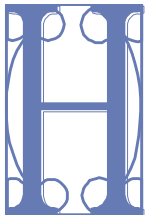


Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS



UNIVERSIDAD DE ORIENTE

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGERIERO HIDRÁULICO

Título:

*Modelación del comportamiento de las
inundaciones del río Sevilla a través del
Software HEC-RAS 4.0*

Autor: *Roberto Ricardo Trenard Moya.*

Tutores: *Ing. Guadalupe Bermúdez Diéguez*

Ing. Rolando Hierrezuelo Pérez

SANTIAGO DE CUBA, JUNIO 2019

AÑO 61 DE LA REVOLUCIÓN

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del
software HEC-RAS

Pensamiento

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

PENSAMIENTO

No hemos de olvidar que en el interior de cada hombre es donde se refleja y procesa la realidad para garantizar su actuación en el mundo.

Licea Díaz, 2006:

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del
software HEC-RAS

Dedicatoria

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del
software HEC-RAS

DEDICATORIA.

A mi abuela Norma Iris Rojas.

Que desde el cielo ha alumbrado mi camino.

A mi madre.

Que con amor y exigencia me ha enseñado el verdadero valor de esta vida.

A Mayi.

Por compartir este tiempo a mi lado.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del
software HEC-RAS

Agradecimiento

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del
software HEC-RAS

AGRADECIMIENTOS.

Del fondo de mi corazón a DIOS.

A esta Revolución y a Fidel Castro.

A mis profesores y amigos, que juntos formaron mi carácter y mi personalidad.

A la MsC. Guadalupe Bermúdez Diéguez, por su asesoría.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Resumen.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

RESUMEN.

Este material tiene como propósito realizar un estudio a través de la modelación de inundaciones pluviales y dotar a la población de la comunidad del municipio Guamá de la provincia Santiago de Cuba de una alta percepción al peligro y a sus decisores, del conocimiento imprescindible acerca de la susceptibilidad ante las inundaciones producidas por ciclones tropicales y lluvias máximas en aras de valorar las posibles afectaciones al territorio causadas por las intensas lluvias.

Se presentan por consiguiente, no sólo los principales conceptos relacionados con este fenómeno natural, sino también su caracterización e impactos producidos en él y una simulación de inundación con el software HEC-RAS 4.0.

Con el resultado obtenido podemos brindar una muestra elocuente de los niveles de vulnerabilidad ante fenómenos geodinámicos e hidrometeorológicos, donde el estado actual de las construcciones estatales y sociales que presenta el territorio es la mayor debilidad, sumado a la ubicación de algunos viales.

Sólo esta visión general de la susceptibilidad potencial ante el impacto de fenómenos naturales, es más que suficiente para emprender planes imprescindibles de prevención y mitigación de riesgos, sustentados en el nivel de conocimiento alcanzado en el territorio y en las experiencias negativas sufridas por la ciudad de Santiago de Cuba.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Abstract

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

ABSTRACT

The purpose of this material is to carry out a study through the modeling of rainwater floods and to provide the population of the Guama community of the province of Santiago de Cuba with a high perception of danger and its decision-makers, of the essential knowledge about susceptibility to the floods produced by tropical cyclones and maximum rainfall in order to assess the possible effects on the territory caused by heavy rains.

Therefore, we present not only the main concepts related to this natural phenomenon, but also its characterization and impacts produced in it and a flood simulation with the HEC-RAS 4.0 software.

With the obtained result we can provide an eloquent sample of the levels of vulnerability to geodynamic and hydrometeorological phenomena, where the current state of the state and social constructions that the territory presents is the greatest weakness, added to the location of some roads.

Only this general view of the potential susceptibility to the impact of natural phenomena, is more than enough to undertake essential plans for the prevention and mitigation of risks, based on the level of knowledge reached in the territory and the negative experiences suffered by the city of Santiago de Cuba.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Índice

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<i>Capítulo 1</i>	8
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE	9
1.1 Definición de una cuenca	10
1.2 Características de una cuenca hidrográfica	12
1.3 Caracterización de las cuencas hidrográficas	14
1.4 Las inundaciones	17
1.4.1 Definición de inundación	18
1.4.2 Tipos de inundaciones	18
1.4.3 Causas de las inundaciones	19
1.4.4 Consecuencias de las inundaciones	19
1.5 Peligro de las inundaciones	20
1.6 Software HEC-RAS 4.0.	23
1.6.1 Limitaciones del software	24
<i>Capítulo 2</i>	25
CAPITULO 2 CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO GUAMÁ (CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SEVILLA)	25
2.1 Ubicación y características del municipio Guamá	25
2.2 Clima	26
2.3 Precipitaciones	27
2.4 Características de la cuenca hidrográfica del río Sevilla.	27
2.4.1 Ubicación y características geomorfológicas	27
2.4.2 Características geomorfológicas de la cuenca	29
2.5 Condiciones físicos geográficos	29
2.5.1 Características del relieve	29
2.5.2 Clima	30
2.5.3 Régimen de temperatura	30
2.5.4 Humedad relativa del aire	31
2.5.5 El viento	31
2.5.6 Precipitación	32

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

2.5.7 Suelos.....	37
2.5.8 Uso de los suelos.....	39
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL PROGRAMA.....	41
3.1 Cálculo de los gastos máximos.....	41
3.2 Modelación del programa.....	43
3.3 Análisis y resultados del software.....	43
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍAS	59

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del
software HEC-RAS

Introducción

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones que se presentan generalmente por lluvias torrenciales que acompañan a los ciclones y fenómenos meteorológicos extremos constituyen la causa principal de catástrofes en algunas zonas del mundo y de Cuba. A nivel global cada año las inundaciones representan alrededor del 40% de los cataclismos y afectan grandes territorios ocasionando decenas de muertes. (Roche, 1989)

Teniendo en cuenta las características y sus consecuencias; se definen las inundaciones como el flujo de agua relativamente alto que sobrepasa el cauce natural originado por el escurrimiento. (Sánchez Celada, 2001)

La inundación es un evento natural y recurrente para un río. Las cuales son el resultado de fuertes o continuas lluvias que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras, provocando que determinado curso de agua rebase su cauce e inunde tierras adyacentes. (Sánchez Celada, 2001)

Los problemas de inundaciones se cuentan entre los peligros naturales más destructivos del planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y los bienes materiales de la población. Estas son consideradas como el riesgo natural de mayor impacto social y económico. Siendo el municipio Guamá, de la provincia Santiago de Cuba uno de los afectados, en múltiples ocasiones por el paso de fenómenos hidrometeorológicos.

Los Fenómenos Naturales, como manifestación de los procesos que ocurren en el Planeta, pueden transformarse en desastres en la medida en que no se conoce adecuadamente la amenaza que constituyen y de la susceptibilidad que presenta el entorno ante ellos. Los impactos reales y potenciales de los fenómenos naturales y antrópicos están adquiriendo gran importancia que se debe prestar más atención a las actividades de planificación, de prevención y de mitigación; esto es, porque los efectos de los fenómenos naturales deben analizarse no sólo desde el punto de vista humanitario y social, sino también desde el punto de vista económico, de ahí la importancia de realizar estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los territorios. (Sánchez Celada, 2001)

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Como se puede apreciar, las prácticas de desarrollo que utilizan las comunidades pueden aumentar considerablemente el nivel de riesgo de las inundaciones. Las cuales están íntimamente ligadas a la cantidad e intensidad de las precipitaciones y el drenaje superficial. Por ello los efectos de las inundaciones puede traer consigo otro tipo de desastres, como es el ejemplo de lo ocurrido en el año 1993 en la llanura central de los EE.UU, a raíz de unas inundaciones, unos tanques de gas líquido navegaron río abajo en la cuenca del Mississippi, creando una situación de máxima alerta tecnológica. (Batista Silva, 2001)

Otro ejemplo es lo producido por la sequía y los huracanes, que por un período de 20 años, han favorecido la difusión de material radioactivo en una vasta zona de Rusia. Además prácticas antrópicas inapropiadas han favorecido la permanencia de una lámina de agua en lugares que naturalmente no debía ocurrir, por ejemplo, en las ciudades, el suelo se sustituye por cemento y, así, se pierde la capacidad natural que tiene el terreno para absorber, favoreciendo la aparición de inundaciones repentinas.

La posición latitudinal de Cuba y su configuración alargada y estrecha, condicionan determinadas particularidades en la disposición de su red fluvial, distinguiéndose por una parteagua principal situado al centro y a todo lo largo del territorio, que lo divide en dos vertientes, la norte y la sur, esto hace que los ríos tengan sus fuentes hacia el centro del país y casi todos corran de Sur a Norte o viceversa, según estén situados en una u otra vertiente. (Batista Silva, 2001)

En Cuba todos los procesos asociados al escurrimiento fluvial, sus componentes genéticas, su variabilidad y el escurrimiento sólido están determinados por una sola fuente de alimentación: la precipitación; ésta generalmente cae en cualquier época del año, pero durante los meses de mayo a octubre, suele registrarse alrededor del 80% de la lámina de precipitación anual, mientras que en el período comprendido entre noviembre y abril, precipita el resto. (Campos Aranda, 2004).

Asimismo, su variabilidad en el tiempo muestra una alternancia de períodos que da lugar a prolongadas e intensas sequías y períodos de elevada actividad pluvial, comportamiento éste que influye sensiblemente sobre la formación de los recursos hídricos y en el manejo del agua en el país. (Villodas, 2003)

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

En el caso de los grandes centros poblados debe haber una labor periódica de mantenimiento a los sistemas de alcantarillados y remoción de los áridos, escombros y otros materiales que puedan obstaculizar la entrada del agua pluvial a las alcantarillas en su arrastre mecánico por el flujo de agua. En lo que se refiere a las zonas costeras el nivel del mar podría elevarse y agravar las inundaciones en los territorios litorales; para las condiciones específicas de Cuba en algunas áreas existen penetraciones del mar debido a la conjunción de la dirección y velocidad del viento con relación a la línea de la costa y la situación de las mareas o por la influencia de ciclones o fenómenos meteorológicos extremos. (Batista Silva, 2001). En Santiago de Cuba, las inundaciones se han reportado fundamentalmente en las áreas bajas y coinciden con espacios donde llegan las aguas pluviales debido al escurrimiento acelerado en la mayoría de los casos motivado por las intervenciones constructivas de carácter vial y/o estructural, donde no se ha tenido en cuenta un adecuado orden respecto a la escorrentía natural, ni tampoco se han hechos las obras de drenaje indicadas para esos casos. (Planas-Fajardo, 2013)

Después del triunfo de la Revolución en el año 1959, se incorporaron al mapa urbano de la ciudad nuevas zonas y edificaciones individuales, por lo que se producen dinámicas diferentes en cuanto a inundaciones dentro del área de la ciudad y sus alrededores ya que se producen acumulaciones momentáneas de agua debido a rápidas y continuas precipitaciones, que debido a la falta de limpieza de los elementos de drenaje o a interrupciones por la misma causa del drenaje natural del terreno. Estos elementos antrópicos vinculados al drenaje de la ciudad, son los que han incidido en que los criterios sobre inundaciones en esta área hayan cambiado en la actualidad. En particular, sobre la base de recorridos de campo y encuestas realizadas a la población para recuperar la memoria histórica de áreas en riesgo, fueron establecidas diferentes áreas que están sometidas al peligro de inundaciones en el presente activo de la comunidad.

Según la Ley No.124 “De las Aguas Terrestres” del 16 de noviembre del 2017, establece las normas relacionadas con:

- a) La protección, seguridad y conservación de la infraestructura hidráulica.
- b) La ejecución del proceso inversionista de las obras de infraestructura hidráulica.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- c) La elaboración de las normas técnicas que rigen la gestión de las aguas terrestres.
- d) El otorgamiento de las concesiones y autorizaciones vinculadas con la gestión de las aguas terrestres.
- e) La planificación anual, a mediano y largo plazos, de las aguas terrestres y su control.
- f) La prestación de los servicios públicos de provisión de agua y de agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial o drenaje pluvial.
- g) la composición y funciones de los consejos de cuencas hidrográficas.

Además plantea que la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres es el proceso de evaluación, planificación, uso y protección coordinada de este elemento, la tierra y los recursos relacionados, para maximizar el bienestar económico y social, sin comprometer la salud o conservación de los ecosistemas vitales.

Los objetivos de esta Ley son:

- a) Ordenar la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres, recurso natural renovable y limitado, en función del interés general de la sociedad, la salud, el medio ambiente y la economía;
- b) establecer las medidas para la protección de las aguas terrestres sobre la base de su planificación y preservación, en armonía con el desarrollo económico y social sostenible y la protección del medio ambiente; y
- c) establecer las medidas para la reducción de desastres por la incidencia, fundamentalmente, de los eventos hidrometeorológicos extremos en las aguas terrestres y la adaptación al cambio climático.

ARTÍCULO 89. Le compete al Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas lo siguiente:

- a) Aprobar, a propuesta de su presidente, las cuencas hidrográficas de interés nacional que serán objeto de atención priorizada, dada su importancia económica, social y ambiental.
- b) Crear los consejos provinciales y municipales de cuencas hidrográficas, y los específicos, tomando en cuenta para estos últimos, las opiniones de los consejos provinciales de las provincias involucradas.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- c) Controlar los consejos provinciales, municipales y específicos de las cuencas hidrográficas.
- d) Proponer las modificaciones de la integración y funciones de los consejos provinciales, municipales y específicos de cuencas hidrográficas;
- e) Coordinar la aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión integrada de las cuencas hidrográficas, teniendo como eje articulador el agua, con especial atención a las cuencas de interés nacional;
- f) Recomendar, coordinar y evaluar los programas de gestión que se ejecuten en las cuencas de interés nacional, que combinen el uso sostenible de los recursos naturales con las actividades económicas y sociales, ayudando a identificar los recursos económicos y financieros que estos demanden, en correspondencia con lo dispuesto en el Plan de la Economía Nacional destinado a la protección del medio ambiente en las cuencas hidrográficas, según las responsabilidades de cada organismo.

De acuerdo con la Política Nacional del Agua en Cuba en cuanto a las inundaciones se plantea que debe rescatar y restringir las áreas de drenaje ocupadas y las de riesgo. Reestructurar la atención a las obras de protección, cauces y drenajes urbanos mecanizando la actividad. Ejecutar las obras de drenaje y reguladoras de avenidas en las zonas críticas. Enfrentar las indisciplinas sociales y tecnológicas que obstruyen los drenajes. En situaciones de escasez se mantendrán las restricciones de las fuentes según las prioridades. Eliminar las extracciones descontroladas con el rescate y actualización de los sistemas de información y de vigilancia. Modernizar los medios técnicos-tecnológicos para el monitoreo. Actualizar la normativa y los planes de contingencia; y elevar la integración entre el INRH, el INSMET y el EMNDC para la prevención de riesgos.

El estudio de las inundaciones en el municipio Guamá tiene como objetivo caracterizar las inundaciones de la cuenca Sevilla y brindar la modelación del comportamiento de los niveles de inundación en todo el cauce del río, y con los resultados proponer soluciones para un reordenamiento de la cuenca. Por lo que tiene como importancia que a raíz de este trabajo se podrán realizar estudios pertinentes, colegiarlos con el gobierno y algunos organismos del municipio Guamá,

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

así como al Consejo Territorial de Cuencas Hidrográficas. El resultado de esta tesis es novedoso porque se pone en conocimiento a los órganos del gobierno del municipio Guamá de la vulnerabilidad que provocan los escurrimientos producto del factor disparador lluvia

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Situación Problémica: En la actualidad no se ha evaluado la magnitud de las inundaciones en la cuenca hidrográfica Sevilla producto de las intensas lluvias solo se conoce que incomunica al municipio Guamá con Santiago de Cuba.

Problema de investigación: Insuficiencia de estudios que evalúen la magnitud de las inundaciones y proponga soluciones para prevenir y/o mitigar daños a la agricultura, a la ganadería, los viales y las construcciones civiles.

Objeto de la investigación: Inundaciones pluviales en el río Sevilla con el uso del Programa HEC-RAS 4.0.

Campo de acción: Análisis de los resultados del modelo en cuanto al comportamiento de las inundaciones.

Objetivo General: Evaluar la magnitud de las inundaciones en la cuenca Sevilla y dejar plasmadas las soluciones posibles.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar, clasificar y describir el comportamiento de las inundaciones a través del análisis y síntesis encontrada en la búsqueda bibliográfica sobre el tema.
- Hacer uso de la Modelación que ofrece el software HEC-RAS.
- Realizar una valoración y dar soluciones sobre la base de los resultados

Hipótesis de la investigación: Si se contara con un levantamiento referente a las inundaciones pluviales en esta cuenca que argumentara las soluciones se podría establecer un reordenamiento en la misma en función de regular el escurrimiento.

Aportes de la investigación: El aporte fundamental está basado en el estudio real de como acontece una inundación pluvial, que nivel alcanza; y las afectaciones que provoca desde el punto de vista social y económico en la región; y con ello sugerir recomendaciones para prevenir, mitigar y/o eliminar los problemas que provoca.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

La puesta en práctica de este estudio real y su resultado, aportaran soluciones que permitirán un mayor aprovechamiento del potencial hídrico de la cuenca en aras a la Tarea Vida para garantizar e incorporar las necesidades de la población y se pudiera tomar medidas preventivas.

Tareas de Investigación:

1. Búsqueda y revisión bibliográfica en torno a la temática a estudiar.
2. Recopilación y análisis de los materiales básicos.
3. Crear una base de datos que permitan realizar el estudio requerido.
4. Análisis estadístico y probabilístico de las lluvias máximas.
5. Empleo de software vigente para la modelación del evento en la cuenca.
6. Determinación de las áreas de inundación.
7. Análisis de los resultados

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos la investigación está estructurada por 3 capítulos.

El primero referido al marco teórico conceptual, donde se destacan las definiciones realizadas por autores reconocidos de los elementos relacionados con el tema de tesis y los resultados de la búsqueda bibliográfica. En un segundo capítulo se abordan características geográficas e hidrológicas de la cuenca del río Sevilla del municipio Guamá.

En el tercer capítulo se muestran los resultados de Modelación del software HEC-RAS 4.0, a través de una simulación de inundaciones por todo el cauce del río Sevilla.

Capítulo 1

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.

En la actualidad no se concibe la exploración de un conocimiento sin llevar a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica que nos permita recopilar información que conlleven a un mejor análisis, y una concepción más integral y veraz de nuestro trabajo.

Las diferentes ciencias nos permiten adquirir este conocimiento, ya que ellas se vinculan de forma estrecha y en la consecución de la determinación del contenido y esencia de un objeto se incumbe varias de ellas. De esta forma se conforma un estudio multidisciplinario y la utilización de los recursos científicos de varias ciencias en una. Un caso característico lo es la Hidrología la que en su proceso investigativo se auxilia de otras ciencias naturales como la Geografía, las ciencias técnicas de la Computación y el SIG, de las ciencias exactas: Matemática y Estadística e incluso es capaz de incidir en las ciencias sociales a través de la Metodología de la Investigación. En tal sentido toda investigación en la hidrología lleva implícita otras ciencias que se convierten en auxiliares porque brindan contenidos específicos, materias, conocimientos científicos, métodos y técnicas de investigación que permiten descubrir la esencia de aquellos procesos y fenómenos que le son necesarios estudiar a ella. Es por ello que los resultados de la búsqueda bibliográfica serán plasmados en este Estado del Arte donde se visualiza la relación, la integración y luego la diversificación de las ciencias empleadas. (Bermúdez, 2001)

La Hidrología permite conocer que el volumen total de agua en la Tierra es de aproximadamente 1.400 millones de km^3 , de los cuales sólo el 2,5%, alrededor de 35 millones de km^3 corresponde al agua dulce. La mayor parte del agua dulce se presenta en forma de hielos perennes o nieves eternas, ubicados en la región antártica y en Groenlandia, o en profundos acuíferos de aguas subterráneas. Las principales fuentes de agua para uso humano son los lagos, los ríos, la humedad del suelo y de las aguas subterráneas, relativamente poco profundas; representando aproximadamente 200.000 km^3 de agua, es decir menos del 1% del total de agua dulce y sólo el 0,01% de toda el agua del planeta.

También que la cuenca hidrográfica es la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido, cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o a otros objetos de agua, con características geosistémicas propias y con límites generalmente determinados por la divisoria principal según el relieve (González, 2007), estas ocupan el espacio del territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, que conforman los sistemas hídricos en toda la tierra emergida del planeta, con un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de esta línea divisoria. Estos subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que esté ubicada la cuenca y el nivel de intervención del factor humano. (Umaña, 2002).

1.1 Definición de una cuenca

Una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. También recibe los nombres de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrífera. (Villarreal, 2003)

Otros autores la definen como la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido, cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o a otros objetos de agua, con características geosistémicas propias y con límites generalmente determinados por la divisoria principal que según el relieve estas ocupan el espacio del territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, que conforman los sistemas hídricos en toda la tierra emergida del planeta, teniendo un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de esta línea divisoria. (González, 2007)

Estos subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que esté ubicada la cuenca y el nivel de intervención del factor humano. (Umaña, 2002). La acción de los

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

eventos extremos nos permiten catalogarlos como un escenario dinámico integrado por los recursos naturales, infraestructura, medios o servicios y las actividades que desarrolla el hombre que genera efectos positivos y negativos sobre los sistemas naturales de la cuenca, razón por la cual deben considerarse los peligros y riesgos ante eventos extremos y fenómenos naturales severos (Umaña, 2002). (Figura 1.1)

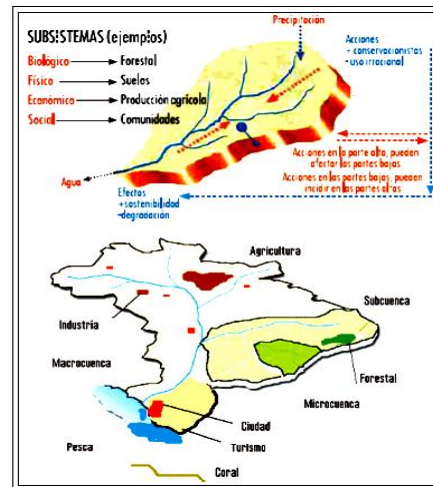


Figura 1.1 Esquemas que muestran las interacciones y actividades que se desarrollan en una cuenca hidrográfica. Fuente: García y Gutiérrez (2015).

El área de la superficie terrestre drenada por un único sistema fluvial, es otra definición sobre cuenca hidrográfica. Sus límites están formados por las divisorias de aguas que la separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. (García y Gutiérrez, 2015).

El tamaño y forma de una cuenca viene determinado generalmente por las condiciones geológicas del terreno. El patrón y densidad de las corrientes y ríos que drenan este territorio no solo dependen de su estructura geológica, sino también del relieve de la superficie terrestre, el clima, el tipo de suelo, la vegetación y, cada vez en mayor medida, de las repercusiones de la acción humana en el medio ambiente de la cuenca. (García y Gutiérrez, 2015).

Por esta razón, la cuenca representa la unidad fundamental empleada en hidrología, ciencia que se ocupa del estudio de las diferentes aguas en el medio ambiente natural. La cuenca constituye uno de los rasgos principales del paisaje, cuyo

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

proceso de formación en la mayoría de los continentes está determinado por la erosión fluvial y el transporte y deposición de sedimentos. Ésta es la razón por la que las cuencas también son la unidad básica de estudio de la geografía física.

Existen cuencas de muy distinta extensión, desde las oceánicas, que representan las mayores cuencas del planeta, hasta las de áreas reducidas recorridas por pequeñas corrientes.(García y Gutiérrez, 2015).

Algunas se han formado a través de procesos geológicos que provocan dilataciones, hundimientos, fracturas o plegamientos de la corteza terrestre, o bien son consecuencia de la actividad volcánica. Otras son el resultado de la erosión de la superficie terrestre causada por el viento, el agua o el hielo. Las cuencas reciben agua en forma de precipitaciones como parte del ciclo del agua o ciclo hidrológico. Algunas precipitaciones regresan a la atmósfera una vez que han sido captadas por la vegetación y se han evaporado en la superficie de las hojas y ramas.

El sistema de la cuenca hidrográfica tiene estrecha relación entre sus partes; por ejemplo, los procesos que impactan, como la deforestación o la contaminación en la parte alta o superior de la cuenca, tienen inevitablemente consecuencias en las partes intermedias, en las bajas y en desembocaduras.(García y Gutiérrez, 2015).

1.2 Características de una cuenca hidrográfica

Las características de una cuenca hidrográfica pueden representarse cuantitativamente mediante el área, índices de la forma y relieve de la cuenca y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

De las principales características de una cuenca podemos resaltar:

- La curva de la cota superficie: esta característica da además una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.
- El coeficiente de forma: da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- El coeficiente de ramificación: también da indicaciones preliminares respecto al tipo de onda de avenida.

En una cuenca se distinguen los siguientes elementos:

- **Divisoria de aguas**

La divisoria de aguas es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Que marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. Otro término utilizado para esta línea se denomina parteaguas.

La línea divisoria de vertientes es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.

- **El río principal**

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje, aunque hay notables excepciones como el río Misisipi o el río Miño en España. Tanto el concepto de río principal como el de nacimiento del río son arbitrarios, como lo es la distinción entre río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.

- **Afluentes**

Los afluentes son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

- **El relieve de la cuenca**

El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.

- **Las obras humanas**

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota y se debilita quitándole recursos o desnudándola de vegetación, lo que provoca inundaciones en sus partes bajas. Entre las obras construidas por el ser humano, denominadas intervenciones antropogénicas, que se pueden observar en la cuenca encontramos viviendas, que por su cuantía pueden formar ciudades, también campos de cultivo, obras para riego y energía, y vías de comunicación. Pero el mayor de los males es la construcción de viviendas, urbanizaciones y poblaciones enteras en zonas inundables, sobre todo, en las llanuras aluviales de las cuencas de muchos ríos.

No obstante, los seres humanos también realizan obras muy positivas en la conservación y mejoramiento de las cuencas hidrográficas para minimizar o eliminar los efectos destructivos de las crecidas e inundaciones. El ejemplo del Plan Sur en el río Turia, a raíz de las inundaciones de Valencia de 1957 es muy claro en este sentido. Lo mismo podríamos decir de los numerosos embalses de propósitos múltiples de numerosos ríos, siendo uno de esos propósitos la regulación del caudal. Basta a veces la construcción de un sólo embalse en un río pequeño para regularizar su caudal y limitar las crecidas y los daños que pueden producirse. (Piedra, 2011)

1.3 Caracterización de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son a menudo clasificadas por el espacio geográfico que ellas ocupan, pueden ser grandes, medianas o pequeñas, pero la definición del tamaño estará en dependencia del país o la región en que se encuentren:

Por su Tamaño

Tamaño	Km ²
Pequeña	0.1-10 km ²
Mediana	10-100 km ²
Grande	Superior a 100 km ²

Tabla 1.1 Clasificación de las cuencas hidrográficas según su tamaño. Fuente: (Piedra, 2011)

Por su Relieve, considerando el relieve y accidentes del terreno

1. Cuenca plana.
2. Cuenca de alta montaña.

3. Cuenca accidentada.

Por la Dirección de la evacuación de las aguas (Piedra, 2011):

1. **Arreicas:** las aguas se evaporan o se filtran en el terreno.
2. **Endorreicas:** desembocan en lagos o lagunas, siempre dentro del continente. Por ejemplo, la Cuenca del río Llave.
3. **Exorreicas:** avenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la del Rímac, en Sudamérica. Este tipo de Cuenca Hidrográfica es el objeto de estudio de la presente investigación.

Por el Ecosistema (Piedra, 2011):

Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural, así tenemos, las cuencas áridas, cuencas tropicales, cuencas húmedas y cuencas frías. Ejemplo: Cuenca tropical, Cuenca del Canal de Panamá, Cuenca árida, Cuenca del Río Cañete en Perú, Cuenca fría, Cuenca Lago Titicaca, entre Perú y Bolivia.

Según lo expresado en la Ley 81 de 1997 del Medio Ambiente, en el espacio geográfico donde se forman las cuencas hidrográficas y ocurren las relaciones con las aguas subterráneas, se establece un eslabón importante para el propio desarrollo económico - social y para la aplicación de las medidas de protección de los componentes naturales dígame suelos, bosques, costas, aguas costeras, diversidad biológica, y antrópico donde podemos ubicar ciudades y pueblos, su producción y servicios asociados generadores de desechos sólidos y líquidos, las industrias, los viales, los cultivos y la ganadería, los embalses, canales y pozos, que definen el medio ambiente.

Se puede definir que una cuenca hidrográfica está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice: por la dirección de la evacuación de las aguas, por su ecosistema, por su relieve, por su tamaño y por la altitud. Si el criterio utilizado es la altitud se podrían distinguir las siguientes partes: Parte Alta, Parte Media, Parte Baja, Zona de transición y zona costera. (Figura 1.2)

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

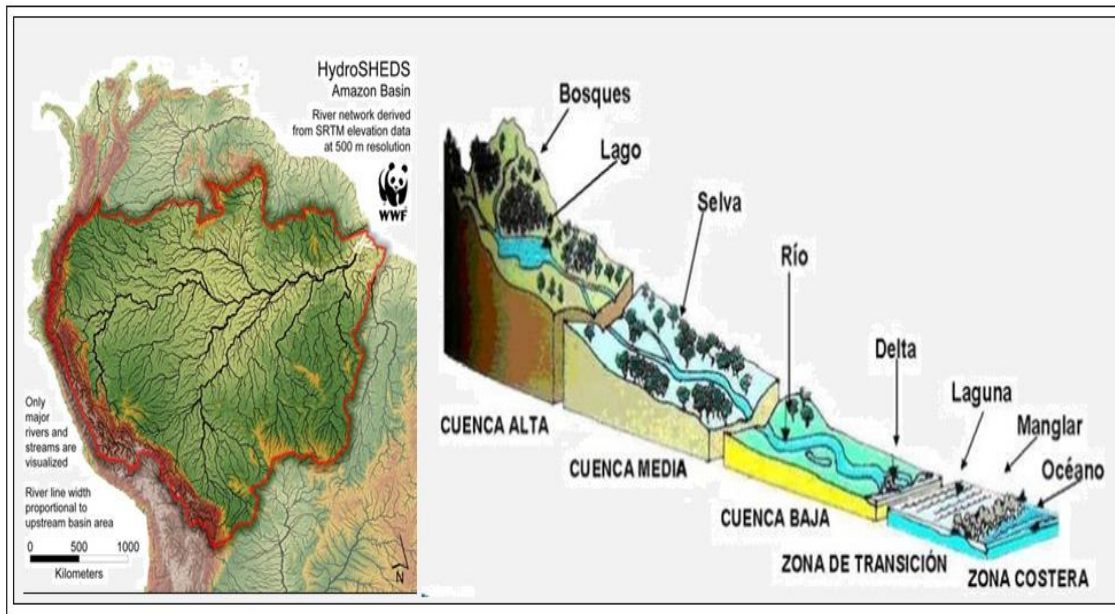


Figura 1.2 Imagen de la cuenca hidrográfica del río Amazonas en América del Sur (izquierda), Fuente: Oliveras, Jordi. (2014). Partes de una Cuenca Hidrográfica (derecha), Fuente: CIAS,1998. Desde el ámbito socioeconómico en la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, en las cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano y los procesos naturales que en ella se desarrollan; por lo que esta tiene la capacidad natural de prestar servicios ambientales por su vocación o posibles usos potenciales para el abasto de agua para la población y el desarrollo agropecuario, la pesca, la acuicultura, la producción hidroenergética, la minería, el turismo, la conservación y el desarrollo poblacional (Umaña, 2002).

Teniendo en cuenta la acción de los eventos extremos se puede catalogar como un escenario dinámico integrado por los recursos naturales, infraestructura, medios o servicios y las actividades que desarrolla el hombre generando efectos positivos y negativos sobre los sistemas naturales de la cuenca, razón por la cual deben considerarse los peligros y riesgos ante eventos extremos y fenómenos naturales severos (Umaña, 2002).

Los recursos naturales que se encuentra dentro de las cuencas hidrográficas son bienes contenidos en los ecosistemas que son valorizados socialmente, pues

constituyen el soporte de actividades económicas y productivas; son además integrantes de complejos ecosistemas donde componentes bióticos y abióticos interactúan entre sí, que reciben entradas de energía, materia e información y en el marco espacial de las unidades sistémicas definidas por las cuencas hidrográficas, se producen ciclos biogeoquímicos, transformaciones y salidas de la energía, materia e información ingresadas a modo de respuestas de este operador sistémico de la naturaleza (García y Gutiérrez, 2015).

Según González (2003), en Cuba, antes de 1959 no existía un programa o proyecto gubernamental para gestionar o reducir el impacto social en las cuencas hidrográficas. A partir de esta fecha, se ha potenciado en Cuba lo que se conoce también como “manejo de cuencas”, que se caracteriza por una administración sectorial especialmente dirigida hacia los ámbitos de los recursos hídricos, los recursos agroforestales y a la agricultura extensiva.

En 1997 se creó el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH) y estructuras inferiores. Su principal función es coordinar los esfuerzos de todas las instituciones del país relacionadas con las cuencas hidrográficas para eliminar o reducir los factores de degradación ambiental de las mismas.

En nuestro país se trabaja en el diseño de políticas y mecanismos de planificación para el ordenamiento, con el propósito de articular las estrategias de conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. A pesar de esto, no se han diseñado soluciones a importantes conflictos socio-ambientales en torno a las inundaciones pluviales en las cuencas hidrográficas. (Planas *et al*, 2012).

1.4 Las inundaciones

Los estudios realizados demuestran que las inundaciones son la catástrofe o desastre natural que más muertes provoca en el planeta. Durante el siglo XX, se ha estimado que han perdido la vida alrededor de 3,2 millones de personas por esta causa, lo que constituye más de la mitad de las víctimas por inundaciones pluviales. Son consideradas como el desastre natural más dañino y peligroso (Douben, 2006). Según datos de la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO 2002), de los desastres que se presentan en el orbe relacionados con el agua, 50% corresponde a inundaciones, por encima de hambrunas, sequías y

epidemias. El número de eventos ha crecido a una velocidad vertiginosa, particularmente en áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores sociales, de servicio, económico y financiero, entre otros, dejando en mayor vulnerabilidad a la población con menos recursos. (Benjamín, 2008).

Las inundaciones en México, por citar un ejemplo, son un tema de fondo, pues en la actualidad son el fenómeno que causa más daños económicos en este país. Cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) muestran que cerca de 41% del territorio nacional y 31 millones de personas están expuestas a fenómenos hidrometeorológicos. (Saavedra-Horita & Rubio-Gutiérrez, 2012).

El aumento significativo del nivel de agua en nuestro país está proporcionado por las lluvias, las que en ocasiones provocan inundaciones. Siendo las inundaciones unos de los fenómenos naturales más comunes en nuestro país; prácticamente todos los años se producen por el desbordamientos de los ríos. Lo que constituyen eventos naturales y periódicos que representan el más común de los peligros naturales que puede afectar a personas, infraestructura y al medio ambiente natural. (Alcocer-Yamanaka, 2012)

1.4.1 Definición de inundación

Se define como inundación a una ocupación masiva por el agua de zonas que se encontraban secas. (Díaz-Delgado et al., 2012; Salas-Limón, 2015). Los factores que desembocan en una inundación pueden ser ascenso temporal del nivel de un río, lago o mar. Aunque algunas veces son inevitables, en ocasiones las inundaciones pueden ser situaciones que se pueden controlar por la actividad humana, por la mala utilización de las tierras cercanas a los cauces de agua, la deforestación o tala de árboles, la urbanización de las llanura de inundación, los efectos de las prácticas agrícolas que varían y dependen de los suelos.

1.4.2 Tipos de inundaciones

Existen además, diversos tipos de inundaciones, las cuales se pueden clasificar como inundaciones pluviales, fluviales y costeras.

Las inundaciones pluviales se producen como consecuencia de las fuertes precipitaciones concentradas en una zona particular; donde la elevada

concentración de lluvia hace que el terreno se sature y el agua excedente se empiece a acumular, lo que puede durar horas o días, hasta que comienza a evaporarse y el terreno se recupera. Las inundaciones fluviales se producen cuando el agua de los ríos se desborda y alcanza los terrenos cercanos al cauce. Mientras que las inundaciones costeras se dan como consecuencia de los intensos vientos que pueden ser de un ciclón tormentoso. Esta inundación entra hacia las zonas costeras y cubre grandes extensiones de tierra. (Arreguín-Cortés, 2012)

1.4.3 Causas de las inundaciones

Existen múltiples causas que provocan las inundaciones, pero por lo general, podemos clasificarlas en naturales o como consecuencia de la actividad humana. Dentro de las causas naturales están las intensas precipitaciones, provocadas por lluvias, tormentas tropicales o huracanes. Estas inundaciones son producidas como consecuencia del aumento en los niveles de los ríos. Cuanta mayor cantidad de agua caiga, en un tiempo prolongado de lluvias, más alta es la probabilidad de desbordamientos de agua. (Cervantes-James, 2012)

Para contener estos problemas, con frecuencia se construyen presas o diques que almacenen gran cantidad de agua de diferentes vertientes. Esta agua puede liberarse luego para abasto de agua a la población, el riego de las plantaciones o generar energía. También encontramos la acumulación de sedimentos, estas forman grandes barreras de contención para el agua, que según aumenta la cantidad y presión de esta acaba desbordándose, fluyendo grandes cantidades de agua mezcladas con lodos, troncos o piedras. (Cervantes-James, 2012)

Dentro de las causas humanas de las inundaciones podemos referirnos a la deforestación debido a la tala masivamente de bosques y selvas, lo que ha ocasionado gran problema a la vegetación que a su vez retiene grandes cantidades de agua. (Cervantes-James, 2012)

1.4.4 Consecuencias de las inundaciones

Las inundaciones independientemente de su tipo producen disímiles consecuencias, por ejemplo desde lo económico; al provocar la pérdida de grandes cantidades de bienes materiales, además del costo de reconstruir las infraestructuras. Las consecuencias medio ambientales, ocasionan daños a las

tierras agrícolas, a los cultivos y a la producción de alimentos. Además de la contaminación de las aguas, y daño a los animales y a los seres humanos. (Salas-Limón, 2015)

1.5 Peligro de las inundaciones

Para caracterizar o evaluar el peligro de inundación en un escenario, se deben tomar en cuenta las características de la superficie del terreno susceptible, la topografía o pendiente del terreno, en especial su horizontalidad; además la geomorfología, tipo y calidad de los suelos y el material de base de los depósitos fluviales no consolidados, sin dejar de tener en cuenta la Hidrología y extensión de las inundaciones recurrentes. (Batista, 2001)

En Cuba todos los procesos asociados al escurrimiento fluvial, sus componentes genéticas, su variabilidad y el escurrimiento sólido están determinados por una sola fuente de alimentación: la precipitación; ésta generalmente cae en cualquier época del año, pero durante los meses de mayo a octubre, suele registrarse alrededor del 80% de la lámina de precipitación anual, mientras que en el período comprendido entre noviembre y abril, precipita el resto. Asimismo, su variabilidad en el tiempo muestra una alternancia de períodos que da lugar a prolongadas e intensas sequías y períodos de elevada actividad pluvial, comportamiento éste que influye sensiblemente sobre la formación de los recursos hídricos y en el manejo del agua en el país. (Batista, 2001)

La lámina de precipitación media para Cuba ha sido calculada en 1375 mm; sin embargo, la distribución espacial de esta lámina no es homogénea, ya que en algunas zonas precipita más de 300 mm y en otras sólo alcanza unos 500-600 mm al año.

Los períodos de ocurrencia de las lluvias también determinan el régimen hídrico de los ríos, esto da lugar a que en el período lluvioso se produzcan las mayores crecidas. Donde pequeños arroyos y ríos aumentan su caudal de forma súbita y producen inundaciones en el territorio de sus cuencas fluviales. Al continuar las lluvias, el terreno anegado se extiende, y en lugares con poca pendiente del terreno, a veces se unen varias corrientes formando extensas zonas inundadas.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

La influencia de lluvias intensas y prolongadas se refleja de diversas formas en el terreno. Por ejemplo, en las zonas rurales con deficientes condiciones de drenaje donde existen poca pendiente y suelos de baja infiltración las aguas anegan campos agrícolas que en ocasiones producen pérdidas de las cosechas y dificultan la aplicación de la técnica agrícola. (Batista, 2001)

En zonas urbanizadas la aglomeración de edificios y otros objetivos construidos por el hombre hacen que sean mayores las probabilidades de inundaciones, por lo que aumentan las probabilidades de pérdidas de vidas humanas y la destrucción de bienes. (Batista, 2001)

Durante una inundación pueden ser evitables las pérdidas de vidas humanas y propiedades, pero esas pérdidas ocurren con frecuencia cuando no son trasladadas las personas ni las propiedades a lugares seguros, porque se considera que existe una protección adecuada o porque simplemente se desconoce la magnitud del evento en otras palabras la percepción del desastre; tal y como ocurrió en el año 1963 durante el paso del ciclón Flora por las provincias orientales. (Batista, 2001)

El peligro de tomar medidas insuficientes está presente. Los vasos de los embalses pueden estar llenos cuando ocurra una avenida de un río; las basuras y desperdicios acumulados en un puente pueden originar niveles inesperados o tener lugar avenidas mayores que las de diseño. En una ciudad pueden ocurrir inundaciones considerables que son capaces de destruir bienes y propiedades de barrios enteros como lo sucedido en el Reparto Sevillano en la Ciudad de La Habana. (Batista, 2001)

Dadas las características de nuestro país tropical, con el paso frecuente de tormentas o la generación de fuertes e intensos aguaceros durante el período lluvioso, es obvio que el problema de las inundaciones debe tenerse en cuenta, por esta razón una de las primeras tareas a resolver es conocer y cuantificar todos los territorios inundables en la zona. (Batista, 2001)

Generalmente el efecto directo de las inundaciones es asociado con la pérdida de vidas humanas, las evacuaciones, la destrucción de obras civiles, entre otros efectos; pero no son menos importantes las afectaciones que tienen lugar ante lluvias torrenciales normales durante el período húmedo. Como ya se ha expresado

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

anteriormente, la combinación de diversos factores físico-geográficos y de origen antrópico puede producir serios daños en la agricultura ante lluvias de cierta magnitud. (Batista, 2001)

Un ejemplo de lo antes expuesto es la formación de inundaciones en la provincia más occidental del país. Debido a los resultados del amplio plan de desarrollo socioeconómico realizado durante los últimos años se han obstaculizado, en muchos casos, las vías de evacuación de las aguas. Por otra parte, en un territorio llano cultivado, donde se aplican técnicas de riego de aspersión, microjet o anegamiento, sino son resueltos los problemas de drenaje y de riego sin control y planificación, pueden ocurrir inundaciones que ocasionen la pérdida de las cosechas y al retirarse las aguas, la salinización de los suelos. (Batista, 2001)

Es necesario considerar como la lluvia, el relieve, el suelo y la mano del hombre pueden cambiar e influir de forma negativa para afectar considerablemente la economía de un territorio. (Batista, 2001)

Según (Hernández, 1987), “en la provincia de Pinar del Río ocurrieron lluvias intensas de unos 140 a 180 mm durante los últimos días del mes de diciembre de 1986 (período seco o menos lluvioso). Hasta mediados del citado mes el territorio estaba padeciendo una intensa sequía. Por tanto, se suponía que la humedad del suelo era mínima y que las reservas freáticas estaban en una situación crítica, es decir, ante estas lluvias, que fueron muy superiores al promedio de diciembre, era lógico esperar que esto no trajera grandes consecuencias. Sin embargo, hubo afectaciones considerables en los cultivos, fundamentalmente en las áreas cañeras. En Cuba la provincia que tiene más territorio inundable es la de Granma (42%) debido a las inundaciones que se producen en la Llanura del Cauto por condiciones naturales ya que la construcción de los embalses ha mitigado en parte el problema, mientras nuestra provincia Santiago de Cuba es la de menor territorio inundable (Batista y Sánchez, 1994). (Fig. 1.3)

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

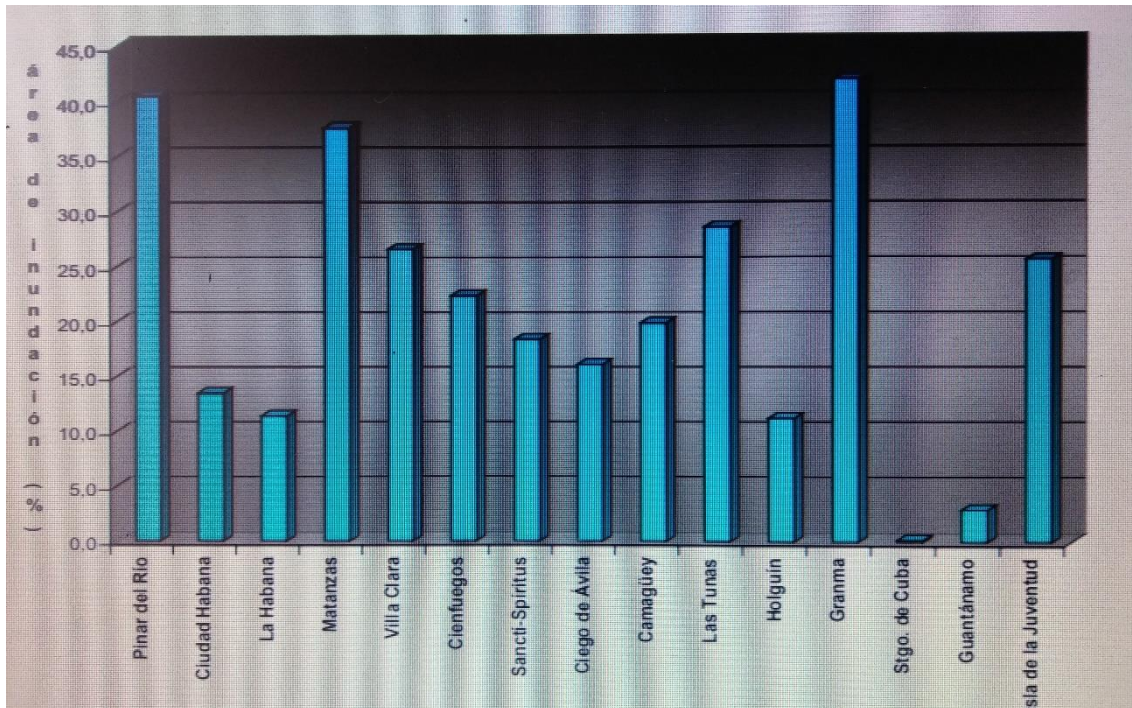


Figura 1.3 Porcentaje de inundación pluvial en Cuba. Fuente: Riesgo por inundaciones pluviales. (Batista y Sánchez, 1994).

El río Sevilla ha sido objeto de estudio por la entidades siguientes: Centro de Estudios Multidisciplinario de Manejo Costero (CEMZOC), Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO), Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH) de Santiago de Cuba. (Batista y Sánchez, 1994)

Estos estudios han permitido emitir criterios de riesgo por inundaciones pluviales que se consideran acción conjunta de calados y velocidades, estos en su mayoría han sido desarrollados para cuencas rurales y son aplicados en casos de inundaciones provocadas por desbordamiento de ríos.

1.6 Software HEC-RAS 4.0.

Existen varios software que se emplean para la modelación de inundaciones como es el caso del WaterGis, el WaterCad, el HEC-RAS, el HAZUS, entre otros. En la tesis se utiliza el programa HEC-RAS 4.0, software frecuentemente utilizado en la modelación del comportamiento de las inundaciones ya sea en toda la extensión de un cauce o en un punto de interés presente en la cuenca. Este permite el régimen variable, tiene la capacidad de considerar las llanuras de inundación mediante la creación de zonas donde el agua es almacenada pero no fluye, además considera

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

las aproximaciones mediante estructuras laterales. Por tanto el modelo es capaz de simular situaciones complejas en las que intervengan diferentes cauces.

1.6.1 Limitaciones del software

Independientemente de la frecuente utilización de este software, el mismo presenta limitaciones para el estudio de inundaciones, estas limitaciones son básicamente las siguientes:

HEC-RAS es un modelo unidimensional, incorpora entre sus capacidades la posibilidad de realizar modelizaciones quasibidimensionales bien sea con zonas donde se considera que no hay flujo o con zonas de almacenamiento de agua, los resultados que se obtengan en zonas donde el flujo sea marcadamente bidimensional (grandes llanuras de inundación) no serán todo lo rigurosos que sería deseable.

Como todos los métodos que utilizan esquema de diferencias finitas implícitas tienen problemas de estabilidad donde el flujo sea rápidamente variable. HEC-RAS resuelve este problema mediante el método Local Partial Inertia (LPI), donde incorpora el tratamiento para resolver inestabilidades provocadas por la onda de choque pero hay que tener en cuenta que esto resta precisión a la solución que obtengamos.

Capítulo 2

CAPITULO 2 CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO GUAMÁ (CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SEVILLA)

2.1 Ubicación y características del municipio Guamá

El municipio Guamá, está situado en la parte occidental y sur de la provincia Santiago de Cuba (fig. 2.1). Este municipio surgió en 1976 con la nueva división político-administrativa, teniendo en el poblado de Chivirico, su cabecera municipal. Anteriormente este vasto territorio formaba parte del término municipal de El Cobre.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Junto al municipio de Santiago de Cuba, el municipio de Guamá, comparte el litoral de la provincia. Situado en la porción sur-occidental se extiende por una estrecha franja de 175 km de largo, desde el río Macío hasta la playa de Bueycabón, que a su vez comprende una buena porción de la Sierra Maestra, macizo montañoso más importante de Cuba. Este municipio con una superficie de 949,69 km² ocupa el segundo lugar entre los municipios santiagueros, pero el octavo por su población. Esta situación geográfica determina la fisionomía del municipio, que es eminentemente montañoso, al encontrarse en el mismo la zona más intrincada de la Sierra, el Pico Real del Turquino, con sus 1974 metros de altitud sobre el nivel del mar, y una parte de la llamada "Sierrita o Maestrica de Los Libertadores" cuyos picos sobrepasan los 1700 metros sobre el nivel del mar (msnm), compartida con la provincia de Granma. Limita al norte con los municipios de Bartolomé Masó, Buey Arriba, Guisa, de la provincia de Granma; y Tercer Frente y Palma Soriano, al este aparece el municipio de Santiago de Cuba, al sur está el Mar Caribe y al oeste: encontramos el municipio de Pilon, de la provincia de Granma.

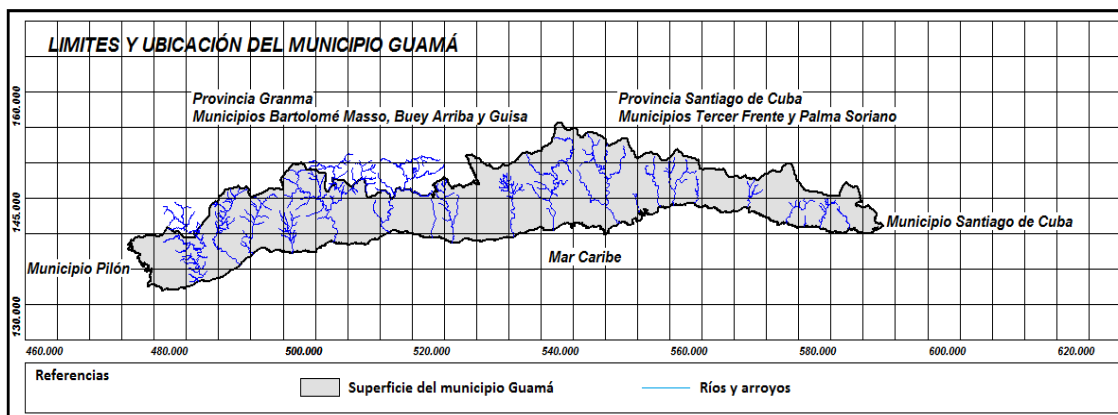


Figura 2.1 Límites y ubicación del municipio Guamá. Fuente: Tesis (Ramos, 2018)

2.2 Clima

En el mapa de las temperaturas medias mensuales del aire, se puede comprobar que en el mes de julio, o sea, en la estación de verano, aparecen las isotermas 27 y 26 °C, siguiendo la misma dirección latitudinal. En los altos picos de la Sierra del Turquino son más bajas las temperaturas que se corresponden con la isoterma 17 °C. En el mes de enero, y correspondiéndose con el invierno, o temporada más

fresca aparecen las isotermas 21, 22 y 23 °C, mientras que alrededor del Pico Turquino está la isoterma 15 °C.

2.3 Precipitaciones

En el mapa de lluvia media hiperanual, el municipio de Guamá tiene 1200 mm de lluvias hacia la costa, cuyos valores van ascendiendo hacia las montañas, llegando a valores superiores a los 2000 mm en los altos picos de la Sierra del Turquino.

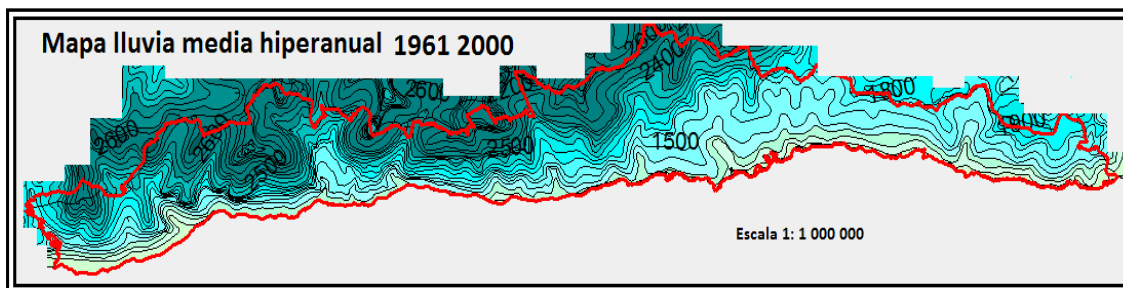


Figura 2.2 Mapa de lluvia media hiperanual. Fuente: Mapa Isoyético de la República de Cuba.

En el período lluvioso comprendido entre los meses de mayo a octubre, coincidente con los meses más calurosos, ocurren las mayores precipitaciones, con valores entre 1000 mm en la costa y hasta más 1600 en el macizo del Pico Turquino y zonas aledañas. Durante el período seco o de escasas precipitaciones de noviembre y hasta abril, el valor de las precipitaciones desciende a unos 300 mm, en la costa y alcanzan los 600 mm en las montañas. La zona norte del municipio de Guamá, está entre las regiones más pluviosas de Cuba, coincidiendo con las mayores alturas de la Sierra Maestra.

En este municipio se encuentra enclavada la cuenca Sevilla objeto de análisis de esta tesis.

2.4 Características de la cuenca hidrográfica del río Sevilla.

2.4.1 Ubicación y características geomorfológicas

La cuenca del río Sevilla se localiza en el municipio Guamá específicamente en el cuadrante N: 140.100 - 140.300, 169.800-169.997 de latitud norte y 540.200 - 560.600, 540.100 - 559.900 de longitud oeste aproximadamente. El nacimiento de este río se localiza en las coordenadas N: 159.200 y E: 547.100 así como su desembocadura en N: 146. 500 y E: 552.300.

Esta cuenca está en la vertiente Sur del parteaguas central de la región Oriental. Posee una morfología alargada casi ovalada con contornos irregulares que puede

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

simular la forma de un abanico. Con orientación de norte a sur. Limita al norte con el río Contramaestre específicamente con su afluente Mogote, al sur con las aguas del Mar Caribe al sureste con la cuenca hidrográfica del río Macío y al suroeste con el río Guamá.

La orientación de la red hidrográfica superficial de la cuenca Sevilla, está determinada por patrones estructurales y geomorfológicos (parteaguas) que condicionan su disposición general de norte a sur desembocando al Mar Caribe.

La corriente principal de la cuenca la constituye el río Sevilla que nace en las estribaciones de la Sierra Maestra y su curso que sigue la pendiente inicial del terreno, determinada por la geología, abre paso hacia su desembocadura situada al sur del municipio Guamá, posee algunos lugares donde alcanza varios metros de profundidad. Recibe numerosos aportes de afluentes potentes y algunos arroyos como El Ají, El Jobo, La Magdalena que entre otros integran y componen su red fluvial. Estos afluentes son de largo recorrido y buen caudal a pesar de que sus nacimientos se encuentran sobre los 800 – 900 msnm. (Figura 2.3)



Figura 2.3 Ubicación geográfica de la cuenca Sevilla. Fuente: Tesis (Ramos, 2018)

2.4.2 Características geomorfológicas de la cuenca

Las principales características de la cuenca del río Sevilla fueron tomadas de la Clasificación Decimal por Nancy Mora, vigente por el INRH y se muestran en la tabla (2.1).

Río	Ac (Km ²)	Hm (m)	Lr (Km)	Yr (0/00)	Yc (0/00)	Dd (Km/Km ²)	H ₁ (msnm)	H ₂ (msnm)	Clasificación.
Sevilla	83,3	422	18.5	50.8	421	0.86	941	0	P

Tabla 2.1 Características geomorfológicas de la cuenca Sevilla. Fuente: Durand, 2017.

A_c - Área de la cuenca (Km²)

H_m - Altura media de la cuenca (m)

L_r - Longitud del río (Km)

H₁ - Cota del nacimiento del río (msnm)

H₂ - Cota de la desembocadura del río (msnm)

Y_r - Pendiente del río (‰)

Y_c - Pendiente media de la cuenca (‰)

D_d - Densidad de Drenaje (Km/Km²)

La clasificación de las corrientes identifica si son permanentes (P) o intermitentes (I).

2.5 Condiciones físicos geográficos

2.5.1 Características del relieve

Por la complejidad y extensión de esta temática solo nos limitaremos a la proporción de la utilidad económica de los morfoelementos sin detenernos en aquellos cuya utilización queda implícita en la proposición de áreas para planes agropecuarios.

El territorio estudiado presenta en su conjunto los siguientes morfoelementos:

- Carso costero con diente perro o lapiez.
- Terrazas litorales.
- Playas y dunas costeras.
- Barras acumulativas fluvio-marinas.
- Cerros litorales y peñones.
- Conos de deyección con sus elementos:

a) llanura aluvial

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- b) terrazas aluviales
- c) planos de inundación.

- Llanuras costeras erosivas.
- Parteaguas.
- Superficie de cima.
- Pendientes.
- Elevaciones cársicas.
- Cañón cársico.
- Valle interior.

Independientemente de que en todos los morfoelementos, en mayor o menor medida, es evidente la acción antrópica, los más afectados críticamente son los parteaguas, las pendientes, las superficies de cima y playas. En todos los casos por la deforestación y el pastoreo irracional; siendo en las playas por las construcciones sobre las dunas, la siembra inadecuada de las casuarinas y el tránsito de vehículos. Lo anterior expuesto exige una acción enérgica para evitar la culminación de la destrucción del suelo en los primeros casos y de la arena en el último.

2.5.2 Clima

El clima es por consiguiente muy variado. Según la clasificación de Koppen, el clima de la cuenca es Tropical, con un verano cálido y moderadas precipitaciones por influencia de su relieve. Las características más notables son un predominio de condiciones tropicales marítimas y distribución estacional de las lluvias, influye de manera decisiva en la formación del clima.

El clima es caracterizado por fuertes contrastes de temperatura entre el mar y la tierra durante todo el día, poca oscilación térmica, alta humedad relativa, un régimen de brisas bien establecido, poca influencia de las corrientes predominantes del área y precipitaciones escasas y variables. Según encuestas informales realizadas el régimen de lluvias descrito se comporta así, aun en temporada de lluvias.

2.5.3 Régimen de temperatura

En resumen, el régimen de temperatura se caracteriza por sus valores relativamente

altos tanto en verano como en invierno, y por un gradiente pequeño; dado por la baja latitud, y la alta exposición a la radiación solar. Estas características son ideales para la práctica del turismo nacional, internacional y para tratamientos climoterapéuticos.

2.5.4 Humedad relativa del aire

La humedad relativa, que se ha convertido en la forma más común de tratar el contenido de humedad de la atmósfera, es importante no solo para la agricultura y el turismo sino también para un sanatorio, las futuras edificaciones y en los asentamientos poblacionales.

Con valores superiores al 70% como es común en la zona, unida con temperaturas mayores de 30 °C provocan la sensación de calor sofocante en el hombre lo que disminuye su capacidad de trabajo y perjudica las actividades a cielo abierto.

La humedad relativa en la superficie costera varía anualmente entre 70 y 78 %, crece a razón de 1.4 % por cada 100 metros para alcanzar entre 89 y 94 % a los 1 200 metros. Diariamente su mayor registro se produce poco antes de la salida del sol y desciende rápidamente con el aumento de la temperatura hasta aproximadamente una hora pasado el mediodía cuando se produce el mínimo.

La variación con la altura se diferencia mucho entre una y otra hora, a las 7:00 am crece a un ritmo de 0.6% /100 metros y a la 1 pm, de 2.3%; esto demuestra que la humedad se mantiene alta y con pequeña oscilación en las partes más altas de las montañas. La humedad es también relativamente alta en los cañones, cuencas y valles intramontanos favoreciendo los cultivos y la vegetación.

2.5.5 El viento

El sistema normal del viento en el tramo que se describe se caracteriza por un régimen de brisa marina bastante estable de dirección Sur; comienza entre 10:00 y 11:00 de la mañana y baña toda la ladera hasta las 4:00 pm. Aproximadamente tiene una rapidez media de 12 a 14 km/hora entre las 12:00 y 1:00 pm, luego se convierte en variable flojo de región Sur; con posterioridad da paso al período de calma desde las 5:00 hasta las 8:00 pm.

Desde las 10:00 pm, por los valles fluviales y zonas bajas se produce el terral fresco

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

que cesa inmediatamente después de la salida del sol, dando paso a 3 horas de calma al comienzo de la mañana.

En amplias zonas del litoral, los vientos de región Norte durante la noche no son observables debido a la especie de cortina que constituyen las colinas o montañas próximas.

Por último otra circulación importante que tiene lugar en esta vertiente, son los torbellinos horizontales que se producen durante el día y son de interés como mecanismo de transporte para plagas y enfermedades. En el horario de la brisa esta asciende por la ladera y al nivel de la cima del parteaguas principal es devuelta en dirección opuesta por la corriente dominante de los alisios y comienza a girar horizontalmente; mientras que dure la brisa marina constituye una circulación típica de laderas mirando al sur, es más efectiva en el verano.

2.5.6 Precipitación

El régimen de precipitación de la zona fue determinado por el mapa Isoyético de la República (1961-2000) en un período comprendido entre los últimos 39 años. Debido a que actualmente no se cuenta con pluviómetros en la zona producto de emigración de la población por lo que no pudo contar con una base de datos para un procesamiento puntual de la cuenca.

Las precipitaciones se distribuyen en dos estaciones: estación lluviosa desde mayo a octubre con el 70% aproximadamente de la lluvia anual y la estación poco lluviosa desde noviembre hasta abril con el 30%. Hacia las zonas costeras y las partes bajas se registran los menores índices de pluviosidad siendo el promedio anual alcanzando valores de 900 mm, además en la zona se registra una tasa de evaporación superior a los 2000 mm.

La frecuencia de números de días anuales con lluvia tiene su valor mínimo en la parte más baja de la cuenca y todo el litoral Este. Los números de días con lluvia se incrementan hacia el Norte en las partes más altas del relieve.

Los frentes fríos recorren el territorio normalmente entre los meses de noviembre y marzo. Aunque su intensidad y frecuencias son sensiblemente bajas por el efecto del relieve, ellos están precedidos de vientos de direcciones Sur, húmedas, que producen precipitaciones continuas de moderada intensidad en las partes más altas

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

del sistema montañoso.

Las depresiones y perturbaciones tropicales son más frecuentes en junio, septiembre y octubre, afectando los que se originan o cruzan el Caribe Oriental y Central. En dependencia de su velocidad de traslación se presentan en la zona de dos a seis días con lluvias seguidas; estas precipitaciones se producen sin preferencia de horarios y pueden producir inundaciones en las partes bajas, roturas de puentes, etc. Los vientos asociados no pasan de los 90 Km/hora. En los casos de perturbaciones ciclónicas las marejadas y olas imposibilitan la navegación para las embarcaciones menores por lo que deben ser debidamente protegidas.

Lógicamente los Huracanes son los fenómenos meteorológicos de mayor peligro. Su mayor frecuencia ocurre también en Septiembre y Octubre, no obstante la zona oriental del país no es azotada con frecuencia por huracanes, pues el relieve de las islas cercanas y el de nuestra propia región frena el desarrollo de estos organismos. Pero cuando estos meteoros logran estructurarse y pasar cerca del área las afectaciones son grandes; característicos con fuertes vientos que aumentan con la altura, las lluvias continuas de gran intensidad y las penetraciones del mar en las partes bajas del litoral.

Como consecuencias traen crecidas de ríos y arroyos que destruyen parcialmente las carreteras y puentes, comunicando por esta vía varios tramos del sector, se derriban casas en mal estado, y normalmente se interrumpen las comunicaciones telefónicas, además se pierden animales y cosechas, sufren daños las embarcaciones e instalaciones marinas.

Las características hidrológicas clasifican la Cuenca Sevilla, como una cuenca superficial, que abriga en ella una red fluvial de varios órdenes con afluentes potentes de gran caudal, que tributan sus aguas a la corriente principal. Todas estas aguas que concurren a alimentar la corriente superficial de la red fluvial del río Sevilla provienen de un área que constituye su cuenca la cual está delimitada por zonas más altas que sirven de divisorias entre las cuencas vecinas. Es una cuenca del tipo exorreica que vierte directo al mar con un régimen estacional.

La Cuenca está dominada en sus mayores partes por zonas pre montañosos y montañosos, aunque coexisten otras formas de relieve como pequeñas

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

ondulaciones y terrazas. Entre estas llanuras se localizan partes de las alturas que se alcanzan hasta 250 -300 m. Al norte se encuentran las estribaciones de la Sierra Maestra donde la mayor elevación dentro de la cuenca es de 940 metros sobre el nivel del mar (msnm) coincidiendo con la línea divisoria de las aguas, esta cuenca es de un río de montaña y debido al predominio de zonas altas cerca del parte aguas central y a pendientes más pronunciadas, por lo que aumenta la capacidad de evacuación de las aguas. Figura (2.6).

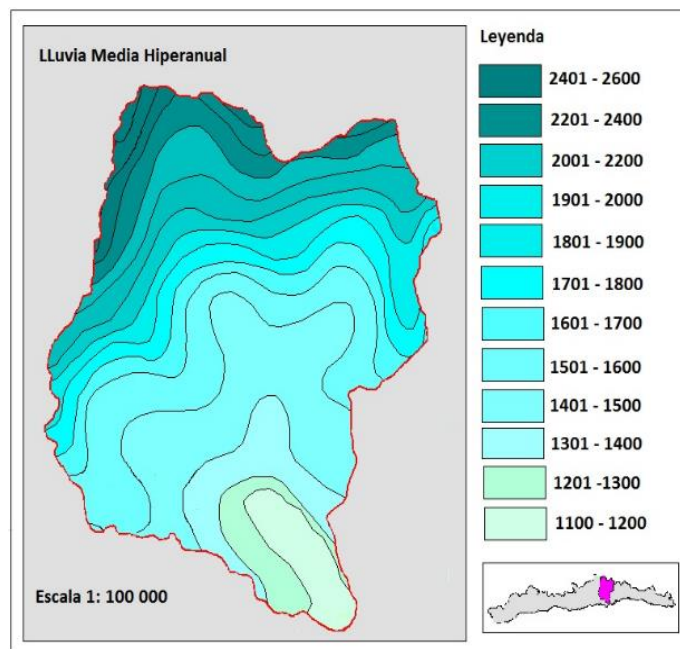


Figura 2.6 Mapa de Lluvia Media Hiperanual. Fuente: Mapa Isoyético de la República de Cuba.

La amplia extensión del área y su variado relieve permiten variaciones en la lluvia media de la zona desde 980 hasta 2600 mm; por ello existen las condiciones

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

necesarias para la formación del escurrimiento superficial permanente, en especial en la cuenca Sevilla. Esto asociado a las fuertes pendientes de los ríos y la morfometría de sus cuencas, permiten la formación de grandes avenidas en épocas de lluvias intensas. Figura (2.7)

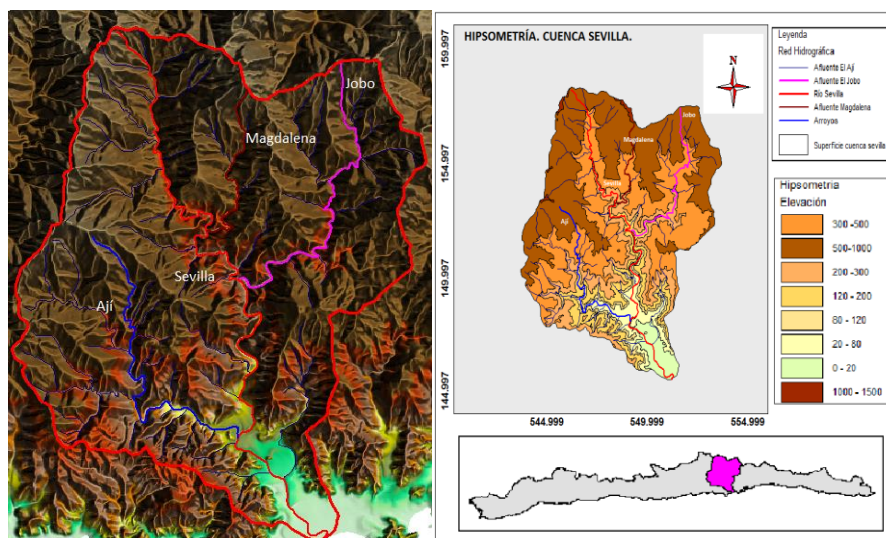


Figura 2.7 A la derecha Modelo Digital del terreno y a la izquierda mapa de Hipsometría. Fuentes: Base Cartográfica Digital de GeoCuba 1: 25 000. Base Cartográfica Digital de la PPFF 1: 25 000.

En el caso de los ríos de montaña con pendientes fuertes, es muy importante el conocimiento de los gastos máximos correspondientes al 1% de probabilidad, o sea de una vez cada 100 años, pues estos valores coinciden con las de grandes avenidas, propensas a producir catástrofes naturales. De ahí que se infiera que se tenga en cuenta en la proyección económica y turística de la zona.

Por otro lado, la utilización de las aguas subterráneas debe estar avalada con los estudios realizados por los especialistas de la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos según corresponda, con vista a evitar una incorrecta explotación de las mismas y así prevenir que se produzca la salinización de las aguas.

Un aspecto importante para el futuro desarrollo económico y social del territorio son los embalses. La propia característica de ríos de montaña y la devastación de la vegetación de las cuencas, provoca que su escurrimiento superficial sea abundante y que su caudal, producto de lluvias eventuales, se pierda en el mar; desaprovechando la lluvia caída.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Dentro de los límites político - administrativo del municipio Guamá de la provincia Santiago de Cuba, existe un área de 949.69 km², lo que representa el 15.39 % de la superficie total de la provincia. De igual manera la cuenca Sevilla abarca áreas de tres Consejos Populares. Del Consejo Popular Chivirico abarca un área de 129.0 km², o sea el 10.27 % que se halla dentro de la cuenca; del Consejo Popular Bahía Larga un área de 45.87 km², el 18.92 %. El tercer Consejo Popular que comparte espacio dentro de la cuenca es Madrugón con el 53.81 % de su superficie, de un área total de 55.61 Km².

En las áreas del río Sevilla, se asientan una población siendo el cien por ciento de la población costera, rural, el 56,33% son del sexo masculino y el 43,67% del sexo femenino, para una proporción aproximada de 0.8 mujeres por cada hombre. El 61% de la población tiene menos de 35 años, el 29% está comprendido entre 35 y 60 años y aproximadamente el 10 % tiene más de 60 años.

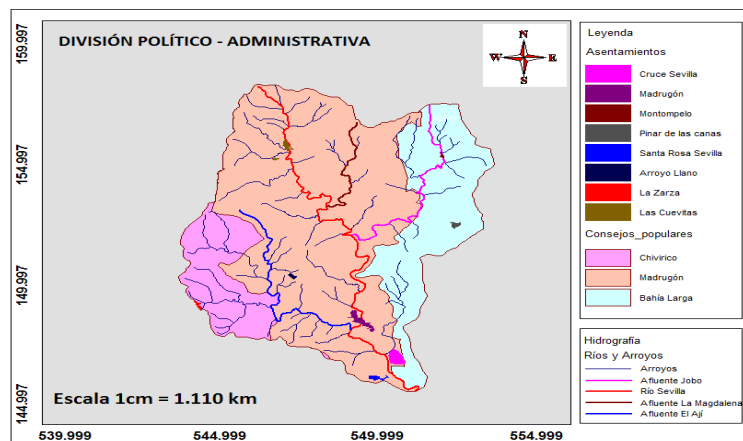


Figura 2.8 Mapa de la División Político-Administrativa. Fuente: Elaborado a partir de información obtenida de la ONE de Santiago de Cuba.2011.

En la zona habitan 18,14 habitantes por kilómetro cuadrado, el mayor por ciento vive a una distancia entre 1,5Km y 4 Km de la costa. Esta constituye la población permanente de Madrugón, pero existe un porcentaje sin precisar entre trabajadores, estudiantes y turistas en la localidad durante una parte del día y en otros casos por días, semanas y/o meses.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Es por ello que existe alta susceptibilidad a las inundaciones sobre todo en zonas próximas a la costa, donde se encuentran los consejos populares que caen dentro de la superficie de la cuenca los que se verán afectados.

Entre los factores que determinan el grado de susceptibilidad se encuentran las zonas de pendiente muy fuerte y ríos de cursos muy cortos, lo que origina rápidas escorrentías de sus aguas y débil capacidad de evacuación de las mismas. Que pueden ser afectados por lluvias intensas en 24 horas con magnitudes que oscilan desde 646 mm hasta 400 mm.

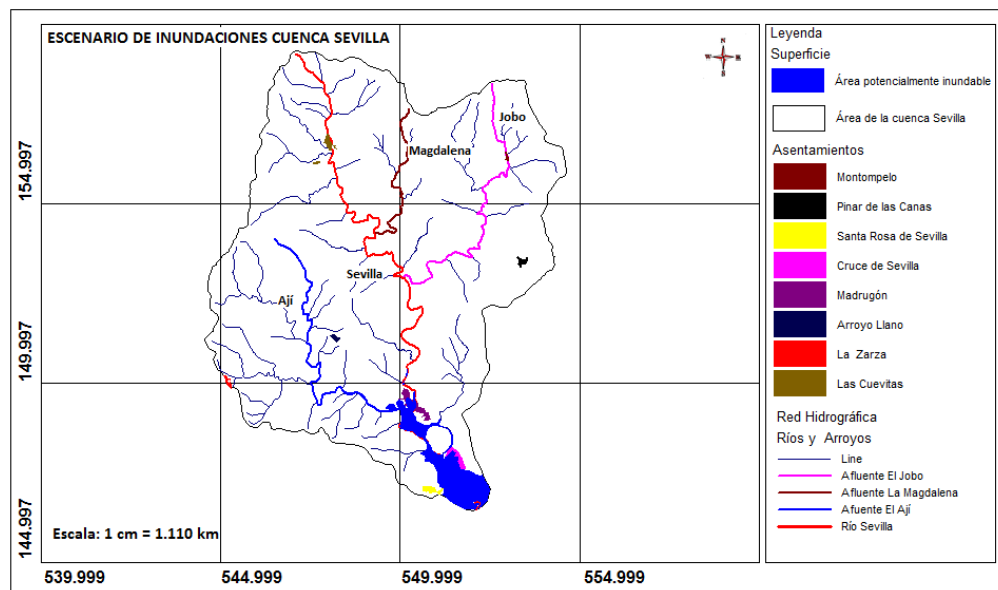


Figura 2.9 Mapa de Escenario de Inundaciones. Fuente: Elaborado con el Escenario de inundación de la provincia. Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo. (Lic. Alberto Beyris e Ing. Guadalupe Bermúdez)

2.5.7 Suelos

El territorio estudiado presenta características fisiográficas muy dinámicas y de fuertes contrastes. La erosión hídrica juega un papel determinante en el proceso de disección de las laderas en las zonas con fuertes pendientes, dado a que se reúnen condiciones muy favorables para su desarrollo. El rápido escurrimiento de grandes volúmenes de las aguas de lluvia en consonancia con las condiciones ya apuntadas y otras de carácter geológico - geomorfológico, así como la naturaleza y grado de meteorización de las cortezas han dado lugar a diferentes tipos de suelo.

La condición bioclimática asociada al relieve ha jugado un rol determinante en la

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

formación de los suelos; sin embargo, las alteraciones antrópicas han dado lugar a serios desbalances del ecosistema. Una consecuencia importante ha sido la erosión acelerada, acentuada particularmente por la tala indiscriminada de los bosques; a tal extremo, que en la actualidad la vegetación predominante en la mayor parte del territorio es secundaria.

Las grandes avenidas de los períodos lluviosos han contribuido a intensificar los procesos denudativos, principalmente en la porción media-superior de las cuencas. Esto se ha combinado con la acumulación de materiales de naturaleza y diámetro variado en los planos bajos, próximos al litoral, donde se han formado conos aluviales.

De todos los tipos de valles conocidos, los formados a partir de depósitos aluviales son los más frecuentes en el territorio. Dichos valles alcanzan y suman una extensión considerable de gran valor agrícola, con buenas condiciones en cuanto a contenido de materia orgánica, aireación, propiedades físicas y fisicoquímicas; los que son fáciles de trabajar.

Los valles generalmente se vuelven anegadizos en su porción inferior. En la mayoría de los casos la carretera costera favorece el estancamiento del manto freático, creando condiciones hidromórficas y con ello la formación de un horizonte gley en los suelos del valle aluvial. De todos los suelos encontrados, las áreas situadas en la porción más baja de los valles Nima - Nima, Boca de Dos Ríos, Cojímar, Quiviján, Macío y Sevilla constituyen las tierras más limitadas para el cultivo.

En la zona litoral Aserradero-Bahía del Mazo se encuentran terrazas de calizas estratificadas de diferentes edades con desarrollo cársico y depósitos de marga. En algunos puntos dicha formación se ve interrumpida por el paso de alguna corriente como es el caso de los ríos Quiviján, Catívar y Potrerito. que forman pequeños cañones en su parte más baja.

En la mayor parte de la faja litoral abundan poco los suelos en fase de formación dialítica, con excepción de algunas zonas localmente bajas o de presionadas en las que yacen suelos con prevalencia de minerales arcillosos del tipo 2:1 y con capacidad de intercambio catiónico suficientemente grande. La llanura litoral

alcanza de 1-3 Km en su parte más ancha; los suelos más extendidos corresponden al agrupamiento pardos, fersialítico y ferralíticos; los mismos pueden encontrarse sustentados por tobas, rocas granito des, depósitos coluvial, proluvial, aluvial, etc. En dirección Norte hasta los primeros 400-600 metros sobre el nivel del mar (msnm) se observa una alternancia de sedimentos tobáceos, brechas tobáceas y porfiritas entre otras, sobre los que se encuentran suelos pardos, pardos grisáceos y fersialítico. Por encima de la cota 600 los suelos ferralíticos sobre corteza del mismo nombre son muy frecuentes.

Con excepción de la parte baja de los valles y de la faja litoral donde el drenaje tanto interno como superficial son deficientes, en el resto de las áreas estudiadas existen condiciones favorables para el desarrollo de por lo menos un cultivo determinado. La faja premontañosas con relieve ondulado o alomado es óptima para frutales.

2.5.8 Uso de los suelos

Según el mapa de uso de los suelos se conoce que 43.65 km está en uso, lo que implica el 48.8 % de la superficie de la cuenca.

Estos suelos son utilizados en la silvicultura tales como Coníferas y Latifolias en 0.46 y 0.602 %, un 19.5 % en la actividad cafetalera, el 19.9 % constituyen pastizales para la ganadería, el 2.27 % se emplean en cultivos varios, el 2,1 % constituyen terrenos ocupados por vegetación de ríos y arroyos, el 44.19% son ocupados por bosques naturales, el 1,65% están cubiertos por plantaciones diversas, el 1,34% son ocupados por vegetación costera. Los asentamientos poblacionales ocupan el 0,67 %, de ellos el 0,007 Km² son ocupados por las instalaciones del hotel. Un menor por ciento es utilizado en caminos no pavimentados y otras actividades (Tabla 2.3)

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Usos	Superficie	%
Coníferas	0.415	0.46
Café	17.46	19.5
Pastos Naturales	17.83	19.9
Viveros	1.615	1.81
Cultivos varios	2.036	2.27
Latifolias	0.537	0.602
Bosques Naturales	39.47	44.19
Total	43.65	48.8

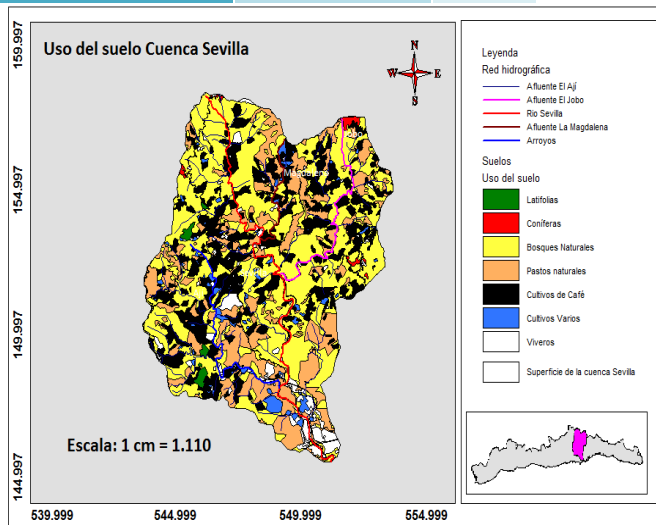


Tabla 2.3 Mapa de uso del suelo en la cuenca del río Sevilla. Fuente: Mapa de uso de suelo en la provincia.

Capítulo 3

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL PROGRAMA.

3.1 Cálculo de los gastos máximos

Se calcularon los gastos máximos de confluencia de las aportaciones de los tributarios al río Sevilla, para ello se utilizó el método de Kochasvili.

En las tablas (3.1 y 3.2) se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación del método de Kochasvili donde se calculó:

$$Q_{1\%} = 5.5(Y_c)^{0.44} \cdot (A_c + 1)$$

Y_c – Pendiente media de la cuenca (‰)

A_c – Área de la cuenca (Km²)

El tiempo de concentración fue determinado por la fórmula de California.

$$t = 58(L^3/H)^{0.385}$$

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

t -- tiempo de concentración en mins

l – longitud del río en Km

H – diferencia de elevación entre el punto de confluencia y el nacimiento del cauce en m.

El volumen al 1% de probabilidad se obtuvo por la siguiente expresión:

$$W_{1\%} = 90 \cdot Q_{1\%} \cdot t_c$$

Para la obtención de los gastos y los volúmenes a diferentes probabilidades se definieron por sus respectivos factores de conversión.

Cuenca	Q _{1%} (m ³ /s)	Q _{2%}	Q _{5%}	Q _{10%}
Sevilla	66,202	54.948	36.411	28.467

Tabla 3.1 Cálculo de los gastos máximos. Fuente: propia.

W _{1%} (Hm ³)	W _{3%}	W _{5%}	W _{10%}	t _c mins	Y _c (‰)
4,7	3,469	2,899	2,376	614,90	421

Tabla 3.2 Cálculo de los volúmenes. Fuente: propia.

Perfil	Área (km ²)	Q (m ³ /s)
1	10.7967	142.26
2	0.6178	8.23
3	7,4405	68.36
4	20.7599	173.03
5	----	0
6	6.1491	56.4
7	0.4795	4

Tabla 3.3 Cálculo del gasto según los afluentes de cada perfil. Fuente: propia

3.2 Modelación del programa

La modelación de la inundación se realizó para 7 secciones transversales, cada una de ellas se ubicó teniendo en cuenta el curso del río, los aportes de los afluentes y las indicaciones del software HEC-RAS 4.0.



Figura 3.3 Perfiles en la cuenca del río Sevilla

3.3 Análisis y resultados del software

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la modelación del software HEC-RAS 4.0. .

Secciones transversales	Coordenadas		Cota del fondo del río (m)	Cota que alcanza (m)	Gasto en el cierre (m ³ /s)
	N	E			
I-I	155 527.83	548 272.56	270.0	274.81	142.26
II-II	154 479.58	548 708.25	230.0	234.56	150.5

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

III-III	153 653.08	549 606.38	150.0	155.11	218.9
IV-IV	152 174.79	550 217.88	100.0	106.97	391.93
V-V	151 010.12	550 423.92	40.0	44.76	391.93
VI-VI	149 308.98	550 419.45	20.0	26.57	448.33
VII-VII	147 638.03	551 265.01	5.0	7.09	452.33

Tabla 3.4 Resultados de la modelación

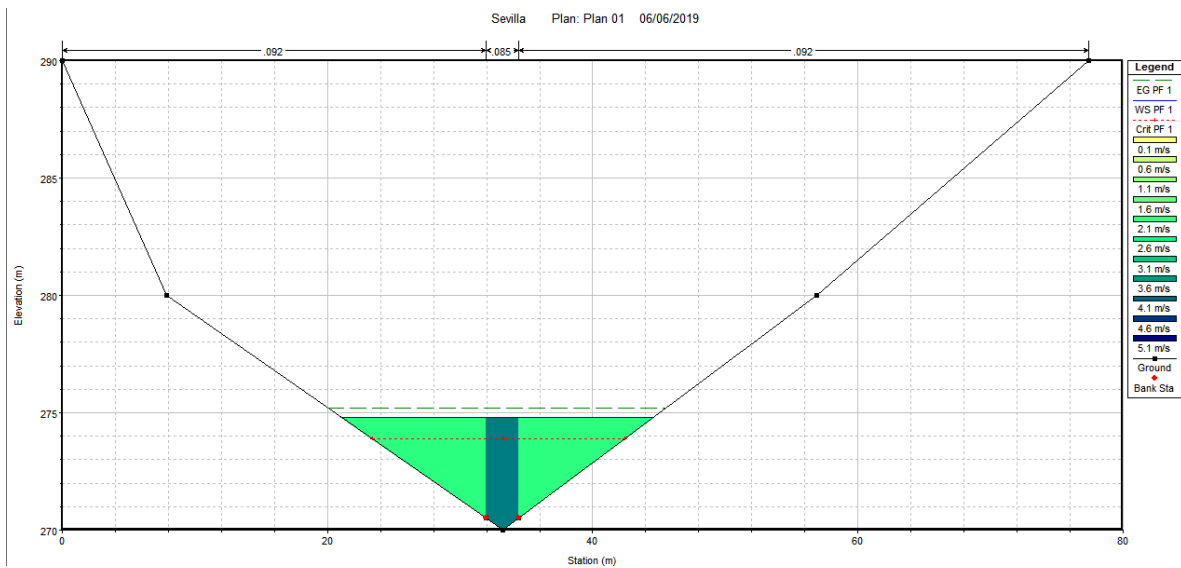


Figura 3.4 Sección transversal 1

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

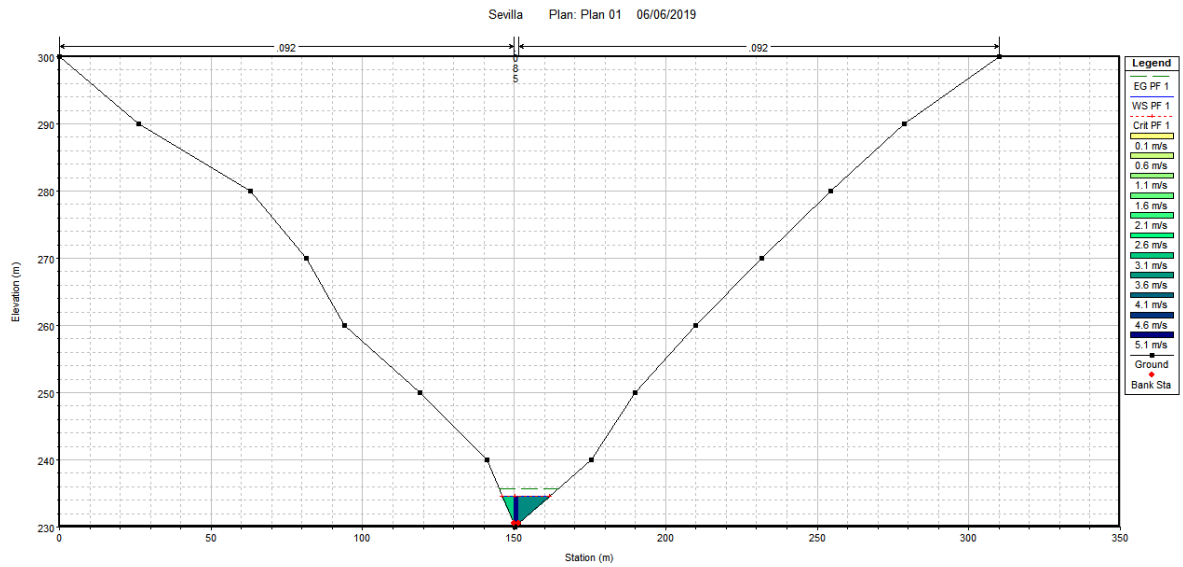


Figura 3.5 Sección transversal 2

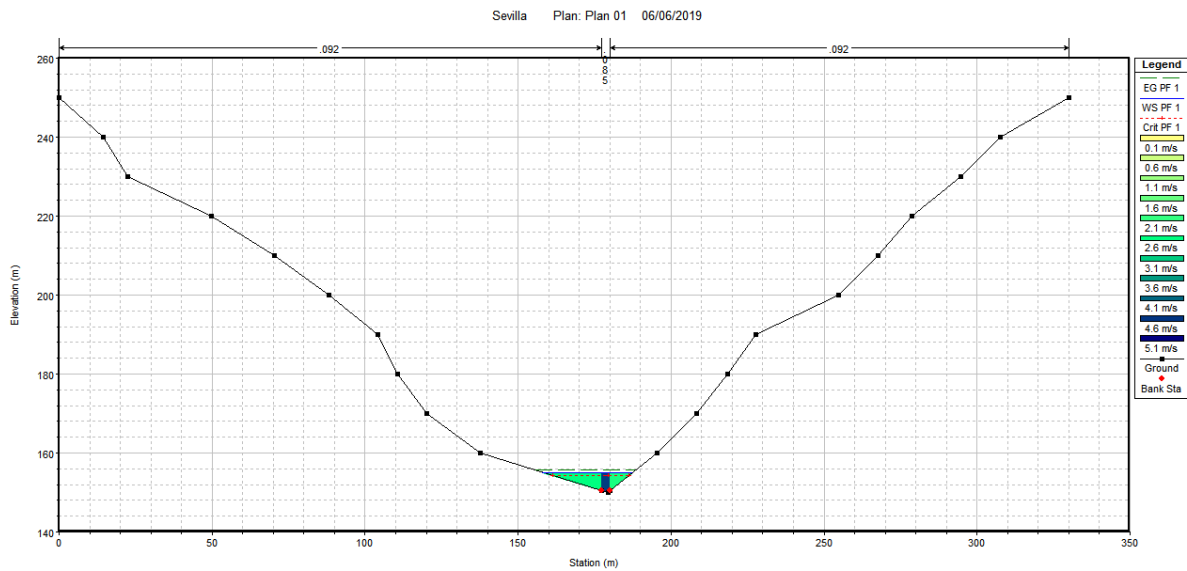


Figura 3.6 Sección transversal 3

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

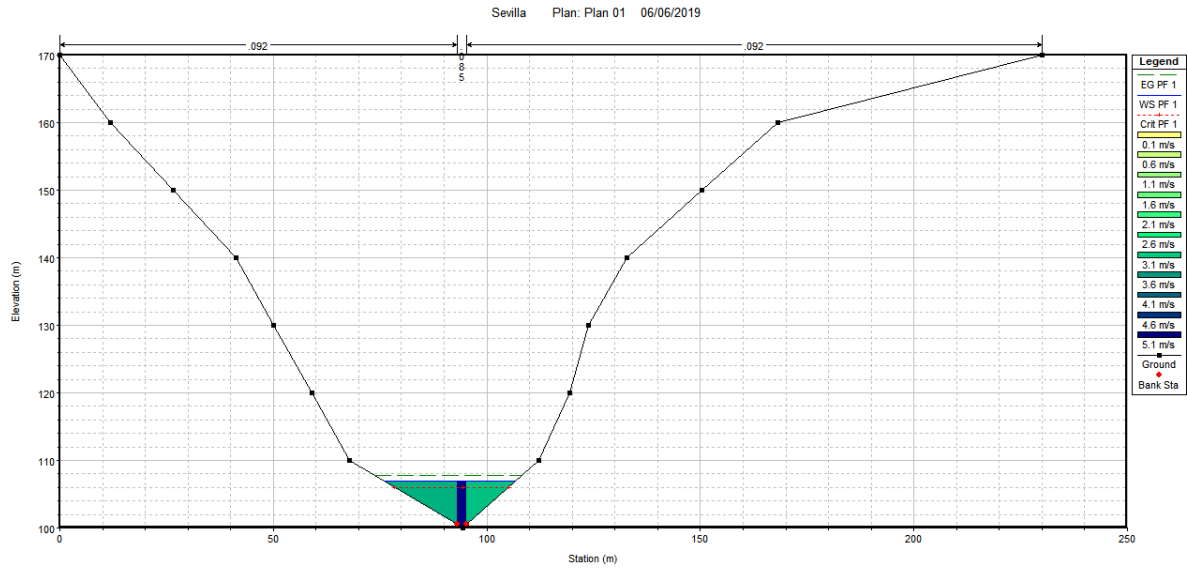


Figura 3.7 Sección transversal 4

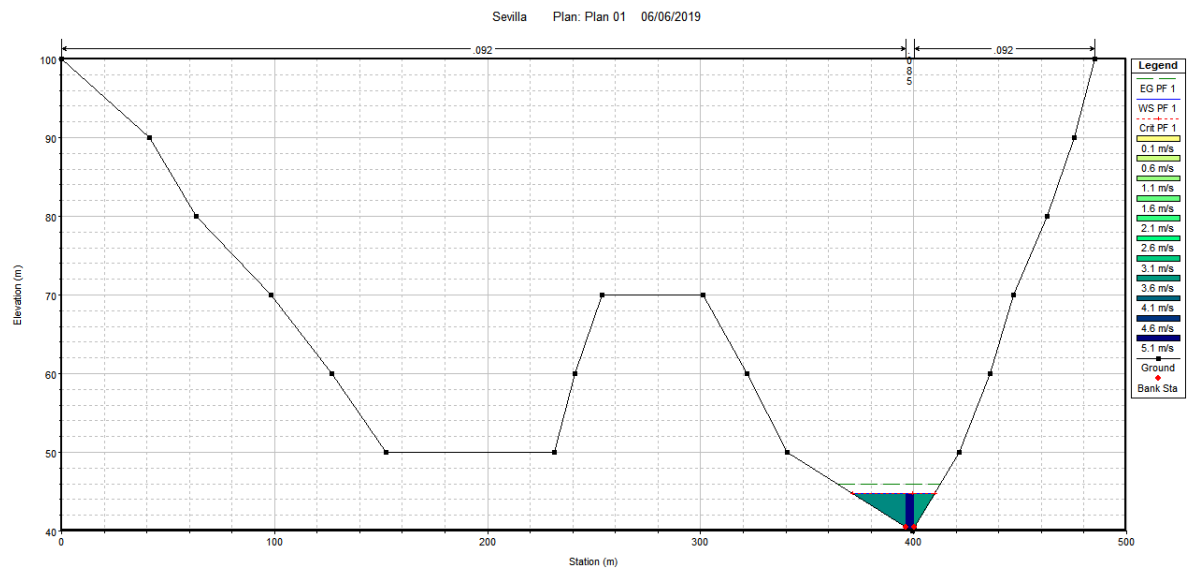


Figura 3.8 Sección transversal 5

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

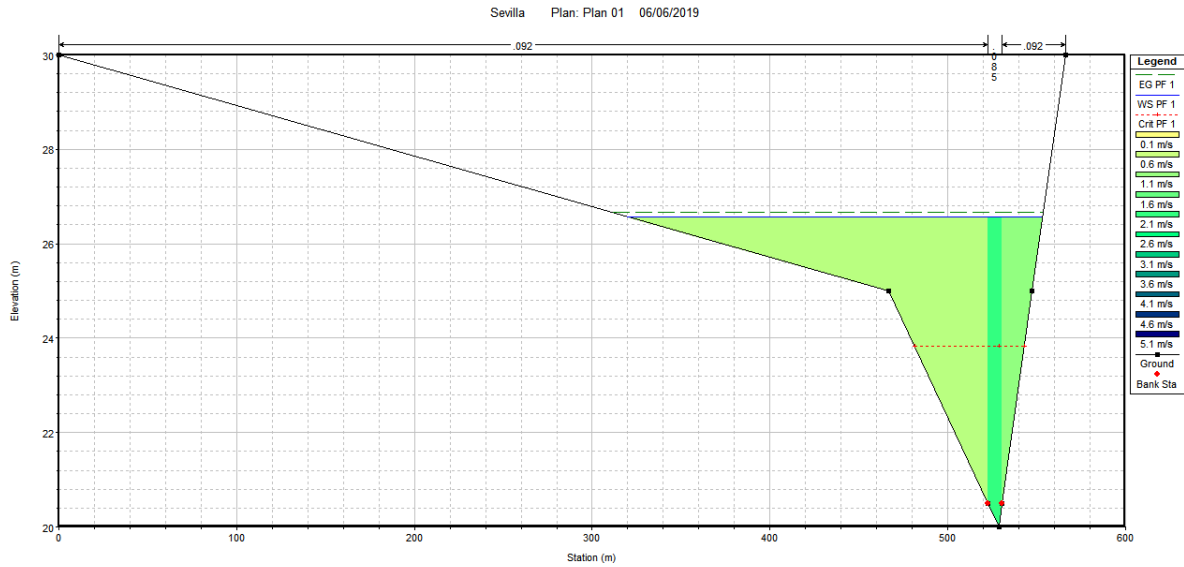


Figura 3.9 Sección transversal 6

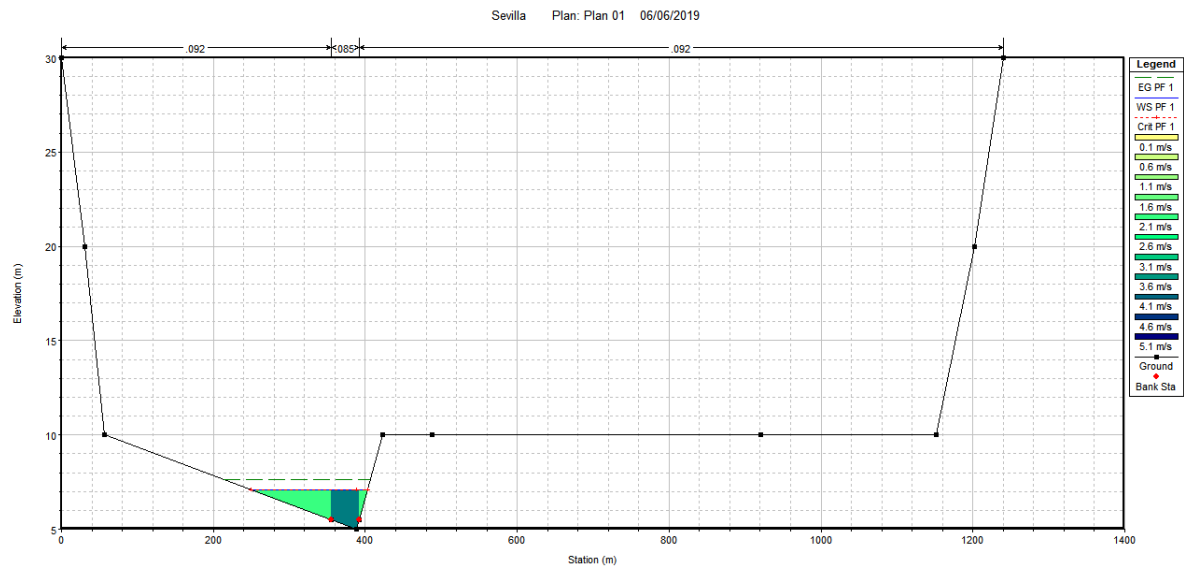


Figura 3.10 Sección transversal 7

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

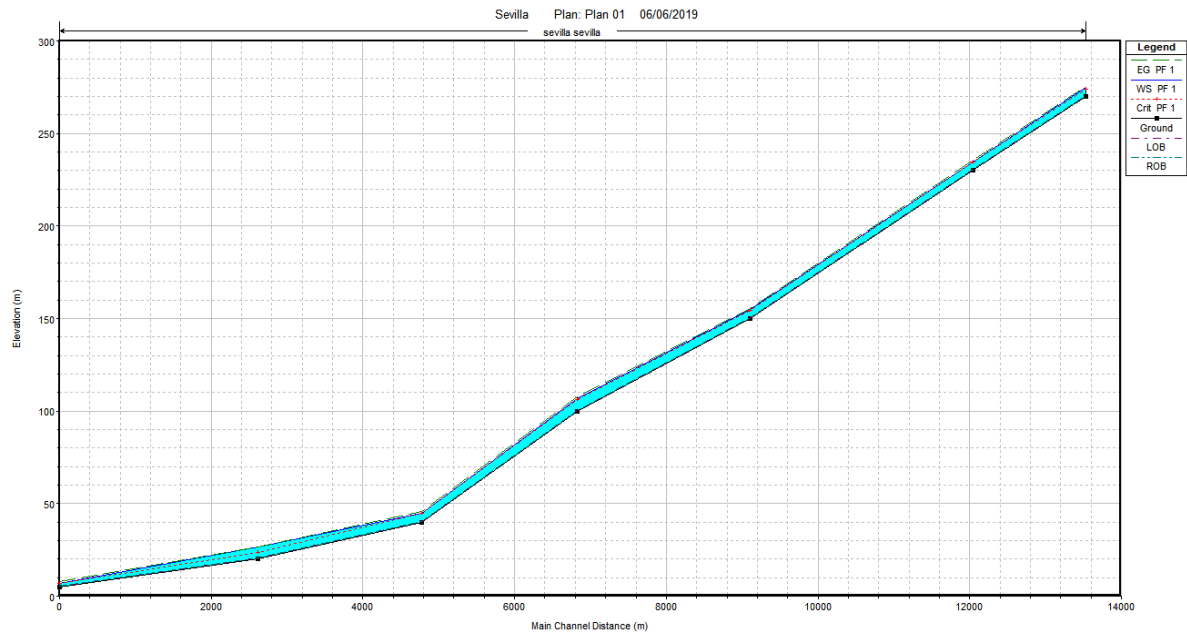


Figura 3.11 Comportamiento del perfil de la lámina de agua.

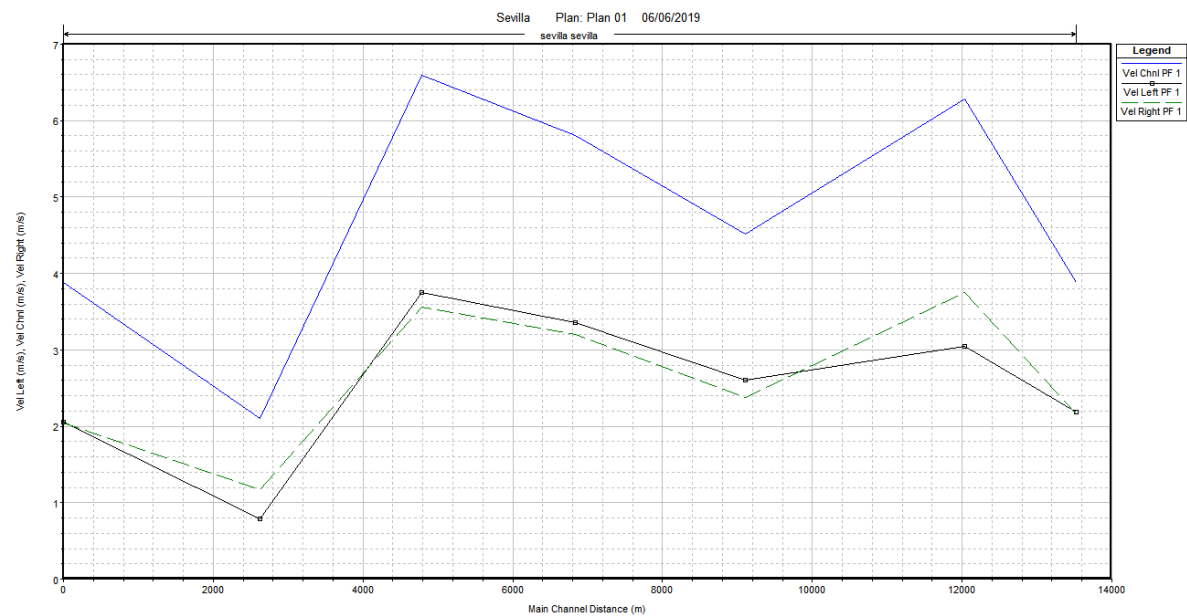


Figura 3.12 Comportamiento de las velocidades en todo el cauce del río.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

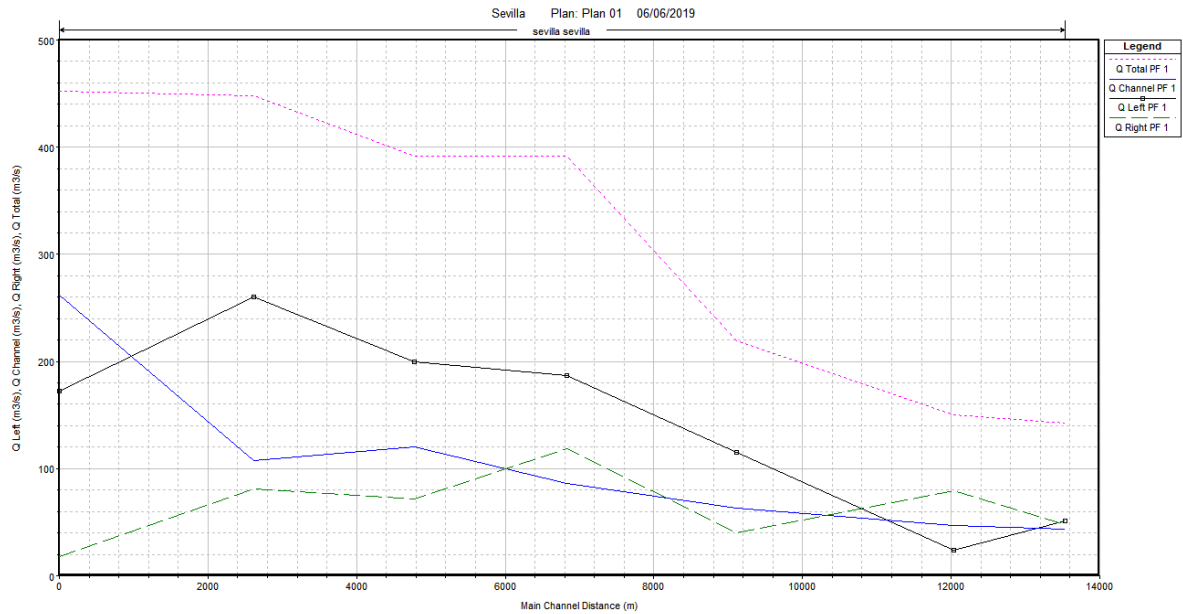


Figura 3.13 Comportamiento de los caudales en las áreas inundadas.

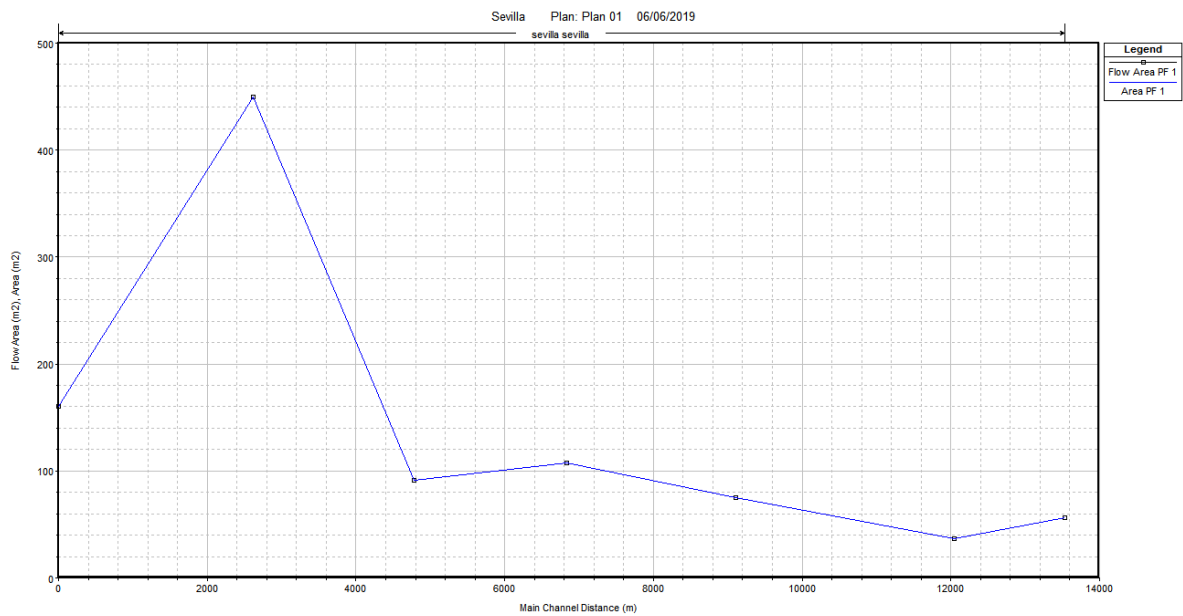


Figura 3.14 Comportamiento de las áreas inundadas.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

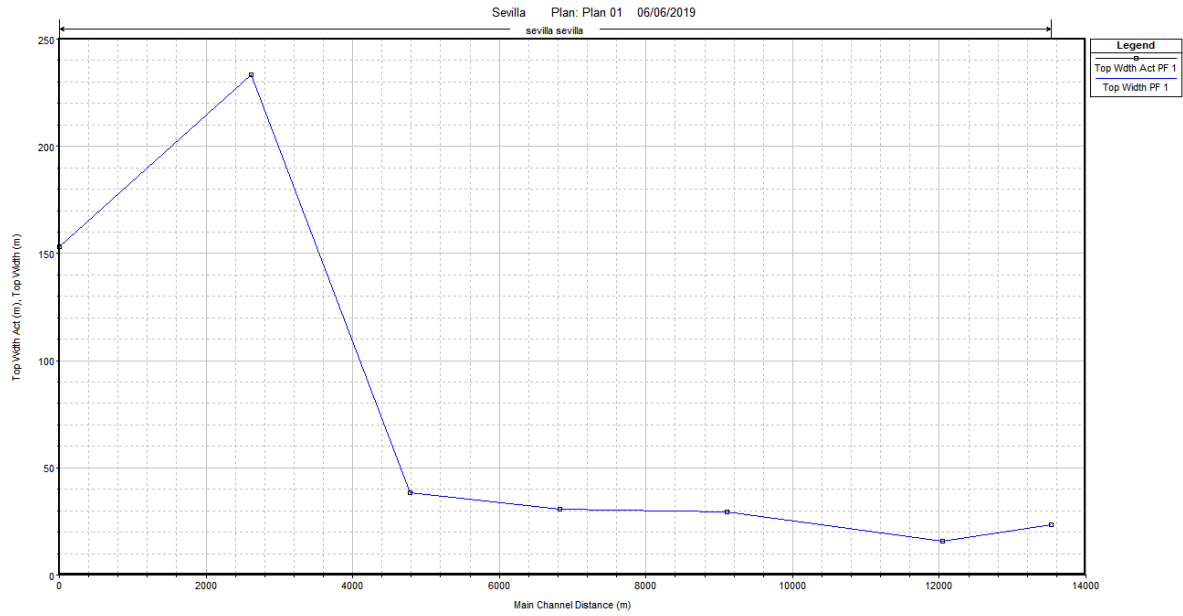


Figura 3.15 Ancho de las secciones según la mancha de inundación.

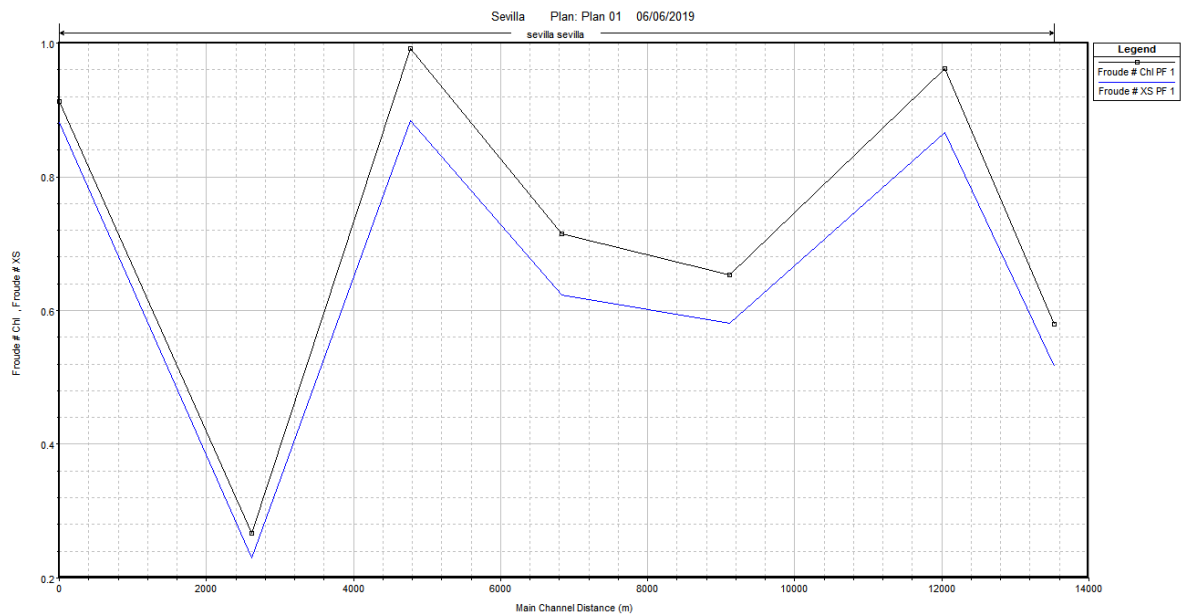


Figura 3.16 Comportamiento del # de Froude en las áreas inundadas.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

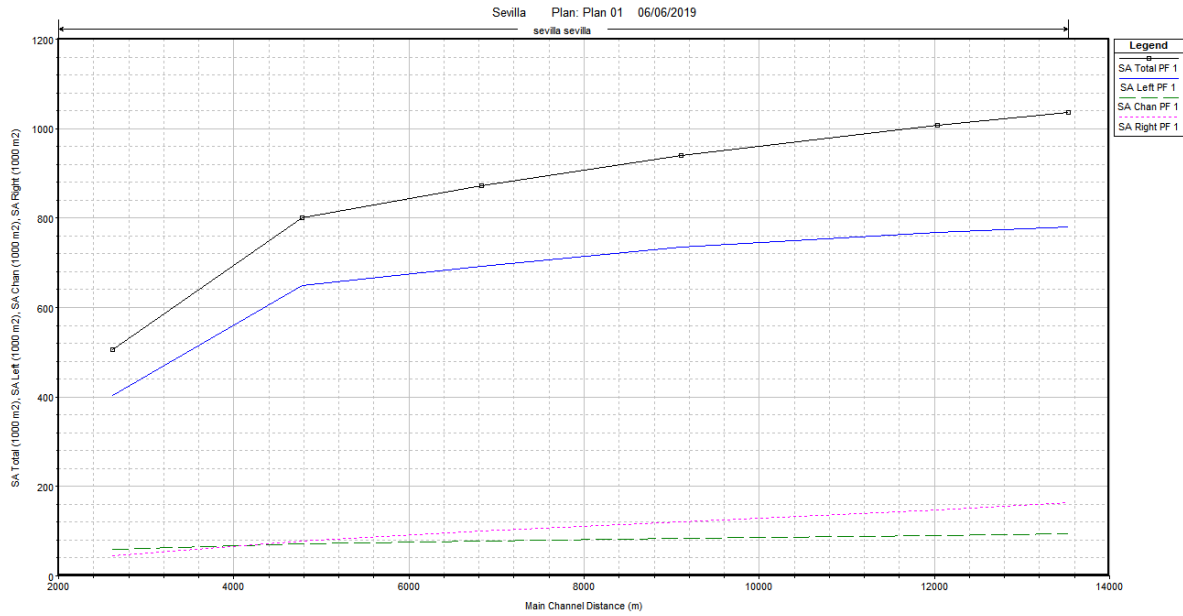


Figura 3.17 Comportamiento de las áreas superficiales inundadas.

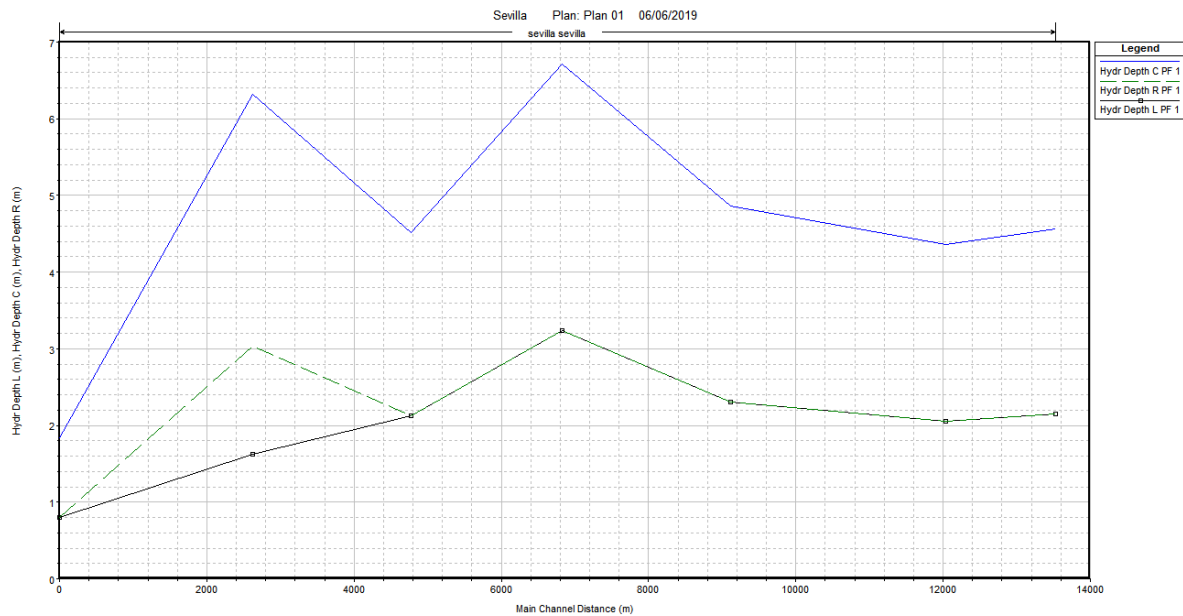


Figura 3.18 Comportamiento de la profundidad hidráulica en las áreas inundadas.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

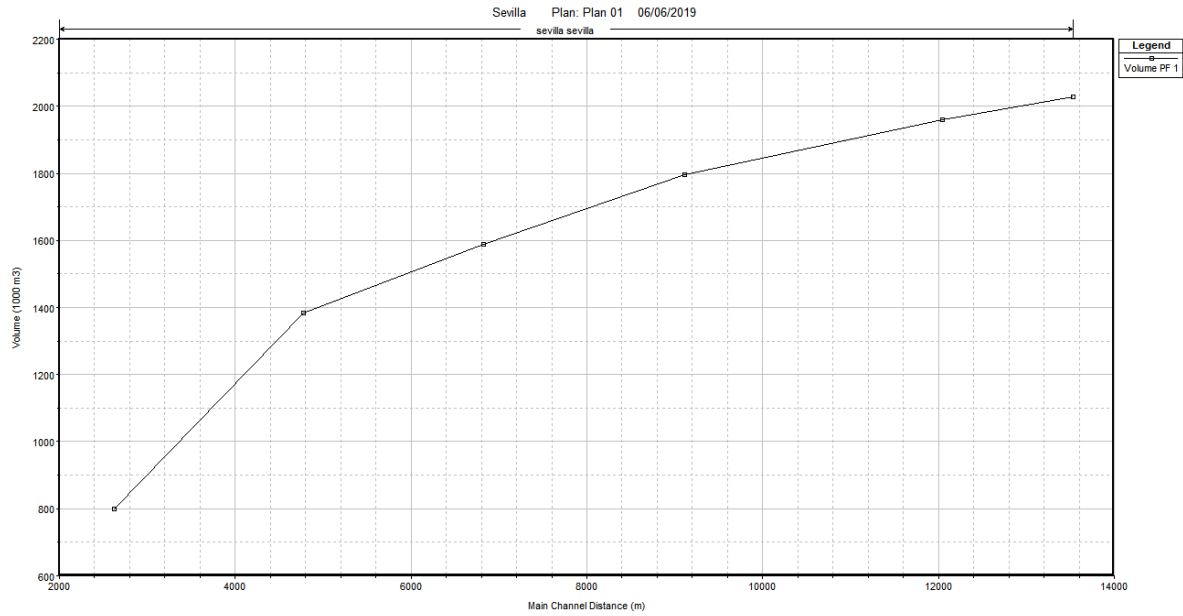


Figura 3.19 Comportamiento del volumen en las áreas inundadas.

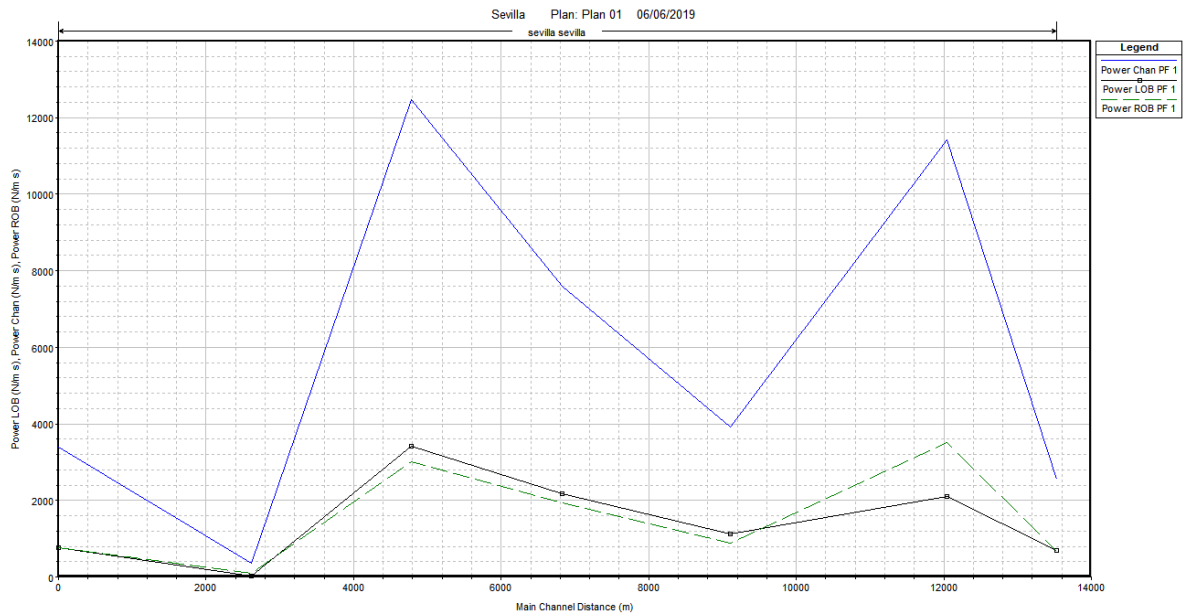


Figura 3.20 Comportamiento de la potencia del flujo en las áreas inundadas.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

La simulación en el programa HEC-RAS en su versión 4.0 nos ha permitido obtener información muy valiosa referente al recorrido y comportamiento de la huella de inundación. En un total de 17 gráficos han sido representados los siguientes elementos:

1. En las primeras 7 figuras quedan plasmadas las 7 secciones transversales con el nivel de agua para cada valor de gasto especificado y el comportamiento de la distribución de las velocidades según las márgenes del río y su canal principal.
2. Perfil de la lámina de agua.
3. Velocidad en cada una de las secciones.
4. Caudal que transita por cada sección y su distribución en la misma.
5. Área inundada en cada sección transversal. Área definida según el nivel del agua.
6. Ancho inundado en cada sección transversal.
7. Número de Froude. Caracteriza el régimen que predomina aguas abajo del embalse.
8. Área de la superficie.
9. Calado hidráulico de cada sección. Muestra las máximas profundidades en las márgenes y el canal principal.
10. Volumen de agua que pasa por cada sección.
11. Potencia del flujo a su paso por las secciones transversales.

Como podemos apreciar, las secciones transversales están frecuentemente cambiando su geometría, las manchas de inundación cuentan con un ancho considerable en las dos primeras secciones no así en las siguientes debido a que la onda de inundación es amortiguada por el relieve del terreno. El gasto de inundación es altamente considerable en los perfiles 5, 4 y 1 debido a los aportes de los afluentes La Magdalena, El Jobo y El Ají por ese orden.

Las secciones 3 y 6 presentan los mayores valores de velocidad y potencia del flujo en todo el tramo analizado, siendo el perfil 2 el de menor valor puesto que presenta el mayor ancho superficial de todas las secciones.

La geomorfología del tramo fluvial entre el primer perfil y la última sección, provoca anchos superficiales considerables entre las secciones 1 y 3, variando entre 152 y 233 m, delimitando una zona de alto riesgo durante el paso de las inundaciones mientras en las restantes 4 fluctúan entre 17 y 39 m.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Los calados máximos de inundación asociados al tránsito de la onda de inundación van desde los 1.8 m en el primer perfil hasta un máximo de unos 7.5 m en el cuarto perfil, comportándose de manera estable entre 4.8 y 4.6 m en los últimos 3 perfiles.

Conclusiones.

CONCLUSIONES.

Al realizar el estudio de como acontece una inundación, apoyado en la realización de una búsqueda bibliográfica importante para esta investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se logra un análisis geográfico – hidrológico.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- Que tanto las características físico-naturales como las actividades de uso de suelo, influyen en la inundación de la cuenca del río Sevilla.
- Para el cálculo de los gastos máximos a diferentes probabilidades se empleó el método de Kochasvili por situarse en el entorno y estar del lado de la seguridad ya que incorpora en su fórmula la pendiente y el área de la cuenca, ya que es muy importante por ser un río de montaña.
- Al emplear el software HEC-RAS, el mismo nos brindó el comportamiento de las inundaciones, mostrando en todas las secciones transversales el nivel de lámina de agua, donde los niveles varían entre 2m y 7m. y las velocidades varían entre 1,4 m/s y 4,7 m/s.
- Se deja disponible un estudio que sirve como base para la realización de un planeamiento y/o reordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca en aras de un manejo óptimo de estos y la inserción en la Tarea Vida.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Realizar un levantamiento exhaustivo, previa consulta con los órganos estatales y consejos populares, encuestas a la población en aras de enriquecer el presente trabajo.
- La cuenca del río Sevilla presenta un potencial hídrico muy importante que debe ser protegido mediante prácticas adecuadas de uso del suelo.
- Prevenir y mitigar los incendios forestales ya que son inhibidores del escurrimiento.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- Realizar un planeamiento y/o reordenamiento de la cuenca hidrográfica.
- Valorar la posible construcción de una presa y/o micropresa que servirá como reguladora de las inundaciones ya sea en el afluente el Jobo o el Aji y además para abastecer a aquellos asentamientos que no cuentan con servicio de agua, la agricultura, las vaquerías, entre otros.
- Se propone que el carso costero, donde sea posible, sea utilizado para instalaciones de servicios, deportivas, entre otras; sin contradecir la conservación que merezcan sus valores. Asimismo, las terrazas y elevaciones cársicas tienen en algunos casos altitud y posición adecuada para construir miradores, además de existir en ellas cuevas cuyo guano fue explotado y pueden ser adaptadas para el turismo.

Bibliografías

BIBLIOGRAFÍAS

- Análisis de la capacidad del HEC-RAS PARA simular inundaciones.
- Bermúdez Diéguez, Guadalupe. Estudio hidrológico del embalse Gota Blanca. Cuenca complementaria.
- Bonne Hernández, Raúl. Consideraciones Básicas para el Manejo Integrado de la Contaminación de las Aguas Costeras de la Cuenca del río Sevilla. Santiago de Cuba, Diciembre 2003.

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- Campos A., D. F. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico (Tomo I y II). Editorial Universitaria Félix Varela, Ciudad de la Habana.
- Campos, D. F., (1998). Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Chuy, T. J., Puente, G., Borges, O., Calderín, C. et al (2006): “Caracterización e Impacto de Amenazas Naturales Extremas en el municipio Santiago de Cuba”. CD-Multimedia. Proyecto 30-07 / 04: Caracterización e impacto de amenazas naturales en el municipio Santiago de Cuba. Registrado en los Fondos del CENDA.
- Documento Ejecutivo sobre La Política Nacional del Agua en Cuba. Tomado de: Sitio Web del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Consultado el 3 de febrero de 2016.
- Durand, M, T. Evaluación del Potencial Hídrico de la Provincia Santiago de Cuba. ISBN 978-959-247-156-6. Marzo 2017.
- García Fernández, Jorge Mario; Gutiérrez Díaz, Joaquín B. (2015). La gestión de cuencas hidrográficas en Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Consejo Nacional de Cuencas hidrográficas. La Habana, Cuba.
- González Piedra, Julio Iván (2004). El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Capítulo 1: “El manejo de cuencas en Cuba: Actualidad y Retos”. pp 21-40. Helena Cotler (compiladora). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Primera edición: diciembre de 2004. México. ISBN: 968-817-700-8.
- González Piedra, Julio Iván. (2003). “El manejo de cuencas en Cuba”. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/528/cuba.pdf> (Consultado en febrero, 2018).
- González S., L. (2007). Eventos Hidrológicos Extremos. En: González Spíndola, L. et al. Hidrología Superficial para ingenieros. CIH, ISPJAE, Ciudad de la Habana. Pp. 1-145.
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (mayo-junio, 2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. Tecnología y Ciencias del Agua, 8(3), 5-25

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

- Hierrezuelo Pérez, Rolando. Metodología para la determinación del escurrimiento medio anual de una cuenca. Santiago de Cuba, junio 2016.
- Licea Díaz, Orlando. Ecología Interior. Editorial Científico Técnica. La Habana.2006.
- Piedra, J. I. G. (2007). Guía metodológica para el estudio de cuencas hidrológicas superficiales con proyección de Manejo, (inédito). C. Habana, Cuba.
- Planas-Fajardo (2013). "Empleo de indicadores para la planificación y gestión ambiental en la cuenca del río Sevilla del municipio Guamá, Santiago de Cuba". Ciencia en su PC, No.4, octubre-diciembre, 2013, p.75-87.
- Rodríguez, F. F. Mapa Isoyético de las precipitaciones medias de la República de Cuba, (1961-2000). Voluntad Hidráulica ISSN 0505-9461 No 98 (2006).

Anexos

Anexos

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS

Modelación del comportamiento de las inundaciones del río Sevilla a través del software HEC-RAS