar el intervalo de tiempo, dirigirse a la pestaña 'Run Details', 'Estándar Parameters' y ajuste el tiempo en 'Time step' en segundos.

Adicionalmente, se requiere configurar las condiciones iniciales del modelo (inicio seco o profundidad sobre toda el área de modelación), el periodo de simulación y configurar la localización, nombre y tipo de los archivos de salida, además de seleccionar el intervalo de tiempo en el que éstos serán generados.

Tiempo de simulación y condiciones iniciales

Esquema de solución e intervalo de tiempo.

8. Ejecutar el modelo ISIS 2D después de verificar el archivo XML. Después de realizada la simulación, se devolverá un mensaje 'Run succesful – stopping. Press return to close'. Ahora es posible visualizar los resultados en la interfaz de ISIS MAPPER.

MODELACIÓN UNIDIMENSIONAL HEC-RAS 5.0

El procedimiento que se describe corresponde a la construcción de un modelo 1D empleando la herramienta HEC-RAS, esta al igual que la primera parte se encuentra basa en la guía de usuario disponible en el siguiente enlace: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

1. Inician creando un nuevo proyecto y ajustando el sistema de unidades como se indica en la primera parte de esta guía.
2. Una vez creado el modelo, proceder a crear el esquema geométrico de modelación en donde se incluirán las características del canal de estudio. Para ello, hacer clic en el botón *Geometric Data* o bien, haciendo clic en *Geometric Data* en el menú *Edit*
3. Una vez allí, en la ventana principal de *Geometric Data*, hacer clic en el botón *River reach* y comenzar el trazado del río y sus respectivos tributarios. Es importante resaltar que el trazado del río debe obedecer a la dirección del flujo, es decir, de aguas arriba hacia aguas abajo. Asignar los nombres correspondientes a los tramos de estudio. El menú *Edit* permite hacer modificaciones el trazado como son mover, agregar o eliminar puntos, cambiar nombres, etc.
4. Una vez creado el tramo de análisis, el siguiente paso corresponde al ingreso de las secciones transversales que componen el cauce de dicho canal. Para ellos, hacer clic en el botón *Cross Section* en la ventana de *Geometric Data*. Para empezar a ingresar la sección transversal, ir al menú desplegable *options* y hacer clic en *Add new cross section*.

Propiedades de las secciones transversales:

River, reach y river station: **River y River Reach** permite seleccionar el tramo al cual pertenece la sección transversal que está por ingresar. River Station es un identificador de la sección transversal, el cual debe ser numérico. El orden en que se ingresan las secciones debe seguir el sentido del flujo, es decir, de aguas arriba hacia aguas abajo.

Cross section coordinates: esta tabla permite ingresar la información de elevación en la sección transversal y debe ir a partir de la banca izquierda hacia la banca derecha del canal cuando se mira en dirección hacia aguas abajo.

Downstream reach lengths: esta sección describe la distancia entre la sección transversal actual y la siguiente, aguas abajo. Esta distancia se debe determinar para la banca izquierda, derecha y eje del río.

Manning's value: Se debe determinar un coeficiente de rugosidad tanto para las bancas como para el fondo del río o canal. Es posible considerar más de 3 coeficientes de rugosidad dentro de una misma sección transversal, esto es, cuando se considere que el coeficiente de rugosidad varía en diferentes porciones de la sección. Para esto, se deberá habilitar la opción *Horizontal variations in n values* dentro del menú desplegable *Options*, esto agregará una columna adicional a la sección transversal para definir su respectivo coeficiente. De la misma forma puede hacerse para variaciones verticales (*Vertical variations in n values*).

Main channel bank stations: estas son empleadas para definir qué porción de la sección transversal es considerada canal principal y qué porción es considerada banca izquierda y derecha.

Contraction and expansion coefficients: estos coeficientes son empleados para evaluar la cantidad de pérdida de energía que ocurre como consecuencia de la expansión y la contracción del flujo.

Levees: estos elementos pueden emplearse para representar barreras naturales de flujo, es decir, representan un confinamiento del agua dentro de la sección hasta que la lámina de agua supere dicha elevación, una vez esto ocurra el agua podrá pasar hacia el lado opuesto del levee.

5. Con las secciones transversales creadas, es posible realizar una interpolación entre secciones de manera tal que se tenga una representación del canal más consistente. Para ello, ir a la ventana *Geometric Data / Tools / XS Interpolation*
6. Una vez creada y guardada la información geométrica del tramo a modelar, se deberá definir la información relacionada al flujo y las condiciones de frontera. Según el análisis que se desee realizar, es posible simular condiciones de flujo permanente, no permanente y cuasi permanente, todo depende del objeto del estudio. Las condiciones de frontera serán asociadas a secciones transversales ya ingresadas, una vez definida cuáles serán dichas secciones, se deberá ingresar la información asociada al hidrograma de entrada (ej. Aguas arriba) y condiciones del flujo aguas abajo bien sea un hidrograma, una curva de calibración de la sección o la profundidad normal, para esta última deberá ser asociado un valor de la pendiente de fricción que bien puede ser asociada a la pendiente del terreno en dicha estación.