



## Herramienta computacional de apoyo – HEC-RAS

### Sesión 2 - Modelación de inundaciones con RAS Mapper.

**Fuente del recurso:** El ejercicio resulta de una adaptación del caso de estudio contenido en la documentación oficial de HEC-RAS, específicamente, de “Developing 1D Geometric Data with RAS Mapper” para los datos del terreno, y como guía, el documento “HEC-RAS Mapper User’s Manual”. Fue desarrollado por los estudiantes de ingeniería civil en modalidad de trabajo de grado Práctica en Docencia Edwin Manrique Castañeda y Jeirson Armando Cáceres Castellanos.

#### 1. OBJETIVOS

- Comprender la estructura y navegación de RAS-Mapper como herramienta de visualización geoespacial integrada en HEC-RAS, identificando sus componentes principales y funcionalidades.
- Desarrollar habilidades prácticas en el uso de HEC-RAS y RAS-Mapper mediante la configuración, ejecución y visualización de una simulación hidráulica unidimensional de inundación para diferentes escenarios de caudal.
- Analizar los resultados de la simulación hidráulica para determinar y delimitar las áreas geográficas susceptibles a inundación.



## 2. REQUERIMIENTOS

### 2.1 Instalación del programa

La herramienta de simulación se descarga directamente de la página oficial del ejercito de la marina de los estados <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx>

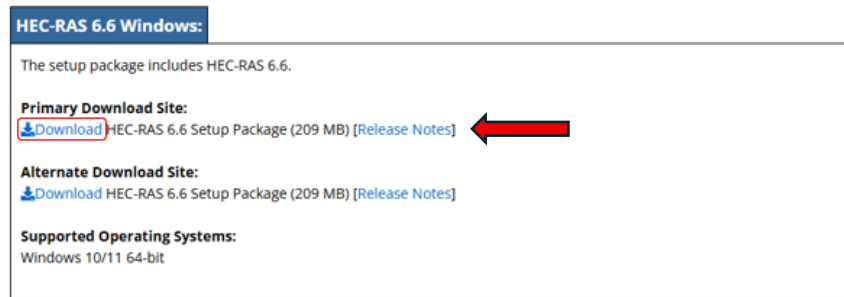


Figura 1. Descarga HEC-RAS versión 6.6

## 3. INTRODUCCIÓN

El software HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, es una herramienta ampliamente utilizada para la simulación del comportamiento hidráulico en cauces naturales y artificiales. Este programa permite llevar a cabo análisis unidimensionales de flujo constante, unidimensionales y bidimensionales de flujo no permanente, cálculo de transporte de sedimentos y estudios de tanto de temperatura como de calidad del agua.

Este manual constituye una guía práctica e integral para la introducción al manejo de la herramienta RAS Mapper del software HEC-RAS en el contexto de simulación hidráulica de eventos de inundación en causas naturales. El caso de estudio corresponde a un tramo del río Tuolumne en las proximidades de Modesto, California, Estados Unidos. Los datos geoespaciales e hidráulicos requeridos para el desarrollo del ejercicio se suministran en formato comprimido como parte del material complementario. El documento establece una estructura metodológica que comprende desde la configuración inicial del entorno de trabajo hasta la ejecución y análisis de la simulación de inundación.



#### 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RAS Mapper



Figura 2. Acceso directo a la herramienta RAS Mapper.

El módulo HEC-RAS Mapper es una interfaz a la que se accede desde el programa principal HEC-RAS. Su ícono de entrada se localiza en la barra de menú dispuesta en la sección superior o utilizando el elemento de menú GIS Tools | RAS Mapper. Esta herramienta proporciona una visualización geoespacial de la geometría de HEC-RAS, los resultados de simulación y otros datos geoespaciales pertinentes para ayudar a los usuarios a crear modelos hidráulicos de ríos.

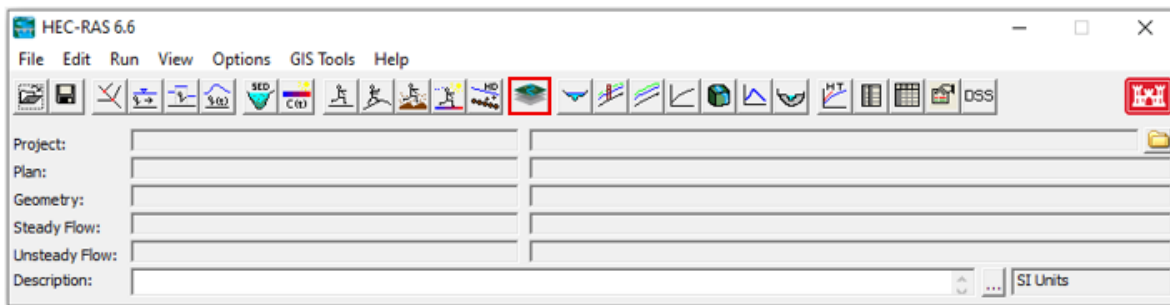


Figura 3. Acceso desde la ventana principal de HEC-RAS a RAS Mapper.

La interfaz de RAS Mapper, que se muestra a continuación, está compuesta por un menú de sistema, una lista de capas de datos, una ventana de estado y la ventana de mapeo.

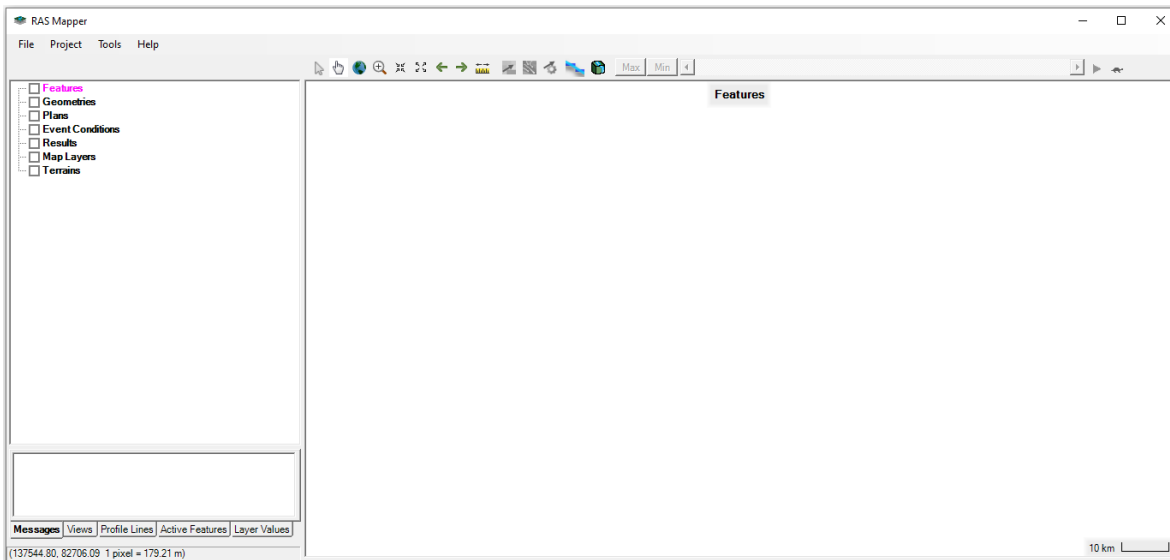


Figura 4. Ventana principal de RAS Mapper



#### 4.1 MENÚ DE SISTEMA

Este menú proporciona acceso a las funcionalidades más utilizadas.

##### File (Archivo):

- **Open (Abrir):** Utilizada para abrir un archivo tipo .rasmap.
- **Save (Guardar):** Sirve para guardar cambios en un archivo realizado.
- **Exit (Salir):** Cierra RAS Mapper.

##### Project (Proyecto):

- **Set projection (Establecer proyección):** Se utiliza para establecer el sistema de referencia de coordenadas para el proyecto. Necesario para usar con imágenes web.
- **Add Web Imagery (Agregar imágenes web):** Se utiliza para agregar servicios de imágenes web a RAS Mapper.
- **Add Reference Layer (Añadir referencia de capas):** Permite importar capas geoespaciales externas (.shp, .tiff, etc.) como referencia para ayudar en la creación y visualización del modelo hidráulico.
- **Download Data (Descargar datos):** Permite descargar y acceder a diferentes fuentes de datos geoespaciales:
  - USGS Terrain - Terreno USGS
  - GRID Terrain - Terreno GRID
  - National Levee Database Features (NLD) - Elementos de la Base de Datos Nacional de Diques (NLD)
- **Create New RAS Terrain (Crear nuevo terreno RAS):** Se utiliza para importar un modelo de terreno en un único RAS Terrain.
- **Create New Geometry (Crear nueva geometría):** Se utiliza para crear una geometría vacía para comenzar el desarrollo del modelo.
- **Create New RAS Layer (Crear nueva capa RAS):** Se utiliza para crear capas específicas de RAS como una capa de cobertura del suelo para valores n de Manning.
- **Manage Layer Associations (Administrar Asociaciones de Capas):** Permite vincular archivos de geometría o resultados con capas de terreno y cobertura del suelo específicas.
- **Manage Results Maps (Administrar mapas de resultados):** Se utiliza para crear un nuevo mapa de resultados y recalcular múltiples mapas de resultados.

##### Tools (Herramientas):

- **Options (opciones):** Proporciona acceso a todas las opciones de RAS Mapper.
- **Create Calculated Layer (Crear capa calculada):** Abre la calculadora Raster para crear una capa calculada.
- **Create Multiple Maps (Crear múltiples mapas):** Proporciona un cuadro de diálogo para crear múltiples mapas de resultados al mismo tiempo.
- **Remove Missing Layers (Eliminar capas faltantes):** Limpia el proyecto de RAS Mapper eliminando referencias a archivos que no se encontraron.



### Help (Ayuda):

- **RAS Mapper Help (Ayuda de RAS Mapper):** Abre la documentación de ayuda de RAS Mapper.
- **About (Acerca de):** Proporciona el número de versión de RAS Mapper.

### 4.2 LISTA DE CAPAS

La ventana proporciona una lista de las capas disponibles para visualización y está organizada con una estructura de árbol que refleja el orden de los datos de RAS y las capas de datos de soporte necesarias para la evaluación del modelo: hay grupos para "Features" (Elementos), "Geometries" (Geometrías), "Results" (Resultados), "Map Layers" (Capas de Mapa) y "Terrain" (Terreno).

Para interactuar con una capa, la capa debe estar seleccionada. La capa seleccionada se muestra en la lista de capas con el color de selección (Magenta).

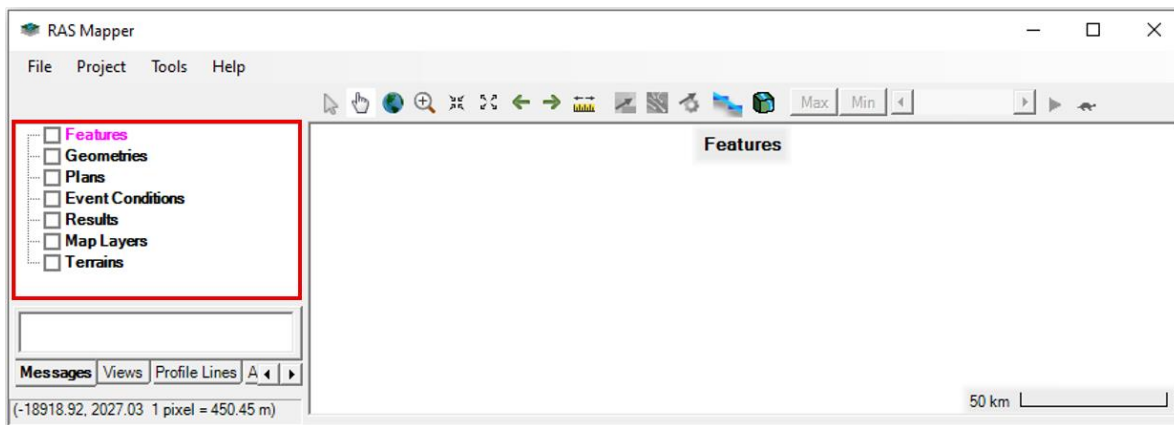


Figura 5. Ventana de lista de capas.

- **Capa de elementos (Features):** Permite al usuario crear líneas en las ubicaciones donde se requiere información de resultados de forma consistente. Estas líneas son creadas y editadas como cualquier otro conjunto de datos vectoriales.
- **Capa de geometrías (Geometries):** Muestra los archivos de Geometría RAS utilizados en el proyecto HEC-RAS actual. Para cada Geometría, habrá una Capa que representa información del modelo hidráulico. Para el modelado, habrá capas para el Río, Uniones, Líneas de Flujo, Líneas de Banco, Secciones Transversales, Áreas de Flujo Inefectivas, Obstrucciones Bloqueadas, valores n de Manning y Áreas de Almacenamiento.
- **Capa de resultados (Results):** Muestra los resultados de simulación de cada Plan RAS tal como se guardan en el archivo de salida HDF5 del Plan RAS (\*.p01.hdf). Para cada Plan, se almacenará en el archivo de salida una copia de la geometría que se utilizó para la simulación junto con los datos de etapa y flujo para cada ubicación de cálculo.
- **Capa de mapa ( Map Layers):** Los datos adicionales agregados a RAS Mapper (no construidos por HEC-RAS) se añadirán a la lista de "Map Layers" como datos de fondo. Los datos de imágenes web también se mostrarán bajo el nodo Map Layers.



- **Capa de terrenos (Terrains):** Una Capa de Terreno es utilizada por RAS Mapper para calcular propiedades hidráulicas (elevación – volumen, elevación – perímetro mojado, perfiles de elevación, etc.), profundidades de inundación y límites de llanura de inundación, una vez que ha sido asociada con una Geometría y Plan.

#### 4.3 VENTANA DE ESTADO

La ventana de estado proporciona información al usuario sobre mensajes de estado, vistas de mapa, información de líneas de perfil, y una lista de observación de valores de capa.

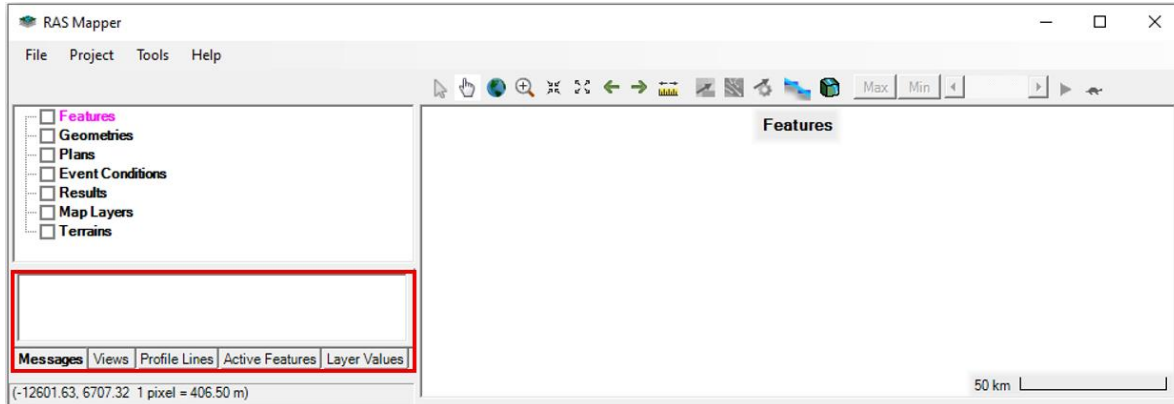


Figura 6. Ventana de estado.

- **Messages (Mensajes):** Los mensajes de estado que mantienen al usuario informado de las acciones realizadas dentro de RAS Mapper.
- **Views (Vistas):** Permite al usuario crear y gestionar ubicaciones de zoom predefinidas. Una vez que se crea una ubicación (basada en la vista actual), se puede hacer zoom rápidamente a esa ubicación haciendo doble clic en el nombre de la ubicación en la lista.
- **Profile Lines (Líneas de Perfil):** Permite al usuario crear una línea de trazado donde se tomará un perfil.
- **Active Features (Elementos Activos):** Se muestra un resumen de los elementos en la capa Activa seleccionada.
- **Layer Values (Valores de Capas de Seguimiento):** Las capas agregadas a la Lista de Seguimiento de Capas se muestran en la tabla “Layer Values”. Esta tabla es personalizable para mostrar al usuario valores a medida que el cursor se desplace sobre el Mapa.

#### 4.4 VENTANA DE MAPEO

La Ventana de Mapeo se utiliza para mostrar el componente geoespacial (elementos) de una capa de datos. Se pretende que la visualización proporcione una representación de los resultados de HEC-RAS junto con los datos geométricos que se utilizaron para realizar el análisis. Las herramientas, resumidas en la tabla a continuación, proporcionan al usuario interacción con la visualización para cambiar las extensiones visualizables y consultar datos.

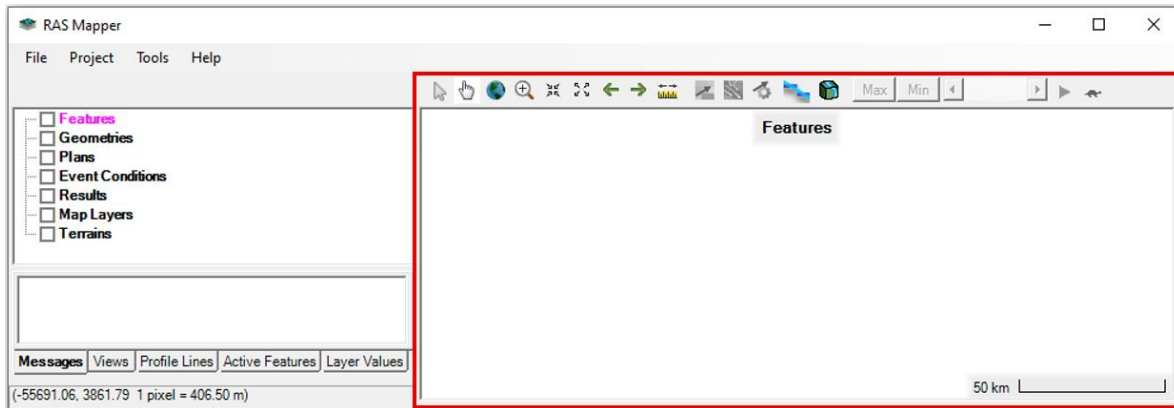


Figura 7. Ventana de Mapeo

Las herramientas, resumidas en la tabla a continuación, permiten al usuario interactuar con la pantalla para cambiar las extensiones visibles y consultar datos.

	Selecciona el elemento de interés.		Devuelve a la vista zoom anterior
	Arrastra la ventana de visualización de forma interactiva para ver una nueva ubicación.		Regresa a la extensión del mapa anterior antes de usar la opción Zoom anterior.
	Permite una vista completa de todas las capas cargadas.		Mide la distancia en las unidades del mapa.
	Acerca la región identificada con un cuadro delimitador.		Cambia el modo de representación de la superficie del agua entre superficie de agua Horizontal e Inclinada.
	Acerca el centro del área visible.		Inicia el Visor 3D.
	Aleja la vista del centro del área visible		

Figura 8. Herramientas ventana de Mapeo.

#### 4.5 CONFIGURACIÓN DE VISTA DE CAPAS

Para entrar en la configuración de vista de capas se deben seguir estos pasos:

- En la ventana de RAS\_Mapper, en la sección “Selected Layer”, ubicada a la izquierda de la ventana, se debe hacer clic derecho en la capa “Terrain”, a la cual se desea modificar los parámetros de visualización.
- Se despliega el menú de opciones y se da clic en la primera de estas, “Image Display Properties”.

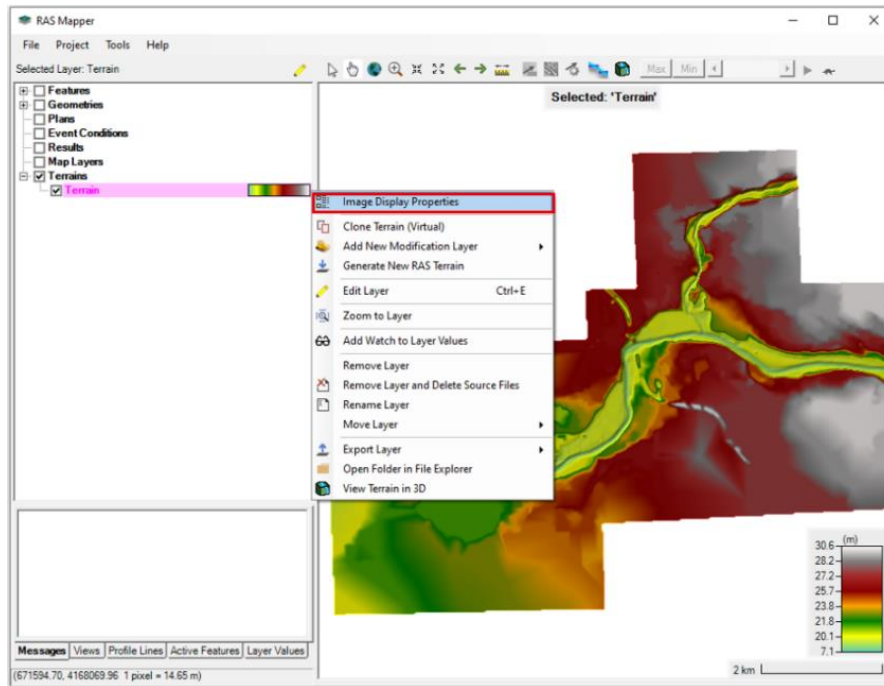


Figura 9. Entrada a configuración de vista de capas.

A continuación, se presenta la interfaz "Layer Properties" (Propiedades de Capa). Esta ventana de configuración permite personalizar la visualización del modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés) o de la red irregular de triángulos (TIN). Cada sección de esta interfaz controla aspectos específicos de la representación gráfica del modelo topográfico. Mediante la manipulación de estos parámetros, es posible optimizar la visualización del terreno en función de sus valores de elevación.

Para modificar los parámetros correspondientes a la sección "Surface" (Superficie del terreno) resulta fundamental comprender los parámetros configurables disponibles en esta sección:

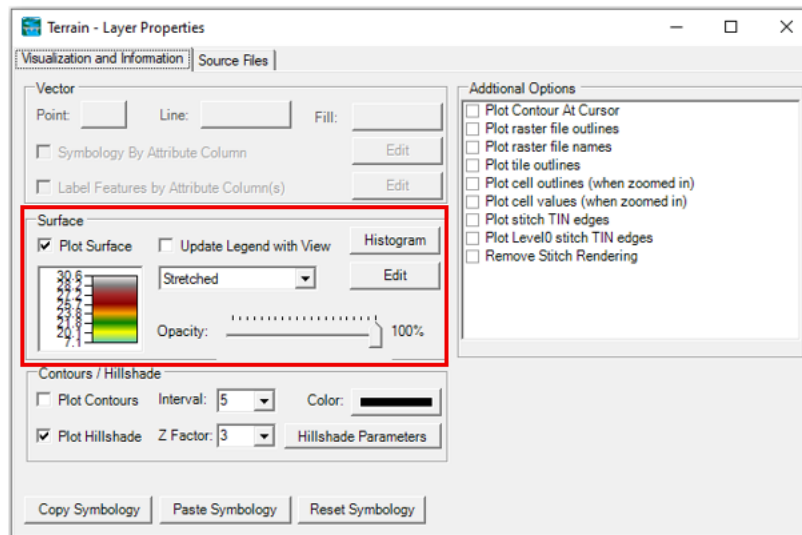



Figura 10. Propiedades de capa.





<b>Plot Surface</b>	Activa o desactiva la visualización del terreno. Si se desmarca, el terreno desaparece del mapa
<b>Update Legend with View</b>	Actualiza automáticamente la leyenda según el área visible en pantalla (útil si haces zoom)
<b>Color (barra de colores)</b>	<b>Ramp de</b> Representa el rango de elevaciones: cada color corresponde a un rango de altura.
<b>Display (Stretched, Classified, etc.)</b>	<b>Type</b> Define cómo se aplica el color: <i>Stretched</i> ajusta los colores de forma continua según el valor de elevación.
<b>Opacity</b>	Controla la transparencia del terreno (0% transparente, 100% opaco).
<b>Histogram / Edit</b>	Abren herramientas para ajustar manualmente los valores de elevación, intervalos o paleta de colores.

#### 4.6 EDICIÓN DE TRAZADO DEL CAUCE DEL RÍO

En caso de ser necesario editar el nombre del río o tramo, corregir la trayectoria de la línea del cauce principal o simplemente corregir alguna sección del tramo, se usa el botón "Edit feature"  ; Seleccione el tramo que desea editar y con clic derecho sobre el tramo seleccionado se desplegará un menú de opciones.

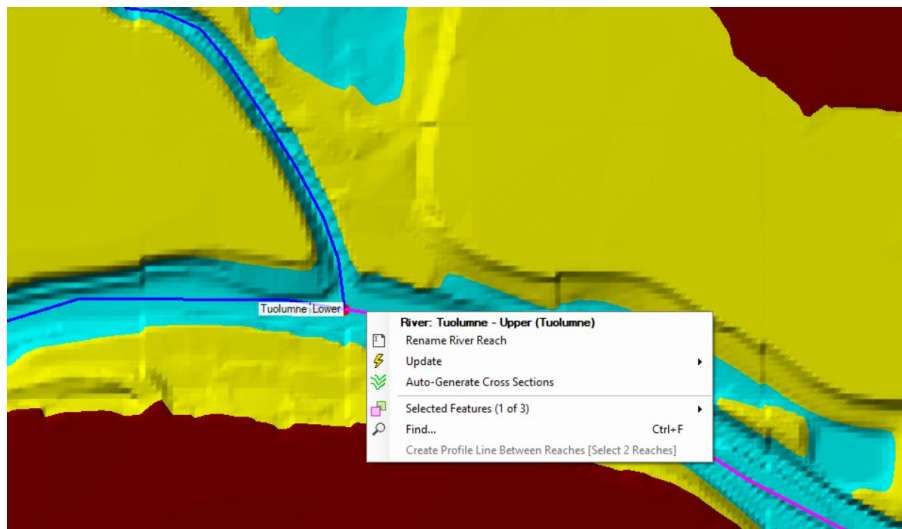



Figura 11. Menú de opciones para edición de trazado.

#### Rename River Reach

Permite cambiar el nombre del río o del tramo (reach). 

#### Update

Actualiza la capa del río si hiciste cambios en el terreno o las conexiones (recalcula internamente).



<b>Auto-Generate Cross Sections</b>	Genera automáticamente secciones transversales perpendiculares al eje del río, usando el terreno activo.
<b>Selected Features (1 of 3)</b>	Indica cuántos elementos (ríos, reaches, etc.) están seleccionados. Permite gestionarlos (por ejemplo, borrar o mover uno de varios)
<b>Find... (Ctrl + F)</b>	Busca una entidad por nombre (útil cuando se tiene muchos ríos o tramos en el proyecto).
<b>Create Profile Line Between Reaches [Select 2 Reaches]</b>	Crea una línea de perfil (elevación) entre dos tramos seleccionados, útil para comparar niveles o analizar transiciones hidráulicas (por ejemplo, de un tributario a un cauce principal).

Dentro de este menú emergente se encuentra la opción “Selected Features (1 of 3)”, la cual desplegará un submenú con herramientas de edición adicionales. Estas herramientas están diseñadas para corregir posibles errores en el trazado de las líneas que representan el tramo del río. A continuación, se conceptualizarán las herramientas en el submenú de opciones de edición “Selected Features”.

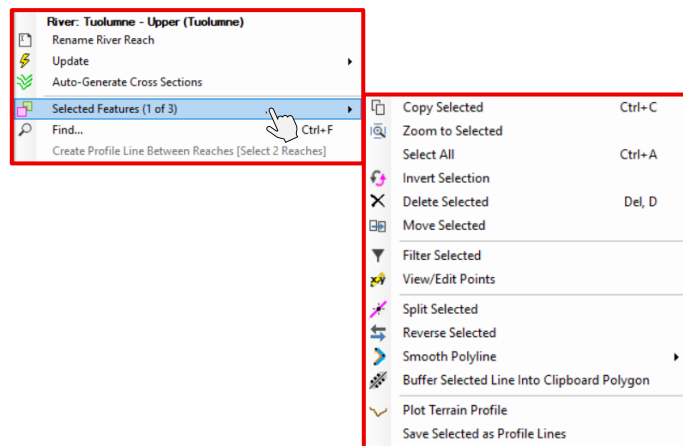


Figura 12. Submenú de edición de trazado.

<b>Copy Selected (Ctrl + C)</b>	Copia la geometría seleccionada al portapapeles para duplicarla o moverla a otra capa.
<b>Zoom to Selected</b>	Centra la vista del mapa en el elemento seleccionado. Muy útil cuando se tiene varios tramos o característica.
<b>Select All (Ctrl + A)</b>	Selecciona todos los elementos de la capa activa (ejemplo, todos los tramos o todos los ríos)
<b>Invert Selection</b>	Invierte la selección (selecciona lo que no estaba seleccionado y deselecta lo que sí).
<b>Delete Selected (Del)</b>	Elimina el/los elementos seleccionados (precaución: no se puede recuperar la característica eliminada)
<b>Move Selected</b>	Permite mover manualmente una línea o punto a una nueva posición (manteniendo su forma).



<b>Filter Selected</b>	Muestra solo los elementos seleccionados, ocultando el resto para facilitar la edición
<b>View/Edit Points</b>	Abre una ventana donde se puede editar los vértices (coordenadas) de la línea o punto seleccionado. Ideal para ajustar con precisión una línea de río o sección.
<b>Split Selected</b>	Corta una línea en dos partes en el punto que selecciones (por ejemplo, para crear una <i>unión</i> o dividir un tramo)
<b>Reverse Selected</b>	Invierte la dirección de flujo del tramo. Muy útil si el flujo fue digitado de aguas abajo hacia arriba por error.
<b>Smooth Polyline</b>	Suaviza los vértices de una línea (reduce ángulos bruscos en trazados irregulares). Tiene opciones con distintos niveles de suavizado.
<b>Buffer Selected Line Into Clipboard Polygon</b>	Crea un polígono alrededor de la línea (buffer), útil para definir zonas de influencia o para copiar a otras capas.
<b>Plot Terrain Profile</b>	Genera un perfil del terreno a lo largo de la línea seleccionada (por ejemplo, para analizar la pendiente longitudinal del cauce).
<b>Save Selected as Profile Lines</b>	Guarda la línea seleccionada como una <i>Profile Line</i> , que puede usarse para análisis o exportación.

Adicional a este par de menús, se encuentra la opción de edición directa; en este caso podrá editar directamente los nodos del tramo al hacer doble clic sobre la línea que representa el tramo y se visualizarán los nodos que componen dicha sección. Al acercar el puntero, el estudiante notará que el nodo o el tramo entre nodos se iluminará verde; esto indica que en ese tramo se puede adicionar un nodo o simplemente desplazar uno ya existente.

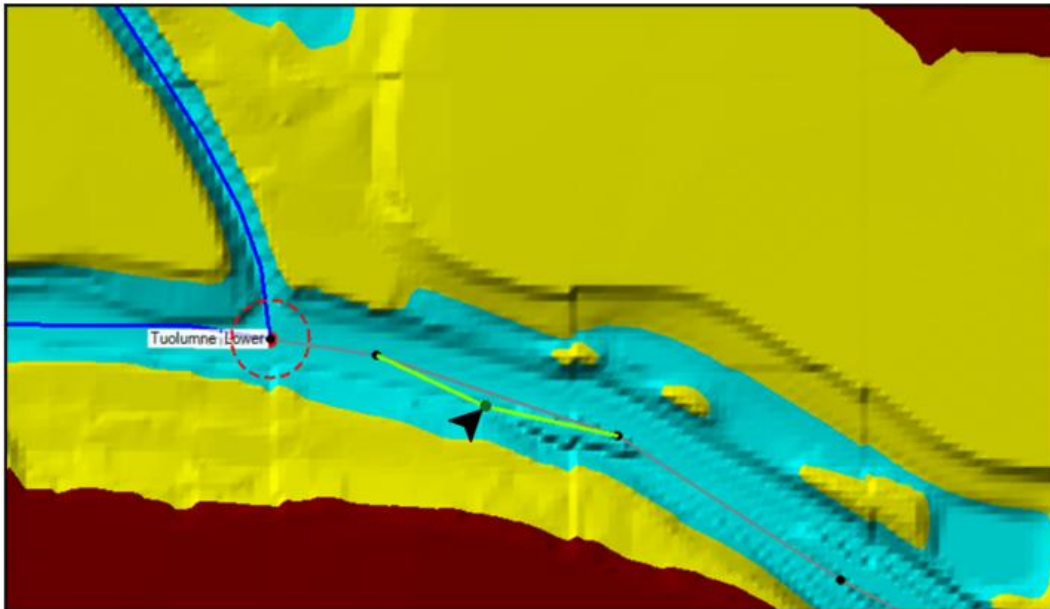


Figura 13. Edición directa.



#### 4.7 EDICIÓN DE TRAZADO DE RUTAS DE FLUJO.

En caso de no poder garantizar la continuidad de la línea de flujo, esto generará errores al evaluar las distancias aguas debajo de las secciones transversales que se trazarán posteriormente. Es por esta razón que, en caso de perder la continuidad de la línea de flujo, es necesario unir los dos tramos en una sola línea continua desde aguas arriba hasta aguas abajo.

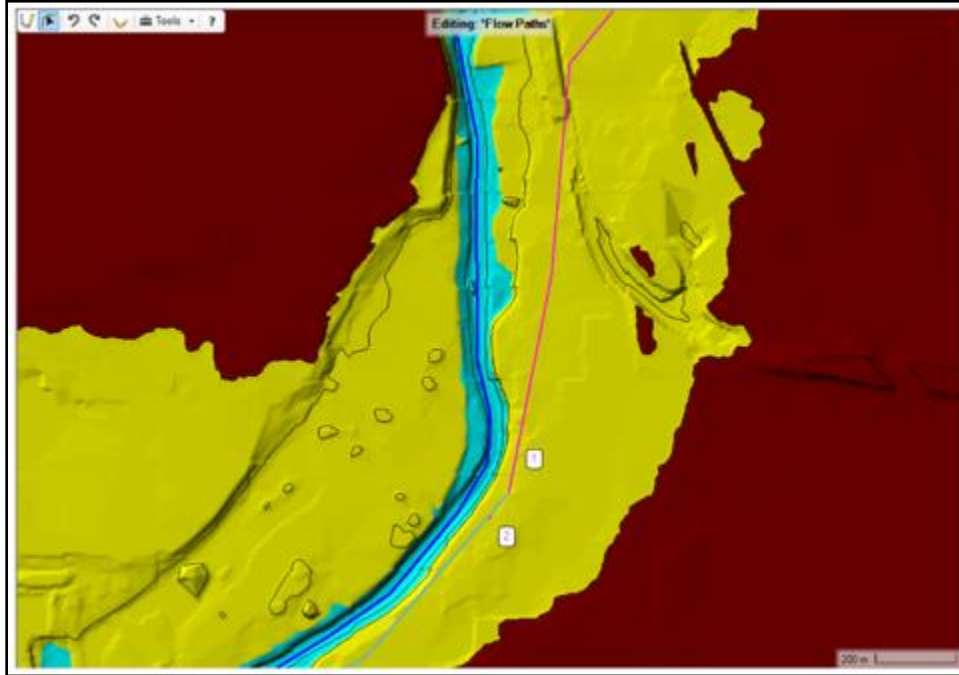


Figura 14. Trazado de rutas de flujo.

Para esto es necesario usar la herramienta de edición “*Edit Feature*”, que permite seleccionar dos tramos de la misma línea de flujo y unirlos en un único tramo continuo.

- (a) Con ayuda de la herramienta “*Edit Feature*”, seleccione los dos tramos que componen la línea de flujo; una vez seleccionados, cambiarán de color azul a un magenta; esto indicará que la selección se realizó de forma correcta.
- (b) Una vez seleccionados los dos tramos, se hace clic derecho sobre cualquiera de los dos tramos, desplegando una ventana con la opción “*Selected Features*”; al hacer clic sobre esta opción, se desplegará una subventana que contiene la opción “*Merge Selected*”; esta opción será la encargada de unir los tramos seleccionados en una única línea continua.

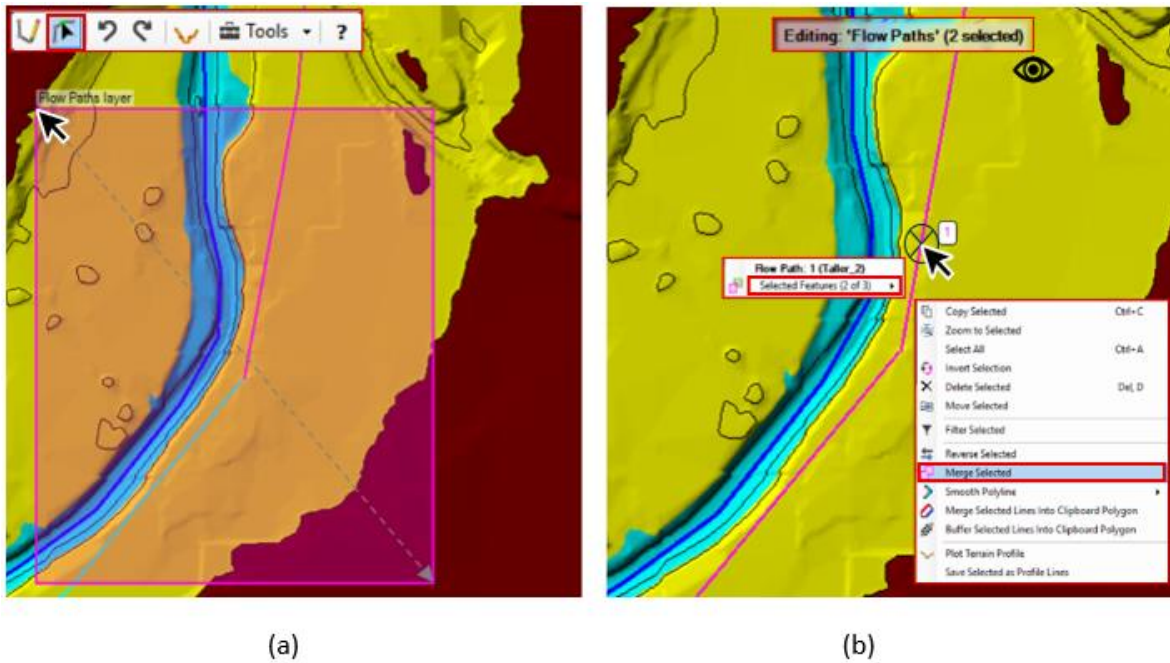


Figura 15. Selección de tramos.

A continuación, se evidencia cómo la herramienta “Merge Selected” une inclusive tramos que no necesariamente se interceptan o tocan, por lo cual no es necesario iniciar justamente donde por accidente se dividió la línea de flujo; solo basta con seleccionar los tramos y unirlos.



Figura 16. Unión de tramos con la herramienta “Merge Selected”.



## 5. DESARROLLO DEL MODELO

### PARTE 1

#### 5.1 Descripción del problema

Este ejercicio tiene por objetivo realizar el análisis hidráulico de un tramo específico del río principal “*Tuolumne*”, al cual llega un afluente tributario denominado “*Dry Creek*”. Para el análisis se considerarán las condiciones hidrológicas correspondientes a los períodos de retorno de 50, 75 y 100 años. Los datos de flujo para el ejercicio corresponden a los de la siguiente tabla.

Caudales	Períodos de retorno (T)		
	50	75	100
Dry Tributary	14.17	70.84	130.35
Tuolumne Upper	892.6	1912.72	4233.49
Tuolumne Lower	906.77	1983.56	4363.84

La modelación hidráulica se ejecutará considerando condiciones de flujo subcrítico, empleando la información geométrica y de parámetros hidráulicos contenida en la carpeta comprimida “*RAS Mapper*”. La implementación del modelo seguirá la metodología establecida en la guía de referencia, garantizando la correcta configuración de los parámetros geométricos, hidráulicos y de contorno. El desarrollo del ejercicio comprende la ejecución completa del modelo hidráulico y la elaboración de los productos especificados en la sección de entregables de la presente guía metodológica.

#### 5.2 Pasos preliminares

Previo al desarrollo del proyecto, es necesario llevar a cabo determinadas tareas preliminares que ayudarán a la correcta ejecución del ejercicio propuesto.

##### 5.2.1 Cambio de formato de número

Se debe cambiar el formato de número para el ingreso de decimales en el programa.

- (a) Inicialmente se entra al panel de control en la opción cambiar formato de fecha, hora o número.
- (b) En la ventana región se da clic en configuración adicional.
- (c) En la ventana personalizar formato se configuran los decimales como punto (“.”) y separador de miles como (“,”)



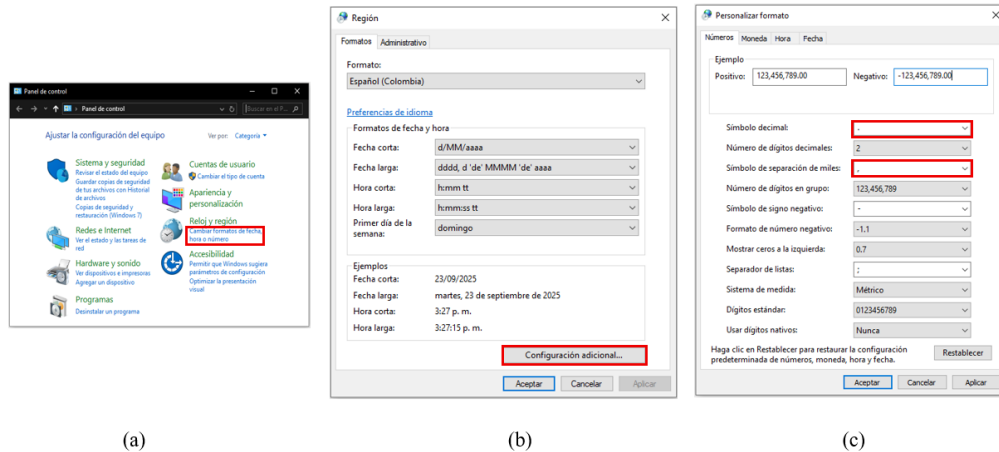


Figura 17. Pasos de cambio de formato en el programa.

### 5.2.2 Crear carpeta de trabajo

Para crear la carpeta de trabajo inicialmente ingrese en la pestaña “options”, luego haga clic en “program setup” y por último escoja la opción “default Project folder”.

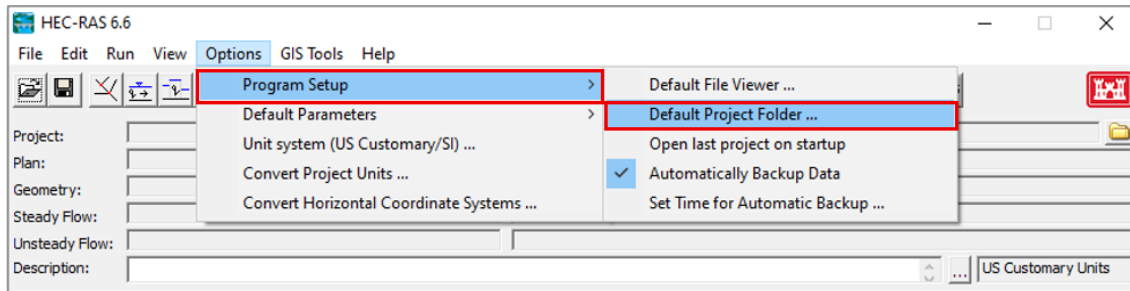


Figura 18. Guía creación de carpeta de trabajo

Selección y guardado de carpeta.

- Seleccione el disco en el cual se va a guardar la carpeta de trabajo y de clic en OK.
- Asigne el nombre a la carpeta como: Taller\_2\_HEC-RAS. Luego haga clic en OK.
- Verifique los datos ingresados y dé clic en OK.

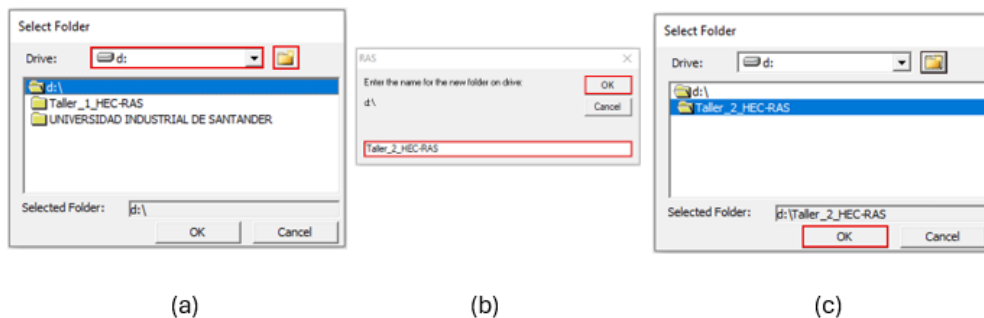


Figura 19. Guía guardado de carpeta.



### 5.2.3 Cambio de unidades de US customary a System International (Metric System)

Este procedimiento tiene por objetivo la configuración del sistema de unidades del programa al sistema métrico decimal. Es fundamental considerar que esta funcionalidad no efectúa conversiones automáticas en proyectos preexistentes, limitándose únicamente a establecer las unidades para desarrollos futuros.

Para ejecutar la modificación de unidades, inicialmente se debe realizar una verificación preliminar del sistema de unidades actualmente configurado en el proyecto.

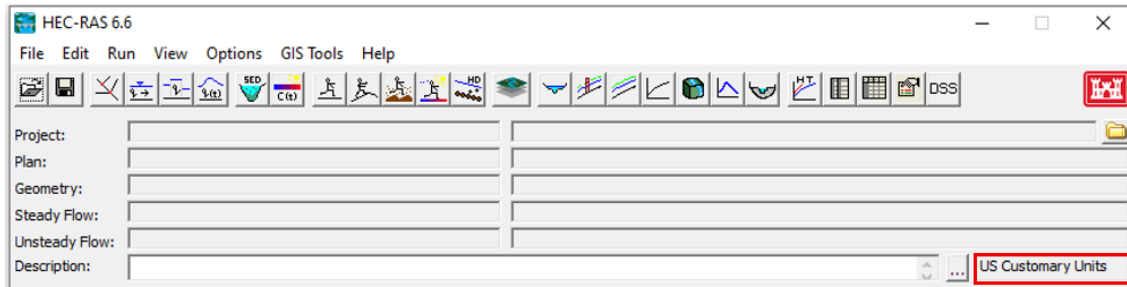


Figura 20. Verificación de unidades.

El cambio de unidades se puede realizar abriendo el menú de “options” y dando clic en “unit system (US Customary/SI)”.

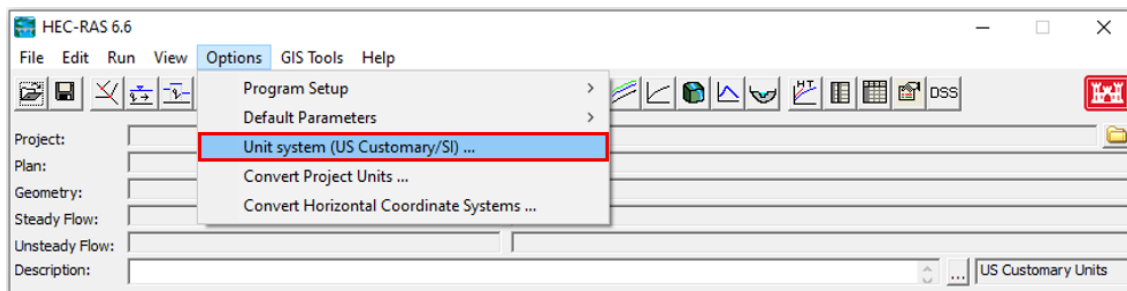
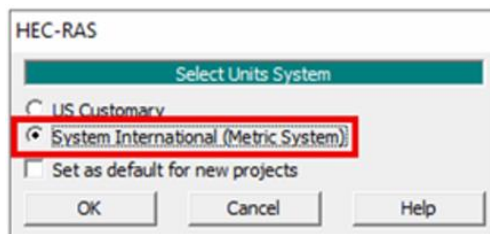


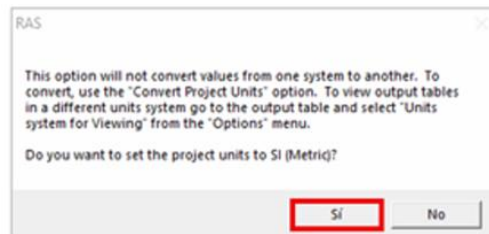
Figura 21. Cambio de unidades.

Se abrirá la siguiente ventana.

- Oprensa la opción “system international (Metric System)”.
- Posteriormente, dé clic en OK. Por último, dé clic en sí.



(a)



(b)

Figura 22. Cambio de unidades





### 5.3 Creación del proyecto

Para iniciar un nuevo proyecto, el procedimiento parte de la creación del archivo contenedor que albergará la totalidad de los datos del modelo hidráulico. Este proceso se ejecuta mediante el acceso al menú “File” de la interfaz principal, donde se debe seleccionar la opción “New Project” para generar el nuevo archivo de trabajo.

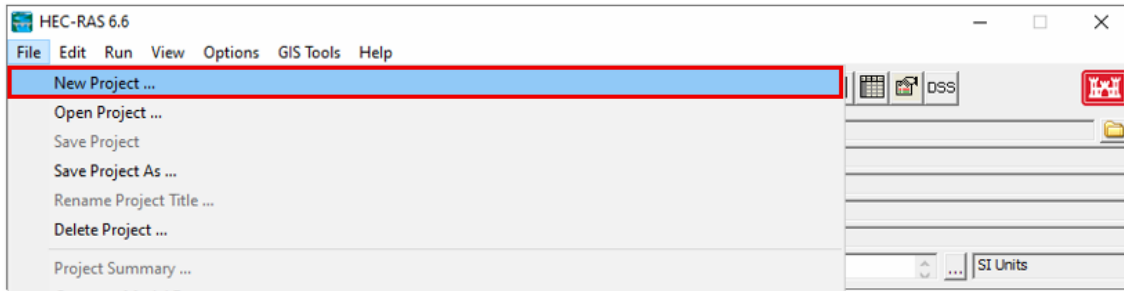
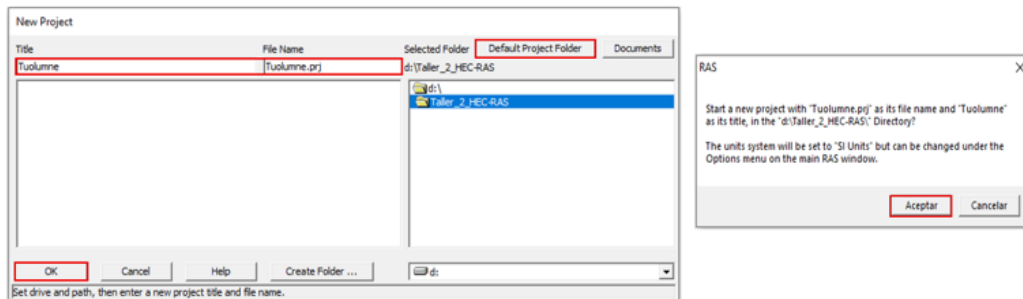


Figura 23. Creación archivo de trabajo

- (a) Se abrirá la siguiente ventana donde debe dar clic en “default Project folder”, luego en la parte del “title” dé nombre al archivo (Tuolumne); posteriormente, verifique que el tipo de archivo sea prj. Por último, haga clic en OK.
- (b) Se abrirá la siguiente ventana. Oprima el botón “Aceptar”.



(a)

(b)

Figura 24. Asignar título al proyecto.

En la ventana principal debe aparecer el título del proyecto y la ubicación de este, como se observa en la siguiente figura.

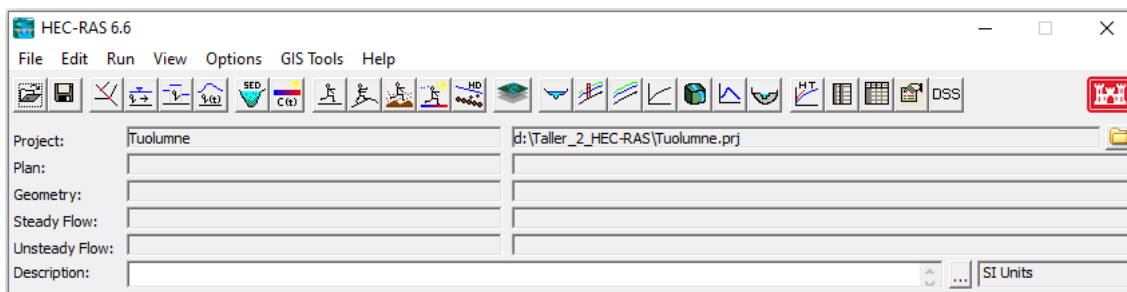


Figura 25. Vista de la ventana principal.



## 5.4 RAS Mapper

Ingresa a la herramienta RAS-Mapper con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 26. Acceso rápido a herramienta RAS Mapper.

Al ejecutar esta acción, se desplegará la ventana denominada “RAS Mapper”.

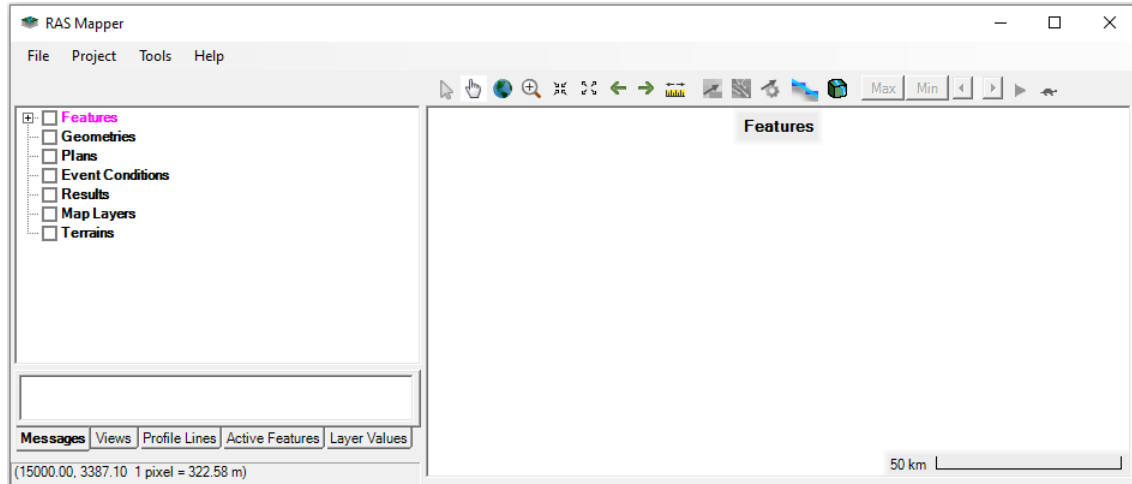


Figura 27. Ventana principal de RAS Mapper.

### 5.4.1 Definir el sistema de coordenadas

Antes de importar los datos, se debe definir el sistema de coordenadas para el proyecto. Para esto diríjase a la pestaña “Project” y haga clic en la opción “Set Projection”.

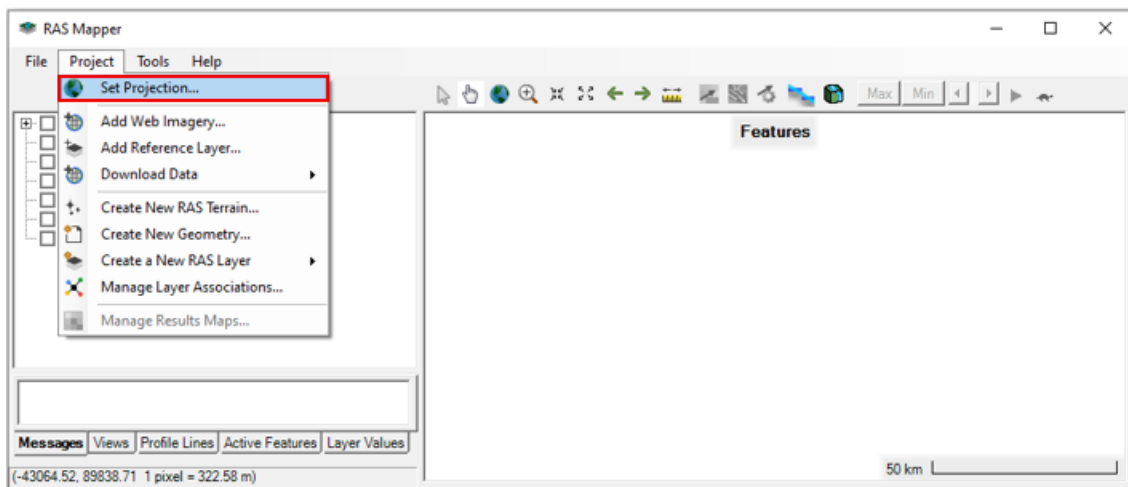


Figura 28. Ruta para definir el sistema de coordenadas.



Se desplegará la ventana “RAS Mapper Options”, en la cual deberá dar clic en el icono de la carpeta resaltado para proceder con la selección del archivo correspondiente.

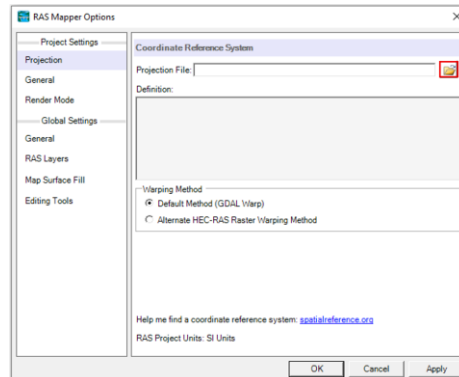
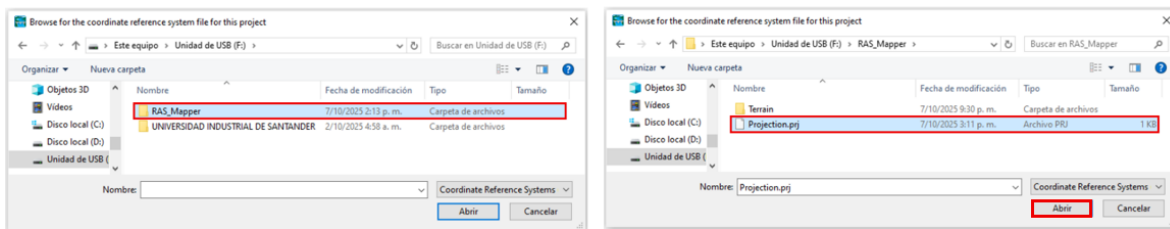


Figura 29. Ventana RAS Mapper Options.

Posteriormente, se visualizará la ventana “Browse for the coordinate reference system file for this project”. En esta interfaz, deberá:

- Acceder a la carpeta descargada que contiene los datos del proyecto, la cual lleva por nombre “RAS Mapper”.
- Seleccionar el archivo “Projection.prj”, confirmando la acción mediante el comando de abrir.



(a)

(b)

Figura 30. Buscar carpeta de sistema de coordenadas.

Volverá a la ventana anterior donde debe aparecer la ruta de la carpeta seleccionada en el espacio “Projection File”. Para finalizar, dé clic en “Apply” y luego en “OK”.

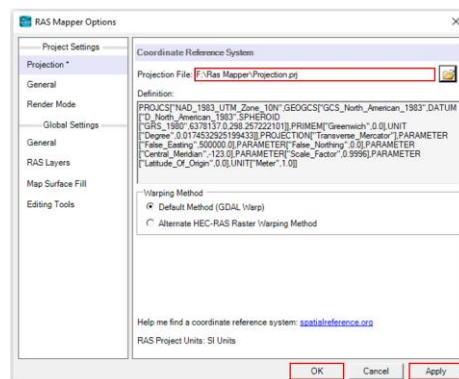


Figura 31. Cargue del sistema de coordenadas.



### 5.4.2 Importar el Terreno

Desde la ventana principal de RAS Mapper, haga clic derecho sobre “Terrain”. Del menú desplegado, seleccione la opción “Create a New RAS Terrain”.

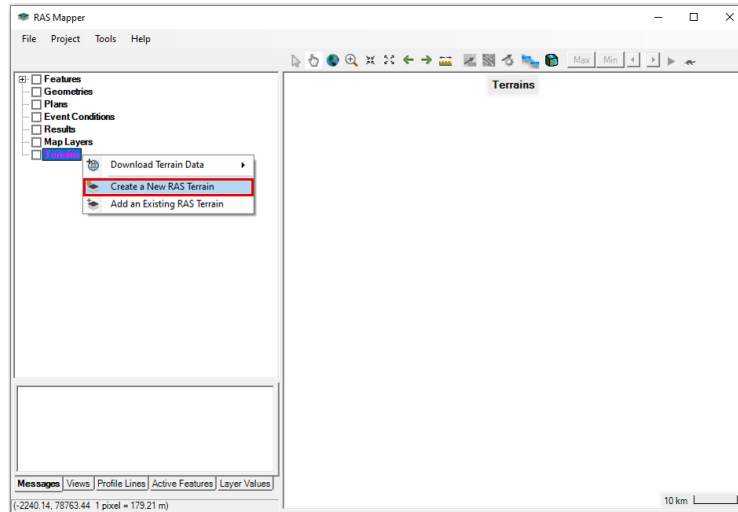
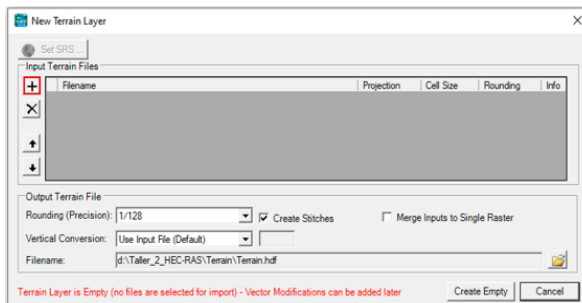


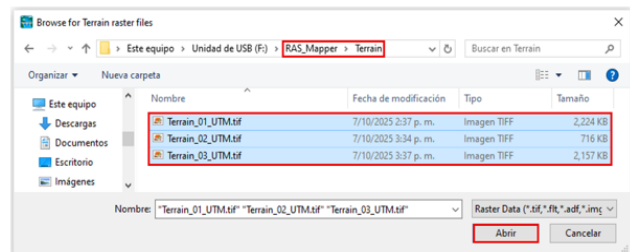
Figura 32. Creación del Terreno.

A continuación, se visualizará la ventana “New Terrain Layer”. El procedimiento a seguir consiste en:

- Hacer clic en el icono con símbolo de adición (+).
- Como resultado, se abrirá la ventana “Browse for Terrain raster files”, donde se debe localizar la carpeta del proyecto denominada 'RAS Mapper'. Dentro de esta carpeta, se accederá al subdirectorio “Terrain” y se cargarán los tres archivos tipo .tif allí almacenados, que corresponden al segmento de río a modelar.



(a)



(b)

Figura 33. Carga de archivos para la sección.

- De vuelta en la ventana “New Terrain Layer”, es necesario confirmar que los tres archivos han sido cargados exitosamente antes de hacer clic en “Create”.
- Se desplegará la ventana “Creating Terrain ‘Terrain’”, en la cual se debe esperar a que el sistema procese y cargue la información de los archivos. Finalmente, cierre la ventana una vez completado el proceso.

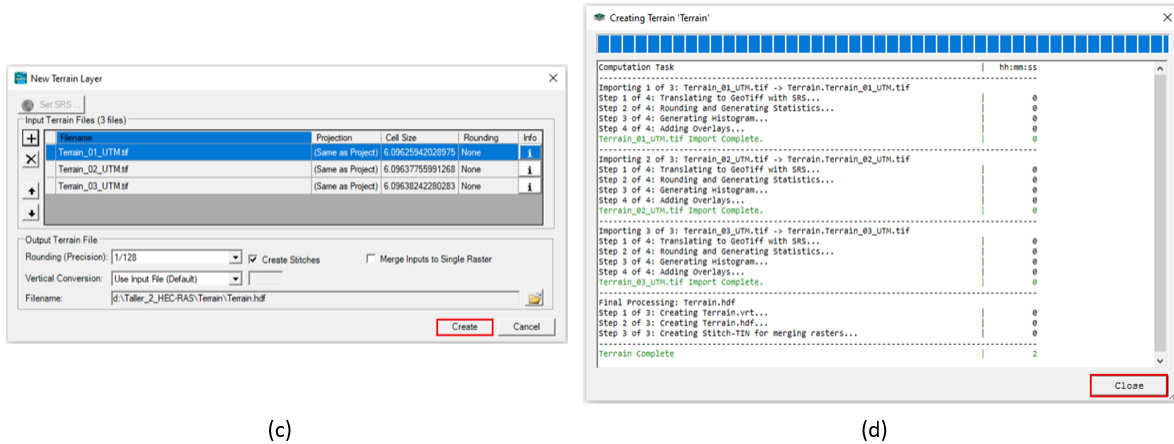


Figura 34. Carga de datos de terreno.

Tras completar este procedimiento, el modelo digital de elevación deberá ser visible en la ventana “RAS Mapper”. Para preservar el trabajo realizado, acceda a la opción “File” y posteriormente haga clic en “Save”.

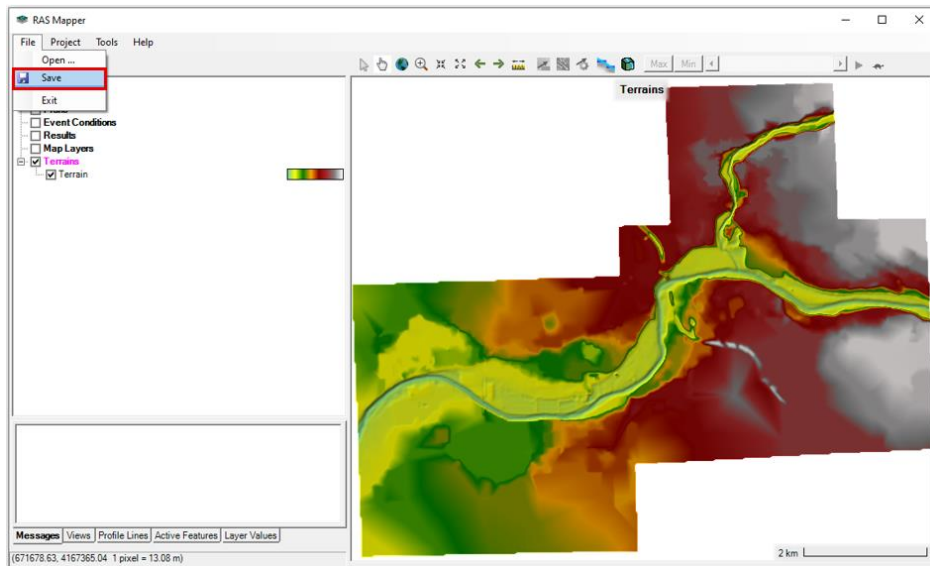


Figura 35. Modelo digital de elevación.

### 5.4.3 Modificar parámetros de visualización del terreno

Es necesario recurrir a las herramientas de visualización e información de la capa terreno, para esto:

- En la ventana de RAS\_Mapper, en la sección “Selected Layer”, ubicada a la izquierda de la ventana, se debe hacer clic derecho en la capa “Terrain”, a la cual se desea modificar los parámetros de visualización.
- Se despliega el menú de opciones y se da clic en la primera de estas, “Image Display Properties”.

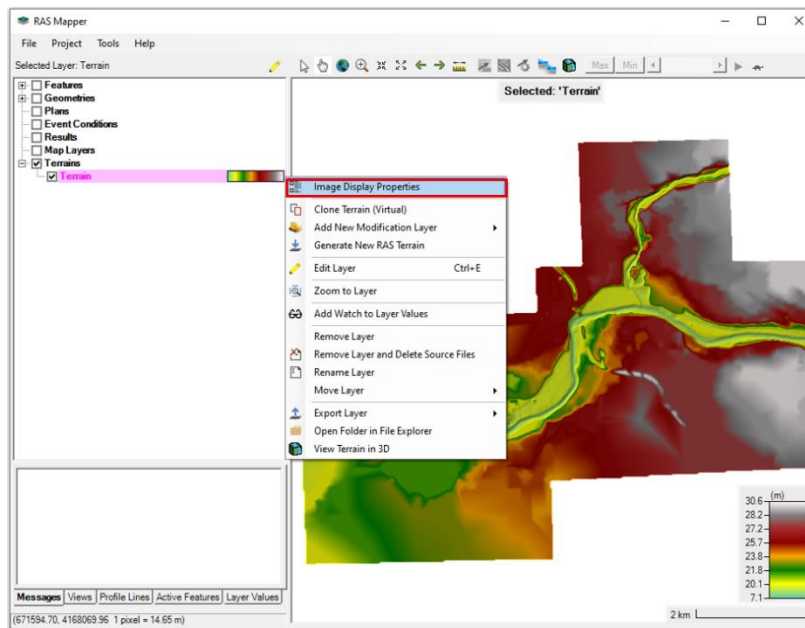


Figura 36. Entrada configuración de visualización de capa.

A continuación se despliega la ventana “Layer Properties”. Se modificará la sección de Surface (Superficie de terreno) para mejorar la visualización del cauce del río y sus planicies de inundación. Para esto se modifica la representación de capas de continuo a discreto (Stretched>Discrete). Finalmente, oprima el botón “Edit”.

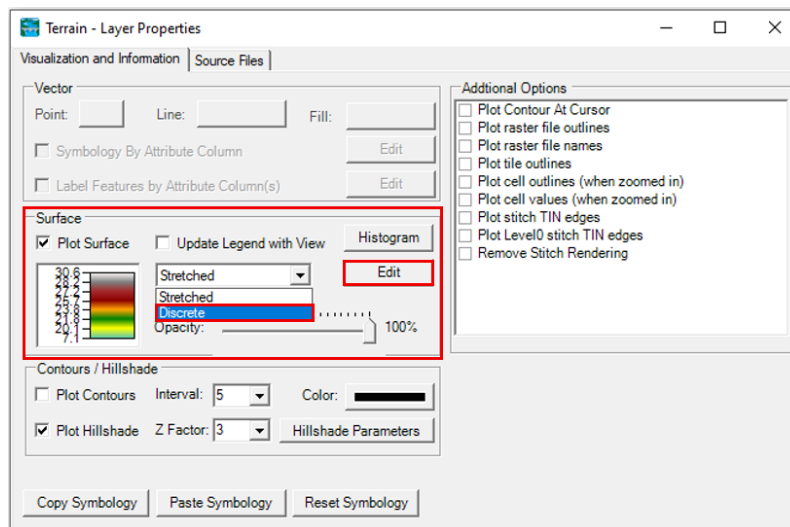


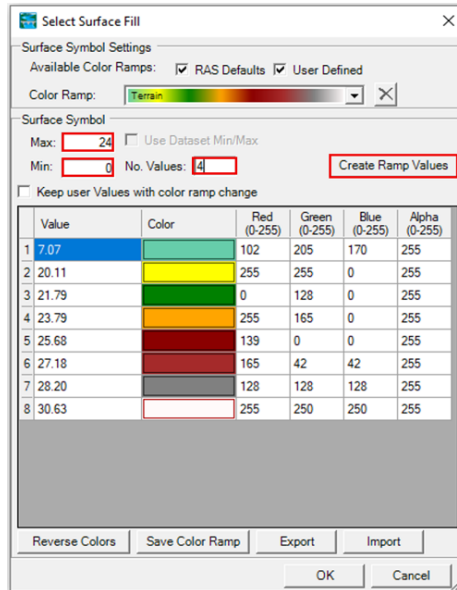
Figura 37. Edición Surface

Posteriormente, se abrirá una ventana que permite editar el número de capas que representarán el terreno; esto permite una mejor visualización del río y sus planicies de inundación. Para esto:

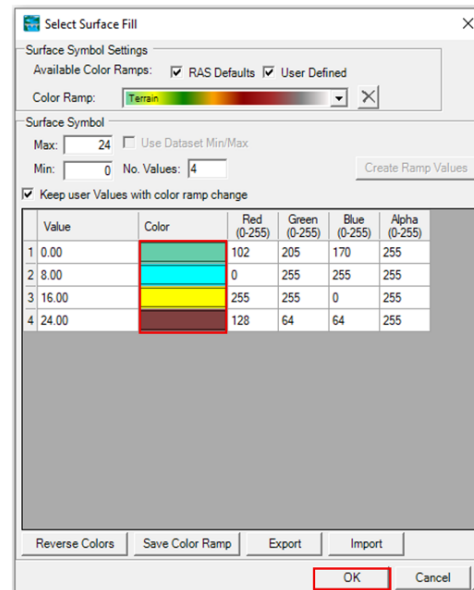
- Cambie el número de valores “No. Values” de 8 a 4, el valor mínimo “Min” a cero y el valor máximo “Max” a 24. Finalmente, haga clic en el botón “Create Ramp Values”.



- (b) En la ventana se pueden observar las 4 capas creadas por defecto. Para cambiar el color de cada capa, se da clic sobre el cuadro con color de la misma y se elige el de preferencia. Para este caso se sugiere utilizar los mismos colores de la guía para facilitar la visualización. Finalmente, haga clic en “OK”.



(a)



(b)

Figura 38. Cambio de parámetros.

Por último, cierre la ventana de “Layer Properties”. Debe obtener una representación del terreno como se muestra a continuación:

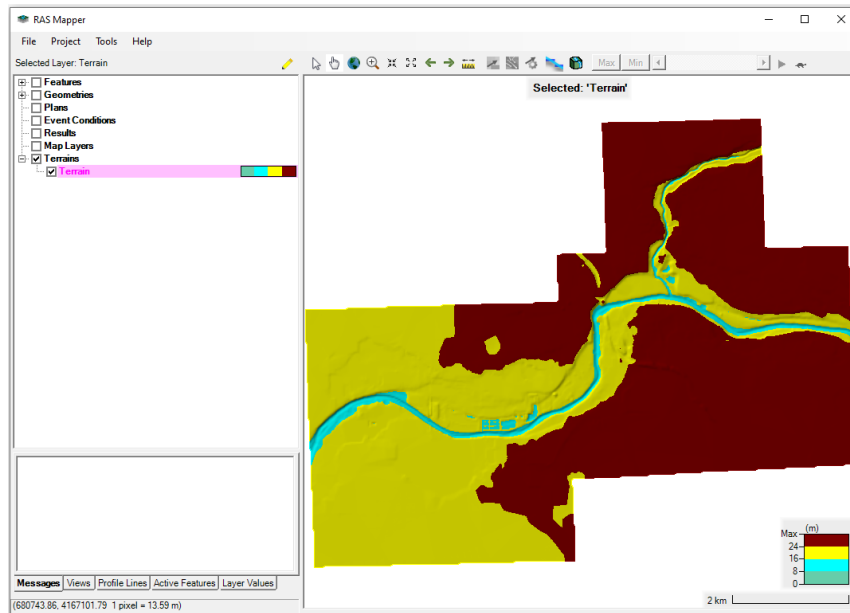


Figura 39. Vista con la modificación de parámetros.

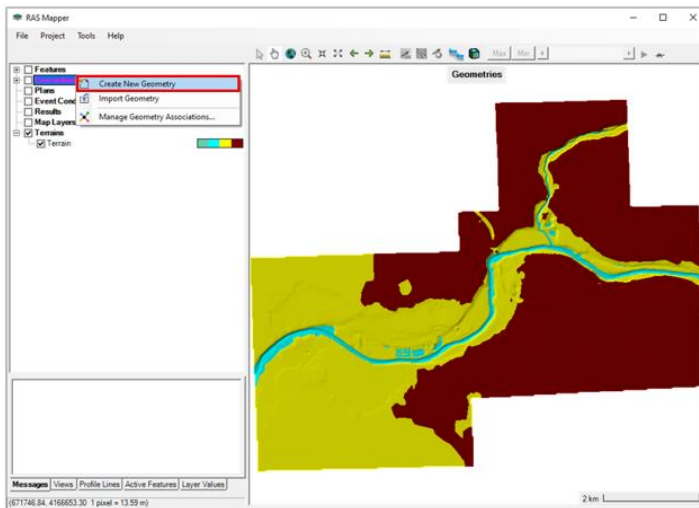


De esta manera, el usuario puede facilitar la interpretación del terreno mediante el análisis de sus elevaciones. Esto resulta fundamental para la delimitación de la línea central del cauce, las líneas de inicio de banca y las líneas de flujo requeridas para la definición geométrica de las secciones transversales.

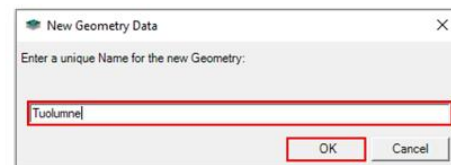
#### 5.4.4 Creación de geometría en RAS Mapper

Se debe crear un archivo que contenga la información básica del tramo del río, para esto:

- Diríjase a la capa “Geometries” y haga clic derecho sobre esta. Se abrirá un menú donde debe hacer clic en la primera opción “Create New Geometry”.
- Posteriormente, se desplegará una ventana solicitando el nombre de la nueva geometría; use el nombre original del río “Tuolumne” y luego oprima “OK”.



(a)



(b)

Figura 40. Nombrar la geometría.

Una vez creada la nueva geometría identificada con el nombre del río, se desplegará la ventana “Manage Layer Associations”. En este caso en particular se cuenta únicamente con la capa de terreno, por lo cual solo se debe verificar que esta capa esté asociada a la geometría.

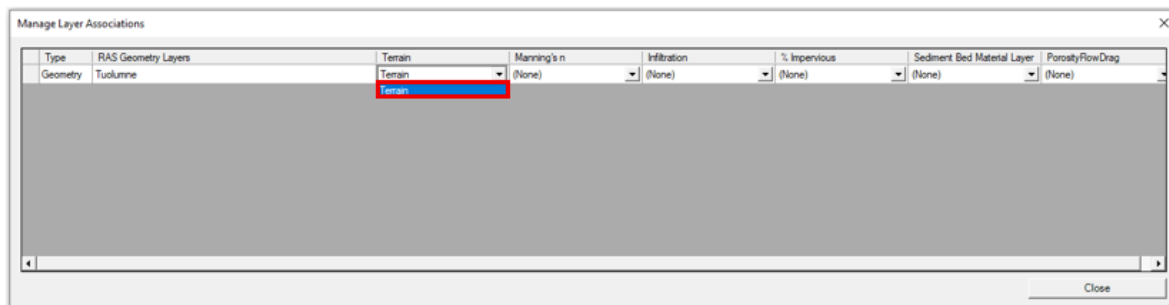



Figura 41. Verificar capa de geometría asociada.

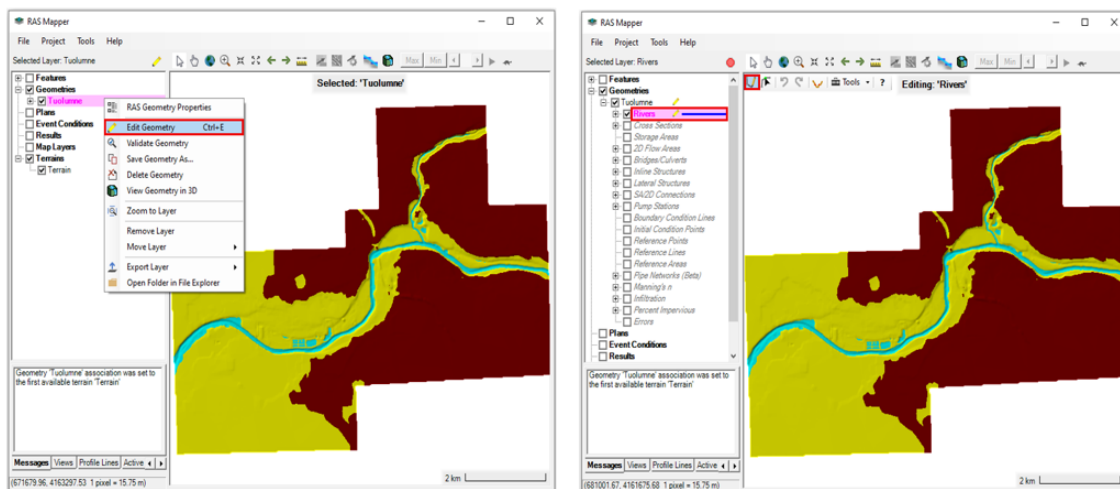




#### 5.4.5 Trazado de la línea central del cauce.

A continuación, se procede a dibujar la línea del cauce principal del río; esta línea representará fielmente la dirección de flujo y la morfología del río. Para crear la línea principal del cauce, es necesario localizar la capa recién creada para la geometría de nuestro río.

- Haciendo clic en el signo “+” de la capa “Geometries”. Se desplegará una subcapa denominada “Tuolumne”. Haga clic derecho sobre esta. Esto desplegará un menú donde se debe seleccionar la opción de “Edit Geometry”.
- Esta acción permitirá acceder a las opciones editables dentro de la geometría del río. Haga clic sobre la capa “Rivers”. Con la capa seleccionada podrá iniciar el trazado de la línea central del cauce. Debe asegurarse que el botón “Add New Feature” , esté seleccionado.



(a)

(b)

Figura 42. Entrada al trazado de línea del cauce.

El trazado se debe iniciar en el sector aguas arriba del tramo fluvial y finalizar en el sector aguas abajo; este se debe realizar siguiendo una línea imaginaria por medio del cauce del río. El objetivo es representar la morfología del río de la manera más fiel posible, empleando como referencia la representación del terreno según su gradiente de elevación. En la visualización cromática, el color azul representa las elevaciones más bajas del terreno. Conociendo esta característica topográfica, el cauce del río se hace evidente a lo largo de la superficie del modelo digital de elevación. Esta representación visual se utiliza como guía para trazar la línea que representará tanto la dirección del flujo como el comportamiento hidráulico del río a lo largo del tramo principal de estudio.

Es importante señalar que la interfaz de visualización permite realizar acercamientos (zoom) mediante el desplazamiento de la rueda del ratón (scroll), y la imagen puede desplazarse lateralmente manteniendo presionado el botón central del ratón (scroll).

Se recomienda mantener la mayor fidelidad posible al curso natural del río mediante la ejecución de trazos de corta longitud. En zonas caracterizadas por la presencia de meandros (curvaturas



pronunciadas del cauce), debe reducirse la separación entre los puntos de digitalización con el fin de garantizar una representación precisa y fiel a la morfología del tramo fluvial.

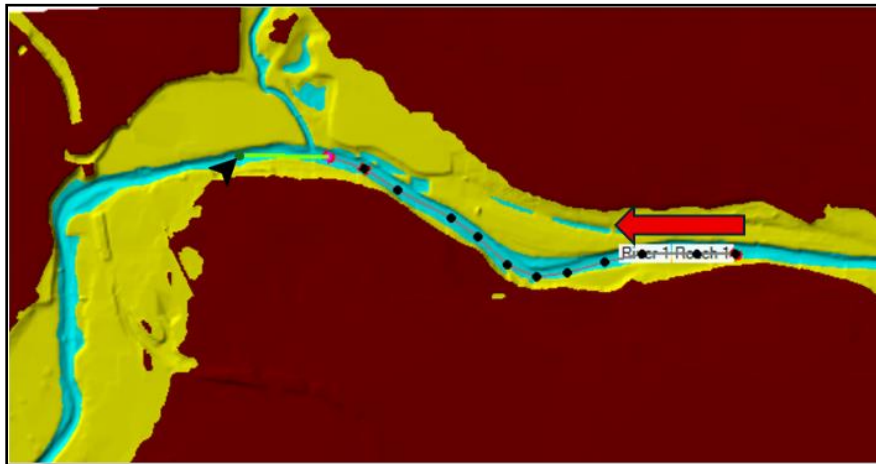


Figura 43. Trazado del cauce.

El trazado de la línea del cauce principal se finaliza ejecutando un doble clic sobre el último punto de digitalización. Esta acción desplegará una ventana de diálogo que solicitará ingresar el nombre del río (*Tuolumne*) y la identificación del tramo que representa (*Upper*). Finalice dando clic en “OK”.

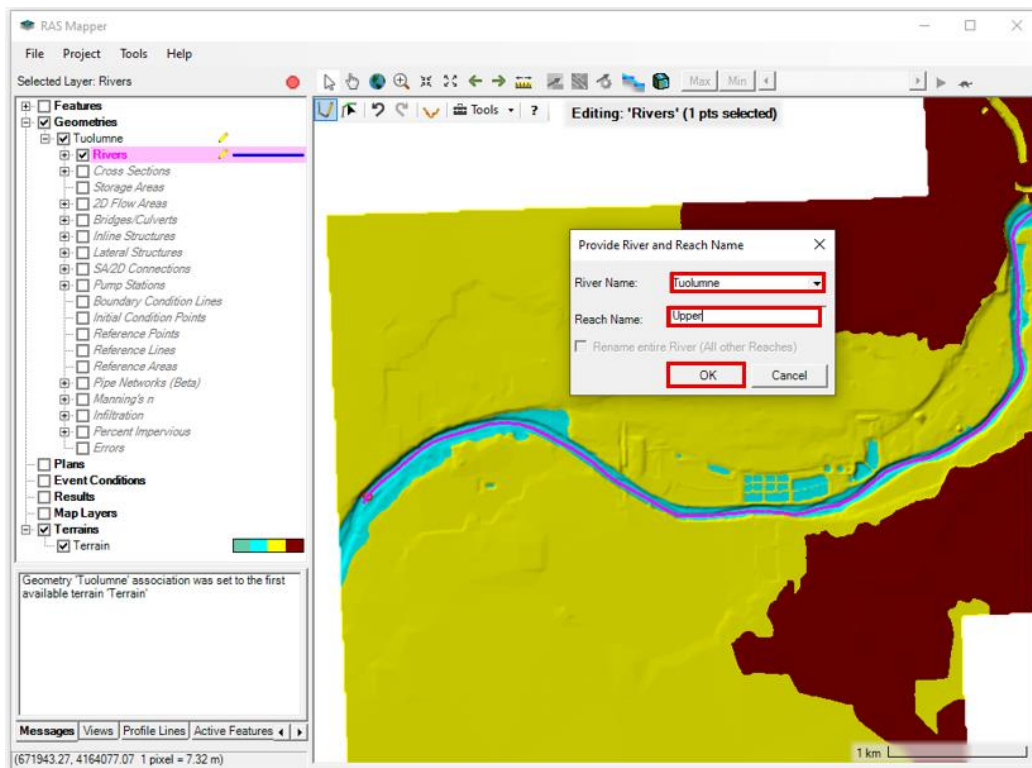


Figura 44. Nombramiento del tramo.



En el caso del tramo tributario o afluente que confluye con el río principal (Dry Creek), el procedimiento de digitalización se iniciará en el sector aguas arriba del tramo y finalizará en el punto de confluencia o intersección con el cauce principal. De forma similar al procedimiento aplicado en el tramo principal.

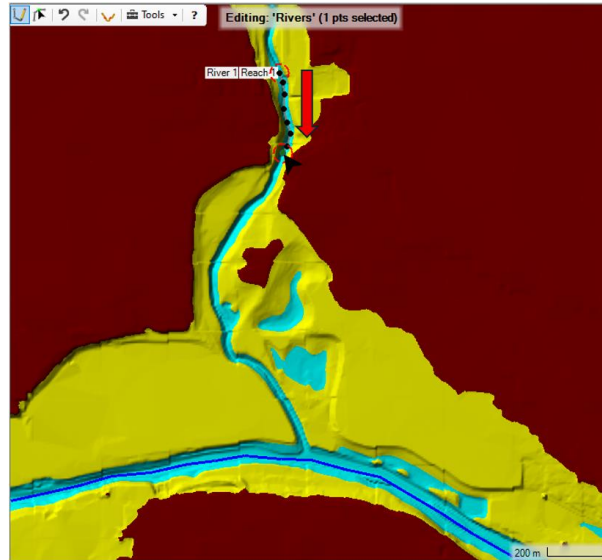


Figura 45. Trazado tramo tributario.

Para concluir el trazado del tramo tributario haga doble clic en el punto de intersección con el tramo principal, se desplegará una ventana de diálogo para ingresar la denominación (*Dry Creek*) y la identificación del tramo fluvial representado (*Tributary*).

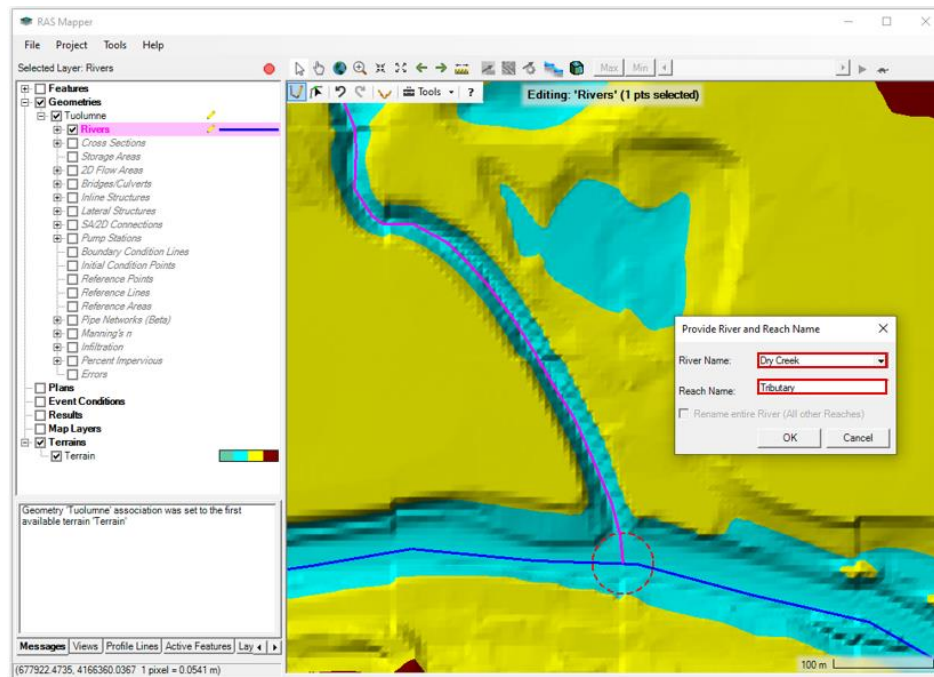


Figura 46 . Intersección y nombramiento del tramo tributario.



Una vez creado el tramo del tributario y nombrado adecuadamente, el software de forma automática determina que en ese punto se intersectan dos tramos de afluentes diferentes, por lo cual designa una unión (“junction”). Luego desplegará una ventana para que el usuario confirme si desea dividir el río “Tuolumne” y crear una unión en el punto de intersección. Una vez se confirma la división del tramo principal, se desplegará una segunda ventana que solicitará el nombre del nuevo tramo “Lower” y posteriormente solicitará el nombre que se asignará a la unión “Junction 1”.

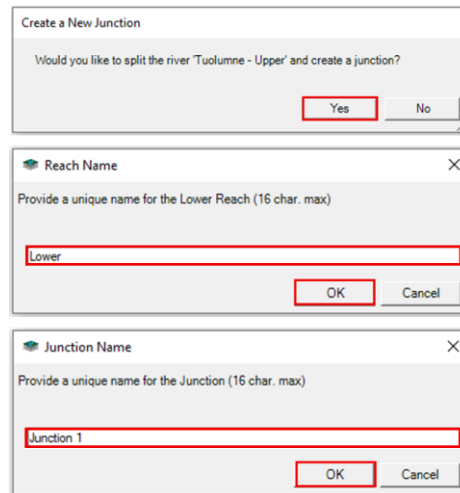



Figura 47. Creación y nombramiento del punto de intercepción.

**Nota:** En caso de ser necesario, es posible editar directamente los nodos del tramo al hacer clic en la herramienta “Edit Feature” , luego dé doble clic sobre el nodo que desea editar. Se visualizarán los nodos que componen dicha sección al acercar el puntero al nodo o el tramo entre nodos. Estos se iluminarán de verde indicando que en ese tramo se puede adicionar un nodo o simplemente desplazar uno ya existente. En la sección 4.6 de la guía se explican otras opciones de edición del trazado.

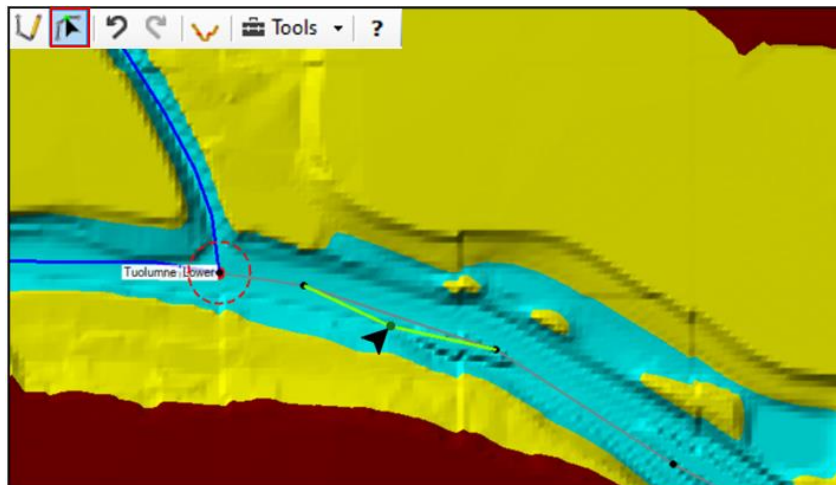


Figura 48. Edición del trazado.




#### 5.4.6 Trazado de líneas de banca (Bank Lines)

Una vez creada y editada la línea central del cauce principal, resulta necesario identificar y trazar a lo largo del tramo principal las líneas de inicio de banca (bank lines). Estas líneas definirán el inicio de las planicies de inundación y los límites del canal principal. Para lograr resultados óptimos, se emplean los rangos de elevación por colores que representan el terreno. Se recomienda tomar como referencia el contorno entre las superficies representadas en tonalidades azules y amarillas, lo cual facilitará la asignación correcta de los bancos de inundación al momento de definir las secciones transversales.

Antes de continuar, es necesario tener presentes los criterios fundamentales para la creación de las líneas de bancas de inundación según lo establecido en la documentación oficial de HEC-RAS:

- “Las líneas de banco se utilizan para definir los bancos principales del canal en una sección transversal. Si no se definen las líneas de banco, las estaciones de banco se establecerán en los extremos de las secciones transversales.”
- “Las líneas de banco pueden dibujarse de forma continua o discontinua, en dirección aguas abajo o aguas arriba, pero se sugiere tener una línea de banco izquierda y una derecha para cada línea del río.”
- “Asegúrese de que las líneas de banco no intercepten las líneas del río, ni se intercepten entre ellas mismas y solo pueden cortar la sección transversal una vez.”

Bajo estos criterios se inicia con el trazado de la línea de la banca derecha, seleccionando la capa “Bank Lines” y verificando que la herramienta “Add New Feature”  también esté seleccionada. Use el contorno como guía y, al llegar a la intersección con el tributario, continúe cruzando por completo su cauce. La línea de banca derecha se continúa hasta llegar al final del tramo aguas abajo. Se realiza el mismo procedimiento para la banca izquierda usando como guía el contorno del río.

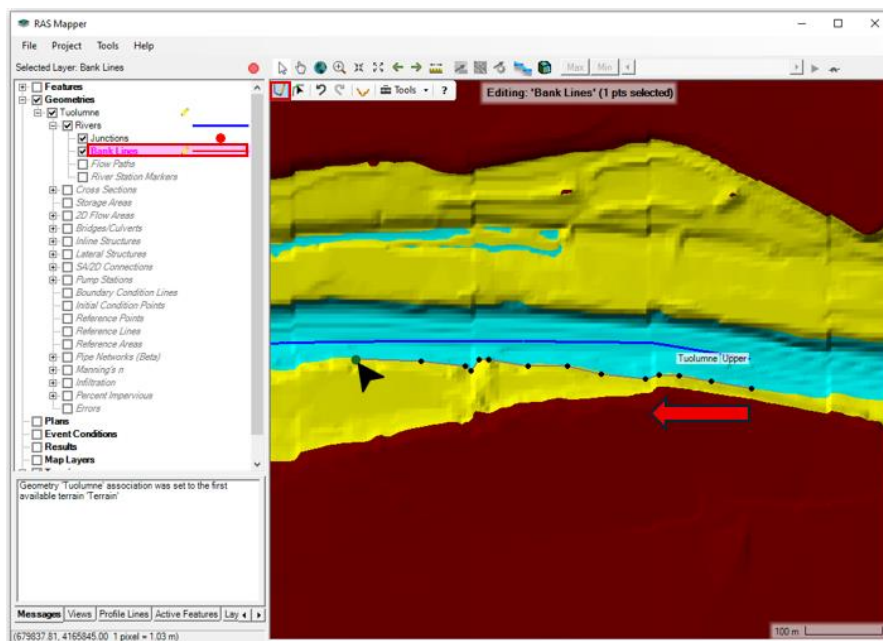


Figura 49. Trazado de la banca izquierda.



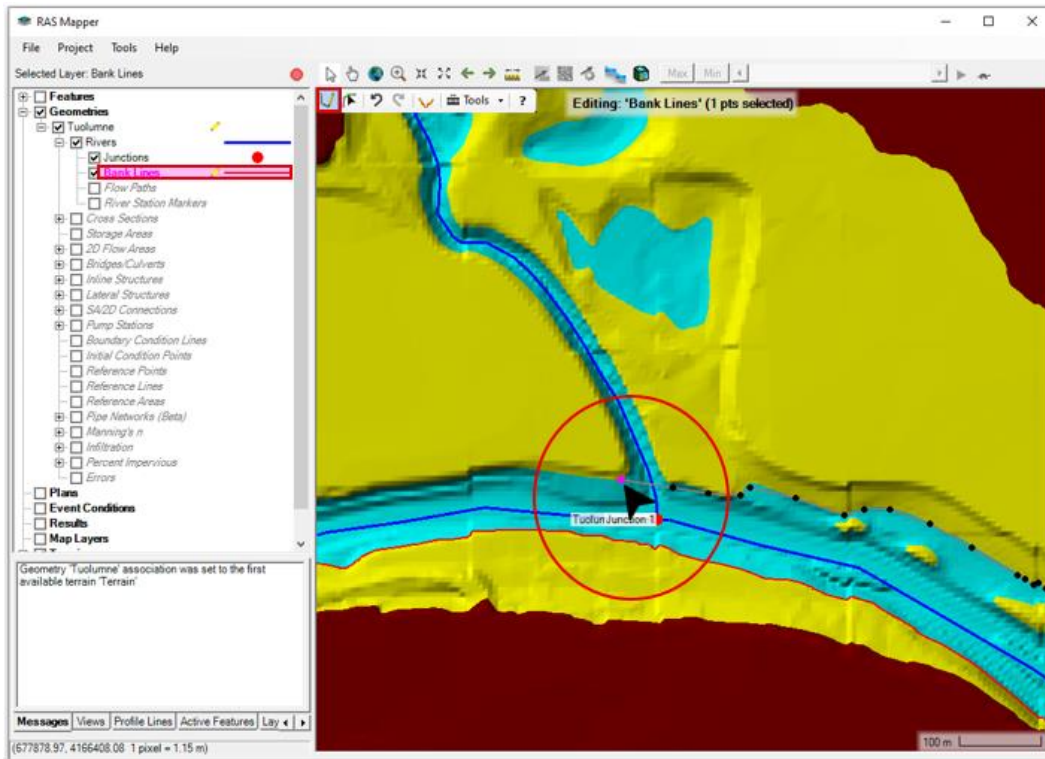


Figura 50. Trazado de la banca derecha.

**Nota:** Según las especificaciones oficiales de HEC-RAS, no se puede intersectar ninguna línea central que defina un cauce con las líneas de banca.

En este caso de estudio, el tributario nombrado “*Dry Creek*” termina su cauce en un abanico aluvial y, según Knighton (1998), en el capítulo siete de su obra “*Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*”, los abanicos aluviales constituyen zonas de depósito de sedimentos donde el flujo se expande y pierde confinamiento al salir de zonas de pendiente elevada hacia llanuras aluviales. Además, de acuerdo con el *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual* (USACE, 2025), las líneas de banca (“**Bank Lines**”) delimitan el canal principal únicamente donde este está claramente establecido entre márgenes. Por lo tanto, en sectores de abanico aluvial, las “**Bank Lines**” deben detenerse donde termina el canal definido, representando el flujo como sobreancho en la planicie de inundación.

Una vez aclarada la razón por la cual las líneas de inicio de banca en el tributario “*Dry Creek*” no llegan hasta la intersección con el río principal, se dibujan las líneas para el tributario usando como guía el mismo contorno azul que define el canal principal del tributario.



Figura 51. Abanico aluvial y trazo de líneas de banca.

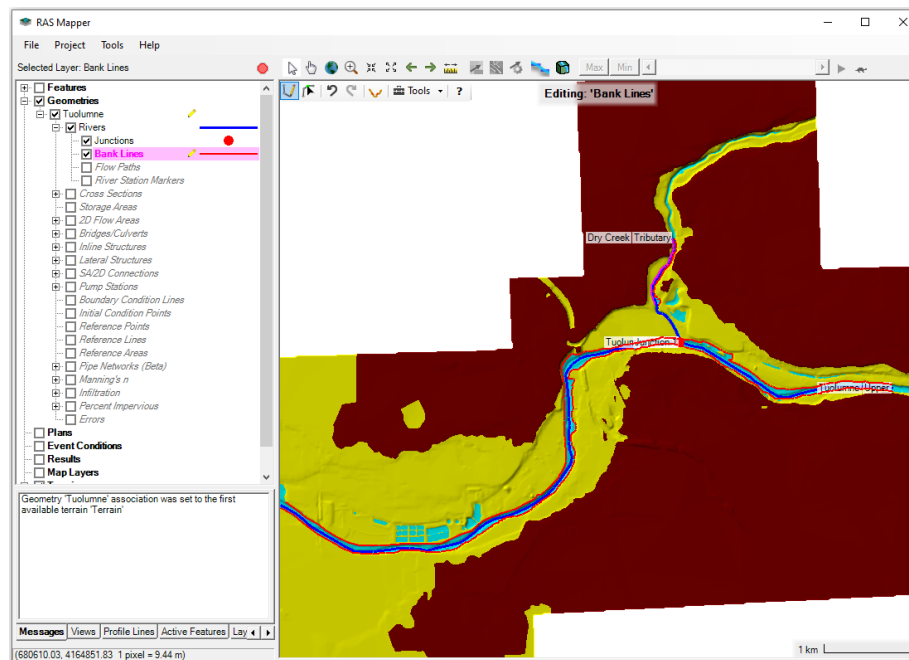


Figura 52. Trazado líneas de banca tributario.



#### 5.4.7 Líneas de ruta de flujo (Flow Paths Lines)

Como lo indica su nombre, las líneas de ruta de flujo representan la ruta que opone menos resistencia al flujo y se definen como una línea orientada aguas abajo siguiendo el centro de masa del flujo en las bancas de inundación izquierda y derecha. Estas líneas determinan la distancia aguas abajo entre las secciones transversales, comprendiendo distancias entre estaciones del canal principal y las planicies de inundación derecha e izquierda.

Cada estudiante, de acuerdo con su criterio, debe trazar las líneas de flujo izquierda y derecha siguiendo la morfología del canal. Para mayor facilidad al momento de trazar las rutas de flujo, puede activar los contornos de las curvas de nivel. Para esto, seleccione la capa de “*Terrain*” y haga doble clic sobre esta; esto abrirá la ventana “*Layer Properties*”, donde podrá activar la casilla “*Plot contours*” y tomar como intervalo cotas cada seis metros.

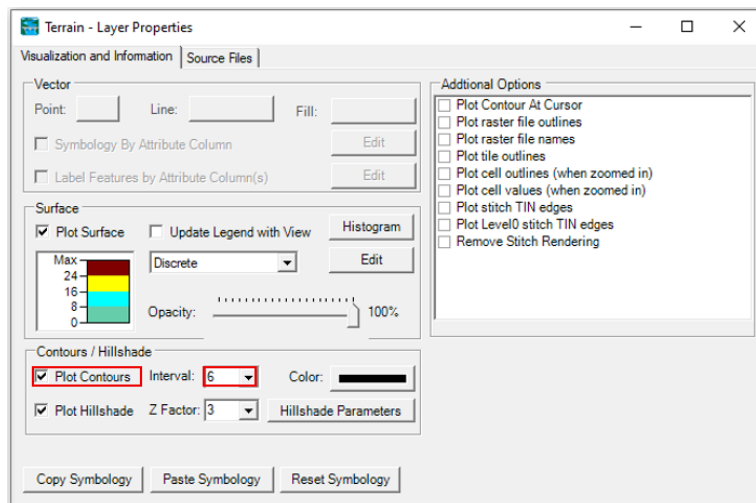


Figura 53. Cambio de contorno.

Para crear las líneas de ruta de flujo, es necesario seleccionar la capa “*Flow Paths*” y habilitar la edición de geometría. Una vez activada la edición de las líneas de ruta de flujo, se usará la geomorfología del terreno para evaluar las posibles rutas que tomaría el cauce de las bancas de inundación, teniendo como criterio que el agua siempre seguirá el punto más bajo del terreno y viajará lo más paralela posible al flujo del cauce principal del río.



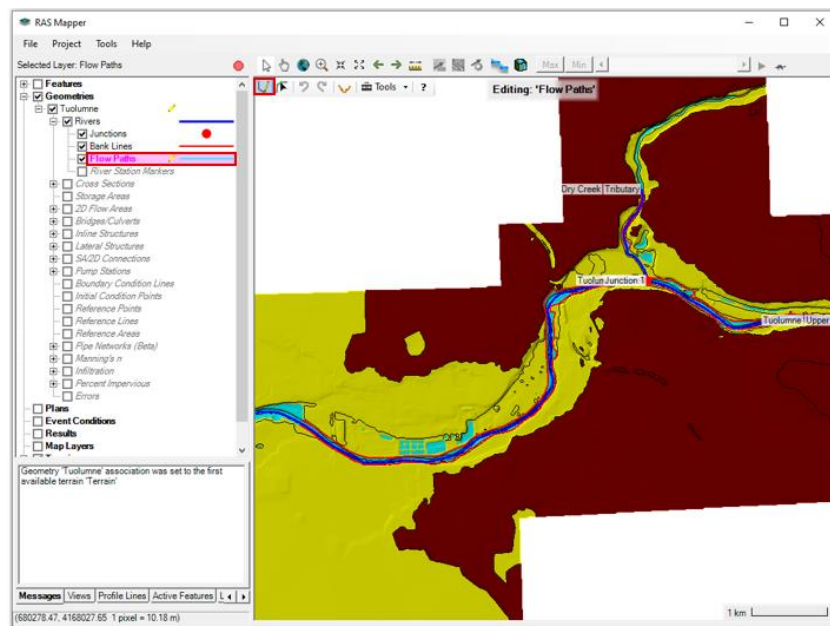


Figura 54. Entrada a trazado de rutas de flujo.

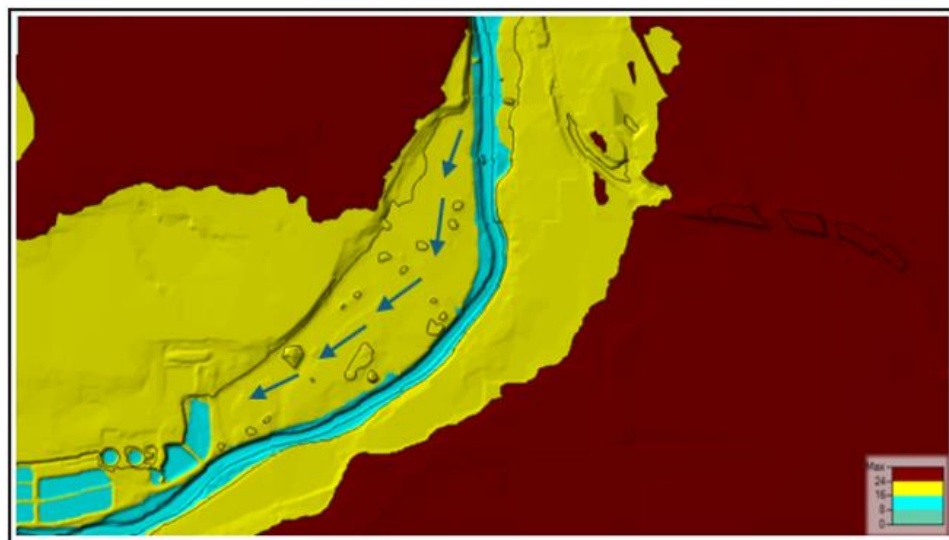
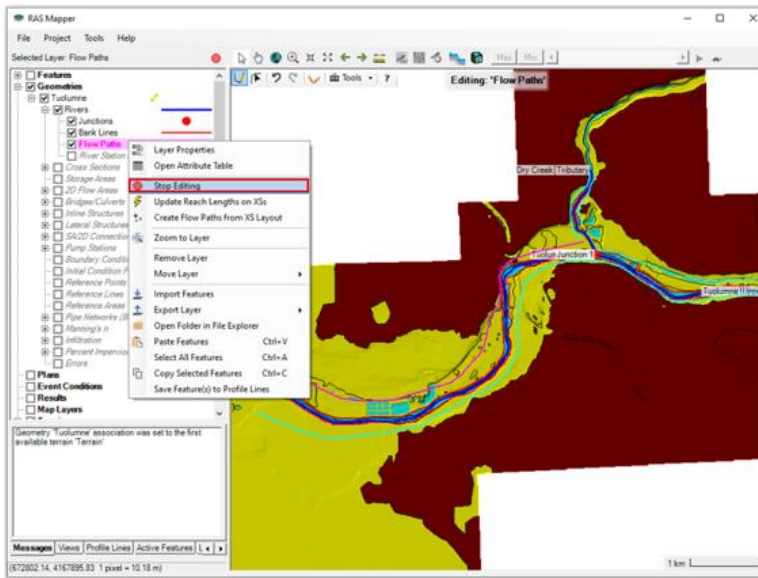


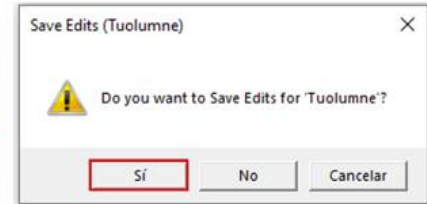
Figura 55. Línea imaginaria de trazo de ruta de flujo.

Una vez trazadas las rutas de flujo derecha e izquierda

- Diríjase a la capa “*Flow Paths*” y dé clic derecho sobre esta. Se desplegará un menú de opciones. Dé clic en “*Stop Editing*”.
- Se abrirá la siguiente ventana, haga clic en “*Sí*”.



(a)



(b)

Figura 56. Detener la edición de rutas de flujo y guardar cambios de capa.

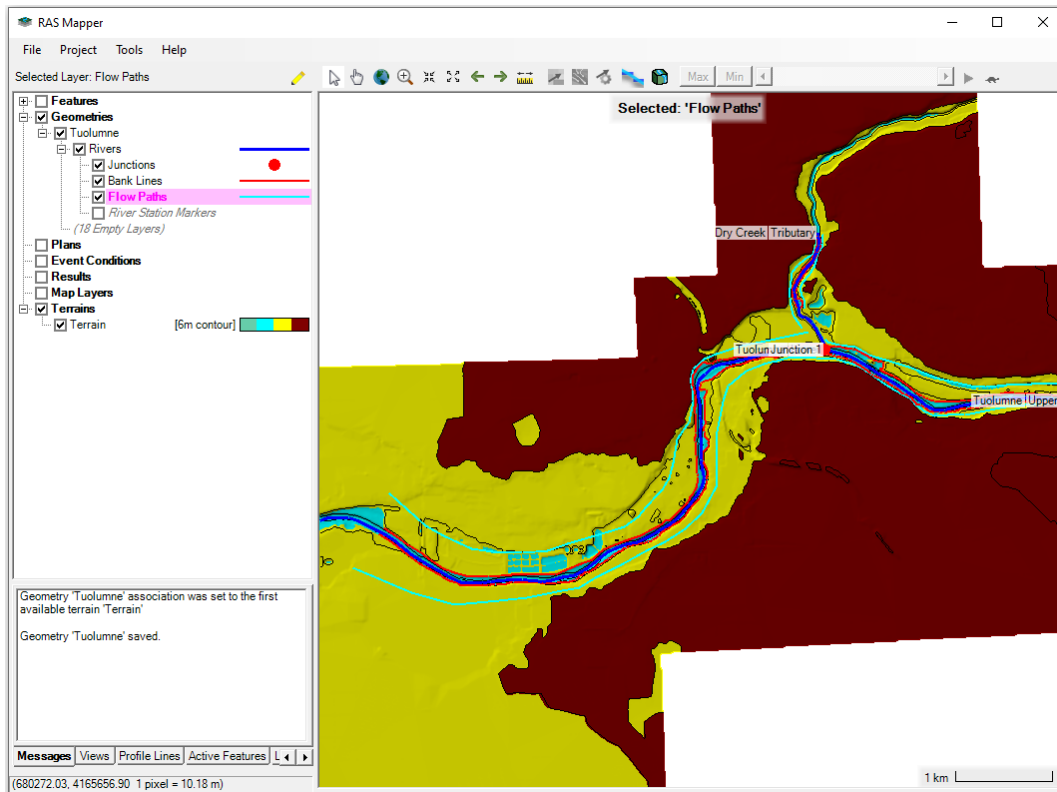


Figura 57. Vista rutas de flujo.



Si considera que alguna línea debe ser corregida, haga uso de las herramientas de edición mostradas en el capítulo 4.7 y mantenga los criterios de construcción de cada una de las líneas que representaran la geometría del tramo.

#### 5.4.8 Mapas de georreferencia

Adicional a las capas usadas “*Terrains*” y “*Geometry*”, se puede agregar una capa con mapas georeferenciados desde Google; para esto:

- Haga clic derecho sobre la capa de “*Map Layers*” y en la ventana emergente seleccione “*Add Web Imagery...*”.
- Seleccione “*Google Satellite*” como mapa georreferenciado.

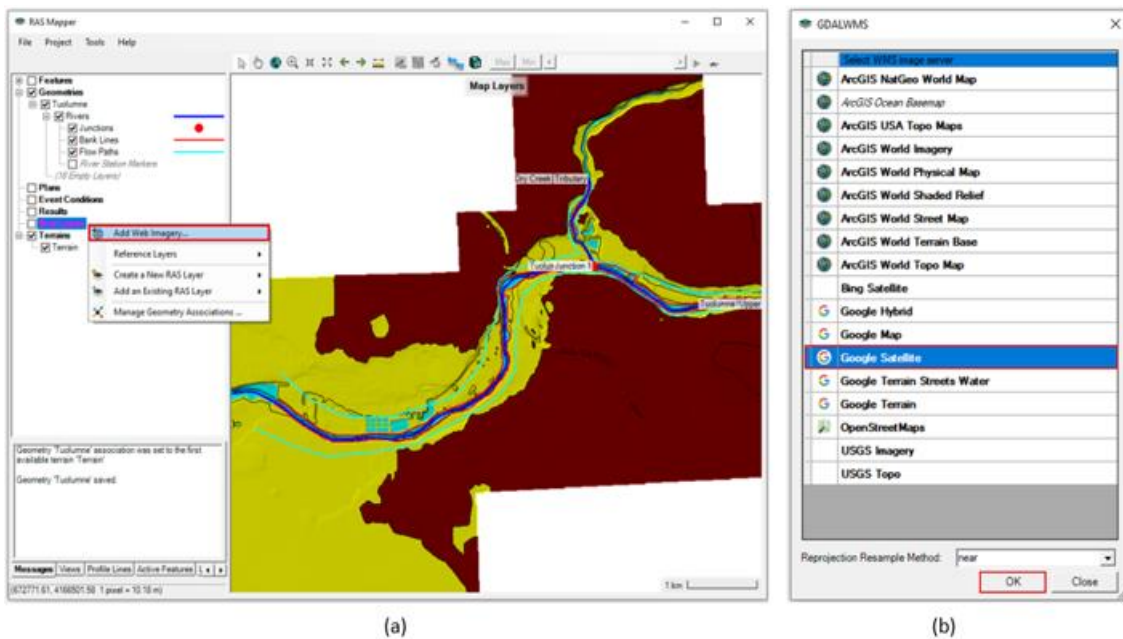


Figura 58. Cargar mapa de georreferencia.

Una vez seleccionada la imagen satelital, en la línea de jerarquía de la capa “*Map Layers*” aparecerá la capa “*Google Satellite*”; haciendo doble clic sobre ella, se desplegará la ventana de “*Layer Properties*”, donde en la sección de Surface se reducirá el selector de transparencia a un 50%. De esta manera se cargará una plantilla con un mapa georreferenciado por Google.

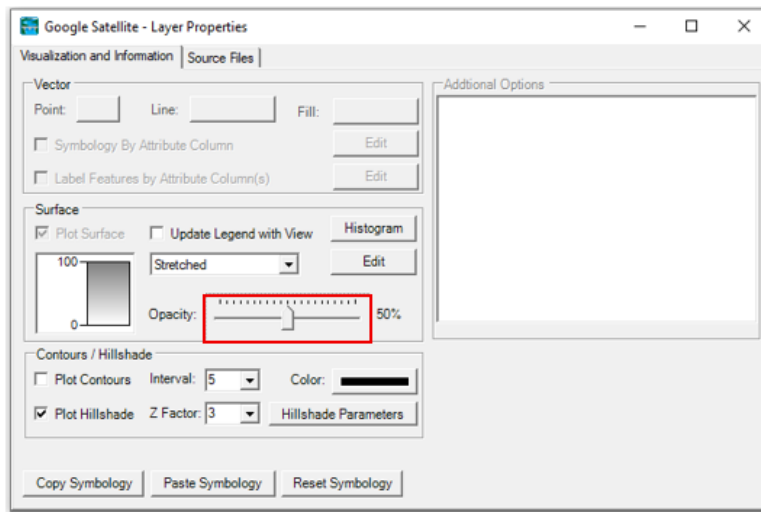


Figura 59. Opacidad de la capa.

Debe obtener una vista como la siguiente.

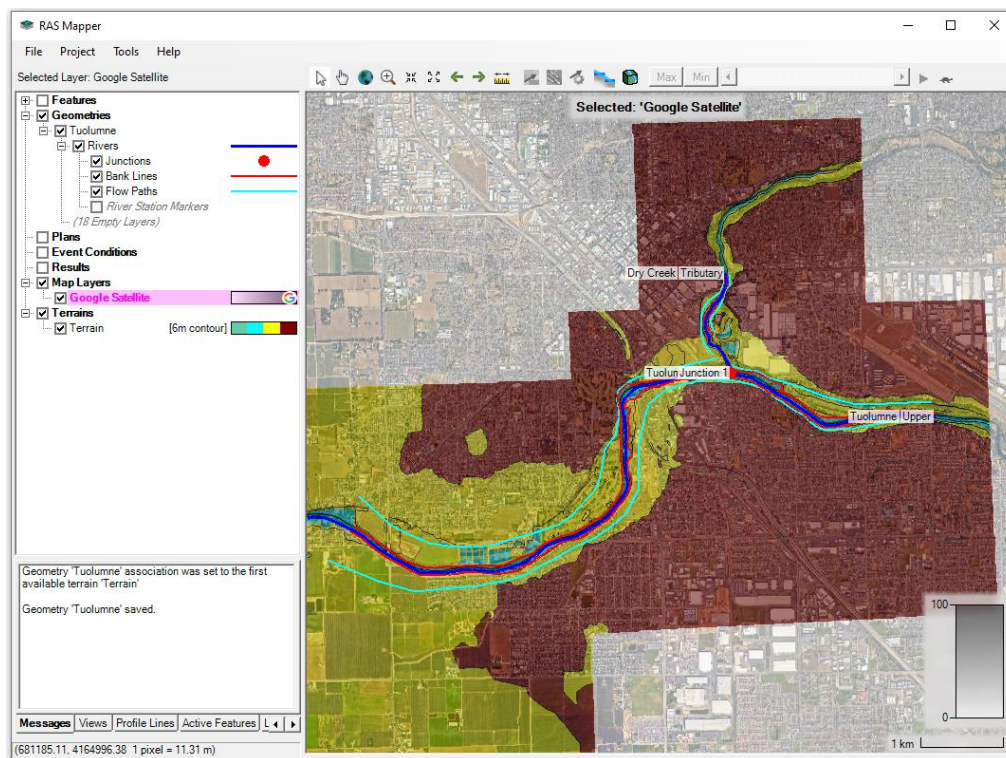


Figura 60. Vista mapa de georreferencia.

#### 5.4.9 Creación de las secciones transversales.

Las secciones transversales deben ubicarse perpendicularmente al sentido del flujo del agua en el canal y en las áreas de llanuras de inundación. Por lo tanto, la mayoría de las líneas de sección transversal deben crearse a partir de un mínimo de cuatro puntos (los puntos finales y los puntos en



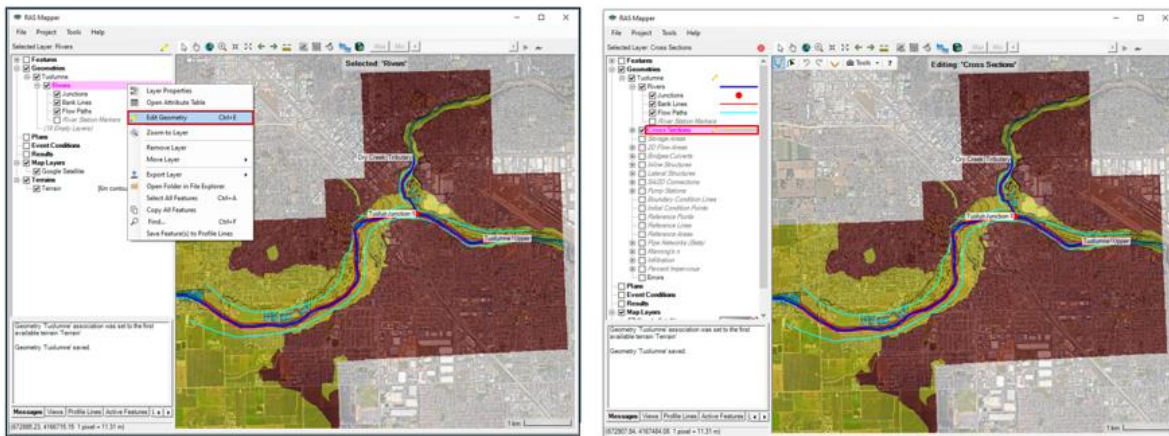


el borde del canal principal). Las secciones transversales también se visualizarán al mirar en dirección aguas abajo; por lo tanto, deben crearse de izquierda a derecha cuando se observa río abajo (RAS Mapper volteará automáticamente la línea para tener la orientación correcta).

Bajo estos parámetros establecidos por la documentación oficial de HEC-RAS, se usa como criterio que la línea que representa las secciones debe mantener perpendicularidad con la línea central del cauce y las líneas de flujo de las banquetas de inundación.

Para iniciar el trazado de las secciones, es necesario:

- Diríjase a la capa “Rivers” y haga clic derecho sobre esta. Se desplegará el menú de opciones; haga clic sobre “Edit Geometry”.
- Seleccionar la capa de “Cross Sections”; de esta forma se inicia la edición de geometría de las secciones transversales.



(a)

(b)

Figura 61. Habilitar la creación de las secciones transversales.

Se iniciará con el tramo aguas arriba del río “Tuolumne”. Este tramo no representa ninguna dificultad si se mantienen los criterios de perpendicularidad con las líneas de flujo; las secciones comprenderán el área establecida por el contorno amarillo, por lo cual se iniciará de izquierda a derecha, cruzando en su totalidad el terreno dentro del rango de elevación representado por la zona amarilla, como se indica en la gráfica a continuación:

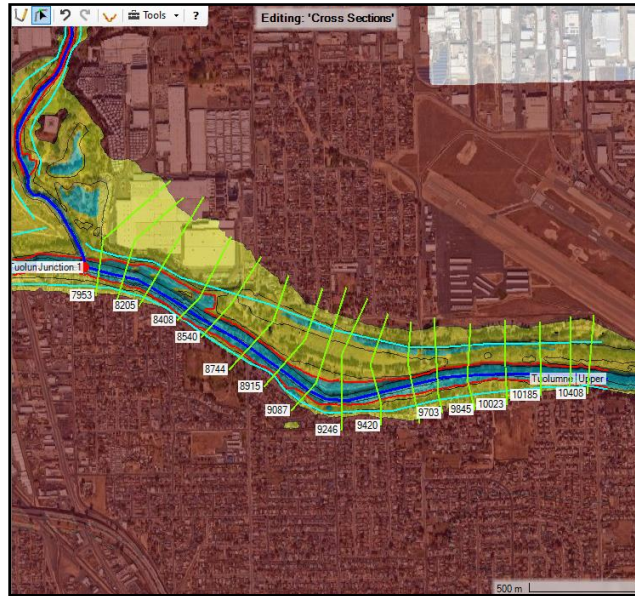


Figura 62. Secciones transversales en tramo inicial.

Se continúa con las secciones transversales aguas abajo hasta visualizar el puente localizado en el río “Tuolumne”. Cuando está presente una estructura en la trayectoria del cauce principal, es necesario crear secciones transversales paralelas a la estructura justo aguas arriba y aguas abajo, esto con el fin de evaluar la hidráulica transitoria al pasar por los estribos del puente y sus pilares.

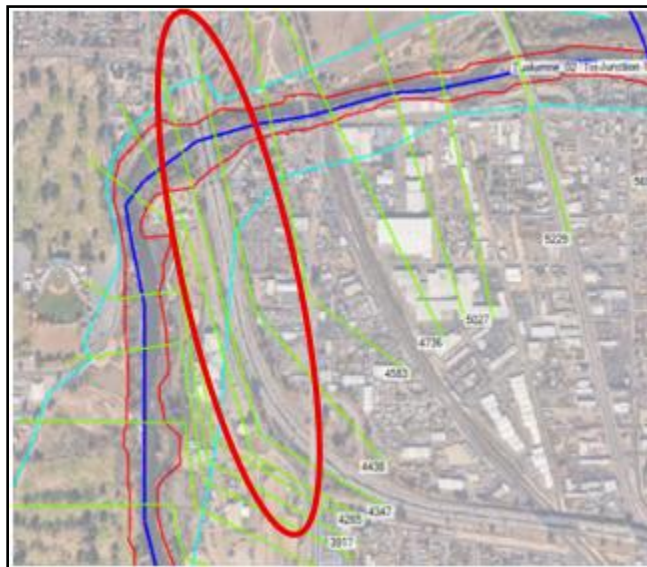


Figura 63. Secciones cerca de una estructura.



Se desactiva la capa de terreno y, con ayuda de la capa de mapa georreferenciado de Google, se localiza el puente donde se creará una sección justo aguas arriba, otra sección justo aguas abajo, y serán paralelas a la orientación del puente. En adelante se mantendrán los criterios de perpendicularidad para el resto de las secciones; mantenga un distanciamiento entre secciones según la geomorfología del río. En meandros del río se disminuye el distanciamiento para evitar cambios bruscos en las secciones transversales que representarán la geometría del río y en tramos rectos se distanciarán las secciones para evitar sobrecargar el modelo con información innecesaria. De igual forma se procede con las secciones que definirán la geometría del tributario “Dry Creek”, resaltando que, bajo su condición de abanico aluvial, solo se crearán secciones hasta donde esté confinado el cauce del tributario, esto es, hasta donde finalizan las líneas de inicio de banca.

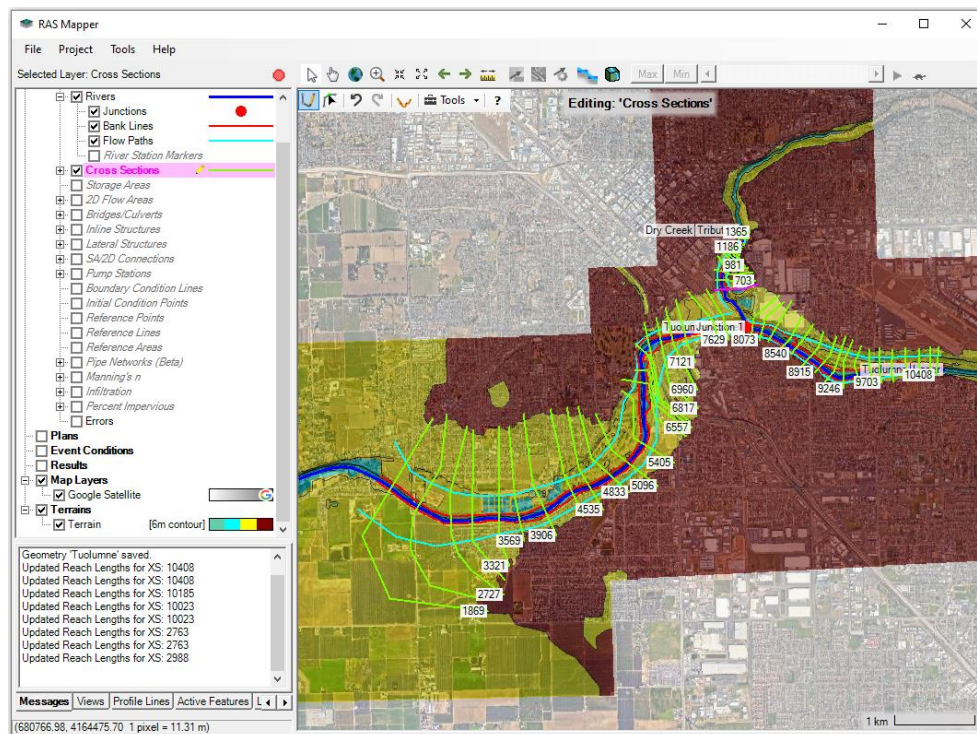


Figura 64. Secciones transversales.

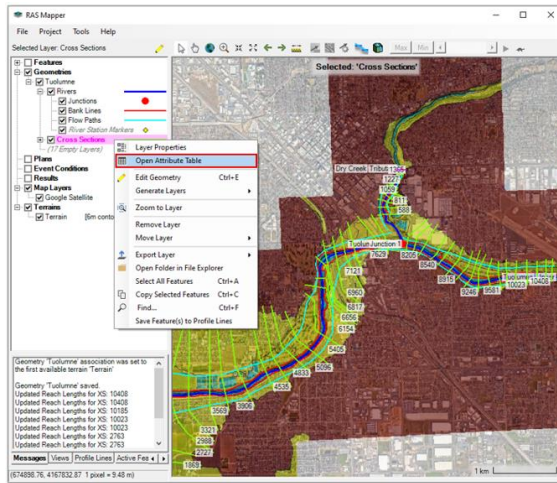
Una vez definidas las secciones transversales, se procede a guardar la información obtenida; para ello es necesario guardar el Mapper en el menú principal de la ventana en “File”; en la opción “save” podrá guardar los cambios realizados. Por último, se confirmará que la tabla de atributos de la capa “Cross Sections” contenga la información del modelo de elevación digital (DEM). Para visualizar la tabla, es necesario seleccionar la capa de “Cross Sections” y hacer clic derecho sobre ella; de esta manera se desplegará una ventana donde se selecciona la opción de “Open Attribute Table”. Esto desplegará una tabla con la información obtenida por las líneas de flujo y las secciones transversales; en la ventana se evidenciarán las elevaciones y estaciones que comprenden cada sección transversal básica. Esta información proviene del modelo de elevación digital (DEM), lo que confirma que la información de la geometría está cargada correctamente.





Universidad  
Industrial de  
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
HIDRÁULICA



(a)

Reach	River	Station	Left Bank	Right Bank	Length	Length Channel	Length FOS	Slope	Collection
1	Dry Creek	Tributary	1233	95.5	52.1	52.1	52.1	44.8	0
2	Dry Creek	Tributary	1288	59.7	88.2	75.1	81.1	53.2	0
3	Dry Creek	Tributary	1227	33	58.6	42.2	40.7	38.7	0
4	Dry Creek	Tributary	1186	29.3	52.7	32.4	32.4	31.6	0
5	Dry Creek	Tributary	1153	26.7	51.8	70.5	64.4	46.8	0
6	Dry Creek	Tributary	1088	40.2	64	27.6	30.1	29.3	0
7	Dry Creek	Tributary	1059	49.8	76.1	44.2	39.3	45.9	0
8	Dry Creek	Tributary	1019	82.6	124.5	36.6	38.3	37.4	0
9	Dry Creek	Tributary	881	164.2	220.8	86.5	82.1	87.2	0
10	Dry Creek	Tributary	899	263.5	289.3	79.9	89.2	124.1	0
11	Dry Creek	Tributary	811	387.1	388	86.2	187.9	120.9	0
12	Dry Creek	Tributary	703	406.4	434.3	120.8	115.4	121.9	0
13	Dry Creek	Tributary	588	377.8	450.3				0
14	Tuolumne	Upper	10403	45.4	110.6	88.1	82.5	86.5	0
15	Tuolumne	Upper	10325	38.7	115.6	128.7	139.3	141.3	0
16	Tuolumne	Upper	10185	69.5	142.1	160.7	161.8	159.5	0
17	Tuolumne	Upper	10023	119.1	164.6	166.6	171.6	167.7	0
18	Tuolumne	Upper	9845	121.9	205.5	142.2	141.3	156.7	0
19	Tuolumne	Upper	9703	113.7	252.4	112.3	121.6	125.4	0
20	Tuolumne	Upper	9681	136.8	217	161	160.5	142.8	0
21	Tuolumne	Upper	9420	120.6	209.6	186.5	174.4	131.9	0
22	Tuolumne	Upper	9246	117.3	225.8	204.6	159.1	86.7	0
23	Tuolumne	Upper	9087	89.2	197.5	172.2	171.7	159.7	0
24	Tuolumne	Upper	8915	79.3	188.7	175.5	171.4	169.8	0

(b)

Figura 65. Abrir tabla de atributos.

Una vez guardado el Ras-Mapper, se verificará que la información sea cargada correctamente al archivo creado de geometría; para esto es necesario abrir la ventana de “edit geometry data” por medio del botón ubicado en el menú principal de la ventana de inicio del HEC-RAS.

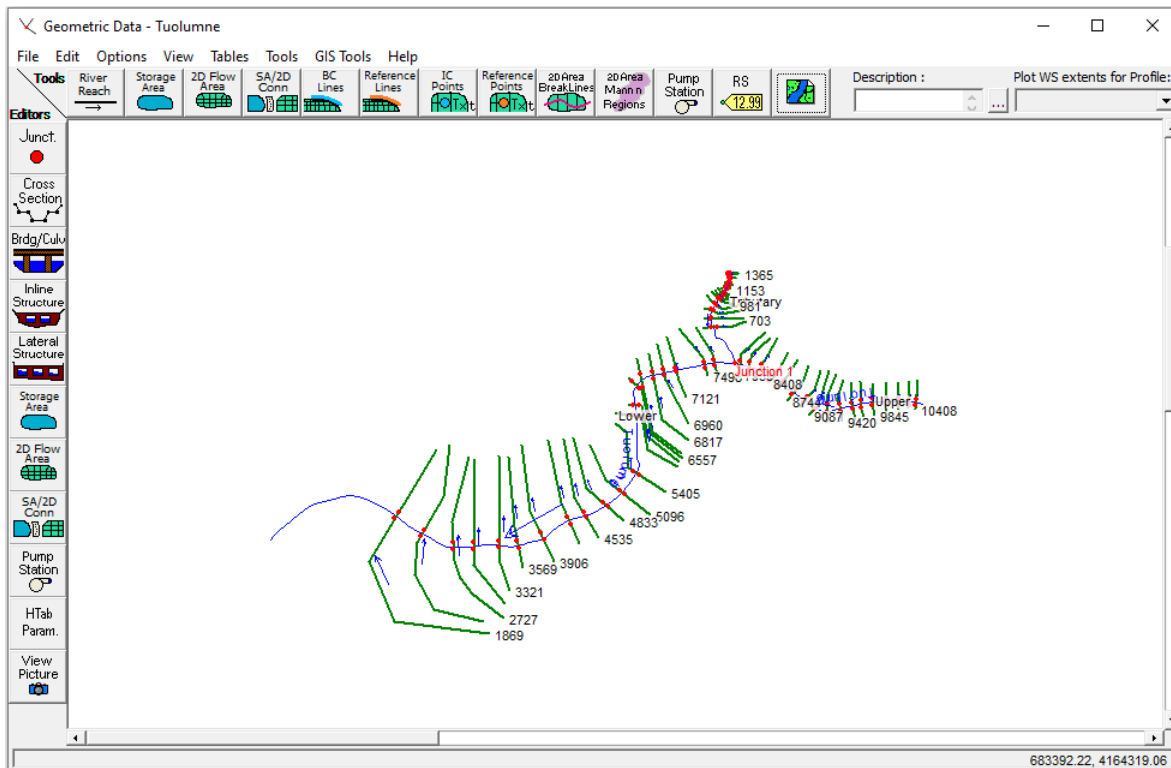


Figura 66. Información cargada del modelo.



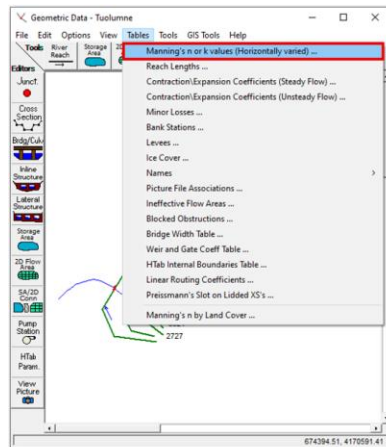


Luego de confirmar que el trazado del río “*Tuolumne*” y el tributario “*Dry Creek*” se cargaran correctamente, podemos generar los archivos de datos de flujo y el plan del modelo a evaluar en la geometría recién creada desde RAS-Mapper.

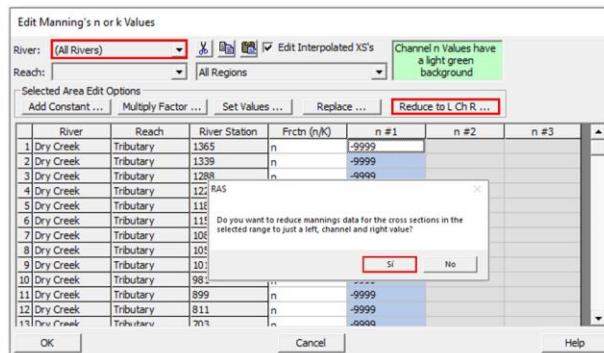
### 5.5 Asignar número de Manning

Una vez creadas las secciones, debe aplicarles el número de Manning. Por medio de los siguientes pasos.

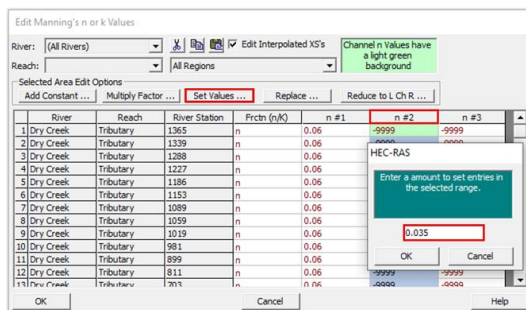
- Vuelva a la ventana “*Geometric data*”, haga clic en “*tables*” y oprima la primera opción (*Manning’s n or k values*).
- El programa desplegará la ventana “*Edit Manning’s n or k values*”. Verifique que en la opción “*Rivers*” esté seleccionado “*All Rivers*”; oprima la opción “*Reduce to L Ch R...*” y dé clic en “*SI*”.
- Luego haga clic sobre n#1, n#2 ó n#3 y dé clic en “*set values*”. Esto desplegará una pequeña ventana emergente donde podrá asignar el número de Manning correspondiente.
- Ingrese los datos. Tenga en cuenta que n#1, n#2 y n#3 hacen referencia a los valores de Manning del banco izquierdo, banca principal y banca derecha, respectivamente. Haga clic en “*OK*” y guarde la geometría ingresando a la pestaña “*file*” y dando clic a la opción “*Save Geometry Data*”.



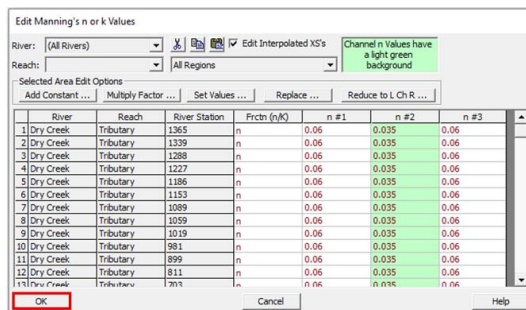
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 67. Asignar número de Manning.



## 5.6 Datos de Flujo

Ingrese al editor de datos para análisis en régimen permanente con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 68. Acceso directo al editor de datos.

Establecemos las condiciones de flujo; para esto:

- Edite el número de perfiles en la casilla “Enter/Edit Number of Profiles (32000 máx)” a 3.
- Ingrese los datos de caudal para las condiciones de flujo dependiendo de los años de retorno para las tres secciones del río. Luego de clic al botón “Reach Boundary Conditions...”.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	PF 1	PF 2	PF 3
1 Dry Creek	Tributary	1421	14.17	70.84	130.35
2 Tuolumne	Upper	8766	892.60	1912.72	4233.49
3 Tuolumne	Lower	5915	906.77	1983.56	4363.84

Figura 69. Tabla con datos de flujo para los distintos periodos de retorno.

Se abrirá la ventana “Steady Flow Boundary Conditions”, en la cual podrá ingresar las condiciones de contorno para la modelación; oprima la opción “Downstream” (aguas abajo) y haga clic en “Normal Depth”. Se abrirá la ventana emergente donde podrá ingresar los valores de la pendiente de 0.001 por último, dé clic en “OK”.

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Dry Creek	Tributary	all		Junction=Junction 1
Tuolumne	Upper	all		Junction=Junction 1
Tuolumne	Lower	all	Junction=Junction 1	

Figura 70. Ingreso de condiciones de borde.



Para guardar los datos de flujo.

- Diríjase a la pestaña “File” y haga clic en la opción “Save Flow Data As”.
- Se desplegará la ventana “Save Flow Data As”. Ingrese el nombre del archivo (Tuolumne) y haga clic en “OK”.

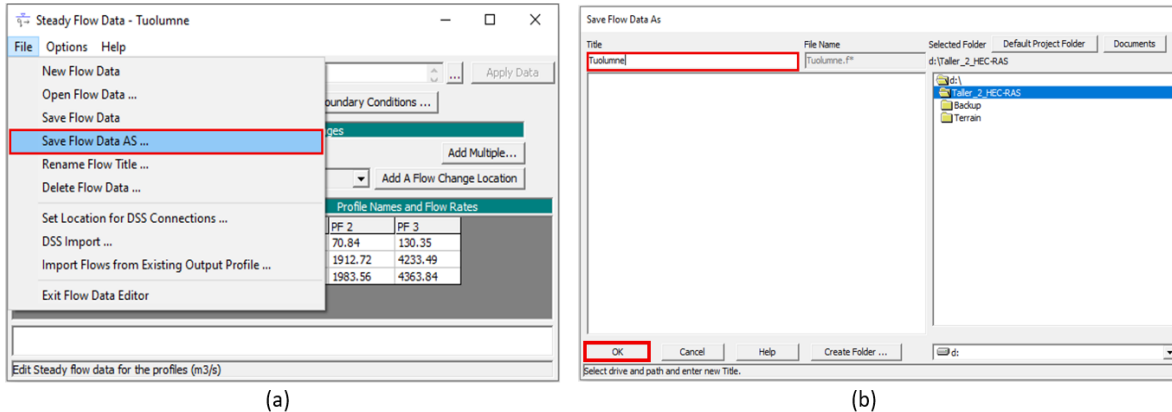


Figura 71. Guardado de datos de flujo.

En el panel de información correspondiente se puede constatar que los datos de flujo han sido importados exitosamente al sistema.

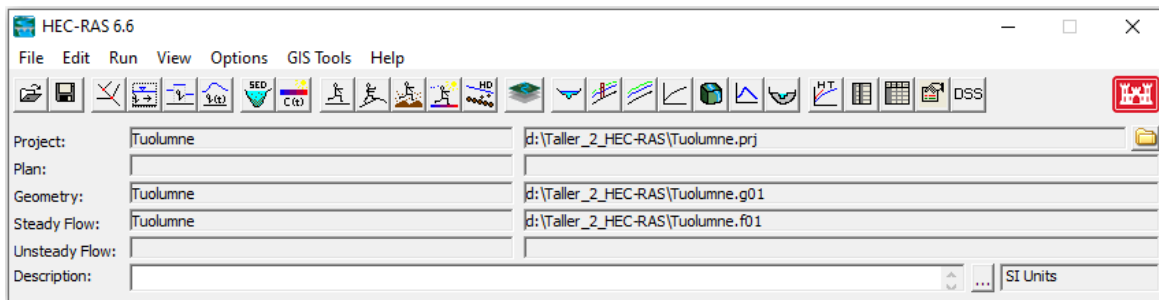


Figura 72. Verificación de cargue de datos de flujo.



### 5.7 Corrida del programa

Ingrese a “Steady Flow Analysis” por medio del botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 73. Acceso directo a ejecutar o inicio de simulación.

En la ventana desplegada se asignará un nombre corto (short ID) que identifique el plan que desea correr “Steady Flow”. En la selección de régimen de flujo se marca régimen subcrítico. Luego diríjase a la pestaña “File” y dé clic en “Save as”; busque su carpeta de trabajo y guarde el archivo con el nombre “Tuolumne”.

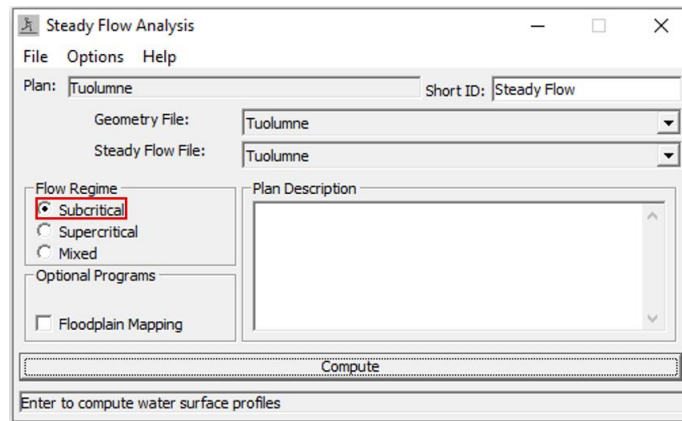


Figura 74. Aplicar criterios al análisis.

Una vez asignado nombre y seleccionado el tipo de régimen del flujo, se asignará un barrido para el cálculo del tirante crítico a lo largo de todas las secciones. Para esto

- Oprima la pestaña *Options*, haga clic en la opción “Critical Depth Output Option...” y diríjase a “Select Output Options”.
- Se abrirá una ventana emergente. Oprima el cuadro “Check Critical Always Calculated”; de esta forma se facilita la interpretación gráfica de resultados. Finalmente, haga clic en *OK*.

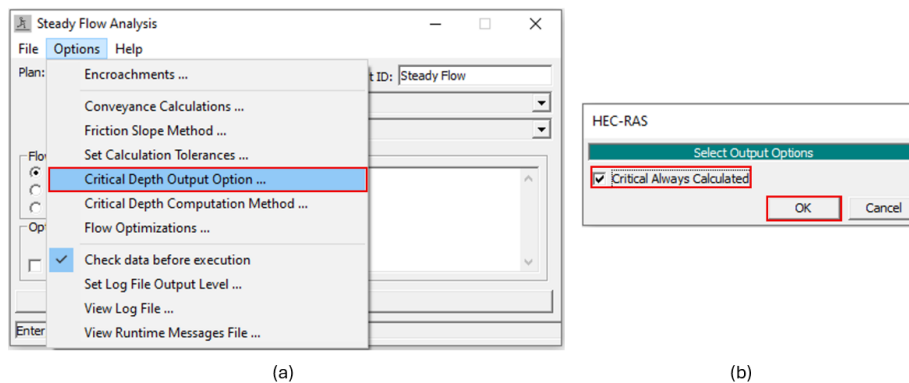


Figura 75. Aplicar criterios al análisis.



Se computan los datos suministrados y se abrirá la ventana “HEC-RAS Finished Computations”; espere a que carguen los datos y cierre la ventana.

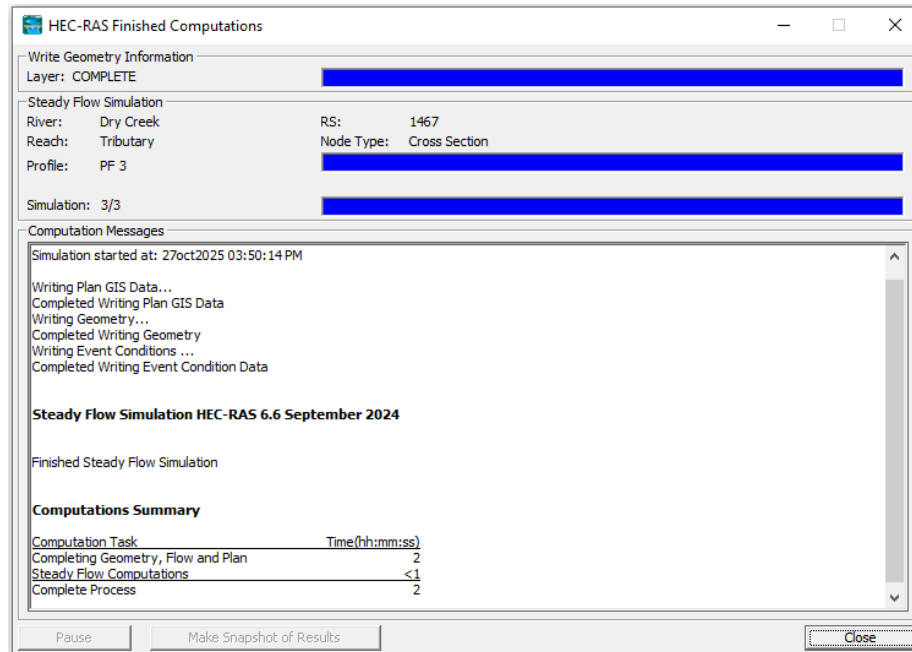


Figura 76. Corrida del programa.

Puede comprobar que el plan fue creado de forma correcta si visualiza el nombre de su plan en la casilla de Plan.

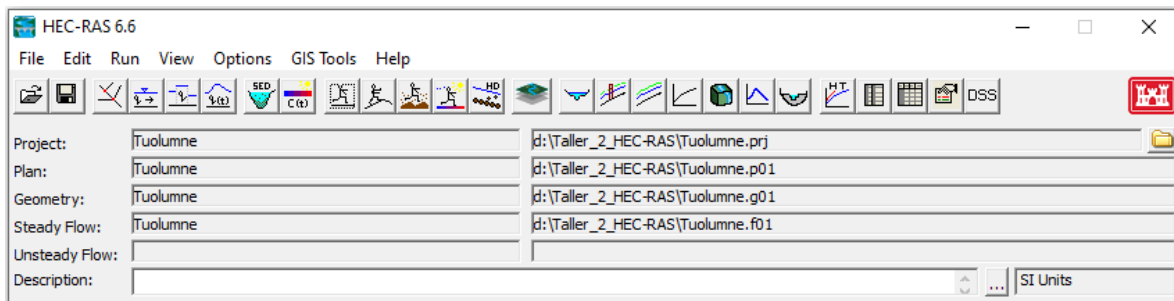


Figura 747. Verificación cargue de datos plan.




## 5.8 Verificación de resultados

Ingrese al visor de la tabla de resultados de la simulación con el botón de acceso rápido.



Figura 78. Visor de resultados principales.

El ícono llevará a la siguiente tabla donde se muestran las características y resultados por cada perfil. Por defecto se abrirá la tabla de resultados del perfil 1; para cambiar de perfil siga la ruta “Options” > “Profiles” > dé clic en “Clear All” > Escoja el perfil y oprima la flecha > “haga clic en “OK”.



Profile Output Table - Standard Table 1

File

Options

Std. Tables

Locations

Help

HEC-RAS

Plan: Steady Flow

River: Tuolumne

Reach: Upper

Profile: PF 1

Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Upper	8766	PF 1	892.60	10.71	19.52		19.63	0.000212	1.51	784.69	206.76	0.18
Upper	8624	PF 1	892.60	10.95	19.50		19.60	0.000190	1.46	805.09	207.38	0.17
Upper	8540	PF 1	892.60	10.71	19.47		19.58	0.000197	1.53	796.83	193.93	0.18
Upper	8418	PF 1	892.60	10.65	19.46		19.55	0.000184	1.46	812.58	199.65	0.17
Upper	8331	PF 1	892.60	10.68	19.43		19.54	0.000197	1.53	787.80	188.47	0.18
Upper	8243	PF 1	892.60	10.74	19.41		19.52	0.000207	1.54	771.20	185.39	0.18
Upper	8155	PF 1	892.60	10.55	19.40		19.50	0.000200	1.44	800.77	190.17	0.18
Upper	8070	PF 1	892.60	10.59	19.39		19.48	0.000187	1.39	836.03	218.61	0.17
Upper	7911	PF 1	892.60	10.40	19.36		19.45	0.000171	1.35	949.26	325.44	0.16
Upper	7708	PF 1	892.60	10.25	19.34		19.41	0.000147	1.21	1005.29	311.06	0.15
Upper	7498	PF 1	892.60	10.37	19.32		19.38	0.000136	1.10	1127.60	355.34	0.14
Upper	7244	PF 1	892.60	10.85	19.25		19.33	0.000187	1.39	861.48	264.47	0.17
Upper	7077	PF 1	892.60	11.06	19.21		19.30	0.000209	1.39	868.59	267.60	0.18
Upper	6878	PF 1	892.60	11.13	19.16		19.26	0.000207	1.45	819.39	302.34	0.18
Upper	6642	PF 1	892.60	10.81	19.10		19.20	0.000290	1.39	682.97	160.08	0.20
Upper	6496	PF 1	892.60	10.65	19.08		19.16	0.000212	1.31	738.54	164.67	0.18
Upper	6349	PF 1	892.60	10.53	19.04		19.13	0.000180	1.33	730.17	147.72	0.17
Upper	6248	PF 1	892.60	10.40	19.02		19.11	0.000185	1.43	832.22	247.59	0.17

Total flow in cross section.

Figura 759. Visor de resultados.

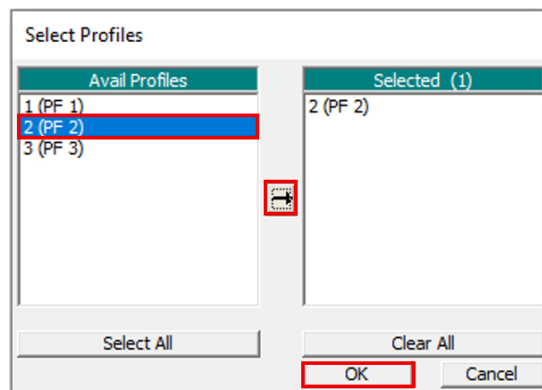


Figura 80. Cambio de perfil para visualizar resultados.



Ingrese al visor de la tabla de resultados de la simulación con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 81. Visor de resultados por sección.

Proceda a examinar los resultados obtenidos en cada una de las secciones transversales. En las figuras (a) y (b) se puede evidenciar los resultados de dos secciones transversales a lo largo del tramo seleccionado, entre los resultados a destacar están:

- **Cotas hidráulicas: E.G. Elev, W.S. Elev, Crit. W.S.** Son la base para el perfil longitudinal del río. Análisis de remanso, caídas, transiciones.
- **Capacidad y flujo: Q total, Área mojada, Top width.** Son clave para diseño de encauzamientos o estructuras. Saber si la sección aguanta una avenida.
- **Condiciones dinámicas: Velocidad, Froude Number.**  
El Número de Froude define el régimen:  
Fr < 1 Subcrítico (control aguas abajo, flujo estable).  
Fr = 1 Crítico (puntos de transición, riesgo de resalto).  
Fr > 1 Supercrítico (control aguas arriba, flujos rápidos y con riesgo de erosión).
- **Estabilidad del cauce:** Shear stress, Hydraulic Radius. Útiles para diagnosticar tramos con pérdidas excesivas de energía.

Cross Section Output

File

Type

Options

Help

River:

Tuolumne

Profile:

PF 1

Reach

Upper

RS:

8418

↓

↑

Plan:

Steady Flow

Plan: Steady Flow

Tuolumne

Upper

RS: 8418

Profile: PF 1

E.G. Elev (m)	19.55	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.10	Wt. n-Val.	0.060	0.035	0.060
W.S. Elev (m)	19.46	Reach Len. (m)	73.20	86.70	88.90
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	18.00	542.93	251.65
E.G. Slope (m/m)	0.000184	Area (m2)	18.00	542.93	251.65
Q Total (m3/s)	892.60	Flow (m3/s)	5.23	791.81	95.56
Top Width (m)	199.65	Top Width (m)	11.96	73.30	114.39
Vel Total (m/s)	1.10	Avg. Vel. (m/s)	0.29	1.46	0.38
Max Chl Dpth (m)	8.81	Hydr. Depth (m)	1.51	7.41	2.20
Conv. Total (m3/s)	65740.9	Conv. (m3/s)	385.0	58317.9	7038.0
Length Wtd. (m)	86.87	Wetted Per. (m)	12.39	74.48	115.77
Min Ch El (m)	10.65	Shear (N/m2)	2.63	13.18	3.93
Alpha	1.58	Stream Power (N/m s)	0.76	19.22	1.49
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	136.02	1481.27	482.35
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	69.23	204.53	241.63

Errors, Warnings and Notes

Select Profile

Figura 76. Verificación de resultados.





## 5. 9 Resultados gráficos

Ingresa al visor del perfil longitudinal de la lámina de agua con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 77. Visor perfil longitudinal lámina de agua.

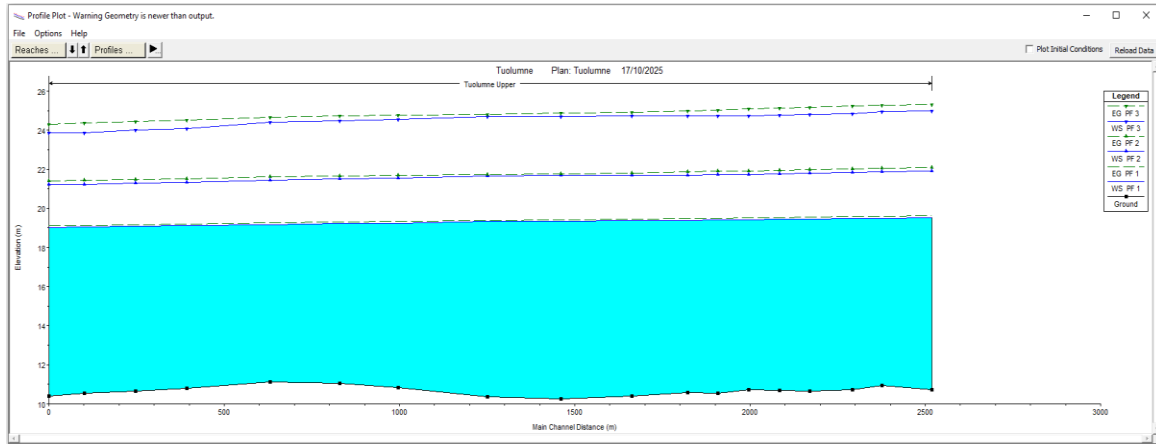


Figura 784. Gráfico longitudinal de la lámina de agua.

Ingresa al visor de variación de distancias a lo largo del cauce con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 795. Visor de variación de distancias a lo largo del cauce

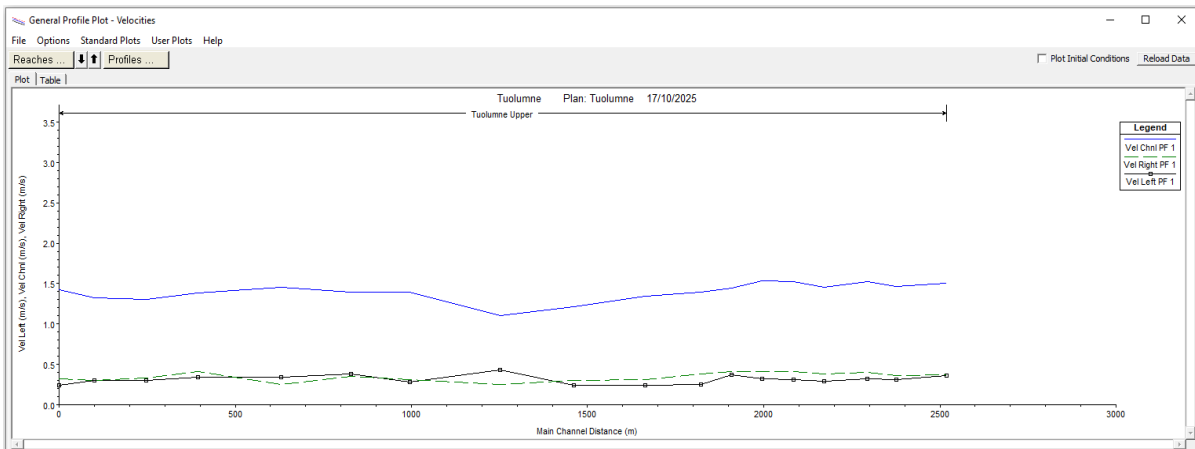


Figura 806. Variación de distancias a lo largo del cauce



Ingresa al visor de resultados del análisis de las secciones transversales con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 817. Visor de resultados del análisis de las secciones transversales.

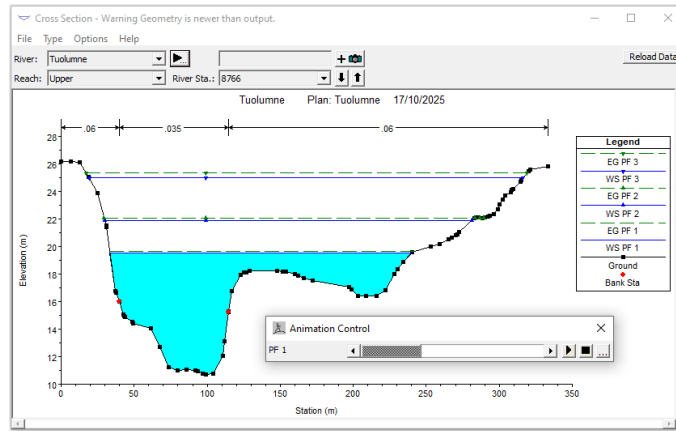


Figura 828. Resultados del análisis de las secciones transversales

Ingresa al icono de gráficos de perspectiva 3D con el botón de acceso rápido presentado al inicio de la guía.



Figura 839. Gráficos de perspectiva 3D

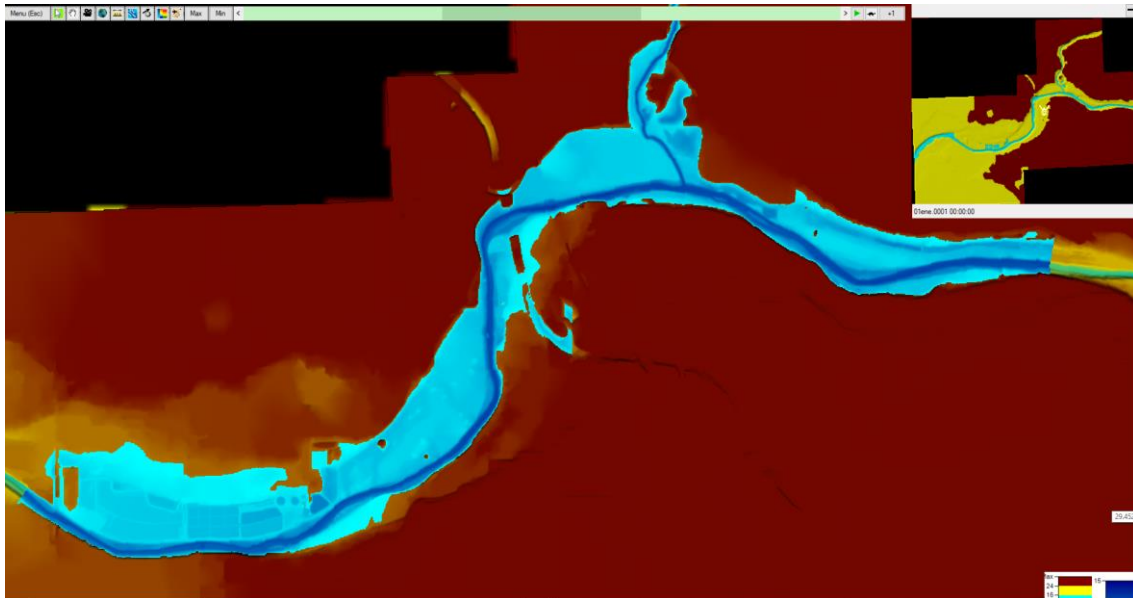


Figura 90. Resultados en 3D

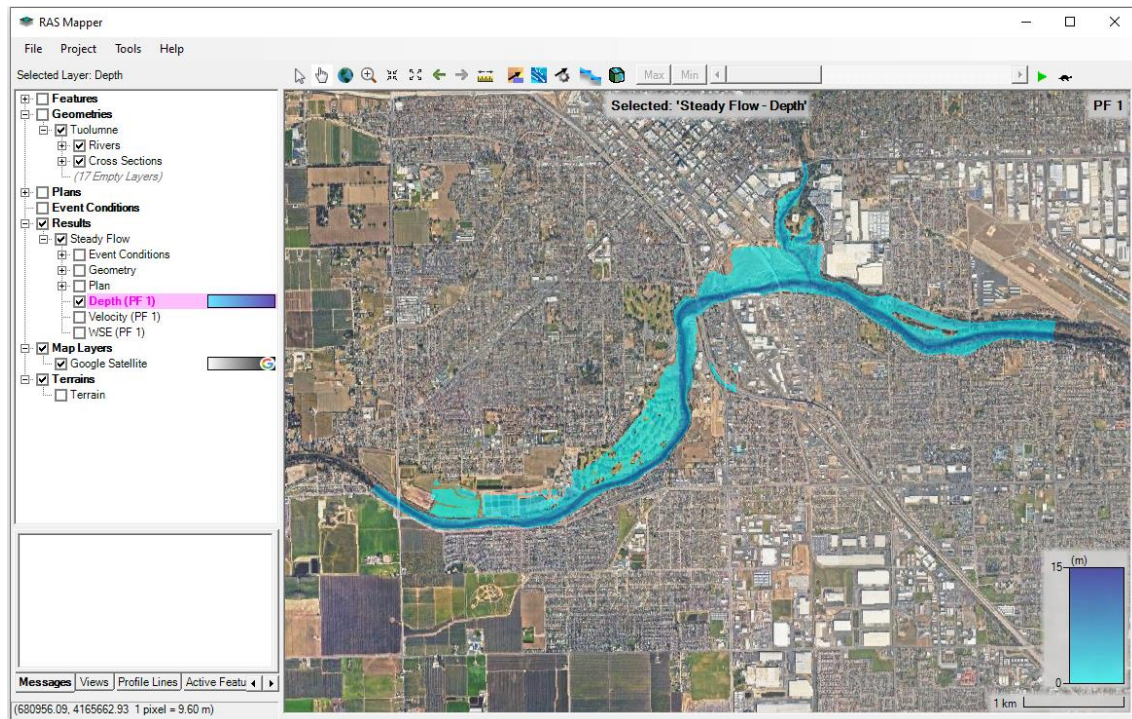


Figura 91. Resultado RAS Mapper Perfil 1.

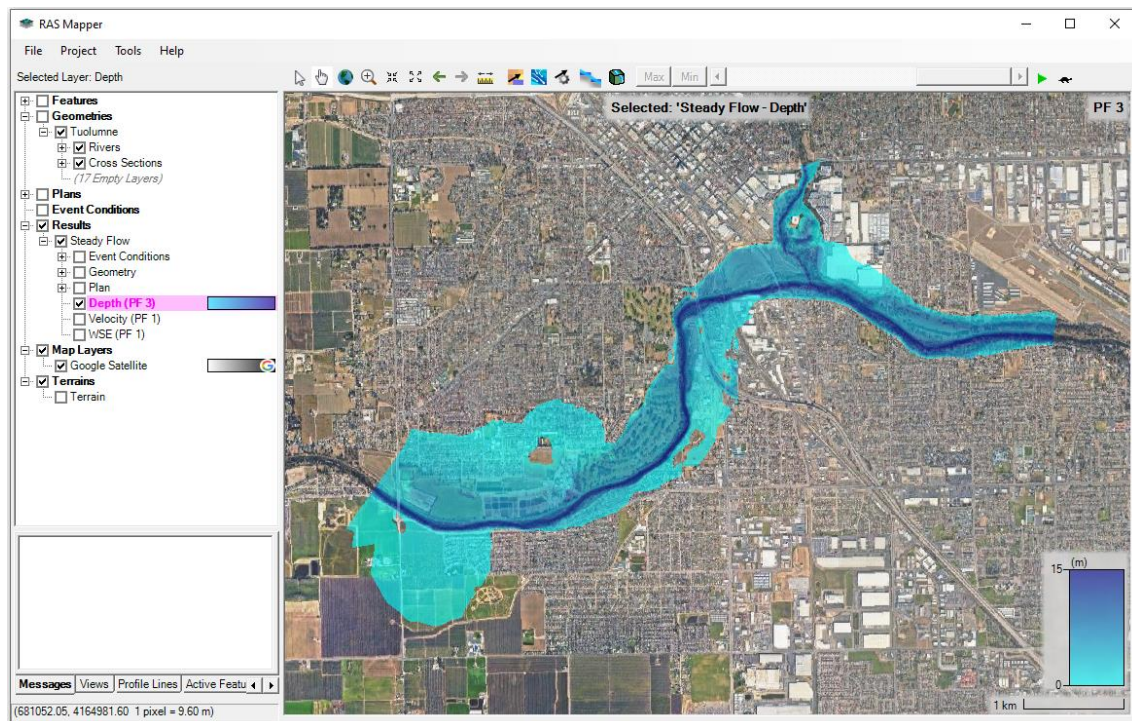


Figura 842. Resultado RAS Mapper Perfil 3.





### 5.10 Visualizar inundación en Google Earth.

**Nota:** Para el siguiente ejercicio de visualización se recomienda instalar Google Earth.

Para la generación de una visualización tridimensional del mapa de inundaciones, se empleó la plataforma Google Earth como herramienta de análisis espacial. Esta implementación permite llevar a cabo una exploración interactiva del fenómeno de inundación mediante la navegación virtual. Para esto, inicialmente haga clic derecho sobre la capa “Steady Flow” y en el menú que se despliega haga clic en “Create a New Results Map Layer...”.

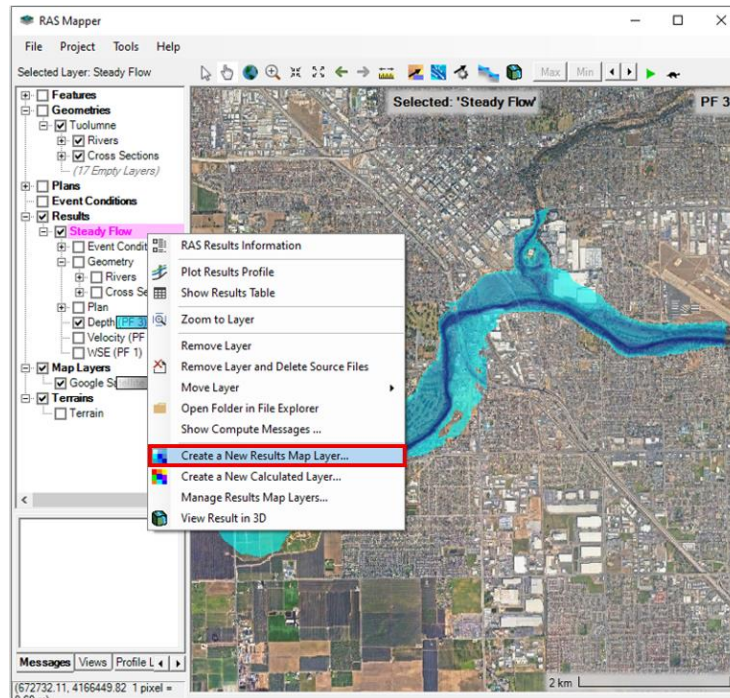


Figura 853. Generar vista 3D en Google Earth.

Se abrirá la siguiente ventana donde debe dar clic sobre “Inundation Boundary” y “PF3”. Posteriormente oprima “Add Map”.

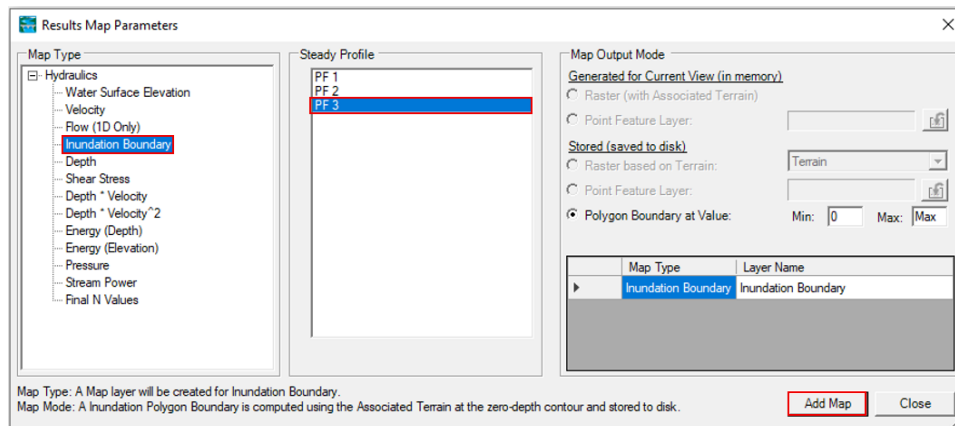


Figura 864. Create New Results Map Layer.



Observará que se creó una nueva capa denominada “Inundation Boundary”. Haga clic derecho sobre esta y en el menú desplegado elija la opción “Compute/Update Stored Map (Map not created)”.

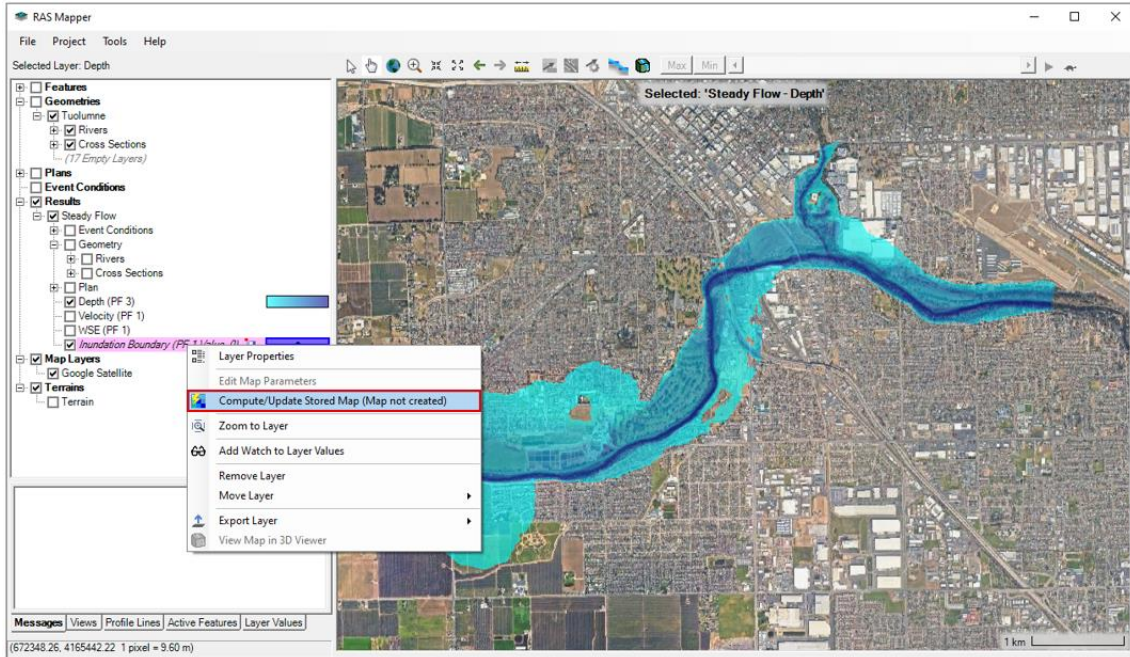


Figura 875. Compute/Update Stored Map

Se generará un letrero advirtiéndole de la creación de la capa y otro mostrando la ubicación del archivo correspondiente a la misma. Dé clic en aceptar.

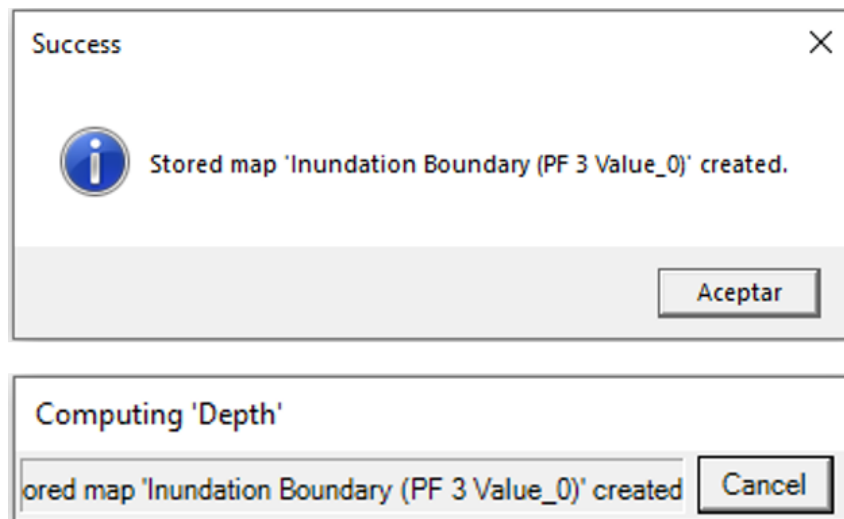


Figura 886. Capa creada.



Haga clic derecho sobre la capa “Inundation Boundary” y en el menú desplegado elija la opción “Open Attribute Table”, se abrirá la tabla “Depth- Layer Properties”, en esta se pueden observar propiedades tales como la longitud y área del polígono de inundación.

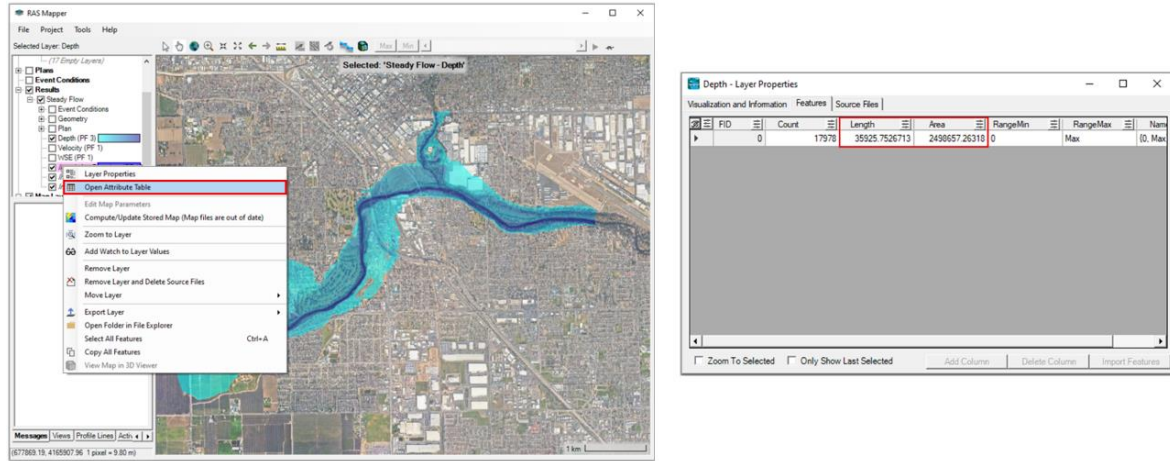


Figura 897. Propiedades (longitud y área) del polígono de área de inundación para un perfil dado.

Ahora debe exportar el archivo a 3D KML. Para lograr esto, inicialmente dé clic derecho sobre la capa “Inundation Boundary PF3”; en el menú desplegado oprima la opción “Export Layer”. Se abrirá otro submenú donde debe elegir la opción “Save Inundation to 3D KML”.

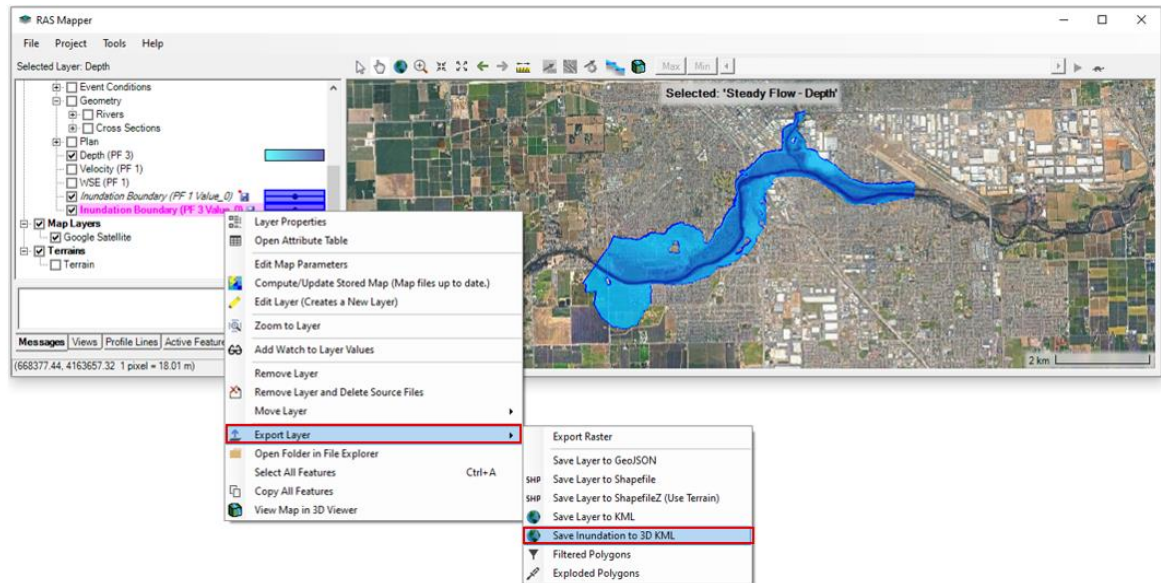


Figura 908. Exportar archivo a 3D KML.

Se abrirá la ventana "3D KML Export"; dando clic sobre la carpeta, podrá elegir la ubicación de guardado del archivo. En la casilla “Interior Polygon (Cell) Size (m)” introduzca el valor 50, ya que es el valor sugerido por la guía de HEC\_RAS. Finalmente, dé clic en “OK”.



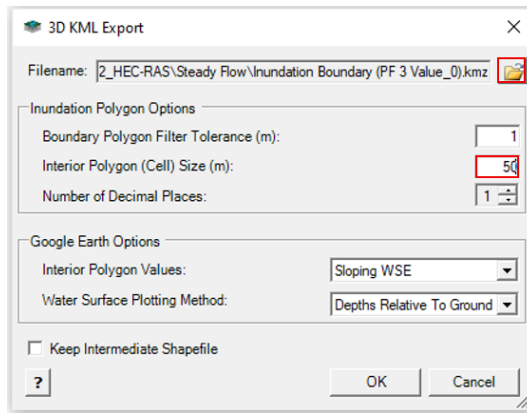


Figura 919. Guardar archivo tipo 3D KML.

Una vez completado el procedimiento anterior, es necesario acceder al directorio donde se almacenó previamente el archivo y proceder a su apertura.

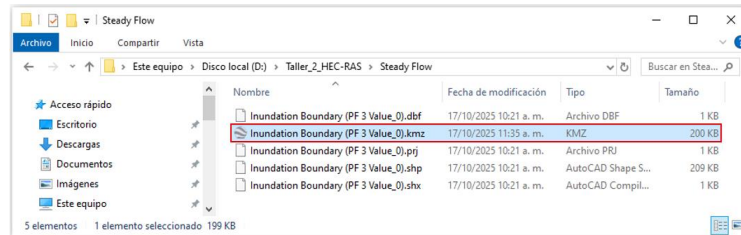


Figura 100. Apertura de archivo tipo 3D KML.

Finalmente, es posible visualizar el escenario de inundación mediante la plataforma Google Earth.

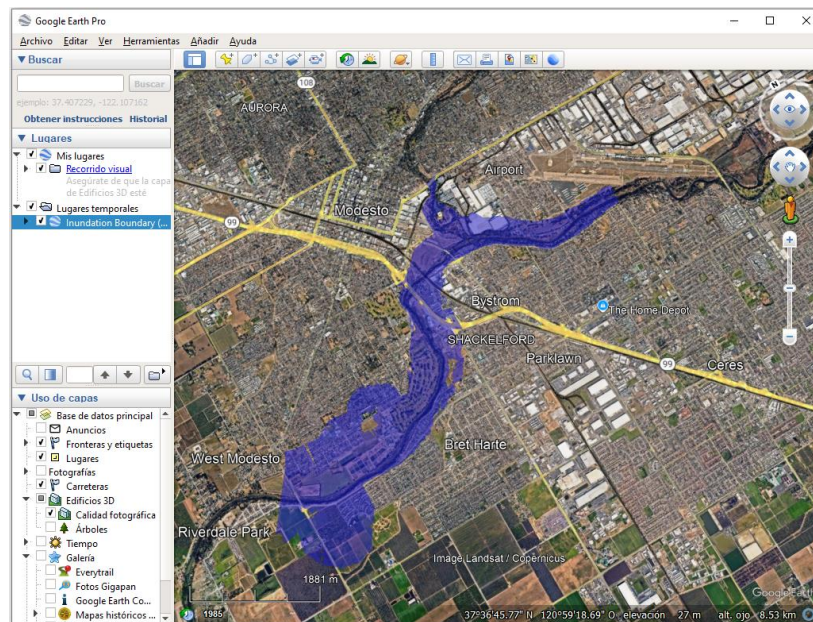


Figura 101. Vista del escenario de inundación en Google Earth.





Universidad  
Industrial de  
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
HIDRÁULICA

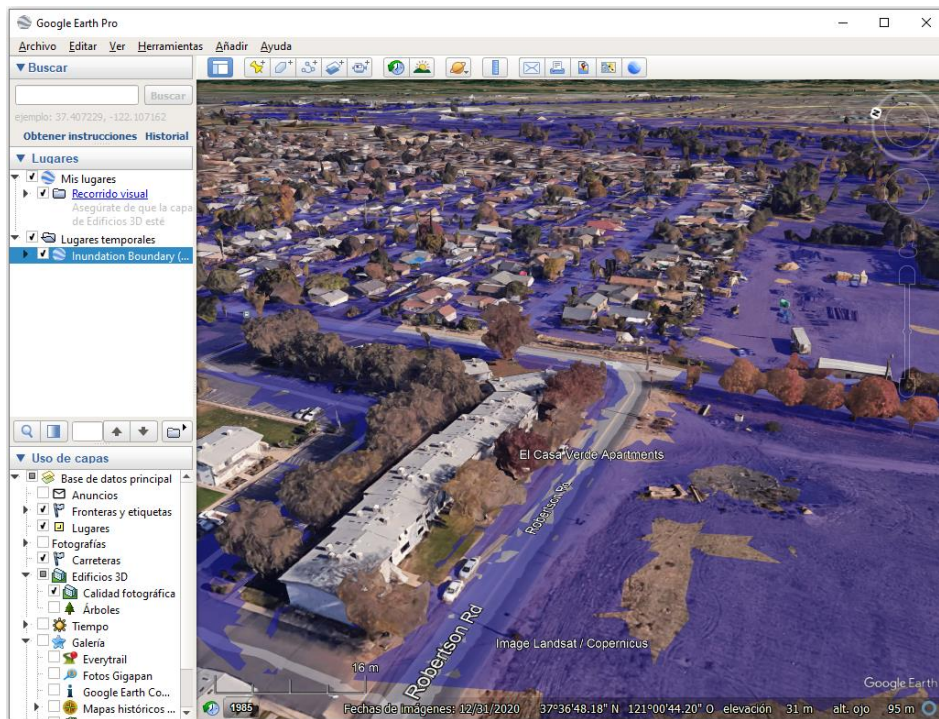


Figura 102. Vista del escenario de inundación en Google Earth



## 6. ANÁLISIS REQUERIDOS

---

### PARTE A: VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO BASE

#### A.1 Análisis de Consistencia del Modelo

Evalúen sistemáticamente la calidad del modelo mediante:

1. **Revisión de mensajes de error y advertencias:** Documenten todos los errores/advertencias generadas durante la simulación. Clasifíquenlos por:
  - Críticos (impiden convergencia)
  - Moderados (afectan precisión)
  - Menores (informativos)
2. **Análisis de continuidad hidráulica:** Para cada perfil, verifiquen:
  - Conservación de masa entre secciones (Q debe ser constante en cada tramo)
  - Identificar pérdidas de energía anómalas ( $\Delta E/\Delta L >$  valores esperados)
  - Detectar transiciones subcrítico-supercrítico no deseadas
3. **Evaluación de secciones críticas:** Identifiquen y documenten:
  - Secciones con número de Froude cercano a 1.0 ( $0.85 < Fr < 1.15$ )
  - Secciones con velocidades extremas ( $v > 5$  m/s o  $v < 0.3$  m/s)
  - Áreas con tirantes anómalos comparados con secciones adyacentes

**Entregable A.1:** Tabla resumen de errores/advertencias y su resolución + gráfico del perfil longitudinal identificando secciones problemáticas.

---

#### A.2 Reasignación Fundamentada de Coeficientes de Rugosidad

**Contexto del escenario:** El río Tuolumne en California presenta un lecho de grava-arena en el canal principal y planicies de inundación con diferentes usos del suelo.

**Tareas:**

1. **Investigación bibliográfica:**
  - Consulten Chow (1959), Arcement & Schneider (1989), o tablas de la USGS
  - Obtengan imágenes satelitales de alta resolución (Google Earth Pro) Escojan una ubicación representativa para cada tramo para hacer la asignación.
  - Identifiquen: tipo de vegetación ribereña, sinuosidad del cauce, material del lecho, estructuras existentes
2. **Asignación diferenciada de Manning :**  
Propongan valores para:
  - **Canal principal** (n#2): Consideren composición del lecho, irregularidades, alineación
  - **Margen izquierda** (n#1): Analicen cobertura vegetal, obstrucciones
  - **Margen derecha** (n#3): Puede diferir de n#1 si hay asimetría en uso del suelo
3. **Documentación :**
  - Tabla con valores propuestos por tramo (Upper, Lower, Tributary)
  - Mosaico fotográfico con anotaciones justificando cada valor
  - Referencias bibliográficas completas

**Entregable A.2:** Documento de 1-2 páginas con propuesta de rugosidades + archivo HEC-RAS con geometría actualizada.

---



## PARTE B: ANÁLISIS DE FRECUENCIA Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA

### B.1 Construcción de Curva de Duración de Caudales

**Datos proporcionados:** Serie temporal de caudales máximos anuales de la estación asignada (archivo Excel "DatosCaudal\_Estudiantes\_Taller\_2.X.xlsx")

Grupos	Estación asignada
Grupo 1	23197430 - CONQUISTADOR EL
Grupo 2	23127060 – SANTA ROSA
Grupo 3	23147020 – PUENTE FERROCARRIL
Grupo 4	23187280 – SITIO NUEVO
Grupo 5	23197130 – PUENTE SARDINAS
Grupo 6	23197370 – SAN RAFAEL
Grupo 7	24017570 – SAN BENITO
Grupo 8	24017580 – JUSTO PASTOR GÓMEZ
Grupo 9	24027030 - NEMIZAQUE
Grupo 10	24027050 – PUENTE LLANO

Nota: Los datos de caudal de las estaciones fueron adaptados para el sitio de estudio para cumplir con los requerimientos del ejercicio. Por lo tanto, no se pueden usar para otros proyectos.

#### Procedimiento:

##### 1. Análisis estadístico:

- Calculen estadísticas básicas:  $Q_{\text{medio}}$ ,  $Q_{\text{max}}$ ,  $Q_{\text{min}}$ , desviación estándar, coeficiente de variación
- Construyan la Curva de Duración de Caudal (CDC)
  1. Ordenen caudales de mayor a menor
  2. Calculen probabilidad de excedencia
  3. Grafiquen CDC en escala semi-logarítmica (eje Y: Q en escala log)

##### 2. Determinación de caudales de diseño:

Obtengan por interpolación:

- $Q_{10\%}$ : Caudal excedido el 10% del tiempo (crecientes frecuentes)
- $Q_{50\%}$ : Caudal mediano (condiciones típicas)
- $Q_{95\%}$ : Caudal excedido el 95% del tiempo (estiaje severo)

##### 3. Distribución espacial del caudal:

Apliquen la regla de distribución en la confluencia:

- **Tuolumne Upper:** 70% del  $Q_{\text{diseño}}$
- **Dry Creek Tributary:** 30% del  $Q_{\text{diseño}}$
- **Tuolumne Lower:** 100% del  $Q_{\text{diseño}}$  (suma de Upper + Tributary)

**Justificación:** Basada en relación de áreas de cuenca (~ratio 7:3 documentado en estudios del USGS para esta zona)

**Entregable B.1:** Gráfico CDC con identificación de  $Q_{10\%}$ ,  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{95\%}$  + tabla de caudales por tramo y perfil.



## B.2 Simulación de Escenarios Hidrológicos

### Configuración del modelo:

- **Régimen:** Subcrítico
- **Condición de frontera aguas abajo:** Normal Depth con  $S_o = 0.005$
- **Perfiles:** PF1 ( $Q_{10\%}$ ), PF2 ( $Q_{50\%}$ ), PF3 ( $Q_{95\%}$ )

### Análisis requerido:

1. Corran el modelo para la configuración especificada
2. Exporten resultados de todas las secciones del tramo **Tuolumne Lower**
3. Para cada perfil, calculen promedio para el tramo de:
  - Profundidad del flujo ( $y$ )
  - Velocidad media ( $V$ )
  - Ancho del espejo de agua ( $T$ )
  - Número de Froude ( $Fr$ )

### Cálculo del área total de inundación:

- En RAS Mapper, generen mapas de "Inundation Boundary" para cada perfil
- Exporten polígonos y obtengan áreas en  $\text{km}^2$
- Comparen cómo crece el área de inundación con el caudal (para cada perfil)

**Entregable B.2:** Tabla comparativa de resultados promedio + gráficos de perfiles longitudinales superpuestos (WS Elev, Crit WS, Energy Grade) + mapas de inundación.

## PARTE C: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARAMÉTRICA

### C.1 Sensibilidad a la Condición de Frontera Aguas Abajo

**Objetivo:** Comprender cómo la pendiente en la frontera aguas abajo para Cálculo de profundidad normal afecta el perfil de la superficie del agua y determinar la longitud de influencia de la condición de frontera.

#### Diseño experimental:

Escenario	Pendiente $S_o$	Interpretación física
CF-1	0.0005	Remanso muy suave (río muy plano)
CF-2	0.005	<b>Caso base</b> (pendiente moderada)
CF-3	0.05	Pendiente pronunciada (cauce montañoso)

#### Procedimiento (para perfil $Q_{50\%}$ únicamente):

1. Corran el modelo para cada escenario CF-1, CF-2, CF-3
2. Para cada escenario, Exporten elevaciones de lámina de agua (WS Elev) de todas las secciones del **Tuolumne Lower**
3. Grafiquen perfiles longitudinales superpuestos
4. Calculen diferencias absolutas:  $\Delta WS = |WS\_Elev(CF-i) - WS\_Elev(CF-2)|$ , siendo  $i=1$  o  $i=3$

#### Análisis crítico:

- Identifiquen la **distancia de retroceso** (backwater distance): punto aguas arriba donde  $\Delta WS < 0.03$  m (despreciable)
- Expliquen físicamente por qué pendientes menores generan remansos más largos
- Relacionen con el concepto de **control hidráulico** (aguas abajo en subcrítico)



**Métricas de comparación** (promedio para Tuolumne Lower):

Variable	CF-1 vs CF-2	CF-3 vs CF-2
$\Delta y$ (m)		
$\Delta V$ (m/s)		
$\Delta Fr$ (-)		
$\Delta \text{Área inundación}$ (%)		

**Entregable C.1:** Gráfico de perfiles longitudinales + gráfico de  $\Delta WSE$  vs distancia + tabla de métricas + análisis de longitud de influencia.

## C.2 Sensibilidad a la Rugosidad del Canal Principal

Verifiquen cómo las variaciones en la rugosidad del canal principal ( $n_2$ ) afectan la velocidad y la elevación de la superficie de agua.

**Diseño experimental:**

Escenario	Factor de ajuste $n_2$	Valor ajustado
n2 - 1	-50%	
n2 - 2	-25%	
n2 - 3	<b>0% (base)</b>	<b>(Valor base)</b>
n2 - 4	+25%	
n2 - 5	+50%	

**Mantener constantes:**  $n_1$  y  $n_3$  en valores del caso base

**Procedimiento** (para perfil  $Q_{50\%}$ , únicamente – condiciones promedio):

1. Corran el modelo para los 5 escenarios
2. Para el **Tuolumne Lower**, extraigan promedios de:
  - Profundidad de la superficie de agua
  - Velocidad en el canal
  - Área de inundación

**Análisis gráfico:**

1. **Gráfico 1:**  $n_2$  (eje X) vs WSE (eje Y)
2. **Gráfico 2:**  $n_2$  (eje X) vs Vel Chnl (eje Y)
3. **Gráfico 3:**  $n_2$  (eje X) vs Área inundación (eje Y)

**Análisis de sensibilidad:**

- Calculen sensibilidad normalizada:  $S = (\Delta WSE / WSE_{base}) / (\Delta n / n_{base})$
- Interpreten:  $S > 1$  indica alta sensibilidad,  $S < 1$  baja sensibilidad
- ¿Qué variable es más sensible: WSE o velocidad?

**Entregable C.2:** Tres gráficos de sensibilidad + tabla de resultados + cálculo de índices de sensibilidad + interpretación



### C.3 Sensibilidad a la Rugosidad de las Planicies de Inundación

Verifiquen si la rugosidad de las planicies controla la capacidad de transporte durante crecientes, afectando significativamente el área inundada.

#### Diseño experimental:

Escenario	Factor de ajuste n#1, n#3	Valor ajustado
n1 y n3 - 1	-50%	
n1 y n3 - 2	-25%	
n1 y n3 - 3 (base)	0%	(Valor base)
n1 y n3 - 4	+25%	
n1 y n3 - 5	+50%	

**Mantener constante:** n#2 en valor del caso base

#### Procedimiento (para perfil $Q_{10\%}$ , caudales más altos):

- Corran el modelo para los 5 escenarios
- Extraigan para **Tuolumne Lower**:
  - Ancho total inundado (promedio para el tramo – Top Width)
  - Porcentaje de caudal en planicies:  $Q_{fp}/Q_{total} \times 100$  (Standard Table 2)
  - Área total de inundación (desde RAS Mapper)

#### Análisis comparativo:

Escenario	T_total (m)	$Q_{fp}/Q$ (%)	Área inund (km <sup>2</sup> )	% cambio área
n1 y n3 - 1				
n1 y n3 - 2				
n1 y n3 - 3 (base)				-
n1 y n3 - 4				
n1 y n3 - 5				

#### Análisis crítico:

- ¿Cómo cambia la distribución del caudal entre canal y planicies?
- ¿Cuál configuración representa mayor riesgo de inundación?
- Relacionen con gestión de zonas ribereñas (limpieza de vegetación vs conservación)

**Entregable C.3:** Tabla de resultados + gráficos de sensibilidad (n1 y n3 vs Área inundación) + mapas comparativos de inundación (n1 y n3-1 vs n1 y n3-5) + análisis de implicaciones.



## PARTE D: ANÁLISIS INTEGRADO Y CONCLUSIONES

### D.1 Síntesis de Resultados

**Tabla maestra de sensibilidad** (construir en Excel y modificar según la propuesta del grupo):

Parámetro variado	Rango de variación	Variable respuesta	Sensibilidad (%)	Ranking
Pendiente frontera	0.0005 - 0.05	Área inundación		
n canal (n#2)	-50% a +50%	Elevación de la superficie del agua		
n canal (n#2)	-50% a +50%	Velocidad canal		
n canal (n#2)	-50% a +50%	Área inundación		
n planicies (n#1,3)	-50% a +50%	Área inundación		

**Ranking:** Ordenen de 1 (más sensible) a 4 (menos sensible)

**Análisis de incertidumbre:**

- Identifiquen cuál parámetro genera mayor variabilidad en los resultados
- ¿Qué implica esto para la práctica ingenieril? (importancia de mediciones precisas de campo, campañas de calibración, etc.)

### D.2 Conclusiones Técnicas

Estructuren conclusiones en tres niveles:

#### 1. Comportamiento hidráulico del sistema:

- Características generales del sistema
- Ajustes requeridos para asegurar la robustez del modelo
- Tendencias generales del modelo con respecto a los perfiles modelados

#### 2. Sensibilidad paramétrica (3-4 conclusiones):

- Jerarquización de parámetros por su influencia en resultados
- Longitud de influencia de condición de frontera
- Efecto diferencial de rugosidad canal vs planicies
- Implicaciones para diseño y gestión de riesgos

#### 3. Aprendizajes metodológicos (2-3 conclusiones):

- Importancia del análisis de sensibilidad en modelación hidráulica
- Limitaciones del modelo unidimensional para este caso
- Recomendaciones para mejora del modelo (datos de campo adicionales, refinamiento de geometría, etc)

**Formato:** Cada conclusión debe tener estructura: **Afirmación + Evidencia cuantitativa + Interpretación**





## 7. ENTREGABLES FINALES

### Documento Técnico (Máximo 15 páginas + anexos):

1. **Portada** (1 pág): Título, integrantes activos, objetivo general + 3 específicos
2. **Resumen ejecutivo** (500 palabras): Síntesis completa del proyecto
3. **Sección A - Verificación del modelo** (2 pág): Errores encontrados y resolución + reasignación de rugosidades
4. **Sección B - Análisis hidrológico** (2 pág): CDC + caudales de diseño + resultados de modelación base
5. **Sección C - Análisis de sensibilidad** (4 pág): Resultados de C.1, C.2 y C.3 con gráficos y tablas
6. **Sección D - Síntesis y conclusiones** (2 pág): Tabla maestra + conclusiones estructuradas
7. **Referencias bibliográficas** (1 pág): Mínimo 5 referencias técnicas consultadas
8. **Anexos**: Memorias de cálculo, outputs de HEC-RAS relevantes

### Archivo Excel Soporte (Estructurado en pestañas):

- Pestaña 1: Análisis CDC
- Pestaña 2: Resultados modelación base (Parte B)
- Pestaña 3: Sensibilidad condición frontera (C.1)
- Pestaña 4: Sensibilidad n#2 (C.2)
- Pestaña 5: Sensibilidad n#1,3 (C.3)
- Pestaña 6: Tabla maestra de sensibilidad

### Presentación (Máximo 10 diapositivas):

1. Portada con título del proyecto
2. Objetivos y metodología (1 diap)
3. Caracterización del modelo (geometría + rugosidades propuestas) (1 diap)
4. Análisis hidrológico - CDC (1 diap)
5. Resultados modelación base (1-2 diap)
6. Análisis de sensibilidad - Hallazgos clave (2-3 diap)
7. Conclusiones principales (1 diap)
8. Cierre con imagen impactante del proyecto



## 8. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Componente	Peso	Aspectos a evaluar
Análisis técnico	40%	Rigor metodológico, correcta interpretación de resultados, profundidad del análisis de sensibilidad
Calidad de gráficos/tablas	20%	Claridad, etiquetado completo, formato profesional, uso apropiado de escalas
Conclusiones	15%	Estructura adecuada (afirmación-evidencia-interpretación), respaldo cuantitativo, relevancia
Documentación Excel	10%	Organización, trazabilidad de cálculos, fórmulas documentadas
Presentación oral	10%	Claridad expositiva, manejo del tiempo, capacidad de respuesta a preguntas
Formato y redacción	5%	Ortografía, gramática, estructura lógica, citación apropiada



Universidad  
Industrial de  
Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
HIDRÁULICA



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Béjar, M. V. (1995). *Hidráulica de canales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Chow, V. Te. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Editorial McGraw-Hill.

Hydrologic Engineering Center, 2024. HEC-RAS River Analysis System, HEC-RAS Mapper User's Manual, U.S. [HEC-RAS Mapper User's Manual](#)

Hydrologic Engineering Center, 2025. HEC-RAS River Analysis System, HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, U.S. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/6.6/introduction>

Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Routledge.