

HABITAD Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

Mapas de inundación del río Jigüe en Holguín, mediante modelos de simulación hidráulica

Holguin Jigüe river flood maps using hydraulic simulation models

MsC. Ing. Anabel Reyes Ramírez ¹

1- MsC. Ing. Anabel Reyes Ramírez. Empresa de Servicios de Ingeniería y Diseño VERTICE. Holguín. Cuba. anabel.reyes@vertice.cu

Resumen:

Las inundaciones son unos de los fenómenos naturales de mayor impacto que afectan a nuestra sociedad. Una de las herramientas inmediatas para conocer con anterioridad las zonas más vulnerables, es la creación de mapas de riesgos mediante la modelación hidráulica de ríos y cuencas. El río Jigüe, ubicado en la ciudad de Holguín, no cuenta con este tipo de instrumentos para la predicción del riesgo de inundaciones fluviales. El objetivo de esta investigación es mostrar la modelación hidráulica del río Jigüe para obtener los mapas de riesgo, mediante los softwares ArcGIS, HEC-RAS y HEC-GeoRAS, para diferentes probabilidades de ocurrencia. Con los resultados obtenidos se clasificaron las zonas más vulnerables y se cuantificaron los posibles daños.

Abstract:

Floods are a natural phenomenon with the greatest impact affecting our society. One of the immediate tools to know in advance the most vulnerable areas is the creation of risk maps by hydraulic modeling of rivers and watersheds. The Jigüe river in the city of Holguin, has no such instruments for predicting the risk of river flooding. Therefore the aim of this research is to show the hydraulic modeling of river for risk maps through ArcGIS, HEC-RAS and HEC-GeoRAS software for different probabilities of occurrence. With the results the most vulnerable areas were classified, they quantified the potential damage in housing and population.

Palabras Clave: Inundaciones fluviales; mapas de riesgo; simulación hidráulica; Sistema de Información Geográfica.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Keywords: River floods; Risk maps; Hydraulic simulation; Geographic Information Systems.

1. Introducción

Las inundaciones constituyen fenómenos naturales potencialmente destructivos, los cuales se incrementan como consecuencia del cambio climático, los cambios en la topografía terrestre, las alteraciones en el uso de los suelos, la falta de mantenimiento en las redes de drenaje, entre otros factores. Los desastres originados por ellas constituyen cerca de la tercera parte de todos los desastres naturales (Bhattacharya 2007) y son responsables de más de la mitad de las muertes asociadas a éstos.

Dado que no se puede evitar la ocurrencia de estas amenazas naturales, deben encaminarse los esfuerzos al desarrollo de métodos, técnicas e instrumentos que ayuden a la preservación de las vidas y los recursos ante estos eventos. Actualmente, una de las variables que aumenta de manera apreciable esta amenaza es el crecimiento poblacional, éste trae como consecuencia que parte de la población se asiente descontroladamente en la zona de inundación de los ríos. Por esta razón, es de suma importancia que los organismos responsables en el ordenamiento territorial, el control de las políticas de construcción, la preservación de los objetivos económicos y sociales y de la población, estén conscientes de la dimensión de esta amenaza y el grado de vulnerabilidad que presentan, para actuar a tiempo y reducir así la magnitud de su impacto.

Una de las herramientas inmediatas para conocer las zonas la vulnerabilidad es la creación de los mapas de riesgos mediante la modelación hidráulica de ríos y cuencas. Estos nos brindan una representación cartográfica de las áreas que son susceptibles de ser inundadas, permitiendo así definir los lugares más idóneos donde se construirán asentamientos poblacionales o algún objeto de obra de interés social.

En Cuba, el régimen de precipitaciones posibilita la formación de inundaciones, sobre todo durante el período lluvioso (de mayo a octubre). El área inundable para todo el territorio cubano es de 26 132 Km², lo que representa el 25% de la superficie terrestre, esto es una cifra indudablemente preocupante para la Isla, si se tiene en cuenta que esto

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



puede traer consigo, innumerables daños a la agricultura, el fondo habitacional y la economía (Chacón 2013).

La ciudad de Holguín no posee una alta vulnerabilidad a las inundaciones, sin embargo, tiene zonas bajas muy sensibles, esencialmente provocadas por el desbordamiento de ríos y arroyos. En la ciudad el 4,4% de los habitantes pueden ser afectados por las inundaciones, lo que representa 13 859 habitantes (Zúñiga et al. 2008).

Entre las zonas vulnerables con más tendencia a verse afectadas por las inundaciones se encuentran las áreas cercanas al margen del Río Jigüe, ubicado al noroeste de la ciudad. Su cauce se encuentra modificado por la acción del hombre debido a la construcción no controlada de viviendas por parte de la población, que genera secciones hidráulicas y obras de fábricas poco eficientes, afectando sensiblemente la conductividad hidráulica y creando fenómenos de erosión o deposición de sedimentos, los cuales, combinado con un deficiente mantenimiento, crea incapacidad de las corrientes naturales para evacuar el volumen de agua de las crecidas, aún con lluvias moderadas.

Aunque se han realizado investigaciones en este sector de la ciudad, con el objetivo de estudiar este fenómeno, no se cuenta con un mapa de riesgo capaz de simular el comportamiento de una inundación en este río. Esto evidencia que los organismos de la Defensa Civil están desprovistos de una herramienta de trabajo efectiva y válida, que se ajuste a las condiciones actuales que presenta el cauce del río. Es por ello el objetivo del siguiente artículo es mostrar la modelación matemática de los fenómenos hidráulicos del Río Jigüe, para obtener los mapas de riesgo ante inundaciones fluviales.

1.1 Antecedentes

Del importante papel que juegan las modelaciones hidráulicas y los mapas de zonificación de riesgos, se deriva la necesidad de que los mismos sean lo suficientemente exactos, pues de este factor dependerá la veracidad y confiabilidad de los resultados obtenidos. Por esta razón, cada día se perfeccionan las técnicas de estudio de la hidrología y la hidráulica, en la búsqueda de múltiples métodos, software y herramientas informáticas para la modelación y representación de la información tanto temporal como espacial. De esta manera comienza a generalizarse el uso de la modelación matemática como parte integral de la gestión de inundaciones, al emplear modelos tanto para la planeación, el diseño y la

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



predicción. La misma, constituye hoy en día la base fundamental de las tecnologías integradas, que dan respuesta a los problemas de la gestión de los recursos hidráulicos y la prevención de inundaciones provocadas por intensas lluvias.

Etxeberria et al. plantean una metodología para la creación de mapas de inundaciones mediante la integración de los SIG con modelos hidráulicos e hidrológicos, aplicado en el valle de Oiartzun de Gipuzkoa al norte de España. Integran los modelos con los sistemas CAD y el uso de fotogrametría aérea, para lograr aumentar el nivel de precisión a la hora de delinear las secciones transversales y en la representación final de las áreas de inundación (Etxeberria et al 2002).

Oleagordia et al. realizaron el estudio hidrológico-hidráulico del río Arlanzón a su paso por el Término Municipal de Burgos, España, contando con el apoyo de los sistemas informáticos (AutoCAD, ArcGIS, Hec-HMS y Hec-Ras) elaboraron la cartografía de ocupación de las avenidas para diferentes probabilidades de retorno. Esto les permitió clasificar y agrupar el territorio en zonas de bajo, medio y alto riesgo. Se señala, además, que la modelación de los puentes y alcantarillas presentes en el río influye considerablemente en los niveles de crecida obtenidos (Oleagordia et al 2003).

En el contexto nacional, se destaca la investigación de Rojas et al. donde modelan las inundaciones por intensas lluvias en la zona urbana de la ciudad de Camagüey. En este caso se hace referencia a un aspecto muy importante, pues se toma en cuenta la influencia de considerar las edificaciones existentes en las zonas de inundación y su repercusión. No obstante, se evidencia un conocimiento insuficiente en cuanto a cómo modelar en el software escogido (HEC-RAS) (Rojas et al 2012).

Luego de un amplio análisis bibliográfico, se concluye que existe una amplia tendencia a utilizar para el proceso de modelación tres herramientas informáticas fundamentales, ellas son: el SIG, el ArcGIS, el modelo matemático HEC-RAS y la extensión HEC-GeoRAS.

2. Metodología

El software HEC-RAS (Figura 1a) ha sido desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU (Lopez et al 2002). Es uno de los programas más utilizados que goza con gran prestigio internacional para las simulaciones hidráulicas, por su potente algoritmo de cálculo y su calidad gráfica para la

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



representación de los resultados, su posibilidad de integración con sistemas CAD o SIG y por ser una herramienta de acceso libre.

El modelo numérico del HEC-RAS simula el flujo unidimensional permanente en canales abiertos. Puede, además, calcular el perfil de agua para régimen permanente gradualmente variado y simular flujo subcrítico y supercrítico empleando las ecuaciones de Saint Venant aplicadas a una dimensión, y realiza el cálculo hidráulico de estructuras tales como puentes, alcantarillas, vertederos y demás obstrucciones.

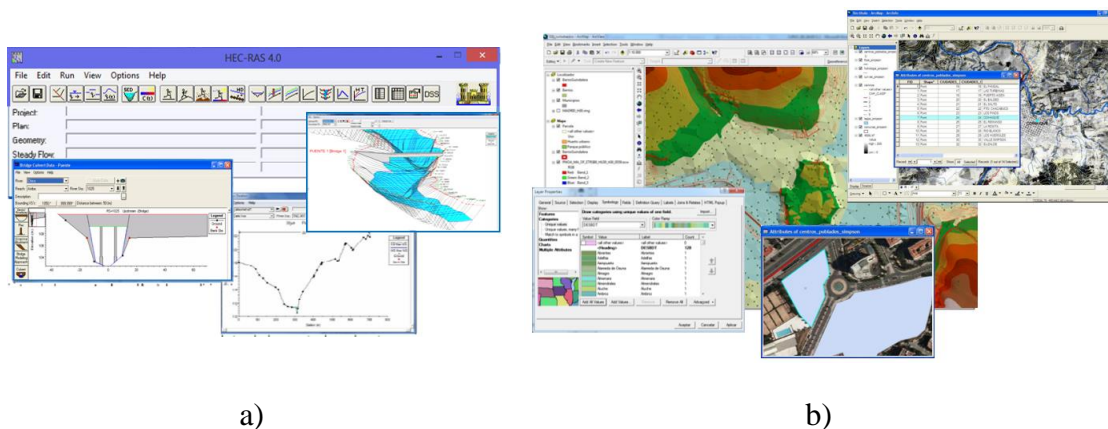


Figura 1. Interfaz gráfica de las herramientas HEC-RAS a) y ArcGIS b). Elaboración propia.

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabulares para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación (García 2012). Se puede obtener la cartografía temática, la creación y edición de datos, el análisis espacial y la geocodificación de direcciones. ArcMap (Figura 1b) es el componente primario del software y es utilizado para todas las tareas que involucren cartografía digital en forma directa, su análisis y edición. Se utiliza para desplegar mapas y efectuar consultas sobre ellos, desarrollar aplicaciones personalizadas, y desarrollar una gran variedad de operaciones.

El HEC-GeoRAS es una extensión para ArcGIS desarrollada conjuntamente por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL "II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



y el ESRI. Consiste básicamente en un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para procesar datos georeferenciados, las cuales proporcionan información de entrada a los modelos y permiten visualizar el resultado de las corridas a través del sistema de información geográfica.

A continuación, se muestra la secuencia de trabajo que se plantea en esta investigación. Como se describe en la Figura 2, la secuencia se divide en las etapas de preproceso, proceso y postproceso. La primera está basada en la preparación de la cartografía, la obtención del Modelo Digital del Terreno (MDT) y la digitalización de la información geométrica del río. La segunda etapa se desarrolla en el modelo unidimensional y se basa fundamentalmente en el cálculo hidráulico, así como la creación del archivo con los datos resultantes para la posterior visualización de las zonas de inundación y obtener de esta forma los mapas de riesgo.

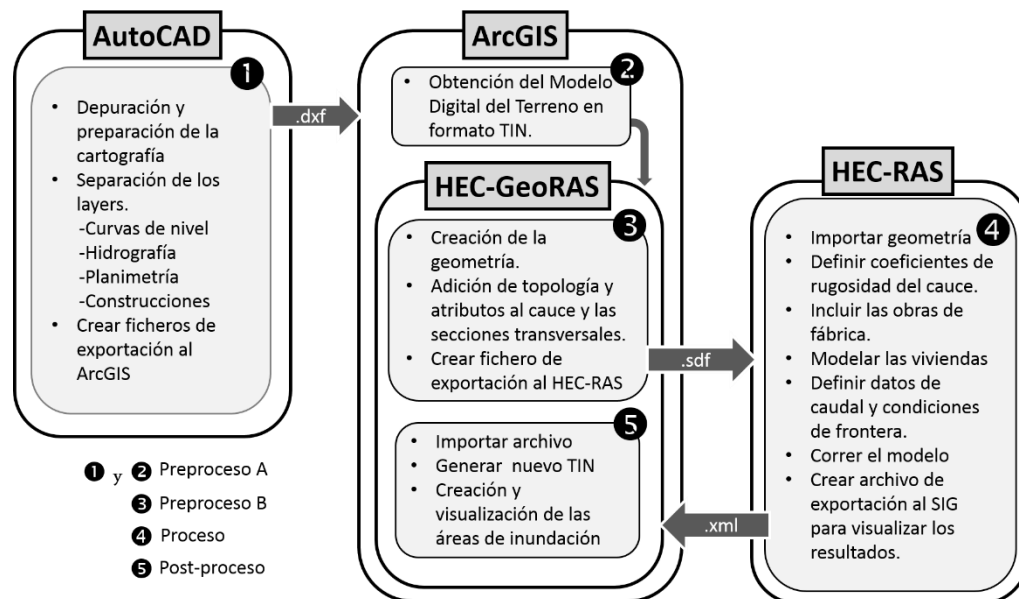


Figura 2. Secuencia de trabajo para la modelación hidráulica. Elaboración propia a partir de (Garrido 2012)

2.1 Modelación hidráulica del río jigüe

El río Jigüe tiene su nacimiento en las elevaciones del extremo noroeste de la ciudad de Holguín, se forma de tres zanjas naturales que nacen en las faldas de la Loma del Fraile y termina en su confluencia con el río Marañón, cercano a la estación de ferrocarril y prolongación de la calle Maceo hacia la carretera central.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Para esta investigación fue seleccionado el tramo de este río comprendido entre las calles Mariana de la Torre hasta Maceo (Figura 3). Las razones para la selección fueron la disponibilidad de datos de flujo, pues solo hay registro de estudios hidrológicos en ese tramo y por ser el más vulnerable según los estudios analizados.

La cartografía con la información de las curvas de nivel fue obtenida de un plano en formato dwg de la ciudad de Holguín con equidistancia 1m. Este plano fue importado en formato dxf al ArcGIS para generar el MDT, y con la extensión HEC-Geo RAS se generó la geometría del río. Posteriormente se creó el fichero de exportación al HEC-RAS que contiene toda la información geométrica (Figura 4).

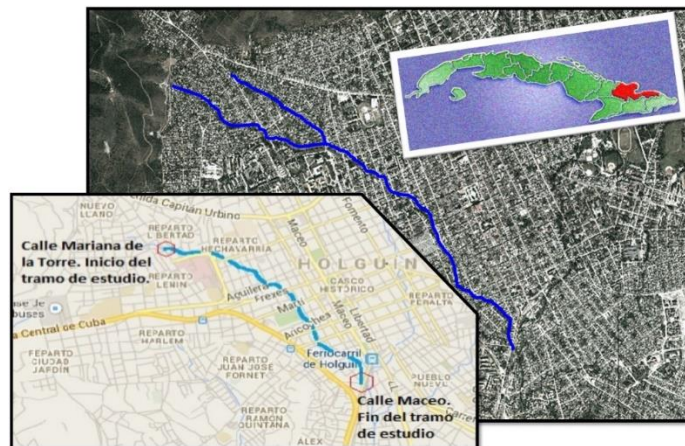


Figura 3. Ubicación geográfica del Río Jigüe en la ciudad de Holguín y tramo seleccionado para el estudio. Elaboración propia.

Una vez importado dicho fichero en el HEC-RAS se realizaron las siguientes tareas en el modelo (Figura 5):

- ✓ Revisión de las secciones transversales.
- ✓ Coeficientes de rugosidad de Manning de cada subsección.
- ✓ Modelación geométrica de los 24 puentes presentes en el tramo.

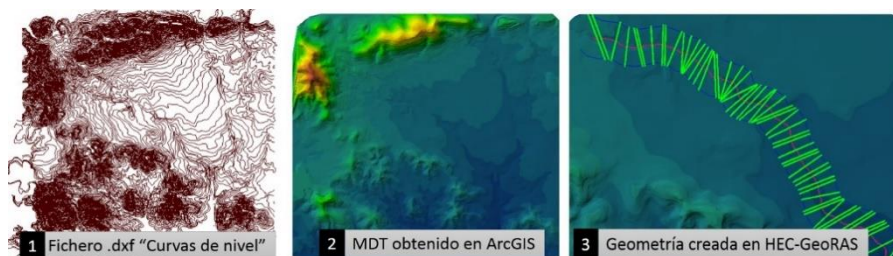


Figura 4. Preproceso en la modelación hidráulica del río Jigüe. Elaboración propia.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

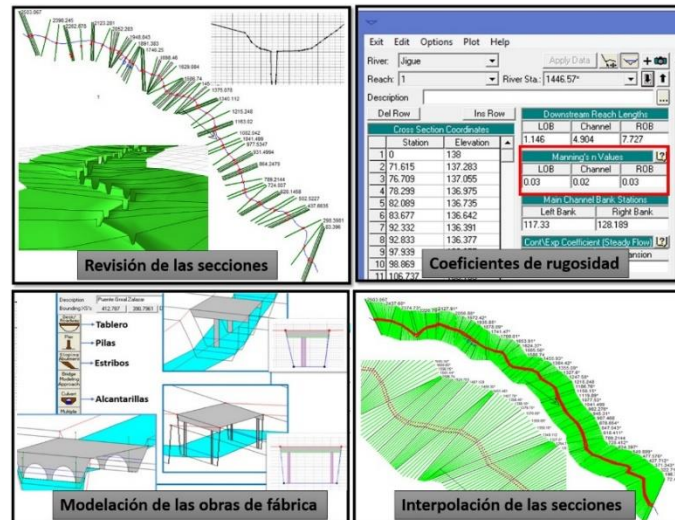


Figura 5. Primeras tareas del proceso de modelación. Elaboración propia.

Para ello se realizó un levantamiento geométrico de las tipologías y dimensiones de cada obra de fábrica. Se incluyó en el modelo el ángulo de esviaje que presentan la mayoría de estas obras de fábrica.

- ✓ Interpolación de las secciones transversales cada 5m.
- ✓ Modelación de las viviendas que se encuentran a los laterales del cauce:

Uno de los aspectos novedosos que fueron utilizados en esta investigación, fue la simulación del efecto de las viviendas que están presentes en los laterales del cauce del río. Estas obstruyen de manera significativa el flujo y provocan un remanso considerable de las aguas cuando se producen lluvias intensas.

Aunque el software no brinda la posibilidad de modelar las viviendas o construcciones dentro de la cuenca, este sí permite modelar otras estructuras que al combinarlas simulan este efecto. Estas son nombradas como elementos de restricción del flujo en las secciones, como: las áreas inefectivas (Ineffective Areas) y las estructuras laterales (Lateral Structures), con ellas se pueden representar elementos en ambas direcciones, tanto paralelo como transversal al cauce del río. La función de las áreas de obstrucción es la de definir regiones de la sección en las cuales no existe flujo, por la presencia de obstáculos. La utilidad de esta herramienta está en la simulación de elementos de obstrucción al flujo que se pueden encontrar de modo natural (árboles, grandes rocas) o artificial (muros

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL "II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



verticales, casas, edificios, naves industriales) en el entorno fluvial y afecten al flujo. Las estructuras laterales funcionan de igual modo, solo que se encuentran paralelas al flujo principal del cauce, es decir perpendiculares a las secciones transversales.

✓ Introducción de los datos de flujo relativos a los caudales modelables en el tramo. Éstos son los asociados a las recurrencias de 100, 50, 20, 10 y 5 años obtenidos de estudios hidrológicos realizados anteriormente. Los cálculos del flujo se han realizado en régimen mixto, siendo la condición de frontera el calado normal (pendiente de 0.008).

✓ Simulación para el cálculo hidráulico.

Para realizar la simulación hidráulica del cauce es necesario crear primeramente un plan, que incorpore un fichero de geometría y otro de datos hidrológicos. En este caso se realizaron 3 corridas del modelo, en cada una de estas simulaciones se mantuvo el fichero correspondiente a los datos de caudales, solo se fue modificando en cada corrida el fichero correspondiente a la geometría. En un primer momento se modeló el cauce en su estado natural sin modificaciones ni estructuras externas, luego un modelo incluyéndole las obras de fábrica y el último fichero de geometría incluía tanto los puentes como las construcciones (Figura 6).

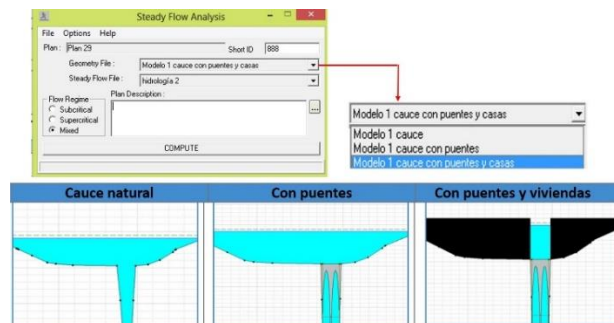


Figura 6. Resultados de la simulación en los tres casos modelados. Elaboración propia.

Como última actividad del proceso de modelación en el Software HEC-RAS y para obtener una mejor visualización de los resultados, se creó un fichero de exportación al ArcGIS, y de esta manera se representa un mapa de zonificación para cada uno de los períodos de retorno para los que se realizó el cálculo hidráulico. En la Figura 7 se muestra el mapa obtenido para el período de retorno de 100 años.

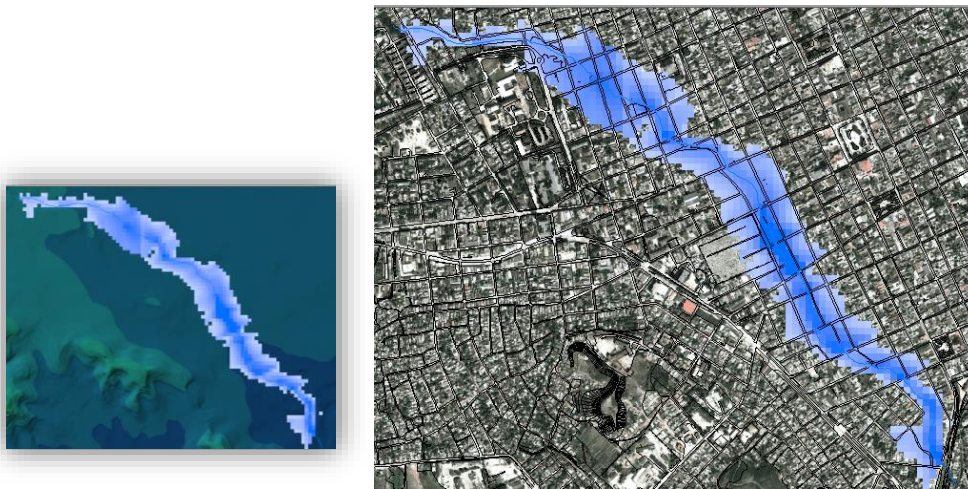


Figura 7. Visualización de las zonas de inundación. Mapa de riesgo del Río Jigüe para un período de retorno de 100 años. Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

Si bien la modelación hidráulica permitió obtener las manchas de inundación de las zonas afectadas por este fenómeno, la verdadera importancia de este resultado radica en que esta representación de la amenaza, es una de las variables fundamentales para cuantificar el daño económico y social que pueden llegar a causar eventos de esta naturaleza. Para cuantificar el daño producido por una inundación se realiza un procedimiento que consiste en valorar la severidad de este fenómeno sobre la infraestructura afectada, esto constituye el elemento primordial para determinar el riesgo al que están sometidas las viviendas, obras sociales y demás inmuebles asentados en las zonas cercanas al margen del río.

3.1 Cuantificación de los daños

Las viviendas (o infraestructura en general) que resultarán afectadas por las inundaciones del río Jigüe pueden ser visualizadas en el mapa creado anteriormente. Esto es posible mediante la superposición de la mancha de inundación con el fichero “.dxf” importado desde el AutoCAD con la capa de las construcciones, según se muestra en la Figura 8. Sin embargo, solamente visualizar las viviendas afectadas resulta insuficiente para determinar los daños económicos esperados por la inundación. De ahí que conocer la

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



cantidad de viviendas afectadas por la inundación es esencial para realizar estimaciones de daños económicos en las mismas.

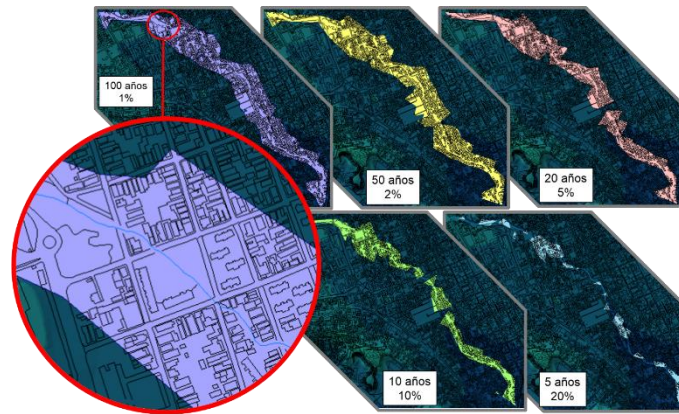


Figura 8. Superposición de la mancha de inundación con el fichero de las construcciones Elaboración propia.

En la Figura 8 se pueden observar, delimitadas en colores diferentes, las zonas y manzanas que se encuentran dentro de los límites que alcanzará la inundación, dependiendo del período de retorno. Una vez identificadas, se procede a realizar el proceso más engorroso del trabajo, que consiste en determinar la cantidad de viviendas contenidas dentro de cada área inundada. Este proceso se considera difícil, pues además de realizarse de manera manual, exige que la cartografía esté debidamente actualizada con todas las construcciones presentes en la zona.

Entre los daños indirectos que también son producidos por las inundaciones se encuentran las afectaciones de carácter social, sobre todo las que atentan contra la calidad de vida de los habitantes. Es por ello que resulta conveniente conocer, aunque sea de manera estimada la cantidad de personas que son susceptibles o vulnerables a esta amenaza. Según datos del Centro Provincial de Estadística, se estima en el momento un promedio de 4 habitantes por vivienda en la ciudad de Holguín.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la cuantificación de los daños para cada una de las probabilidades para las que realizó la modelación, teniendo en cuenta como parámetros: el área que ocupa en cada caso la mancha de inundación, la cantidad de viviendas contabilizadas dentro de la zona ocupada por la misma y la cantidad promedio de habitantes que se encuentran asentados en esta zona de riesgo.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Tabla 1. Cuantificación de los daños producidos por las inundaciones

Probabilidad	Área Inundable		Viviendas en riesgo	Habitantes vulnerables
	m ²	km ²		
1%	357433.35	0.36	1446	5784
2%	298623.11	0.29	1274	5096
5%	232314.68	0.23	935	3740
10%	165588.74	0.165	660	2640
20%	64439.08	0.06	249	996

Es válido señalar la existencia, en las zonas a ocupar por la inundación, no solo de viviendas o edificios multifamiliares, sino también de varias obras sociales, empresas, entidades económicas y de los servicios, cuya afectación representa un incremento de las pérdidas económicas no solo para la población, sino también para el sector estatal.

3.2 Clasificación de las zonas de riesgo

Hasta el momento, los mapas de inundación obtenidos de la modelación matemática han permitido cuantificar de manera estimada, las infraestructuras que son susceptibles a sufrir daños. Sin embargo, es una realidad que no todas las viviendas o inmuebles que se encuentran dentro de la mancha de inundación, presentan el mismo grado de vulnerabilidad. Por esta razón resulta muy útil poder especificar cuáles de estas edificaciones requieren un mayor nivel de cuidado, una atención priorizada a la hora de realizar evacuaciones o incluso concebir desde su diseño la construcción de medidas de protección que garanticen que el impacto de las aguas sobre ellas no sea tan severo.

Según (Perozo 2012) existe un factor fundamental que permite valorar el nivel de impacto de una inundación sobre las infraestructuras en general y es la profundidad del agua. En la presente investigación se consideró el efecto de la profundidad de inundación como parámetro fundamental para clasificar las zonas de riesgo y valorar el impacto que provoca una mancha de inundación sobre una zona determinada, pues en la medida que la profundidad es mayor, se espera que los daños sean mayores.

Para esto se utilizan los mapas en formato GRID obtenidos a partir de la mancha de inundación, divididos en franjas de diferentes intervalos de profundidades y que pueden

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



visualizarse fácilmente en una escala de colores. De esta manera se puede observar cuáles viviendas se encuentran dentro de las zonas donde el agua alcanzará un mayor nivel. De esta manera se elaboró una escala de peligrosidad definida en 5 niveles según recomienda (Perozo 2012) y se obtuvo así una clasificación de las zonas con mayor y menor nivel de riesgo ante las inundaciones del río Jigüe. Estos mapas de vulnerabilidad son la representación gráfica de la amenaza según el factor de la profundidad de la inundación, ya que ésta sintetiza, de la manera más amplia, la peligrosidad. En la Figura 9 se muestra el mapa obtenido para un período de retorno 100 años.

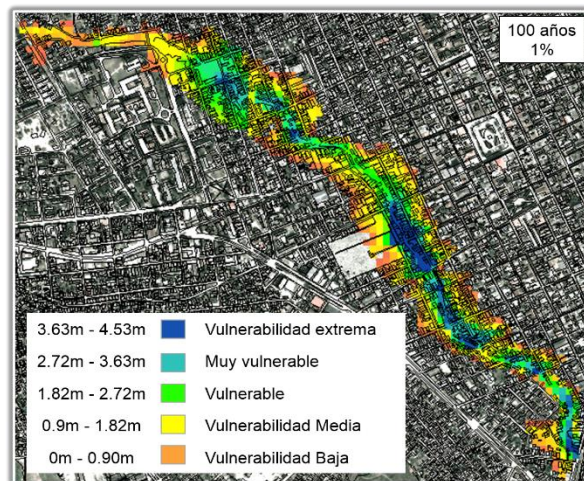


Figura 9. Clasificación de las zonas de riesgo según la profundidad de la inundación. Mapa de riesgo para período de retorno de 100 años. Elaboración propia.

Los resultados mostrados en la Figura 9 resultan totalmente lógicos, las viviendas que se encuentran en las márgenes del río sufren el impacto de la inundación más severamente, sin embargo, a medida que se van alejando va disminuyendo la afectación. Esta cartografía de riesgo podrá ser utilizada no sólo como base para la ordenación y planificación del territorio, sino que sus resultados también permitirán proponer medidas para reducir, en la medida de lo posible, los factores que influyen en la alta vulnerabilidad de las zonas identificadas en los mapas de riesgo.

4. Conclusiones

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Se logró representar en el modelo las obras de fábrica y simular el efecto de las construcciones que se encuentran en las márgenes del río. Estas características propias de un río en zonas urbanas, garantizan la similitud de los resultados con los fenómenos ocurridos en la vida real. El uso del software HEC-RAS con su potente algoritmo de cálculo y avalado internacionalmente en el uso de este tipo de condiciones, asegura la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico.

Los mapas obtenidos presentan un buen nivel de confiabilidad y pueden ser utilizados como herramientas para la toma de decisiones en cuanto al ordenamiento territorial y las políticas de protección ante desastres.

5. Referencias bibliográficas

Bhattacharya B. (2007) “Modelación para la Gestión de Inundaciones” extraído de: <http://www.unesco-ihe.org/education/ilearning.htm> el 25.08.2014

Chacón H., (2013) "Mapa de peligro ante inundaciones en un sector de la ciudad de Holguín.," Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”

Etxeberria P., Edeso J. M., y Brazaola A., (2002) "Cartografía de peligro de inundación mediante sistemas de información geográfica y modelos hidrológicos e hidráulicos.," en XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España.

García J. M., (2012) "Metodología para la caracterización geométrica de obras de fábrica en cauces fluviales mediante técnicas fotogramétricas. Aplicación a modelos hidráulicos.," Maestría en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. , Universidad de Salamanca – Universidad deValladolid.

Garrido M., (2012) "Integración de herramientas informáticas para la alerta temprana ante el peligro de inundaciones. ," Master, Facultad de ingeniería informática centro de estudios de ingeniería de sistemas (CEIS) Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.

Lopez S., Campos J. (2015) “Hydrologic and Hydraulic Modelling Integrated with GIS: a study of the Acaraú River” Journal of Urban and Environmental Engineering, v.8, n.2, p.167-174.

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Oleagordia I. and Rodríguez R., (2003) "Estudio Hidrológico del río Arlanzón a su paso por el Término Municipal de Burgos " U.D. de Hidráulica e Hidrología. E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, España.

Peroso M. A., (2012) "Sistema de medidas para reducir el riesgo de inundación en llanuras ribereñas. Caso de estudio: Llanura del río Coro," Facultad de Ingeniería Civil. , Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones Hidráulicas.

Rojas A, and Leon A. J., (2012) "Un análisis de inundaciones por intensas lluvias en la zona urbana de Camagüey.," en Congreso Internacional de Gestión del Riesgo de desastre, La Habana, Cuba.

Zúñiga L. M., Gallardo O., Rodríguez J. L., Rojas M. M. (2008)., "Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Holguín"