

*Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014)  
"Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity" July 22 - 24, 2014 Guayaquil, Ecuador*

# ***Modelación Hidráulica en un tramo del río San Juan***

**Autor: Hugo Rafael Herrera Sánchez**

**AEI Mariel QualityCOI**

## **Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio de comportamiento hidráulico en el río San Juan, Cuba, tomando de este, el tramo que se encuentra aguas abajo de la presa de igual nombre, hasta su desembocadura en el mar Caribe, al sur de la región oriental del país. Para la investigación, se emplea el ArcView 3.3 con su extensión HEC-GeoRAS, obteniéndose el modelo digital del terreno y su exportación como un fichero para el modelo matemático HEC-RAS 3.1.3. Se realiza la modelación hidráulica para un período de retorno de 100 años, con una probabilidad de evento máximo; se obtienen como resultados fundamentales: los perfiles de niveles de agua a lo largo del tramo de río seleccionado y las áreas de inundación del mismo tramo, para diferentes condiciones del terreno.

Palabras claves: Modelación hidráulica, áreas de inundación

## **Introducción**

El crecimiento demográfico, la búsqueda de mejores lugares para el desarrollo ganadero, la agricultura y la migración de poblaciones de escasos recursos, se ven forzadas a buscar sitios para asentarse, donde en muchos de los casos, suelen ser zonas de alta amenaza tales como las riberas de los ríos, que ocupan partes de las llanuras de inundación de los mismos. Por lo general, no se cuenta con la información adecuada con respecto a tales fenómenos naturales ni sus probables impactos para tomar las decisiones más adecuadas sobre las zonas geográficas en las cuales se deben asentar. Por mucho tiempo, por concepciones erróneas y por falta de interés de resolver problemas que de algún modo no se tomaban como algo importante, las poblaciones rurales no eran tenidas en cuenta a la hora de tratar el tema de inundaciones. Era de imaginarse que las mayores pérdidas estarían en la zona urbana y no se pensaba en gran medida en la población del campo, ni en los objetivos económicos que se pudieran perder.

Nuestro país, ha creado toda una educación en torno al tema, es constante preocupación del estado, no sólo para proteger la población rural sino la población urbana y los recursos económicos y sociales del país. Se ha creado toda una infraestructura con estos objetivos desde hace ya más de 40 años. No obstante a la planificación existente, necesita esa infraestructura, mantenerse actualizada y activada, algo muy importante para el desarrollo de acciones encaminadas a preservar la vida del pueblo cubano y sus objetivos económicos.

Los constantes cambios climáticos son evidentes, así como los fenómenos atmosféricos que se producen y que obligan a establecer criterios, marcar tareas y crear acciones encaminadas a mitigar los efectos negativos de estos eventos extremos.

La desmedida acción del hombre, que se viene realizando agrava los diversos ecosistemas, provocando la destrucción de sistemas naturales y el deterioro del medio ambiente, factores negativos que propician la existencia cada vez más frecuente de intensas sequías e inundaciones prolongadas, siendo este último, el evento de catástrofe natural que ocurre con mayor frecuencia y más pérdida provoca, tanto de vidas como materiales.

Cuba, país que se encuentra ubicado geográficamente en su latitud muy cercana al Trópico de Cáncer; es un archipiélago con influencia marítima, de clima tropical y muy húmedo. Por estas razones se ve expuesto de forma frecuente a eventos meteorológicos como: tormentas tropicales, bajas presiones estacionarias, huracanes, entre otros; situaciones que categorizan al país, como de elevado índice de intensas lluvias.

Conociendo que las intensas lluvias son las causas principales de las inundaciones, se hizo necesario la determinación de las áreas de inundación en la zona de estudio del río San Juan para diferentes avenidas, con el objetivo de:

- Poder recopilar y procesar toda la información pertinente y necesaria para la solución de un problema real que existía en la zona de estudio, buscar información referente a las características de la cuenca y del tramo de río a estudiar.
- Aplicar a un estudio de caso concreto el SIG ArcView, sus herramientas auxiliares y su interacción con el HEC-RAS.
- Desarrollar una herramienta para la prevención hidráulica a través de la modelación matemática, con la aplicación del HEC-RAS.

## **Materiales y Métodos**

### **Métodos Teóricos**

- Análisis y síntesis, se utiliza para analizar el problema y determinar su posible solución.
- Hipotético – deductivo, este método se utiliza en la propia confección de los modelos matemáticos, además, permite, a partir de la hipótesis, elaborar conclusiones acerca de la aplicabilidad del modelo.
- Modelación, se aplica a través de la modelación matemática.

### **Métodos Empíricos**

- Experimentación: Se aplica a través de la confirmación experimental de los modelos matemáticos.
- Criterio de experto: Para asumir coeficientes que son imprescindibles para realizar la modelación.

## Desarrollo

La cuenca del río San Juan tiene una extensión de 1 053 km<sup>2</sup>, una población de unos 319 000 habitantes (no incluye la población dispersa), y abarca territorios de tres municipios. Esta cuenca hidrográfica está clasificada como una cuenca con cierta contaminación por la descarga de residuales líquidos deficientemente tratados.

El clima es de llanuras, principalmente interiores, con humedecimiento estacional, alta evaporación y alta temperatura del aire, la cuenca ha estado afectada en los últimos años por procesos de sequía, con una intensidad entre moderada y fuerte. Como ocurre en la provincia, en el territorio de la cuenca se establecen dos estaciones climáticas bien definidas consistentes en un período poco lluvioso que se extiende desde noviembre hasta abril y un período lluvioso que abarca de mayo a octubre. Debido a la longitud y extensión de la cuenca se presenta una variación considerable de los regímenes de temperaturas y precipitaciones entre las porciones alta y baja.

Para el estudio hidráulico en régimen permanente que se realizó en el río San Juan, se procedió al uso de herramientas actuales, siendo utilizado de la versión libre en el sitio web del HEC del software HEC-RAS.

Se ha aplicado para su procesamiento el estudio de los Manuales de usuario y de referencia, investigaciones relacionados sobre el tema y diferentes materiales de importancia para la base teórico práctica del presente trabajo.

Con el objetivo de que se cuente con una idea del por que de las variaciones de los niveles de agua en la cuenca del río, como se muestra a continuación, es que se procede a realizar una breve descripción de los datos que se tomaron para ejecutar las corridas. En el presente trabajo se decidió correr el software solo para el régimen permanente, ya que la escala con que se contaba era pequeña y en esos casos la información que es capaz de aportar el mapa a ese nivel es mínimo,

Las corridas se realizaron haciendo uso de los diferentes hidrogramas que se obtuvieron en un trabajo previo, Cadet 2009, mediante la modelación hidrológica. Se trabajó para una probabilidad de diseño del 1%, para evento máximo de un periodo de retorno de 100 años, pero también para diferentes condiciones del terreno, variando los valores de CN, que no es mas que un coeficiente de estado del suelo que varia según su humedad. Se considero trabajar con los siguientes valores:

- CN = 40; suelo seco
- CN = 60, suelo con un estado de humedad medio

- CN = 80; suelo con un estado de humedad elevado

Mencionado esto, se explicará el procedimiento para cumplir con el objetivo de este trabajo, el cual es realizar un estudio hidráulico al último tramo del Río San Juan, aguas debajo de la presa, donde los hidrógrafo que se obtuvieron son del Q que sale por el aliviadero, que no es mas que es el aporte de la presa al río, con el único fin de lograr obtener las áreas de inundación.

A continuación se presentan las características generales del objeto de estudio específico, así como los hidrogramas que se obtuvieron en la modelación hidrológicas, donde se obtienen los gastos pico de cada uno de ellos.

TR = 100, CN = 40      TR = 100, CN = 60      TR = 100, CN = 80

Del trabajo con ArcView se tuvo como resultado la obtención del TIN a partir de un modelo de elevaciones del terreno una vista del cual se presenta a continuación en la figura 1. Este también contiene el tema rivers y las secciones transversales que fueron ubicadas en el tramo de río en estudio.

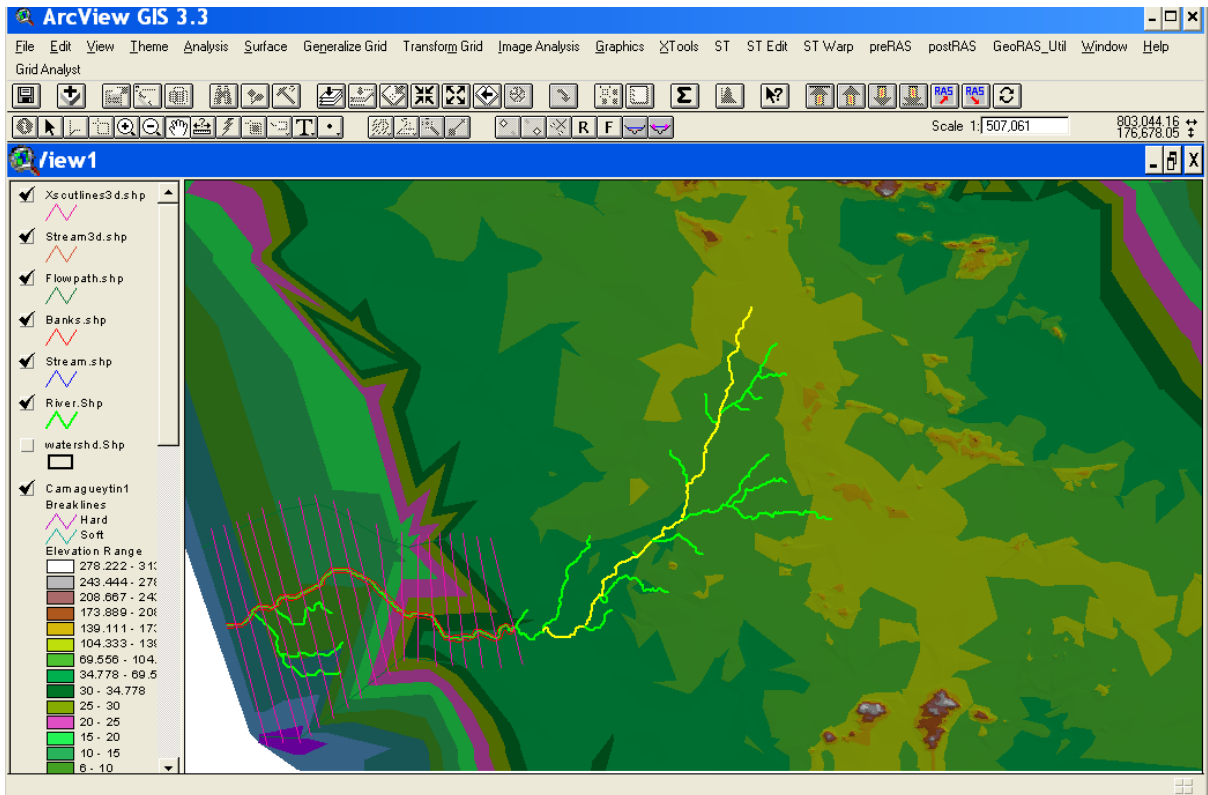


Fig. 1 Vista del TIN, Tema RIVERS y las Secciones transversales.

Mediante el trabajo realizado con ArcView, con la utilización del menú preRAS se extrajeron las secciones transversales del río.

El HEC-GeoRAS: Desde el formato TIN se obtuvieron las secciones transversales del río (Ver figura 1), estas secciones no presentan una buena resolución de la topografía del lugar por lo que es preciso hacer modificaciones de las mismas ya que el modelo de elevación digital no es capaz de definir el cauce del río por la escala que posee (1: 90 000).

El HEC-RAS: Como primer paso tenemos el ingreso de los datos geométricos al programa, estos datos los brinda el HEC geoRAS, con la creación del fichero de exportación para el HEC-RAS: **PreRas** → **Generate RAS GIS Import File**. Este es un fichero de texto con formato sdf, se almacena en la carpeta en la cual está el resto de los temas. A continuación en la figura 2, se muestra la vista en planta de terreno que reconoció el programa al leer el fichero exportado por el HEC geoRAS.

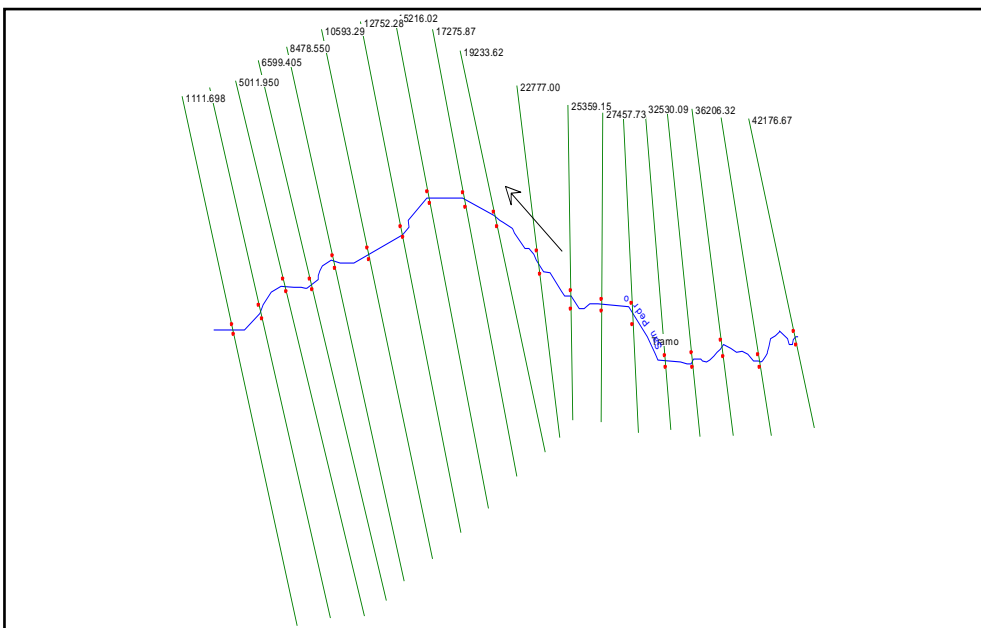


Fig. 2. Vista en planta de tramo de río a analizar

En el presente trabajo se realizaron 4 modelaciones, la primera fue con el objetivo de determinar el recorrido real del río, para ello se utilizó el gasto medio anual  $Q_{med} = 9.65 \text{ m}^3/\text{s}$  (figura 4.3) y las otras para tres con hidrógrafos reales, después de realizar la corrección del cause.

La primera modelación fue realizada para la avenida registrada en el trabajo de Cadet, Sony 2009, para  $TR = 100$  y  $CN = 40$  como ya se demostró el epígrafe anterior, registrándose un gasto pico de  $102.69 \text{ m}^3/\text{s}$ , como condiciones de borde  $S = 0.0163$  (agua abajo) y  $Y \text{ crit.}$  (agua arriba); la segunda modelación se realizó para una avenida registrada con el  $CN = 60$  con un gasto pico de  $413.75 \text{ m}^3/\text{s}$ , tomándose como condiciones de borde las mismas que para el caso anterior; para la última modelación con  $CN = 80$ , la cual registró un gasto pico de  $770.85 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para realizar los cálculos hidráulicos, después de haber ingresado todos los datos se comenzó a procesar los cálculos, o sea, el análisis del flujo permanente o del flujo impermanente y las funciones de diseño hidráulico.

El software brinda escoger cualquiera de estos análisis de acuerdo con el interés que se tenga, además se debe especificar que tipo de régimen ocurre por el río que se estudie; en este caso se realizaron análisis solo para flujo permanente.

El ArcView: Con el interés de obtener un mapa de la zona de inundación del área en la que se trabajó, es que se regresa a SIG. Pero como se observa en la figura 3 el área de inundación no se define uniformemente, esto se debe a que el nivel de detalle que aporta la escala es mínimo, por lo que al exportar los datos desde el HEC-RAS hacia el GIS y al seguir los pasos del menú postRAS del ArcView se ejecuta sin problema, pero lo que este entiende por su relieve es que si circula ese volumen de agua sucedería lo que muestra y no tiene en cuenta la ubicación del río y por tratarse una zona muy llana puede que a esa escala ni tenga presente en su relieve que exista dicho río.

Se decidió poner el resultado de la zona de inundación de una sola corrida, ya que en todas las áreas salieron con igual forma solo variando en mínimos detalles al alcance de la vista.



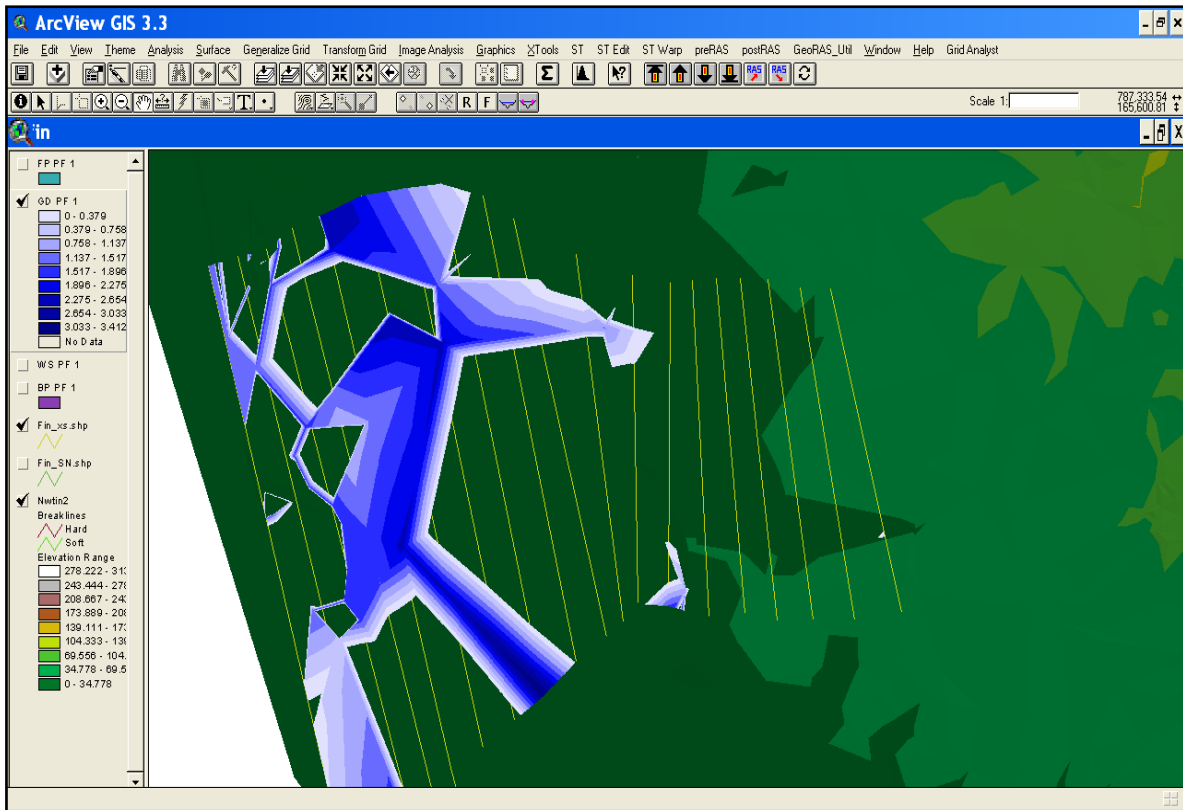


Fig 3

## Conclusiones

1. Se logró determinar la respuesta hidráulica de la cuenca para diferentes avenidas, demostrándose la factibilidad y utilidad de los softwares utilizados, así como su fácil manejo.
2. Los resultados del modelo HEC-HMS son de gran auxilio y pueden ser utilizados como condiciones de borde de entrada en el modelo HEC-RAS lo cual se ha comprobado en las simulaciones de este trabajo.
3. No es recomendable ni apropiado, por la precisión que se requiere a la hora de querer hacer un buen estudio hidráulico de inundación, trabajar con planos del terreno con escalas tan pequeñas como la que se uso (1:90 000).

## Recomendaciones

1. Contar con todas las extensiones necesarias para el estudio de inundaciones en el GIS ArcView, y efectuar sin problemas las simulaciones hidráulicas.

2. Realizar la modelación en régimen impermanente de este caso de estudio, si en estudios futuros se cuenta con mejores datos e información del terreno a tratar.
3. Desarrollar futuras modelaciones de la zona e incluir en las corridas con el HEC-RAS, escenarios extremos como los hidrogramas derivados de la rotura de la presa San Juan, así como los efectos erosivos del cause y la avenida extraordinaria producida por la Precipitación Máxima Probable en la cuenca.

## **Bibliografía**

1. Cadet, Sony (2008) Modelación hidrológica de la cuenca del río San Juan. Tesis de Diploma. CIH. ISPJAE. Ciudad de La Habana. Cuba
2. Campos Aranda (1992) "Procesos del ciclo hidrológico". México.
3. Carmona, Y.; Fernández, Y. (2006) Estudio de avenidas mediante modelos de simulación hidrológica. Estudio de Caso. Tesis de Diploma, ISPJAE. Ciudad de La Habana
4. Chow V. et al. (1994) Hidrología Aplicada. McGRAW HILL. 583 p. Bogotá – Colombia.
5. Chow, V. T. (1969) Open Channel Hydraulics, Edición Revolucionaria, Instituto del Libro, La Habana.
6. Estrada Sifontes, Valentina. (2011) Predicciones de avenidas en regiones montañosas de Cuba. Diseño de la Investigación: CIH. ISPJAE.
7. Fundora, Ricardo, González C. (1989) Hidrología, ENPES. La Habana. Tomo II.