

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(105)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Eiler Andrés Parra Chacón Jeniffer Alejandra Flórez Durán		
FACULTAD	Facultad De Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Doc: Susana María Plata Jiménez		
TÍTULO DE LA TESIS	Determinación De La Cota De Inundación Del Río Tejo En El Puente Del Barrio La Gloria, Municipio De Ocaña N.S.		
TITULO EN INGLES	Determination of the Flood Level of the Tejo River in the La Gloria Neighborhood Bridge, Municipality of Ocaña N.S.		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>El análisis de la cota de inundación de una estructura hidráulica es de suma importancia para conocer la funcionalidad y estabilidad que brinda en determinada ubicación. Por ello, se realizó el estudio en la zona del puente del barrio la Gloria dentro del municipio de Ocaña. En el estudio realizado se realizó las mediciones y modelaciones correspondientes a diferentes periodos de retorno en función de las curvas IDF de la zona, Esta priorización surge de las constantes inundaciones presentadas en este sector debido a la temporada de lluvias.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The analysis of the flood level of a hydraulic structure is of utmost importance to know the functionality and stability it provides in a given location. For this reason, the study was carried out in the bridge area of the Gloria neighborhood within the municipality of Ocaña. In the study carried out, the measurements and modeling corresponding to different return periods were carried out based on the IDF curves of the area. This prioritization arises from the constant floods presented in this sector due to the rainy season.</p>			
PALABRAS CLAVES	Cota, inundación, topografía, caudal.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Level, flood, topography, flow.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 105	PLANOS:0	ILUSTRACIONES: 26	CD-ROM: 1



**Determinación De La Cota De Inundación Del Río Tejo En El Puente Del Barrio La Gloria,
Municipio De Ocaña N.S.**

Eiler Andrés Parra Chacón
Jeniffer Alejandra Flórez Durán

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Doc: Susana María Plata Jiménez

3 de Noviembre de 2022

Índice

Capítulo 1. Determinación De La Cota De Inundación Del Río Tejo En El Puente Del Barrio La Gloria, Municipio De Ocaña N.S.	9
1.1 Planteamiento Del Problema.....	9
1.2 Formulación del problema	14
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo General.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 Justificación	15
1.5 Delimitaciones	16
1.5.1 Delimitación Geográfica.....	16
1.5.2 Delimitación Temporal	16
1.5.3 Delimitación Conceptual	17
1.5.4 Delimitación Operativa.....	17
Capítulo 2. Marco Referencial.....	18
2.1 Marco Histórico	18
2.2 Marco Contextual.....	20
2.3 Marco Conceptual.....	20
2.3.1 Cuenca hidrográfica.....	21
2.3.2 Inundación	21
2.3.2.1 Tipos de inundaciones.....	23
2.3.2.2 Inundaciones costeras.....	23
2.3.2.3 Inundaciones pluviales.....	24

	3
2.3.2.4 Inundaciones fluviales.	24
2.3.2.5 Inundaciones relacionadas con la falla de infraestructura hidráulica.	25
2.3.3 Fenómeno de la niña	25
2.3.4 Curvas IDF.....	26
2.3.4.1 Método simplificado del INVIAS.	27
2.3.5 Método de la Soil Conservation Service (SCS).....	31
2.3.5.1 Cálculo del volumen.	31
2.3.5.2 Estimación de la forma y del caudal máximo.	35
2.3.6 Cota de inundación	37
2.3.7 Modelos Matemáticos.....	38
2.3.8 Modelación hidráulica	39
2.3.9 Modelos o esquemas unidimensionales - 1D.....	40
2.4 Marco Teórico.....	53
2.5 Marco Legal	59
2.5.1 Ley 1523 de 2012	59
2.5.2 La Ley 99 de 1993	59
2.5.3 Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico (PNGIRH).....	60
2.5.4 Plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Ocaña N.S (PBOT)	60
2.5.5 El Instituto nacional de vías (INVIAS).....	60
2.5.6 Resolución 0330 del 08 de junio de 2017	61
2.5.7 Título D del RAS 2000	61
Capítulo 3. Diseño Metodológico	62
3.1 Fase preparatoria.....	62

3.2 Fase de recolección de información.....	63
3.3 Fase de estudios técnicos	63
3.4 Fase de análisis de la información	64
Capítulo 4. Resultados	65
4.1 Topografía de la Zona de Estudio.....	65
4.2 Curvas IDF	68
4.3 Análisis de la cuenca hídrica por medio de la plataforma Google Earth	70
4.4 Caudal Superficial desarrollado por el Método de la Soil Conservation Service (SCS)	72
4.4.1 Hidrograma Unitario Sintético.....	75
4.5 Simulación del cauce natural del río Tejo en el tramo de estudio, por medio del programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers)	80
4.6 Propuesta económica.....	85
Capítulo 5. Conclusiones	90
Capítulo 6. Recomendaciones	92
Referencias.....	93
Apéndices	100

Lista de Tablas

Tabla 1 Valores de los coeficientes a, b, c y d para determinar las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia.....	30
Tabla 2 Grupos hidrológicos de suelos.....	32
Tabla 3 Clases de antecedentes de humedad para las diferentes épocas del año.....	34
Tabla 4 Términos de la ecuación de movimiento de Saint Venant.....	43
Tabla 5 Cálculo de la pendiente del tramo de estudio (rio Tejo).....	73
Tabla 6 Tiempo de concentración en el recorrido del rio Tejo.....	73
Tabla 7 Valores de Número de curva (CN II) de cada área tributaria	74
Tabla 8 Valores de Intensidad para cada periodo de retorno.....	75
Tabla 9 Información general de la cuenca estudiada	75
Tabla 10 Parámetros resultantes del método de hidrograma Unitario.....	76
Tabla 11 Valores para Tr10	76
Tabla 12 Valores para Tr20	77
Tabla 13 Valores de Tr50	77
Tabla 14 Valores de Tr 100	77
Tabla 15 Caudales Ajustados teniendo en cuenta las pérdidas.....	79
Tabla 16 Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 10 años	86
Tabla 17 Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 20 años	86
Tabla 18 Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 50 años	87
Tabla 19 Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 100 años	87

Lista de Figuras

Figura 1 Inundación presentada el 11 de noviembre de 2014	12
Figura 2 Inundación presentada el 21 de septiembre de 2022.....	13
Figura 3 Zonas inundables de una cuenca	22
Figura 4 Efecto del incremento del nivel del mar.....	24
Figura 5 Ubicación por regiones de las estaciones pluviográficas	29
Figura 6 Números de curva de escorrentía para distintos usos de suelo para condiciones de humedad II	33
Figura 7 Modelo convencional del hidrograma triangular	35
Figura 8 Representación de los términos del balance de energía	46
Figura 9 Distribución de la sección para obtener el factor de transporte KT	49
Figura 10 Valor ponderado de la energía cinética.	51
Figura 11 Ubicación de sitio de estudio.....	66
Figura 12 Localización del equipo para el levantamiento topográfico Aguas arriba del puente La Gloria	66
Figura 13 Localización del equipo para el levantamiento topográfico Aguas abajo del puente La Gloria	67
Figura 14 Batimetría del río Tejo.....	67
Figura 15 Batimetría del río Tejo, sobre puente vehicular la Gloria	68
Figura 16 Gráfico de curvas IDF para el barrio la Gloria.....	70
Figura 17 Cuenca hidrográfica de sitio de estudio (Río Tejo).....	71
Figura 18 Perfil de elevación del tramo estudiado del Río Tejo.....	72

Figura 19	Hidrograma Unitario Sintético final.....	78
Figura 20	Sección Hidráulica para evento del 14 de noviembre de 2014	79
Figura 21	Datos generales obtenidos para el Tr 10.....	81
Figura 22	Datos generales obtenidos para el Tr 20.....	82
Figura 23	Datos generales obtenidos para el Tr 50.....	82
Figura 24	Datos generales obtenidos para el Tr 100.....	83
Figura 25	Periodo de Retorno (Tr) Vs Costo.....	88
Figura 26	Incremento en costos de construcción según cada periodo de retorno.....	88

Lista de Apéndices

Apéndice A. Entrevista a don Gustavo Casadiegos habitante del barrio de la gloria.....	101
Apéndice B. Entrevista a la estación de bomberos.	103
Apéndice C. Entrevista al instituto nacional de vías (invias) Ocaña norte de Santander.	104

Capítulo 1. Determinación De La Cota De Inundación Del Río Tejo En El Puente Del Barrio La Gloria, Municipio De Ocaña N.S.

1.1 Planteamiento Del Problema

La ubicación de Colombia sobre la franja ecuatorial genera particularidades en su relieve, clima, suelo e hidrología (Cruz et al., 2013), y por consiguiente recibe mayores proporciones de la energía que el sol le transfiere al planeta. En otras palabras, la meteorología del país depende generalmente de diversos eventos que rigen las condiciones de lluvia ya sea en estado estacional e intraestacional, entre los cuales se destacan: Vientos Alisios, Zona Confluencia Intertropical, Ondas del Este del Caribe, Ciclones Tropicales, Sistemas Sinópticos del Pacífico y Amazonía, Vaguada Tropical de la Alta Tropósfera y Sistemas Convectivos de Mesoescala. Asimismo fenómenos como el del Niño y la niña presentados fuertemente en el año 2010 y que siguen siendo frecuentes hasta la presente época, se generan en el ciclo de oscilación del SUR formados a partir de las condiciones interanuales que se dan en este país (Velandia, 2014).

Un fenómeno relacionado directamente con el fenómeno de la niña, son las inundaciones. Según la Organización meteorológica Mundial (OMM, 2009) las inundaciones representan una de las mayores amenazas naturales para el libre desarrollo sostenible y en Colombia ha sido el evento más ocurrido en la historia (Naciones Unidas Cepal, 2007). De acuerdo a los valores del Índice Multivariado de ENOS (MEI), los sucesos más significativos en el país debido a este fenómeno, se han presentado en los años 1954, 1964, 1970, 1973, 1988 (Cruz et al., 2013), considerando como mayor la anegación presentada por el fenómeno de la niña en los años 2010-

2011, pues se estima que dejó 5,2 millones de personas afectadas y 683 muertos, cifras que duplican las pérdidas acumuladas por inundaciones en 30 años (Cruz et al., 2013).

Por su lado en Colombia la situación es bastante crítica frente a este tipo de eventos, pues varias zonas del país se han visto afectadas en el transcurso de los años por significativas inundaciones cuyas consecuencias han afectado la calidad de vida de la población. Según investigaciones realizadas se ha determinado que este fenómeno natural se viene presentando en mayor proporción en los últimos años debido a los daños provocados por el ser humano a la naturaleza como lo es la deforestación, la expansión de la frontera hidrológica, el cambio climático y el incumplimiento ante documentos como el POT o PBOT de cada municipio (Ramirez & Rojas, 2019), provocando con esto escenarios desafortunados principalmente para las poblaciones asentadas en las riberas de los ríos y sus alrededores, dado que es inevitable que los cuerpos de agua cambien su dinámica fluvial debido a su condición natural. Es así como la falta de estrategias que permitan mitigar los riesgos producidos por las actuaciones sin control de la población favorece la ocurrencia de eventos con saldos negativos para la comunidad como se menciona anteriormente.

Es importante resaltar que el departamento Norte de Santander no es ajeno a estas problemáticas, durante la historia diferentes eventos de este tipo se han presentado en el departamento, siendo uno de los más relevantes el hecho presentado en abril del 2011 en el municipio de Pamplona debido al desbordamiento de la quebrada Navarro y la inundación ocurrida en Febrero del 2013 en la cual cinco barrios de la ciudad de Cúcuta y 25 familias fueron afectados por la ola invernal. La ciudad de Ocaña también se ha visto afectada por eventos de

este tipo, principalmente por las crecientes recurrentes de uno de los ríos más importantes que cruzan la ciudad; el río Tejo. Uno de los sectores más afectados por las crecientes de dicho río es el barrio la Gloria, en el sector las fuertes precipitaciones generan caudales que aumentan a tal punto el tirante del canal natural que este logra rebosar la sección transversal del río; es importante mencionar que en este sector se cuenta con un puente vehicular que conecta la zona norte de la ciudad y por consiguiente las inundaciones en dicho punto ocasionan afectaciones al tráfico vehicular y daños a las viviendas situadas alrededor. La población de esta zona manifiesta sentir incertidumbre e inseguridad ante la ocurrencia de nuevos eventos como estos, ya que las situaciones presentadas durante la historia han cobrado pérdidas de vidas humanas y animales, así como daños inmuebles de viviendas y pérdida parcial o total de praderas cercanas.

En búsqueda de información que ayude a generar lineamientos para lograr la disminución de los riesgos a los que está expuesta la comunidad del barrio la gloria, se pretende llevar a cabo un análisis detallado con el fin de determinar la cota de inundación del Río Tejo en el sector del barrio la Gloria, teniendo en cuenta diferentes periodos de retorno. El modelo hidrodinámico a utilizar es el programa computacional HEC-RAS, el cual a partir de información geográfica, demográfica, hidrológica, topográfica y batimétrica del sector de estudio permitirá conocer la cota máxima de inundación del río Tejo en el sector del puente del barrio la Gloria. En las Figuras 1 hasta la 4, se evidencia las inundaciones que se han generado en el sector. Y en la Figura 5 se evidencia la estructura del puente existente.

Figura 1

Inundación presentada el 11 de noviembre de 2014

**Figura 2**

Inundación presentada el 1 de mayo de 2018



Figura 3

Inundación presentada el 21 de septiembre de 2022

**Figura 4**

Inundación presentada el 29 de septiembre de 2022

**Figura 5**

Estado actual de la estructura del puente



1.2 Formulación del problema

¿Qué influencia tendría en la planeación de proyectos de mitigación de riesgo la determinación de la cota de inundación del río tejo en el puente de la gloria Ocaña Norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento de la cota de inundación bajo diferentes periodos de retorno del río tejo en el sector del barrio la Gloria mediante la implementación del software HEC-RAS.

1.3.2 Objetivos Específicos

Determinar la información necesaria para implementar el software HEC-RAS en la cuenca del río tejo en el sector del barrio la gloria Ocaña norte de Santander.

Implementar el software HEC-RAS en la cuenca del río tejo en el sector del barrio la gloria para determinar la cota de inundación bajo periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años.

Analizar los resultados obtenidos para generar conclusiones y recomendaciones que puedan servir como herramienta para la gestión del riesgo en la cuenca del río tejo.

1.4 Justificación

Una característica muy general de los pueblos y ciudades del país, es su ubicación en las riberas de los ríos. Sumado a esta tendencia, la avanzada deforestación y las altas precipitaciones presentadas en los últimos tiempos, se convierten en las principales causantes de las reiteradas inundaciones que se han presentado en la historia y que han cobrado la vida de miles de personas (Noriega et al., 2015). Según la constitución política de Colombia, el gobierno está obligado a garantizar ciertas condiciones de vida para su población. La población colombiana tiene derecho a una vivienda digna y segura, y estas situaciones afectan este derecho, causando vulnerabilidad y desamparo a muchas familias.

Ocaña es una ciudad atravesada por diferentes afluentes y como se mencionó anteriormente, se ve expuesta a eventos de inundación que afectan significativamente la calidad de vida de los habitantes de la zona. Este es el caso del barrio la Gloria, el cual se ve afectado por las crecidas del río Tejo, pues los habitantes de la zona construyeron sus viviendas sobre la ronda del cuerpo hídrico; adicionalmente cuando se presentan este tipo de desbordamientos el caudal supera la capacidad hidráulica del puente que comunica al municipio con la zona norte. Teniendo en cuenta que este tipo de situaciones han sido más constantes en los últimos años y considerando el grado de afectación que generan los mismos se hace necesario conocer el comportamiento de la cota de inundación en el puente de la gloria para diferentes periodos de retorno. Esta información se determinará a través de la implementación de un software llamado HEC-RAS, para que posteriormente este dato encontrado se convierta en una herramienta que

facilite la toma de decisiones y la gestión de recursos necesarios para invertir en la zona, buscando así mitigar el riesgo presentado.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Geográfica

El municipio de Ocaña se encuentra ubicado al nororiente de Colombia en la zona occidental del departamento de Norte de Santander. Se encuentra a 203 Kilómetros de la ciudad de Cúcuta, y a 299 Kilómetros de la ciudad de Bucaramanga (Consornoc, 2010) y Cuenta con una población de 111.643 habitantes. Según su geografía, cuenta con una altitud de 1.183 metros, una latitud 8.23773 m, una longitud de 73.35604 m y una medida superficial de 672.27Km².

El presente estudio se va a trabajar en el tramo del Río Tejo donde se encuentra ubicado el puente “La Gloria” en el barrio la Gloria de Ocaña N.S. con coordenadas 8.262910 Norte – 73.360400 Este.

1.5.2 Delimitación Temporal

El tiempo de duración planteado para llevar a cabo la presente investigación es de 4 meses.

1.5.3 Delimitación Conceptual

Durante la investigación se van a tener en cuenta diferentes conceptos que hacen parte del tema central, como los que se enuncian a continuación: Caudal, Inundación, Escorrentía, Curvas IDF, Hidrograma, Periodo de retorno, Cota de inundación, Intensidad, Precipitación, Modelación hidráulica.

1.5.4 Delimitación Operativa

Para la recolección de la información necesaria para llevar a cabo el proyecto se puede contar con documentos que puede facilitar la alcaldía Municipal de Ocaña N.S y la comunidad, así como con la colaboración de la Universidad Francisco de Paula Santander en cuanto a estudios previos a realizar en la zona. Además, es necesario utilizar la herramienta computacional HEC-RAS, la cual es de libre acceso.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

El Municipio de Ocaña pertenece al departamento de Norte de Santander, fue fundado el 14 de diciembre de 1570 y cuenta con una población total de 90037 habitantes. En su zona urbana circulan dos corrientes hídricas de gran importancia en cuanto al ordenamiento territorial que el municipio presenta, las cuales son los Ríos Tejo y Algodonal. Por su parte el río Tejo aflora en el cerro de Simitarigua (perteneciente al municipio de Ocaña) y acumula tanto las aguas del río Chiquito como los demás afluentes de la depresión Ocañera, presentando en la zona urbana una temperatura de 22 grados centígrados y una longitud aproximada de 20 Km desde la entrada hasta la salida de la ciudad y se tiene registro que años atrás fue la principal fuente de abastecimiento de agua potable de los Ocañeros. (Noriega, et al., 2015).

Asimismo, este río también ha sido causante de varias problemáticas en el municipio de Ocaña, debido a que en el transcurso de su trayectoria a lo largo de la ciudad se encuentran algunas viviendas aledañas, las cuales están ubicadas a niveles considerablemente bajos con respecto a la altura a la que puede llegar el afluente, siendo esta situación la principal circunstancia que influye en la generación de inundaciones al momento de presentarse crecidas por fuertes lluvias en la cuenca. El barrio la Gloria al ser uno de los barrios limítrofes con el Río Tejo y al tener las características anteriormente mencionadas sufre con mayor frecuencia este tipo de problemáticas. Siendo esta la razón por la que actualmente este barrio se encuentra en la

caracterización del riesgo por inundaciones realizado por el municipio, y es que en reiteradas ocasiones ya se ha presentado este tipo de eventos.

El profesional Gustavo Casadiegos habitante del barrio la Gloria y conocedor durante toda su vida de la problemática que se ha venido presentando en esta zona, afirma que esta situación comienza con la construcción del puente vehicular La Gloria aproximadamente en el año 1937 época en la que el flujo vehicular era bajo y liviano y la población era alrededor de 3000 habitantes. Para su diseño en esa época se hizo necesario la colocación de una pila de concreto en medio de la luz de la estructura como soporte fundamental en la construcción, sin tener en cuenta que este elemento estructural responde como impedimento para el flujo libre del río. Adicionalmente en el año 2002 se construye un puente peatonal en la parte derecha, paralelo al puente vehicular en sentido norte - sur de la ciudad, el cual tiene en su estructura una viga en la parte baja que sobresale la mayoría de su altura en la parte inferior, posición que reduce el tirante de la sección hidráulica obstaculizando el flujo normal del agua. Siendo estas situaciones las que han agudizado la temática a través del tiempo. Es importante mencionar que a través de los años con el avanzado crecimiento poblacional, las áreas disponibles para construcción disminuyeron en el municipio y por lo tanto se fue tomando las riberas del afluente como terrenos “aptos” para cimientos quitando el área que por naturaleza le corresponde al río, generando sedimentación y una disminución en el área de circulación del cauce que contribuye a su posible desbordamiento.

Entre los eventos más relevantes presentados por este fenómeno en el sitio de estudio figuran el del 24 de mayo de 1984, el del 12 de noviembre de 2014, el del 14 de noviembre de 2014 y el del 19 de noviembre de 2014, los cuales causaron notables estragos al área aledaña.

2.2 Marco Contextual

El territorio colombiano presenta una amplia variedad topográfica, en la que predomina el tipo de terreno montañoso, generando altas pendientes permitiendo recolectar y direccionar las aguas lluvias y de escorrentía. Por este motivo, se debe tener presente los niveles y cotas al momento de construir en zonas aledañas de fuentes hídricas, de modo que no se presente inundaciones o desbordamientos. Con esto en mente, es importante realizar los trabajos topográficos que permitan prever posibles afectaciones.

Por ello, el presente trabajo estará direccionada en el análisis de la cota de inundación del Río Tejo en el puente del barrio la Gloria, siendo un punto crítico dentro del municipio de Ocaña.

2.3 Marco Conceptual

Los conceptos que se involucran en el presente proyecto se describen a continuación para tener una mayor claridad en su desarrollo.

2.3.1 Cuenca hidrográfica

Se le denomina cuenca hidrográfica a una superficie delimitada topográficamente que cuenta con una red de drenajes dentro de su sector y por la cual las aguas drenan hacia el punto más bajo siendo este generalmente parte del perímetro de la cuenca. Las redes de drenaje o hidrográficas tienden a seguir un modelo ramificado basado en un motivo detrítico que permite replicarse a sí mismo en varias escalas. Dicho de forma más simple una cuenca es un sector de terreno por el cual escurre agua superficial resultado de las precipitaciones, las quebradas, los ríos, etc. y que por último desembocan al nivel del mar. (Ordoñez, 2012).

2.3.2 Inundación

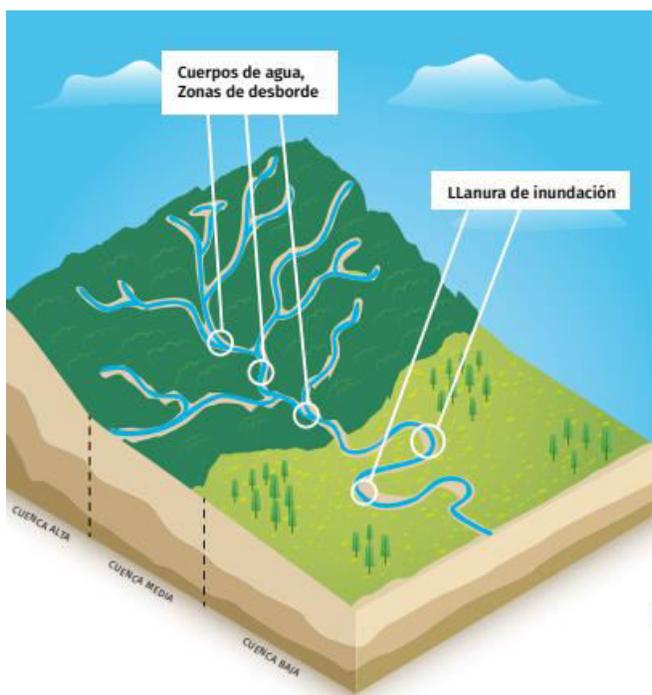
Se le llama inundación al fenómeno hidrológico que se da de forma reiterativa, que se produce de forma natural en una corriente hídrica; producida por altas precipitaciones sobre la cuenca drenante, y que puede llegar a ser potencialmente destructivo, es decir, las inundaciones pueden llegar a causar un incremento progresivo o súbito en el nivel de las aguas del cauce. Cuando esta elevación excede la altitud de las orillas naturales o artificiales (diques o muros de contención), las aguas se rebosan sobre las planicies inundables normalmente no sumergidas (IDEAM, 2017).

Por lo regular las inundaciones son generadas cuando la cantidad de precipitación supera la capacidad que tiene un suelo para retener e infiltrar el agua, o de igual forma cuando la capacidad máxima de arrastre de un cuerpo de agua es superada provocando desborde en el

cauce principal y por lo tanto eventos naturales como las inundaciones. Véase en la Figura 6 la representación general de un río desde la cuenca alta, media a baja y las zonas altamente inundables.(IDEAM, 2017)

Figura 6

Zonas inundables de una cuenca



Nota. La información fue obtenida de (IDEAM, 2017)

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Colombia se encuentra en el tercer puesto entre los países más expuestos ante el riesgo de inundaciones, ciclones tropicales, terremotos y deslizamientos de tierra. Por lo tanto, muchas zonas de baja altitud métrica están expuestas a este tipo de fenómenos a diario.

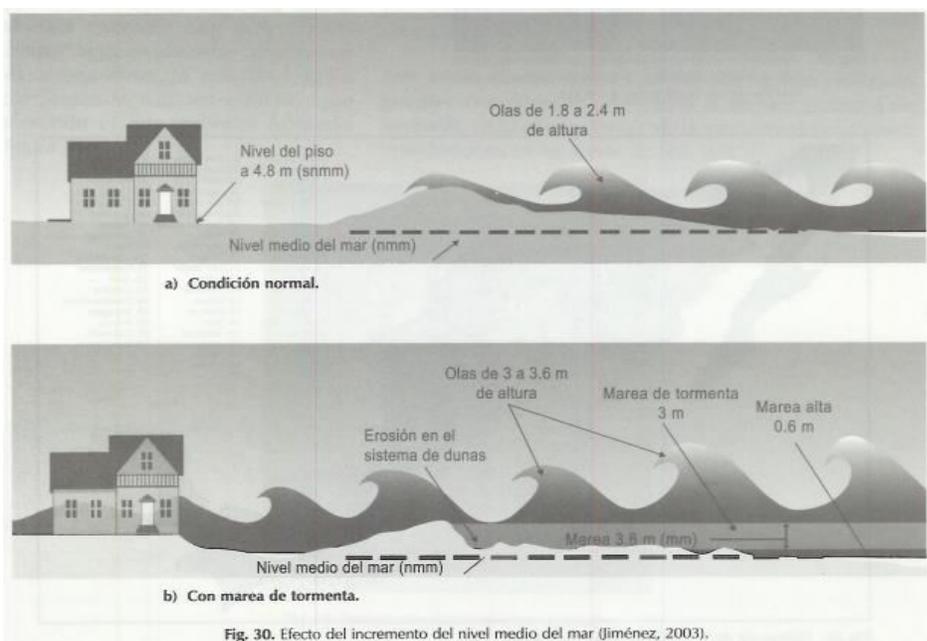
Tras identificarse los posibles riesgos en una zona susceptible a este tipo de fenómeno, es indispensable realizar la evaluación de este; el cual se basa en factores principales como riesgo de inundación, vulnerabilidad, exposición. En situaciones donde es evidente el peligro que hay ante una posible inundación se deben tener presentes características como la velocidad, profundidad, descarga y frecuencias de inundación, y se define mediante la probabilidad y la magnitud. Asimismo, sobre la magnitud de las inundaciones interfieren variables que deben ser analizadas como lo son las características meteorológicas, hidráulicas, hidrológicas, canales y la topografía de las cuencas hidrográficas y planicies aluviales aguas arriba y aguas debajo de la zona en estudio. (Kheradmand et al., 2018)

2.3.2.1 Tipos de inundaciones. Existen diferentes tipos de inundación según su origen como lo son las costeras, pluviales y fluviales y según la falla de infraestructura hidráulica presentada.

2.3.2.2 Inundaciones costeras. Se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y deja que éste se introduzca tierra adentro en las zonas costeras, cubriendo grandes superficies terrestres y se debe a la atracción lunar y a fuertes vientos de un ciclón (González et al., 2019). En la Figura 7 se detalla los fenómenos.

Figura 7

Efecto del incremento del nivel del mar



Nota. La información fue obtenida de (González et al., 2019)

2.3.2.3 Inundaciones pluviales. Este tipo de inundación es consecuencia de las altas precipitaciones, ocurren cuando se satura el terreno y el agua lluvia sobrante se acumula durante horas o días, hasta evaporarse o hasta que el suelo recupere su capacidad de infiltración. Este tipo de inundación se caracteriza en que el agua acumulada es agua precipitada y no propia de la parte alta de la cuenca. (Sánchez, 2018)

2.3.2.4 Inundaciones fluviales. Este tipo de inundación se caracteriza por la crecida de un cuerpo de agua, se produce por la elevación del río o arroyo debido a un exceso de lluvia o deshielo que causa el desbordamiento hacia las orillas, las costas y tierras vecinas. (Zurich, 2019).

2.3.2.5 Inundaciones relacionadas con la falla de infraestructura hidráulica. Este tipo de inundación puede llegar a ser la más grave, se presenta cuando la capacidad de las obras de infraestructura de protección es insuficiente, y puede causar una inundación mucho mayor que si no existiera dicha infraestructura.

2.3.3 Fenómeno de la niña

En consecuencia, a las condiciones climáticas, fenómenos como el del “niño” o la “niña” se presentan de forma desmesurada, siendo sus principales características la carencia y el exceso de precipitación respectivamente. Estos fenómenos se presentan de forma complementaria y forman el ciclo de oscilación del sur, sin embargo, la propiedad cíclica de la oscilación no ocurre con igual periodicidad, es decir que no se pueden predecir este tipo de fenómenos y por ende no se puede anticipar la logística necesaria para sus consecuencias. (Philander, 1985)

Según la OMM (2012), el fenómeno de la Niña ocurre cuando la temperatura en la parte superficial del océano se encuentra fría en la zona oriental y central del pacífico tropical, siendo su principal característica la intensidad y abundancia en las lluvias. En este sentido, los vientos alisios irregularmente intensos, forjan una corriente de arrastre en la superficie del océano, generando diferencia del nivel del mar entre los extremos del pacífico ecuatorial. A raíz de esto se da la disminución del nivel del mar en países como Colombia, Perú, Ecuador y norte de Chile y en contraparte aumenta en Oceanía. Al volverse frías las aguas del ecuador, la temperatura superficial del mar decrece por debajo del valor medio climatológico, generando que la temperatura superficial del mar (TSM) este anormal, es decir muy baja, puesto que la presión de

nivel de en la zona oceánica está muy baja, ocasionando con esto la presencia del fenómeno de la Niña, concentrándose las aguas calientes del pacifico ecuatorial sobre Oceanía, situación por la que la nubosidad y la precipitación se concentran sobre esta zona. (METEORED, 2011)

Los periodos de lluvia y especialmente el fenómeno de la niña generan altos aportes hídricos, que producen desbordamientos de los cuerpos de agua dando lugar a las inundaciones teniendo como consecuencia afectaciones a la población, la infraestructura y la economía de la zona afectada. Estos eventos se dan a nivel mundial y se manifiestan en mayor concentración en las zonas costeras y aledañas a las riberas de los ríos.

Los eventos de inundaciones tienen presencia a nivel mundial y generalmente tienen una mayor concentración en zonas costeras y cercanas a las riberas de los ríos, la temporada de lluvias y en especial el fenómeno de "La Niña" imponen escenarios de aportes hídricos altos, que facilitan la ocurrencia de inundaciones y sus consecuencias en la población, infraestructura y economía de la zona afectada. (Change, 2012).

2.3.4 Curvas IDF

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, hace referencia a la intensidad (I) o magnitud de una fuerte precipitación que es representada en milímetros por hora, para una determinada duración (D) que oscila entre valores como 30, 60, 90, 120 o 360 minutos, la cual a su vez según estudios se considera que puede tener una frecuencia (F) o probabilidad de ocurrencia en ciertos

años, a lo que se conoce como periodo de retorno, es decir determinados años en los cuales puede ocurrir un fenómeno similar.

Esta intensidad se determina a partir de una ecuación generalizada la cual está en función de los coeficientes según los periodos de retorno y la duración requerida.

$$I = \frac{C1}{(D + X_0)^{C2}}$$

Donde:

I: Intensidad de Precipitación (mm/h)

D: Duración (minutos)

C1, C2, X₀: Coeficientes a partir del Periodo de Retorno.

D: Duración (minutos)

Hay diferentes métodos para calcular las curvas IDF, entre los cuales se encuentra el simplificado del Invias, que se detalla a continuación.

2.3.4.1 Método simplificado del INVIAS. Al momento de diseñar obras de drenaje y estructuras hidráulicas se debe tener claro el comportamiento hidrológico del área. Asimismo, en cuencas donde no hay un registro de caudales, estos deben determinarse a partir de modelos lluvia-escorrentía, los cuales permiten conocer la profundidad máxima posible ante un determinado periodo de ocurrencia. Teniendo esta información se puede determinar la cantidad de agua que debe evacuarse en cierta cantidad de tiempo, es decir el caudal de diseño de la obra, el cual determina las dimensiones y costos de la estructura analizada.

Por su parte las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), se convierten en un procedimiento a través del cual se pueden estimar los volúmenes de drenaje superficial en medianas y pequeñas cuencas que no cuentan con un caudal registrado, a partir de la relación lluvia-escorrentía.

El país cuenta en la mayoría de sus zonas con estaciones pluviométricas, las cuales registran la precipitación diaria, generando una información discreta y no continua, es decir se conoce la precipitación durante 24 horas y no su distribución a lo largo de cada precipitación, caso por el cual no se puede aplicar un método de frecuencia tradicional. En solución a esta problemática se determinó el método de determinación de curvas IDF con base a la información pluviométrica. Este método sugiere una ecuación en base a diferentes variables específicas para Colombia, y se especifica a continuación.

Para el caso de Colombia tras investigaciones realizadas, se dedujo una correlación que determina las curvas por correlación con la precipitación máxima promedio anual obtenida en 24 horas en una estación, la cantidad promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la altitud en la que se encuentra la estación (Vargas & Granados, 2018.). La expresión utilizada es la siguiente:

$$I = a * \frac{T^b}{T^c} * M^d$$

Donde:

I: Intensidad de precipitación (mm/h)

T: Periodo de retorno (Años)

M : Precipitación Máxima promedio Anual en 24 horas a nivel multianual

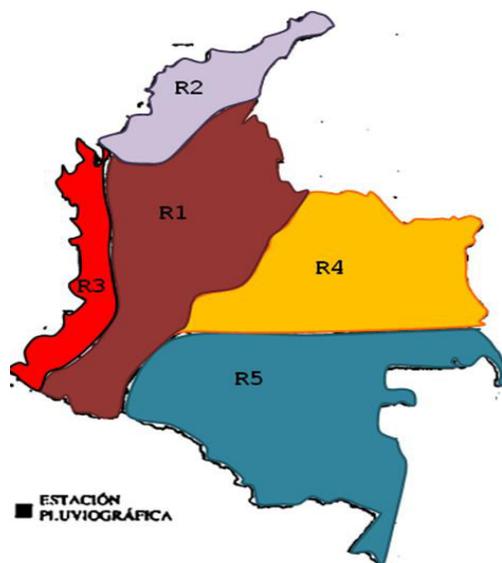
a, b, c, d : Parámetros de ajuste de la regresión, según la región del país.

Cabe aclarar que los parámetros de ajuste de la regresión se realizaron para cada una de las regiones del país, con el fin de aumentar la confiabilidad de la ecuación y encontrar condiciones meteorológicas semejantes para cada grupo de estaciones debido a la similitud de fenómenos naturales ocurrentes en cada región.

En la Figura 8 se detalla la división regional tomada en cuenta en este método, asimismo en la Tabla 1 los parámetros de ajuste de regresión correspondiente para cada una de estas regiones. (Vargas & Granados, 2018)

Figura 8

Ubicación por regiones de las estaciones pluviográficas



Nota. La información fue obtenida de (Vargas & Granados, 2018)

Tabla 1

Valores de los coeficientes a, b, c y d para determinar las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Nota. La información fue obtenida de (INVIAS, 2009)

El proceso que se debe seguir para graficar las curvas sintéticas intensidad-duración-frecuencia correspondientes a un sitio específico del país es el siguiente:

Determinar la región climatológica a la cual pertenece la zona de estudio, de acuerdo con su ubicación (ver Figura 5).

Establecer el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (M), número de días con lluvia al río (N), precipitación media anual (PT)

Escoger el valor de los exponentes según la región de país en que se esté trabajando (ver Tabla 1)

Aplicar la ecuación resultante para periodos de retorno entre 2 y 100 años y para duraciones de lluvia entre 5 y 360 minutos.(Vargas & Granados, 2018)

2.3.5 Método de la Soil Conservation Service (SCS)

Es un método empírico desarrollado en Estados Unidos por el servicio de conservación de suelos, con el fin de predecir el escurrimiento superficial (ES), y cuenta con dos etapas o pasos; calcular el volumen escurrido o lluvia efectiva y estimar el caudal máximo y la forma del hidrograma de la crecida (Francisco-Nicolás et al., 2010).

2.3.5.1 Cálculo del volumen. La cantidad de volumen escurrido de una cuenca, representado como altura de lámina de agua (pulg), o precipitación efectiva (Q), es determinado en función de la precipitación (P), del potencial máximo de retención de agua (S) y de las pérdidas iniciales (Ia), estimadas como un 20% del potencial máximo, a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{((P - 0.2S)^2)}{P + 0.8S}$$

Donde:

Q: escurrimiento medio (mm).

P: precipitación efectiva (mm)

S: potencial máximo de retención (mm)

Esta ecuación se aplica siempre y cuando $Q > 0$ siendo $P > 0.2 S$, si no, $Q = 0$ (Varas C, s. f.).

El potencial máximo de retención se calcula con base a la curva número, a través de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

CN: número de la curva.

Este factor CN, depende de varios aspectos en los que se encuentra el terreno de la cuenca a estudiar, como lo es el tipo y naturaleza del suelo, y las condiciones previas de humedad.

Para conocer estos aspectos, la Soil Conservation Service establece diferentes clasificaciones, como se evidencia en la Tabla N. 2, donde se determina el grupo hidrológico del suelo y la Figura 9, donde se selecciona el CN II a partir del grupo hidrológico escogido y el uso actual de ese suelo (Varas, 2015).

Tabla 2

Grupos hidrológicos de suelos

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración >76 mm/h	Arenosa Arenosa-limosa Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franco-arcillosa-arenosa franco-limosa Franco- arcillosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Nota. La información fue obtenida de (Oliveras, 2015)

Figura 9

Números de curva de escorrentía para distintos usos de suelo para condiciones de humedad II

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra Cultivada	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial	Tamaño de 1/8 acre o menos y 65% impermeable	77	85	90	92
	Tamaño de 1/4 acre y 38% impermeable	61	75	83	87
	Tamaño de 1/3 acre y 30% impermeable	57	72	81	86
	Tamaño 1/2 acre y 25% impermeable	54	70	80	85
	Tamaño 1 acre y 20% impermeable	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Nota. (Ven te Chow, 1994, como se citó en (Gómez, 2015))

Ahora bien, todos los datos presentados en este método se generan para un suelo en condiciones normales, pero este depende del estado de humedad en que se encuentre, puesto que un suelo húmedo infiltra menos agua que un suelo seco en el cual la absorción es mayor. Así que se tendrán que ajustar el número de curva determinado para estados húmedos o secos

dependiendo el caso, haciendo uso de la Tabla 3, la cual indica cuál de las siguientes ecuaciones tomar. (Bateman, 2017)

$$N(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Siendo:

CN(I): estado seco del terreno.

CN(II): estado normal del terreno.

CN(III): estado húmedo del terreno.

Tabla 3

Clases de antecedentes de humedad para las diferentes épocas del año

Condiciones precedentes de humedad		
Lluvia total caída durante los cinco días anteriores		
Condición	En el periodo húmedo (Oct-Mar) o durante la dormancia	En el periodo seco (Abr-Sep) o durante el crecimiento
I	Menos de 12.5 mm	Menos de 35.5 mm
II	De 12.5 a 28 mm	De 35.5 a 53 mm
III	Más de 28 mm	Más de 53 mm

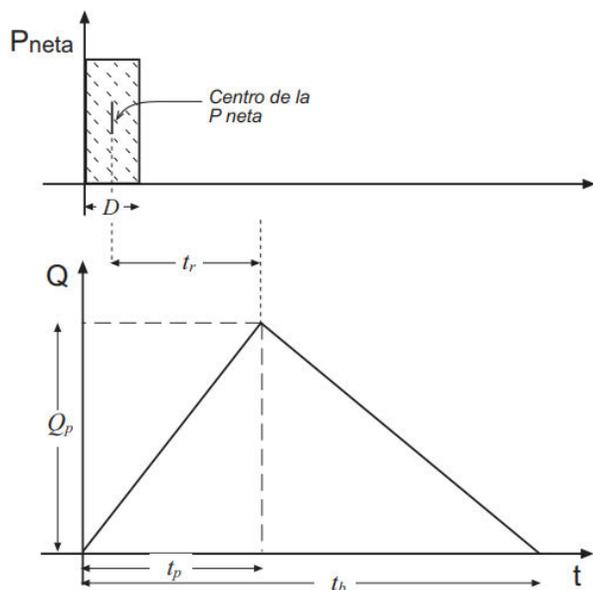
Nota. La condición precedente de humedad más crítica es la III, se aplica para condiciones de precipitación más altas. (Chow et al., 1988)

2.3.5.2 Estimación de la forma y del caudal máximo. El método SCS propone, además, la realización de un hidrograma triangular, a partir de muchos hidrogramas calculados, semejando a un grafica de hidrograma adimensional. Con esta simulación se puede estimar entonces el caudal máximo, el tiempo base y el tiempo máximo, valores que dan forma al hidrograma. Este grafico se compone de una zona de ascenso que ocupa un espacio aproximado del 37 % del volumen escurrido, como se puede observar en la Figura 10.

Por su parte el tiempo base y el tiempo máximo se calculan en función del tiempo de concentración de la cuenca. (Varas, 2018)

Figura 10

Modelo convencional del hidrograma triangular



Nota. La información fue obtenida de (Sánchez, 2019).

Para calcular estas relaciones se deberá partir de una lluvia neta y una duración determinada, con el fin de obtener el tiempo pico que tarda en llegar el caudal más alto a la zona de análisis. Este dependerá de la duración de la tormenta (D) y el tiempo de concentración (TC).

A continuación, se presentará la siguiente ecuación donde se observa que el $0,5D$ se toma por medio de una relación de triángulo comprendida de la Figura 5, el $0,6D$ se asumirá empíricamente donde el tiempo de retardo es alrededor del 60% del tiempo de concentración.

$$tp = 0,5 \cdot D + tr + \sim 0,5 \cdot D + 0,6 \cdot D \cdot tc$$

Donde:

tp : tiempo pico (horas).

D : Duracion de la precipitación neta (horas).

Para determinar el tiempo base se emplea un coeficiente de 2,67, propuesta empírica del método SCS basada en el promedio del descenso es 1,67 veces mayor que la crecida. Si el coeficiente aumenta, el tiempo base también lo hará, pero el caudal pico será menor debido a que el área del triángulo es la misma, de este modo quedaría estas ecuaciones (Sánchez, 2019)

$$tb = 2,67 \cdot tp$$

$$Qp = \frac{P \cdot A}{1,8 \cdot tb}$$

Donde:

tr : tiempo de retardo (horas).

tb : tiempo base (horas).

t_c : tiempo de concentración (horas).

Q_p : caudal pico ($\frac{m^3}{seg}$)

P : precipitación neta (mm).

A : superficie de la cuenca (km^2).

Ahora bien, el tiempo de concentración (TC), es el tiempo mínimo necesario en el que los puntos de la superficie de la cuenca suministran agua lluvia simultáneamente al punto de cierre o desagüe. Para determinar este parámetro, existen diferentes ecuaciones, cada una para condiciones específicas, siendo la más utilizada la de Kirpich por su amplio rango de condiciones. Esta ecuación se muestra a continuación.

$$t_c = 3,98 * \left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,77}$$

Donde:

T_c : tiempo de concentración(min).

L : longitud de recorrido del cauce (km).

S : pendiente media (m/m).

2.3.6 Cota de inundación

Se le denomina cota de inundación o desbordamiento a la altura máxima o de referencia a partir de la cual se comienzan a presentar afectaciones en la zona aledaña y por ende estos niveles funcionan como alerta a la población ante una posible inundación.

En zonas vulnerables ante una inundación es necesario conocer las cotas de inundación máximas las cuales a partir de una estación meteorológica del IDEAM deben estar referenciadas topográficamente ya sea por una mira o rejilla limitada con un nivel de referencia que opera solo en la zona urbana, esto en vista de que los ríos cuentan con una dinámica muy variable por lo que las propiedades hidráulicas varían constantemente. (IDEAM, 2012). El procedimiento para determinar las cotas de inundación se realiza por medio de una modelación hidrodinámica el cual hace uso de diferentes softwares basados en modelos de simplificación y/o matemáticos y se apoya en un método técnico con el fin de demostrar un fenómeno natural preciso y por ende la dinámica fluvial del afluente. Para realizar este procedimiento es necesario relacionar adicionalmente la modelación hidráulica basada en el volumen de fluido de un sistema y la basada en la actividad del agua bajo sus diferentes propiedades como cotas, caudales y velocidades. (Murillo, 2018)

2.3.7 Modelos Matemáticos

En los últimos tiempos la modelación matemática ha generado el avance en la mayoría de los campos de la ciencia; tanto humanas como naturales. La importancia de estos modelos radica principalmente en la representación a diferentes escalas de los fenómenos físicos que se presentan y por ende su pronóstico a corto, medio y largo plazo (Martínez, 2017).

Asimismo, haciendo uso de estos modelos, es posible conocer la causa y efecto del fenómeno sin tener que variar los parámetros con que cuenta la estructura existente. Adicionalmente este modelo funciona en torno al tiempo y espacio para realizar la simulación, es

decir algunos responden a una serie de pasos o escalas de tiempo y otros a corto tiempo simulando periodos relativamente pequeños de tiempo como lo que sucede en una inundación repentina. (Martínez, 2017). Así el IDEAM estipula que un modelo hidrológico es entonces una representación esquematizada a partir de un sistema real complejo denominado prototipo y sea físico o matemático. En el caso matemático se representa el sistema real en base a términos analíticos.

En un sistema físico el modelo representado es generalmente la “cuenca hidrográfica” con sus componentes del ciclo hidrológico. De esta forma, un modelo matemático servirá significativamente al momento de tomar decisiones en materia de hidrología, y es por esto necesario conocer las entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema para chequear si el modelo es representativo del prototipo. La salida de los modelos hidrológicos difiere en función a las metas y finalidades del modelo. Ciertos modelos se emplean para pronosticar los totales mensuales de escurrimiento, en tanto que otros están diseñados para hacer seguimiento a las tormentas individuales. El resultado más frecuente es el hidrograma de escurrimiento. (IDEAM, 2012).

2.3.8 Modelación hidráulica

Esta herramienta es indispensable en la actualidad para llevar a cabo el correcto seguimiento y coordinación de los sistemas fluviales, que, a partir de una simulación numérica computacional de contextos reales o ficticios de inundaciones, da a conocer con mucha exactitud los valores de propiedades hidráulicas como la lámina de agua, esfuerzos cortantes, velocidad,

entre otras. Esta modelación funciona en base a ecuaciones matemáticas obtenidas de diferentes hipótesis físicas y proporciona de forma sintetizada los diferentes fenómenos hidrodinámicos en tres dimensiones espaciales (1D,2D,3D) y para su adecuada ejecución se debe contar con la más rigurosa reproducción virtual de los valores de la zona de estudio (discretización de dominio) conforme a los esquemas numéricos conformes a la dimensión que se aplique, lo que influye en mayores o menores costos computacionales. (Bladé et al., 2009).

2.3.9 Modelos o esquemas unidimensionales - 1D

Este modelo es aplicable cuando la dinámica del flujo es únicamente unidireccional, permaneciendo en la dimensión longitudinal a lo largo del eje del río. Al ingresar la información topográfica e hidráulica se debe hacer por secciones transversales, en las cuales se determinan el tirante y la velocidad promedios de cada sección. Es decir que aquí se obtiene una velocidad media sin tener en cuenta las variaciones presentadas en las distribuciones de velocidades horizontales y verticales; bajo estas condiciones se permiten régimen de flujo permanente y no permanente. (Moreno, 2005).

En el caso de que el régimen de estudio es permanente y gradualmente variado se usa la ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli aplicándole una serie de simplificaciones. De esta manera se toma un caudal de circulación constante en el dominio, sin posibilidad de alteración espacial, asimismo el fondo se considera fijo y no erosionable, siendo la distribución de presiones en una vertical hidrostática. Entre los métodos más utilizados que funciona a partir de estas consideraciones está el de “paso a paso”, el cual se fundamenta en un proceso iterativo

entre dos secciones de flujo del fluido por medio de la ecuación de Bernoulli (Sánchez & Álvarez, 2017), como se muestra en la siguiente ecuación tomada manual HECRAS, haciendo variada la profundidad de flujo a lo largo del canal.

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + IL + \sum \lambda \frac{v^2}{2g} + \Delta H \quad (1)$$

Donde:

Z : Cota de fondo

y : calado

v_1 : Velocidad media de la corriente

g : Aceleración de la gravedad

α : Coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis. Es estimado en cada sección a partir de la distribución de velocidades

I : Pendiente motriz en el tramo entre las secciones 1 y 2.

λ : Coeficiente de pérdidas

ΔH : pérdidas debido al estrechamiento o ensanchamiento del cauce.

Para determinar la altura del nivel del agua se utiliza la anterior ecuación 1 a través de un proceso iterativo entre dos secciones, aguas arriba- abajo.

Si se tiene que el proceso es no permanente la resolución de los flujos unidimensionales en lámina libre estipula la utilización de las ecuaciones de Saint Venant unidimensionales, haciéndoles las siguientes simplificaciones:

Poca profundidad de la capa de agua en cuanto a las demás dimensiones del dominio
Distribución hidrostática de los empujes en la vertical, pendiente de solera reducido.

Fondo inalterable. Por lo regular los modelos 1D estiman secciones que tienen planos perpendiculares a la dirección de flujo, teniendo en cuenta como parámetro la velocidad media. Adicionalmente estos modelos a veces omiten la aceleración local y convectiva, caso del cual aparece la ecuación de onda difusiva, o bien se puede omitir de la fuerza de presión, originando con esto la ecuación de onda cinemática (Tabla 1). A continuación, se muestran las expresiones de continuidad y momento tomadas del manual del usuario del software HECRAS.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f)$$

Donde:

Q : Caudal circulante

A : Área de la sección

S_0 : Pendiente del canal

S_f : Pendiente de fricción

Al momento de no tener un modelo de turbulencia, lo cual es muy frecuente en modelización de flujo en canales, la disipación de energía causada por las tensiones efectivas se puede incluir en la pendiente de fricción (Dr Manuel Gómez Valentín & Ernest Bladé, 2005).

A partir de la escogencia de dos secciones de control aguas arriba y aguas abajo, y mediante los parámetros de altura y caudal los modelos determinan la altura de lámina libre en varias posiciones (Dhi, 2011).

Tabla 4

Términos de la ecuación de movimiento de Saint Venant

		$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right)$	$gA \frac{\partial h}{\partial x}$	$gA(S_0)$	$gA(S_f)$
Ecuación	Aceleración local	Aceleración conectiva	Fuerzas de presión	Fuerzas de gravitacional	Fuerzas de fricción
	Términos inerciales				
Onda dinámica	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Onda difusiva	No	No	Sí	Sí	Sí
Onda cinemática	No	No	No	Sí	Sí

Nota. La información fue obtenida de (Amaya, 2019).

Entre los softwares de modelización 1D más utilizado se encuentra el citado a continuación.

Hidrologic Engineering Centers-River Analysis System (HEC-RAS). Software gratuito más utilizado para realizar análisis de flujo unidimensional, fue desarrollado por la USAGE (United States Army Corps of Engineers) (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.

UU., s. f.), este comprende la modelización de flujo en régimen permanente, no permanente, análisis de calidad de aguas y transporte de sedimentos, aplicando el sistema de volúmenes finitos implícitos.

Hecras 1D, es empleado principalmente para realizar estudios de flujo en ríos o canales, por esto su terminología “RAS”- River Analysis System-, se refiere a la evaluación del riesgo de las inundaciones, trasvases, presas, esclusas entre otros factores de simulación hidráulica.

Este programa funciona a partir de ecuaciones de onda dinámica o las ecuaciones de onda difusiva. Asimismo la discretización geométrica que lleva a cabo el programa es realizada por el módulo HEC-GeoRAS, refinándose al exportarse al modelo HECRAS (Cea, 2015).

Según los resultados y conclusiones que han reseñado diferentes autores de investigaciones que han trabajado con este software se tiene para tener en cuenta que:

Es necesario contar con información hidrológica minuciosa para extrapolar a distintos periodos de retorno y además disponer de una completa información topográfica para generar apropiados modelos digitales de terreno.

Si se ingresa la información verdadera tanto hidráulica como geométrica al software la modelación simula satisfactoriamente el comportamiento dinámico de los ríos exponiendo resultados aceptables en condiciones de flujo permanente.

Al modelar eventos de inundación se genera un modelado muy cercano a la realidad del sistema hídrico.

Esta herramienta funciona como fuente orientadora al momento de tomar decisiones ante futuras inundaciones, mostrando la amenaza en los sectores susceptibles y las posibles afectaciones en las llanuras de inundación (Amaya, 2019).

Supuestos básicos del software. En el estudio de cotas y velocidades de un caudal, HEC-RAS permite dar solución al flujo gradualmente variado, esto por medio de la ecuación de balance de energía (trinomio de Bernoulli) entre dos secciones establecidas, salvo en la simulación de estructuras como puentes, vertederos o box culverts. Este tipo de aproximación se basa en las hipótesis de movimiento unidimensional, régimen permanente y fondo fijo. Según (Bladé et al., 2009), en este modelo los aspectos relevantes son:

Toma un caudal de recorrido persistente en toda la distancia de estudio, sin considerar alteración en el tiempo.

El fondo es permanente y no erosionable.

La circulación del flujo es unidimensional.

La presión distribuida es hidrostática en la vertical debido a la reducida convexidad de la superficie libre.

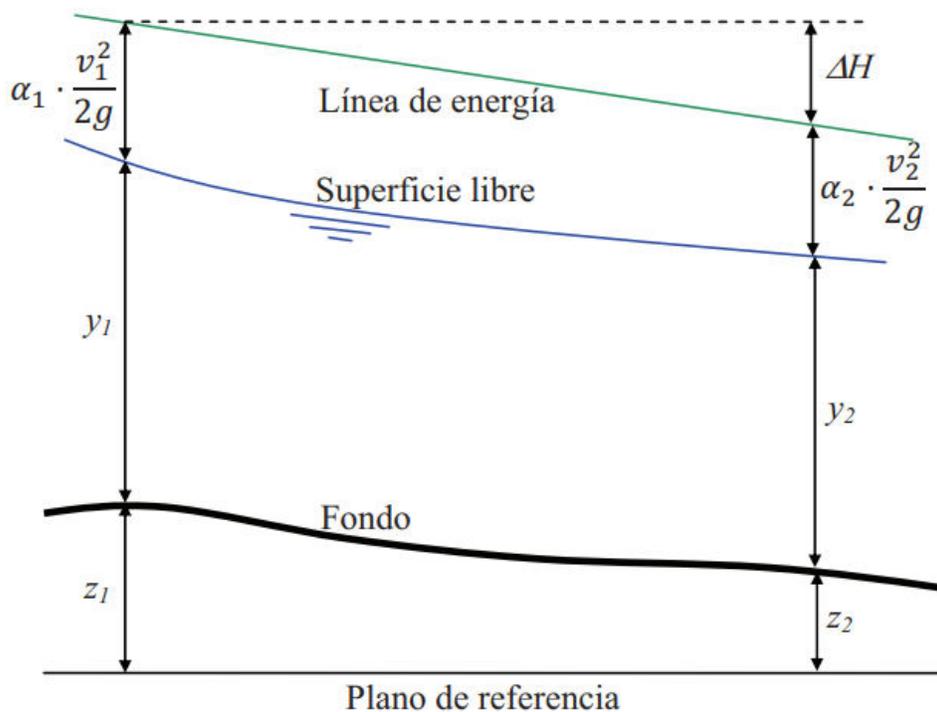
Por ende, la ecuación de conservación de la energía o ecuación de Bernoulli es:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H$$

En la Figura 11 se muestra las líneas de energía.

Figura 11

Representación de los términos del balance de energía



Nota. La información fue obtenida de (Bladé et al., 2009).

Dónde:

Y_1 y Y_2 : Alturas de la lámina de agua. Cuando hay geometrías irregulares, se debe tomar la profundidad en relación al punto más bajo de la sección.

Z_1 y Z_2 : Elevación o cotas de la superficie terrestre. Al tener geometrías irregulares (lo que sucede comúnmente en un río), se mide con respecto al punto más bajo de la sección.

V_1 y V_2 : Velocidades medias de cada sección. Cuando se presenta un régimen permanente se deben calcular como la razón entre el caudal circulante y el área de la sección.

α_1 y α_2 : Coeficientes de Coriolis estimados en cada sección, se utilizan para realizar la corrección en la no uniformidad de la distribución de la velocidad.

ΔH : Expresión que determina el valor de la energía por unidad de peso disipada entre las dos secciones. Adicionalmente, esta energía debe tener en cuenta las pérdidas continuas por rozamiento y las pérdidas localizadas presentadas entre las dos secciones.

$$\Delta H = I * L_{12} + \Delta H_{Local}$$

Para determinar las pérdidas continuas se realiza el producto de la pendiente motriz (I) por la distancia entre las secciones (L12).

Asimismo, la suma en cada miembro de la ecuación 3

Pendiente motriz, ecuación de Manning. Por medio de la fórmula de Manning, HEC-RAS calcula las pérdidas de carga continuas.

$$I = n^2 * \frac{v^2}{Rh^{\frac{4}{3}}}$$

Esta fórmula puede también quedar en función del caudal:

$$I = \frac{n^2}{Rh^{\frac{4}{3}}} * \frac{Q^2}{A^2}$$

Por ende, podremos definir el factor de transporte (K):

$$I = \frac{Q^2}{A^2}$$

$$K = \frac{Rh^{\frac{4}{3}} * A}{n}$$

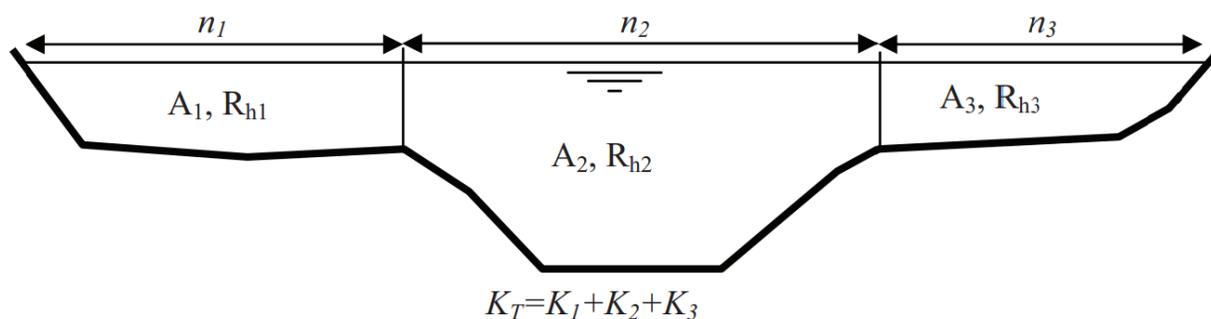
Estas ecuaciones surgen de los valores de calado y velocidad aplicados a una sección en específico. Es decir, estos valores puntuales corresponden a cada sección.

Nota: Atraves de HEC-RAS también se puede calcular el valor de I , por medio de consideraciones como lo es la media aritmética, media geométrica y media armónica.

Factor de transporte K . Este factor se calcula al subdividirse la sección en varias divisiones a partir del cambio de rugosidad. Típicamente esta cambia en las llanuras derecha e izquierda y el canal principal, aunque pueden establecerse cambios en más puntos, adicionalmente puede imponerse que calcule K entre cada par de puntos de la sección (así no cambie n). Lo anterior se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Distribución de la sección para obtener el factor de transporte KT



Nota. La información fue obtenida de (Bladé et al., 2009)

HEC-RAS primordialmente proporciona resultados del lado de seguridad dando así mayores niveles.

Longitud ponderada aguas abajo. La distancia L_{12} comprendida entre las dos secciones estudiadas se calcula a partir del valor ponderado de las respectivas longitudes, desde cada fracción de la sección a la que se ubica aguas abajo repartiendo los caudales en cada una de las partes.

$$L_{12} = \frac{|L_{12\text{izq}} * Q_{12\text{izq}} + L_{12\text{centr}} * Q_{12\text{centr}} + L_{12\text{der}} * Q_{12\text{der}}|}{Q_r}$$

De acuerdo con el área activa de flujo en cada zona de la sección transversal se puede establecer la distribución de los caudales.

Ponderación del coeficiente de Manning en el cauce central. Por lo general el coeficiente de fricción de Manning se divide en tres partes como lo es: llanura derecha e izquierda y el canal principal, sin embargo, puede existir el caso en el que se consigue configurar para poder así tener en cuenta más puntos de cambio entre la sección. El flujo en el cauce principal únicamente se subdivide en el caso de que el coeficiente de fricción se modifica dentro de él. Hay dos posibilidades en que el programa arroje un valor equivalente del coeficiente de Manning dentro del cauce principal.

Si la pendiente transversal del cauce principal es mayor a 5 h :1 v

Si el coeficiente de fricción cambia dentro del cauce principal

$$n_{total} = \left| \frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{1.5}}{P_{total}} \right|^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

P_i : Perímetro mojado de la porción i de la sección.

n_i : Coeficiente de Manning de la porción i de la sección.

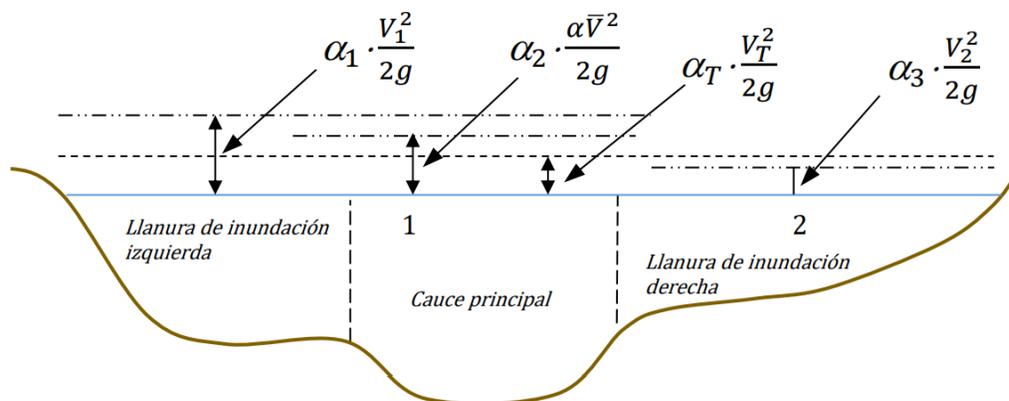
P_{total} : Perímetro mojado de la sección completa.

N : Número de partes en el que se divide el cauce central.

Coefficiente de Coriolis. En HEC-RAS se maneja una aproximación pura y exacta al mismo. Corresponde a un método en el cual se puede ponderar la energía cinemática dentro de la sección, siendo preciso distribuir el caudal en las tres partes en que se divide esta energía. Lo anterior se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Valor ponderado de la energía cinética.



Nota. La información fue obtenida de (Bladé et al., 2009)

Todo este procedimiento se fundamenta en encontrar la siguiente relación:

$$\alpha_T = \frac{\sum_{i=1}^3 Q_i * v_i^2}{Q_i * v_T^2}$$

Reemplazar favorablemente por el factor de transporte

$$\alpha_T = \frac{\left(\sum_{i=1}^3 * \frac{K_i^3}{A_i^2} \right)}{\frac{K_T^3}{A_T^2}}$$

Donde:

K_1, K_2 y K_3 : Son el factor de transporte de la llanura de inundación izquierda, cauce central y llanura derecha.

A_1, A_2 y A_3 : Áreas correspondientes a cada una de dichas zonas.

K_T : Factor de transporte total de la sección.

A_T : Área total de la sección.

Por lo general cuando un flujo es turbulento el coeficiente asumirá un valor de 1, si el flujo es laminar su valor máximo será 2. No obstante en los casos hidráulicos habitualmente el flujo es turbulento, por lo que es posible establecer $\alpha = 1$, estipulando así que en el proceso son más importante otros valores (de carácter estimativo) que el error que puede tenerse al hacer esta estimación.

Pérdidas de carga localizadas. Típicamente se tienen en cuenta las pérdidas por ensanchamiento y por contracciones.

$$\Delta H_{Local} = \lambda * \left| \frac{\alpha_2 V_2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1}{2g} \right|$$

El coeficiente de pérdidas de carga localizadas será λ . En el caso de que suceda una contracción en la sección el programa tomara a λ con un valor de 0.1, si el ensanchamiento va hacia una dirección de flujo el programa tomara a $\lambda = 0,3$. Es decir que en el caso de que el flujo sea gradualmente variado se deben asumir pérdidas de carga localizadas por contracción y ensanchamiento debido a que hay un cambio en la velocidad, donde las contracciones representan el aumento de velocidad en el sentido del flujo y el ensanchamiento las disminuciones (Bladé et al., 2009).

2.4 Marco Teórico

En la investigación realizada por Osorio (2016) se inició un estudio para instaurar la eficacia del modelo hidrológico HEC-RAS, que presenta una simulación con caudales con bifurcaciones y derivaciones. La cuenca seleccionada para el estudio fue el río Magdalena en una zona muy cercana al canal del dique, se utilizó información sobre aforos y batimetrías tomada en junio del 2005. Los resultados obtenidos fueron de gran satisfacción, la modelación de HEC-RAS permitió la elaboración de curvas de derivación del caudal en la sección de entrada con el correspondiente a los 8 brazos remanentes del río, se demostró que esta modelación puede ser aplicable a ríos de gran proporción y fluidos difluentes, derivaciones y baja pendiente; ya que con gran precisión permite representar la distribución de caudales en distintos tramos bajo condiciones de flujo permanente y no permanente. No obstante, muestra la limitación por falta de módulo de calibración para que el usuario le facilite acercarse a valores más perfectos y evite su realización manualmente.

En su tesis investigativa Ovalle et al. (2016) estudia la problemática ocurrida en el río Bogotá en el sector de la localidad de Fontibón, en dicha zona se han presentado de manera repetitiva sucesos de inundaciones, situación que motivó la realización de un estudio con el fin de establecer el grado de vulnerabilidad del sector. Para su realización se recopilaron datos y se realizaron encuestas en la zona. Asimismo, se llevó a cabo una batimetría con el propósito de predecir la cota de inundación y en su defecto el caudal máximo que puede presentar. Al determinar esta cota de anegamiento, se pudo deducir que la inundación no se debió a los niveles alcanzados por el río en el sector, ya que esta cota no excedió la altura de inundación que ha

alcanzado el río, es decir que las precipitaciones de la zona no son la principal causa, y es aquí donde se encontró al descartar la causa anterior que el fenómeno se debe mayormente al mal funcionamiento del sistema de bombeo de aguas negras que permite la evacuación de estas aguas hacia el río Bogotá.

En su tesis investigativa Martínez (2018) realizó un estudio en la ciudad de Ocaña norte de Santander el cual tenía como objetivo determinar los puntos de inundación debido a la fuerza climática. Este proceso se determinó con un método estadístico para identificar las probabilidades de precipitaciones en las estaciones IDEAM en los años 1992 hasta el 2017. Según las estadísticas los resultados que se obtuvieron dan a conocer el cambio en el comportamiento de los niveles y caudales que se generan en el río tejo y chiquito. Se ha ratificado la consolidación de la impetuosidad de cada periodo climático por el método gráfico de curva de doble masa, más sin embargo sea considerado relevante la densidad de las estaciones de una zona hidroclimática que no asegura que plantee el mismo comportamiento climático de las estaciones.

López & Gómez (2019) iniciaron una investigación en el río Arauca situado en la cuenca Orinoquia, con el fin de hallar la cota de inundación por medio de una modelación hidrodinámica a partir de un levantamiento batimétrico, el objetivo de este análisis fue zonificar el sector rural vulnerable a una inundación. Para la complementación del estudio se utilizó el programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center) 2-D con el fin de determinar las condiciones de flujo, velocidad, profundidad media del flujo, ancho máximo, lámina de agua entre otros parámetros de análisis en la hidráulica fluvial. Los resultados lograron demostrar el riesgo alto al que está

sometida la población del sector debido al máximo caudal que se puede presentar en tres sectores y su posible desbordamiento; dichos resultados pueden emplearse para gestionar procesos de reubicación o planes de mejora estructural con el fin de reducir los riesgos por eventos de inundación.

El estudio realizado por Sánchez (2019) En el valle de Abrego en la localidad del río Oroque y Algodonal, consistió en llevar a cabo un estudio para un ordenamiento territorial debido a las inundaciones presentadas en veredas cercanas a ese punto de riesgo. En este estudio se realizó una modelación con ayuda de los softwares Arcgis y HEC-RAS y su extensión HEC-GEEORAS, obteniendo una simulación de caudales con máxima inundación en diferentes tramos. El estudio demostró que las veredas aledañas al sector están bajo amenaza de un desbordamiento por inundación, es decir que las entidades relacionadas con el tema deberán tomar carta en el asunto para evitar o mitigar posibles desastres naturales e implementar estrategias de apoyo en casos de emergencia para que la comunidad esté informada y pueda actuar de manera elocuente a tal evento pronosticado.

Según Hou et al. (2020) en su investigación realizada en la provincia Guangdong a raíz de las precipitaciones presentadas el 16 de septiembre de 2018 que generaron inundaciones de gran escala se vio la necesidad de realizar un estudio de simulación y predicción por medio de un modelo GIS abierto. La información presentada por el modelo fue inicialmente distribuida en un pronóstico de desarrollo en el que se integró la delineación de la cuenca; el modelo arrojó resultados exitosos al pronosticar la inundación causada por el tifón fuerte que arremetió el sur de china en el 2018, sin embargo, quedaron incertidumbres por aclarar debido a que el área de

estudio presento complejidad y difícil acceso obteniendo datos limitados para la medición de escorrentía, adicionalmente con el estudio se pudieron obtener datos sobre el nivel freático, el volumen del agua almacenados en embalsamientos, la profundidad de detención y retención en la superficie. Es importante mencionar que la calibración del modelo fue una tarea compleja debido a la información limitada sobre parámetros como la rugosidad del río, el rendimiento específico de agua subterránea, la conductividad hidráulica no saturada del suelo; el difícil acceso a la geomorfología bajo el agua en los tramos del río a no ser que este en la temporada de caudal bajo.

Como argumenta Hu et al. (2021) en su estudio ejecutado en Fenghuangcheng de la ciudad de Shenzhen, China, que la rápida urbanización tiene un gran impacto negativo en el ciclo hidrológico local, el medio ambiente y los ecosistemas así como influenciar en la ocurrencia de grandes inundaciones, anegamientos y contaminación del agua. Es por esto que el autor realizó un estudio en el que por medio de modelos hidrológicos se logró simular o en su defecto reflejar una aproximación eficaz de la lluvia-escorrentía en las diferentes superficies urbanas para poder determinar con mayor precisión la escorrentía urbana. En el desarrollo de los estudios se utilizó el modelo TVGM-Urban, el cual simuló situaciones de escorrentía no lineales en diversos tipos de superficies urbanas. En el estudio se tomó 4 cuencas bajo el suceso de una lluvia de 2 horas con un tiempo de retorno 5 años. El análisis de escenarios considerando los cambios en las áreas de cobertura del suelo muestra que la escorrentía generada por las áreas impermeables representa la mayoría de la escorrentía total en estas cuencas.

El estudio realizado por Bogning et al. (2021) trata de un análisis de simulación hidrológica para un periodo de 18 años (1998 y 2015) al río Ogooue', ubicado en Gabón (África Central). Esto con el fin de estudiar el comportamiento hidrológico en zonas sin estimar; su procedimiento consiste en una recolección de datos como la lluvia diaria, tropical y descargas de ríos para facilitar la calibración y validación. El modelo presento buenos resultados en los caudales tanto en aguas arriba como aguas abajo al usar descargas de rio fundamentadas en altimetría para poder así calibrar el modelo establecido. La precipitación y caudal de cada sitio de calibración y validación a una escala estacional, indican un procedimiento eficaz de simulación por parte del modelo MGB en ORb al no tener un cambio de agua terrestre al momento de realizar el estudio.

En los estados unidos el fenómeno de las inundaciones está catalogado como uno de los peligros naturales más devastadores. Ciertamente se conoce un valor medio de 81 muertes causadas por este evento en cada año en las últimas décadas. Es por esto que se han realizado varios estudios respecto a este tema, como por ejemplo la investigación llevada a cabo por Li et al. (2021) la cual se trata de una simulación de una lluvia sintética y del huracán Harvey con el fin de estimar periódicamente las divergentes configuraciones del modelo. Se encontró que este modelo presenta una gran eficacia, debido a su sistema completamente integrado, aportando un desarrollo aplicable a la pronosticación activa de inundaciones y mapeo de las mismas. Cabe resaltar que para el modelo de mapeo fue esencial la sucesión de infiltración, ya que afecta en gran medida en la descarga integrada de la cuenca, la extensión de la inundación y la profundidad máxima de la inundación.

Según Tamiru & Dinka (2021) hoy en día las inundaciones son muy frecuentes debido a los fenómenos climáticos y la falta de presupuesto para inversiones de infraestructura; este estudio se enfocó en aplicar dos modelos: ANN y HEC-RAS utilizando 14 estaciones meteorológicas con datos para una ventana de tiempo de 1999 a 2005 y 2006 a 2008, con el fin de hacer un mapeo para la cuenca más baja del río Baro (Etiopía) y predecir la inundación que podría alcanzar este tramo. Los resultados obtenidos fueron de gran satisfacción y calidad debido a la predicción de inundaciones y mapeo, al aplicar el modelo ANN con el modelo HEC-RAS se demostró la eficacia del software ya que se pudo determinar una amplia profundidad de inundación.

Según un estudio realizado por Amaya & Estupiñán (2021) en el sector de san Antonio municipio de Anapoima (Cundinamarca), se han presentado inundaciones que han generado pérdidas en cultivos y afectación en las localidades limítrofes al río que atraviesa esta localidad. En este análisis se evalúa las repercusiones que generan los recodos del afluente en las inundaciones presentadas. El estudio simuló inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50 y 100 años. Se pudo probar que en la zona interna del recodo se presentó una mancha de inundación que afectaría a poblaciones aledañas e infraestructura a futuro. Se aconseja efectuar moderaciones estructurales con el fin de amenorar inundaciones posibles a presentarse en épocas de alta precipitaciones.

2.5 Marco Legal

2.5.1 Ley 1523 de 2012

Donde se aprueba el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, el cual está orientado a la ejecución, formulación, seguimiento y evaluación de políticas, planes, estrategias, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones fijas que den a conocer los posibles riesgos ante un fenómeno natural para lograr responder con un adecuado manejo de la situación que conlleve a la reducción de riesgo ante posibles desastres. Esto con el fin de contribuir a la seguridad, el desarrollo sostenible, el bienestar y calidad de vida de las personas.(Ley 1523 de 2012, 2012)

2.5.2 La Ley 99 de 1993

Le da preferencia al medio ambiente a partir de la creación del ministerio del medio ambiente, el ordenamiento de un sector público para la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y la organización del Sistema Nacional Ambiental (SINA). Dentro de los factores que tiene en cuenta esta ley, se encuentra el que estipula que la prevención de desastres debe ser de interés colectivo y que las medidas que se opten para evitar y mitigar las consecuencias ante una posible ocurrencia deben cumplirse de manera obligatoria. (Gobierno de Colombia, 1993).

2.5.3 Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico (PNGIRH)

Este documento es un plan creado por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial con el fin de orientar la planificación, administración, seguimiento y monitoreo del efluente hídrico del país teniendo en cuenta un criterio de gestión integral del recurso hídrico basado en objetivos, estrategias, indicadores, metas y líneas de acción (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

2.5.4 Plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Ocaña N.S (PBOT)

Este documento contiene una serie de acciones y actividades políticas- administrativas necesarias para conservar el medio natural, proteger el patrimonio histórico cultural y buscar el desarrollo sostenible del municipio. Entre sus objetivos principales se encuentra la planificación física de la ciudad de acuerdo a los usos de suelo de la tierra y su actividad económica correspondiente, teniendo como aspecto principal la conservación del medio ambiente (PBOT, 2002).

2.5.5 El Instituto nacional de vías (INVIAS)

Es la institución que está actualmente a cargo de la red vial de Colombia según el Decreto 1735 Del 28 de agosto 2001.cuenta como un establecimiento público nacional con autonomía tanto patrimonial como administrativa y tiene como finalidad efectuar las políticas y el plan de acción de toda la infraestructura vial de la nación. Dentro de sus funciones específicas está la de

mantenimiento y limpieza de puentes vehiculares, tanto de su estructura interna, como del canal natural o artificial que conduce las aguas. (INVIAS, 2016).

2.5.6 Resolución 0330 del 08 de junio de 2017

Es impartida especialmente para los prestadores de servicio públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, a las instituciones que crean proyectos de inversión para la zona, a las entidades de vigilancia y control, a las entidades territoriales, y el resto de las instituciones que cumplan funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico, en el marco de la Ley 142 de 1994.

2.5.7 Título D del RAS 2000

Este documento determina las condiciones necesarias para la concepción y realización de sistemas convencionales de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias. De igual forma es una guía para la planificación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento y el seguimiento del proceso y ejecución de estos sistemas y sus componentes.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Fase preparatoria

Se plantea la realización de una revisión de la información existente mediante la visita a entidades encargadas de la gestión del riesgo, la atención de emergencias, las comunicaciones locales y los residentes del barrio en estudio, con el fin de recopilar la mayor información posible respecto al historial de inundaciones ocurrido en la zona. Mediante la realización de entrevistas a los encargados del canal comunitario Tv san Jorge, el cuerpo de bomberos voluntarios, la oficina de gestión del riesgo de la alcaldía municipal, la territorial del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Ocaña y al señor Gustavo Casadiegos (habitante del barrio con amplio conocimiento de los más importantes sucesos del barrio a lo largo de más de sesenta años) se adelantará la recopilación de la información necesaria para conformar los insumos necesarios del proyecto en cuanto al análisis del periodo de retorno más común en las inundaciones ocasionadas, las características del punto crítico que afectaron en mayor o menor medida dichas inundaciones y los posibles proyectos que se han generado en pro de solucionar esta problemática.

Se implementarán formatos unificados para la realización de las entrevistas con preguntas precisas en cuanto a la información histórica que puedan brindar las instituciones y personas mencionadas anteriormente con el fin de obtener los mejores resultados al momento de su realización. Las preguntas se dividirán en tres capítulos que abarcarán los tres aspectos mencionados anteriormente: historial, datos del punto crítico y acciones ejecutadas.

3.2 Fase de recolección de información

Esta fase está conformada por la realización de visitas de la zona de afectación; objetivo de este proyecto. Se llevará a cabo el trabajo de campo por medio de un levantamiento topográfico (con estación total), las mediciones necesarias en el puente de la Gloria y la recopilación de la información básica necesaria para el estudio hidrológico; como los es la extracción de la cuenca afluyente por medio de Google Earth para la determinación de las áreas y sus características de cubrimiento en cuanto a los coeficientes de escorrentía. De igual forma se requiere para el cálculo de las curvas los datos de precipitaciones existentes según la estación meteorológica escogida que en este caso será la perteneciente a la UFPSO, por la facilidad de acceso a sus datos y la cercanía al lugar de estudio.

3.3 Fase de estudios técnicos

Se conforma por el procesamiento de los datos de campo obtenidos para iniciar la fase de análisis. Se implementará la división de las áreas para la determinación de las subcuencas afluentes y los coeficientes de escorrentía de cada una de esas áreas. De igual manera, se organizará la correspondiente modelación hidrológica por medio del levantamiento topográfico, y del caudal obtenido por el método SCS, el cual constará del cálculo de las curvas IDF, el tiempo de concentración y del hidrograma unitario.

Con toda la información recopilada, se implementará el software HEC-RAS para la modelación del punto crítico que arrojará la cota de inundación según los periodos de retornos escogidos en la modelación hidrológica.

3.4 Fase de análisis de la información

Se plantea con los resultados obtenidos, encontrar la cota de inundación en el punto de estudio y por consiguiente determinar las áreas inundables. De igual forma, dar una información precisa para las entidades gubernamentales que puedan requerir este estudio para la proyección de sus obras de mitigación del riesgo y plantear soluciones viables para la problemática descrita.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Topografía de la Zona de Estudio

Para realizar el estudio topográfico de la zona de estudio, se contó con el apoyo de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, quien a través del departamento de ingeniería civil y sus actividades de extensión gestionaron la realización de la batimetría de la zona a través del laboratorio de topografía. La realización de este estudio permitió determinar las características del cauce del río tejo y de la estructura del puente vehicular; sector del barrio la Gloria, en un tramo de 180 m de longitud, los cuales a partir de un procesamiento de datos se ven reflejados finalmente en una representación planimétrica y altimétrica de la zona en estudio.

El procedimiento fue realizado por el método de poligonal abierta, que consiste en tomar ciertos deltas en espacios estratégicos, idealmente donde tenga buen alcance la estación topográfica; para el caso en estudio se usaron en total siete (7), distribuidos tanto aguas arriba como aguas abajo del puente. La ubicación específica del punto intervenido se muestra en la figura 9, donde se evidencia el recorrido tomado en el levantamiento, realizado en tres etapas; tramo aguas arriba, puente vehicular y tramo aguas abajo, esto se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Ubicación de sitio de estudio



A continuación, en las Figuras 15 y 16, muestran fotografías tomadas durante el desarrollo del descrito levantamiento topográfico.

Figura 15

Localización del equipo para el levantamiento topográfico Aguas arriba del puente La Gloria



Figura 16

Localización del equipo para el levantamiento topográfico Aguas abajo del puente La Gloria



Finalmente se obtuvo el perfil natural y las diferentes secciones transversales, es decir la batimetría y altimetría del cauce. Los planos obtenidos con esta información se muestran a continuación en las Figuras 17 y 18.

Figura 17

Batimetría del río Tejo

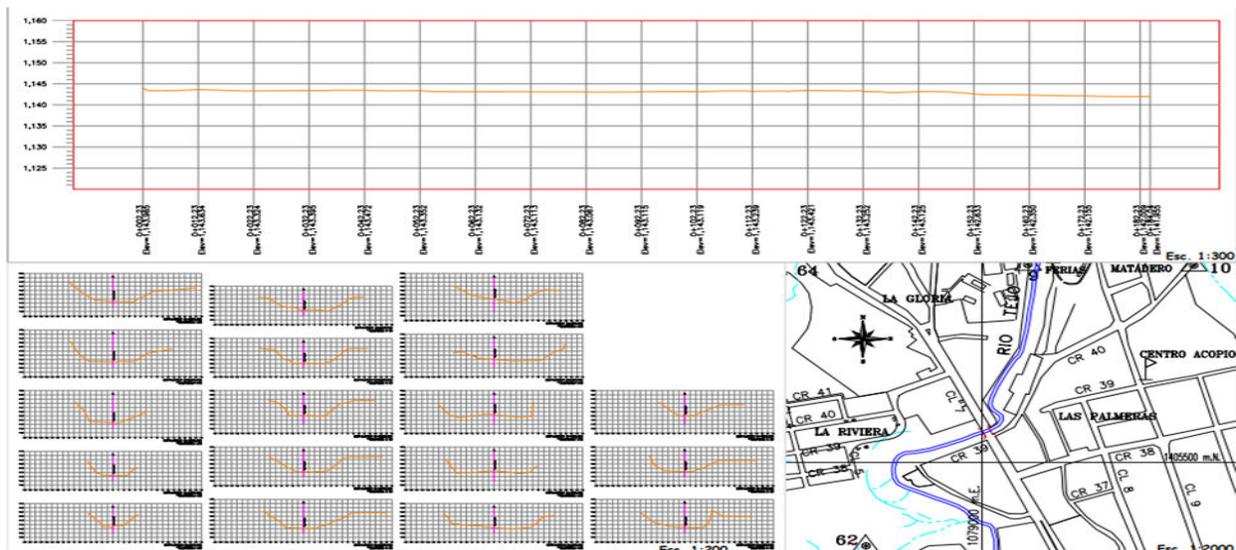
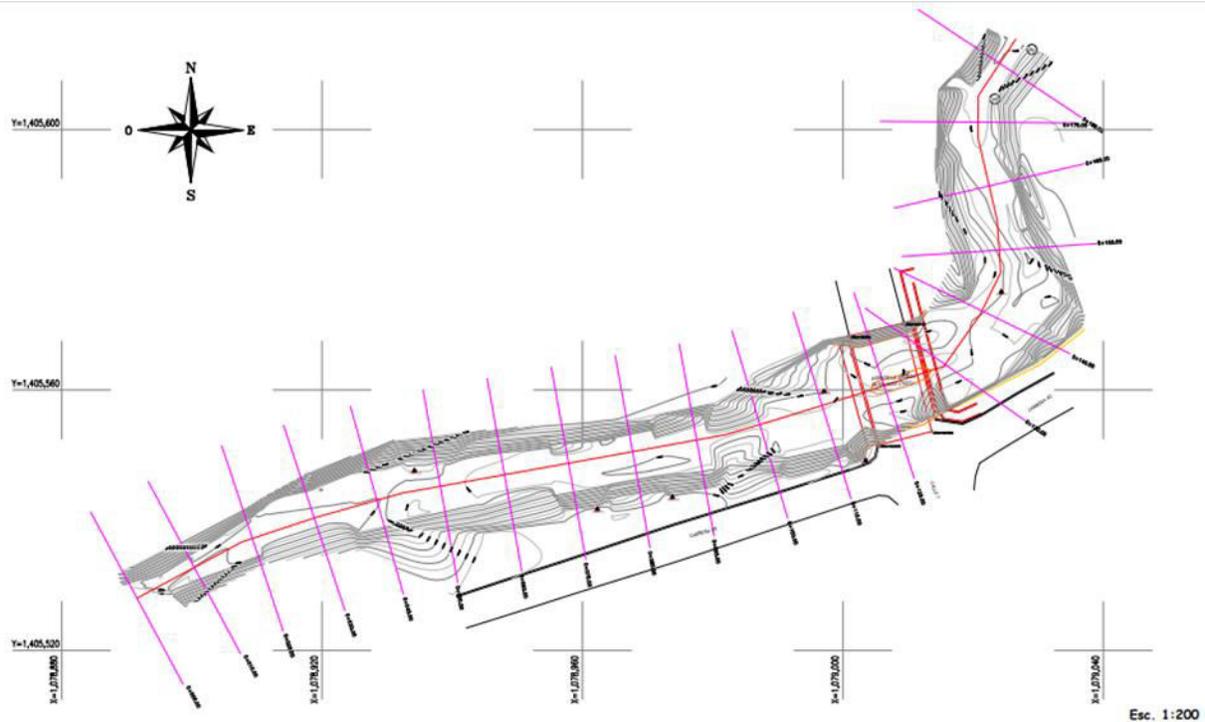


Figura 18

Batimetría del río Tejo, sobre puente vehicular la Gloria



4.2 Curvas IDF

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen una de las variables más importantes y necesarias al momento de determinar el caudal de diseño. Con estas curvas se reúnen las características de los acontecimientos más fuertes de lluvia, estableciéndose la intensidad media de precipitación, sobre la base de diferentes duraciones del evento y periodos de retorno definidos. Para construir dichas curvas, se procedió inicialmente a consultar y descargar de la página del DHIME IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), los datos hidrometeorológicos de precipitación de las estaciones más cercanas al lugar en cuestión.

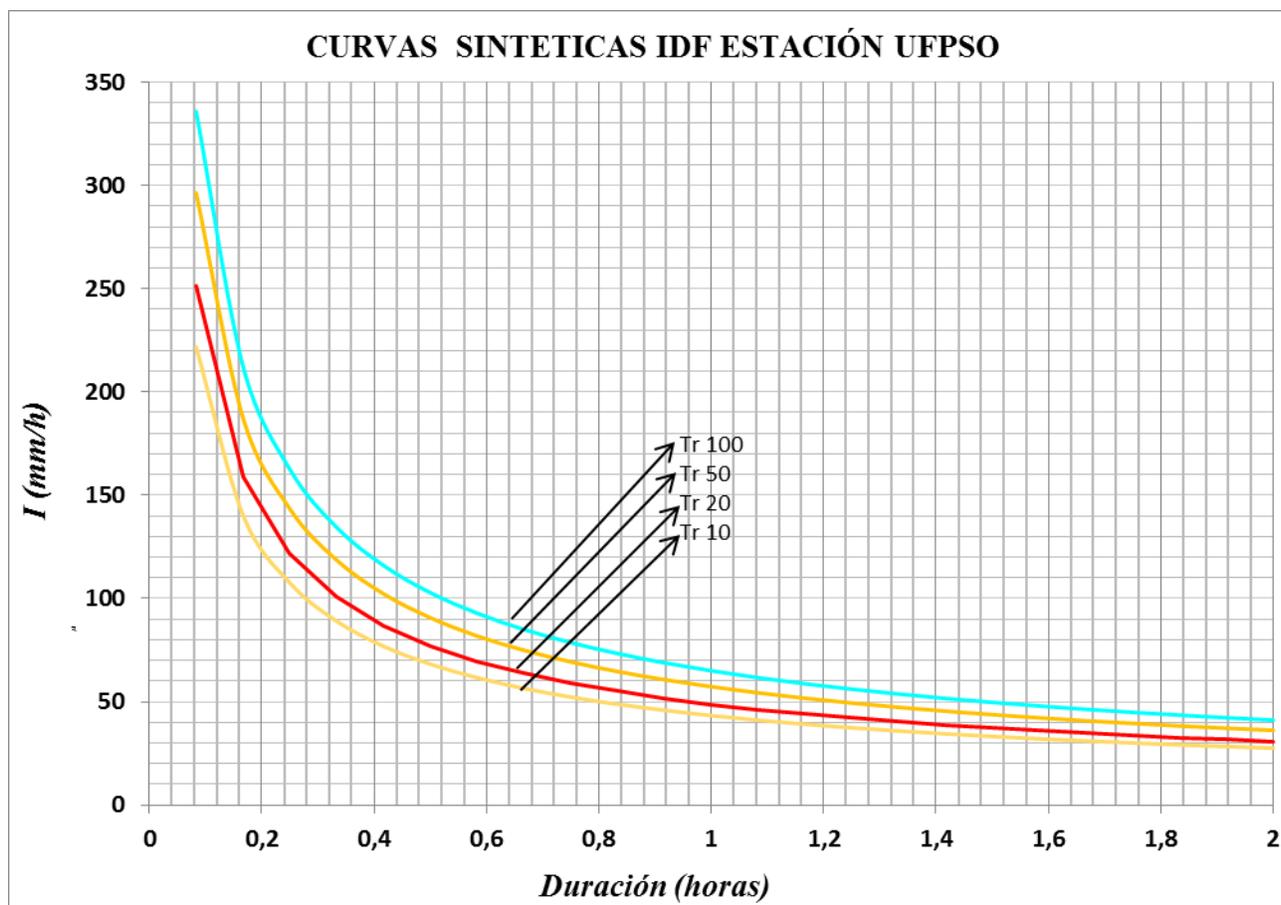
En vista de que se encontraron inconsistencias por falta de información, se procedió a realizar un llenado de datos por medio del método de Distancia Inversa Ponderada. La estación meteorológica utilizada fue la de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y se compensó la información con las estaciones de Brotare y Río de Oro. Además, ante la posibilidad de un margen de error, debido a daños o anomalías del sistema, se hizo necesario realizar un análisis de cifras dudosas.

Para determinar la familia de curvas se utilizó el experimentado y útil método denominado Simplificado, que rige actualmente el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que debe emplearse siempre y cuando no se cuente con datos históricos de precipitación de duración corta, es decir datos puvliográficos (INVIAS, 2009). El cálculo de la intensidad se realizó para los periodos de retorno 10, 20, 50 y 100 años, como lo estipula la normativa del INVIAS para diseñar obras de drenaje vial (ítem 2.4.3 del manual de drenaje para carreteras), y debido a la ubicación del proyecto los coeficientes que se emplearon fueron los correspondientes a la región Andina.

Como ilustración del proceso realizado, la Figura 19 muestra, para su análisis, los resultados obtenidos.

Figura 19

Gráfico de curvas IDF para el barrio la Gloria



4.3 Análisis de la cuenca hídrica por medio de la plataforma Google Earth

La plataforma Google Earth fue fundamental para el desarrollo de la investigación, porque brinda una variedad de herramientas que facilitan el trabajo al momento de analizar imágenes satelitales terrestres. Fue precisamente en esta plataforma que se delimitaron las áreas tributarias componentes de la cuenca del río tejo, teniendo en cuenta que su nacimiento es en la montaña Simitarigua. Se procedió a delimitar la ruta del cauce, encontrando valores para la cota alta y

baja del río y por ende su pendiente, datos necesarios al momento de calcular el caudal, como se demostrará más adelante en el presente estudio.

Sumado a lo anterior, a cada una de las subcuencas o áreas tributarias se les determinó: el área, tipo de cobertura y tipo de suelo, este último se deduce de los grupos hidrológicos que expone la Tabla 2 del marco teórico. Las delimitaciones y trazos realizados en la plataforma se muestran en la Figura 20 y 21, adicionalmente la información extraída de estas se muestra más adelante en el desarrollo del método utilizado para determinar el caudal.

Figura 20

Cuenca hidrográfica de sitio de estudio (Río Tejo)

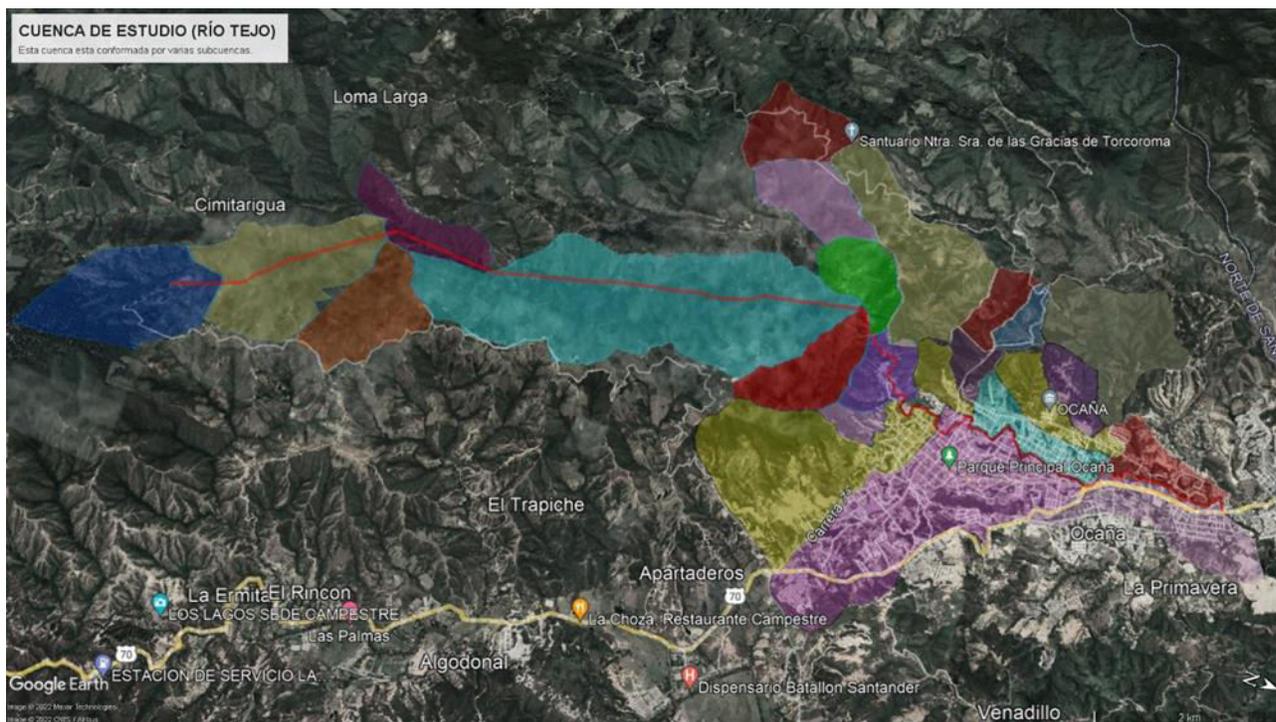
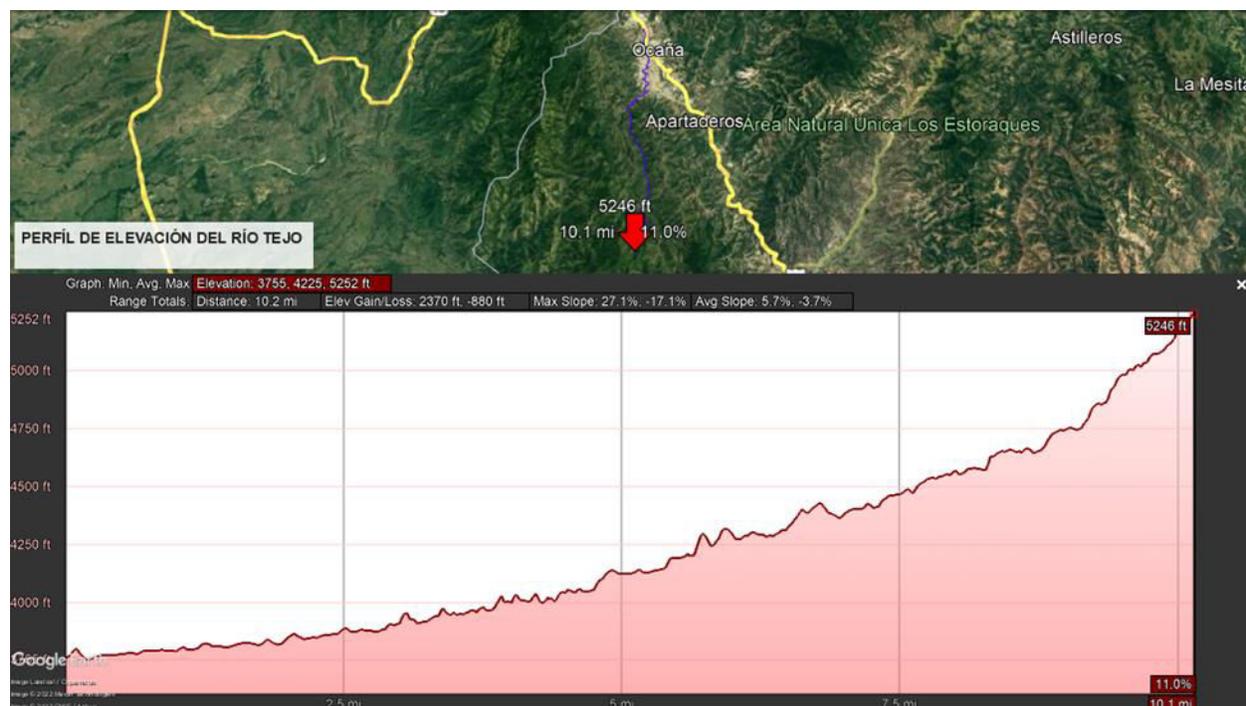


Figura 21

Perfil de elevación del tramo estudiado del Río Tejo



4.4 Caudal Superficial desarrollado por el Método de la Soil Conservation Service (SCS)

Con el objetivo de determinar el caudal que conduce el Río Tejo bajo el puente del Barrio La Gloria, se optó por trabajar con el método de la Soil Conservation Service (SCS). La utilización de dicho método permite garantizar resultados más precisos, dado que es conocido como el modelo que más se ha ajustado en las investigaciones, utilizado en estudios hidrológicos con cuencas mayores a 80 has a diferencia del método racional, que solo trabaja con áreas menores.

Con la información obtenida de la plataforma Google Earth sobre la cuenca estudiada, se calcularon la pendiente, número de curva II y tiempo de concentración (Fórmula Kirpich), variables que forman parte del método en cuestión, y que también se muestran más adelante en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5

Cálculo de la pendiente del tramo de estudio (rio Tejo)

Parámetros	Valor	Unidad
Long cauce	53595.2	ft
Cota Max	5244.72	ft
Cota Min	3762.16	ft
Pendiente	2.77%	m/m

Tabla 6

Tiempo de concentración en el recorrido del rio Tejo

Tiempo de Concentración (Tc) por tramos						
Cota alta	Cota baja	Lon. (km)	Long (m)	Pendiente	Tc (Horas)	Tc (min)
1166	1147	2.5	2500	0.76	0.149	8.95 min
1197	1166	2.5	2500	1.24	0.124	7.41 min
1235	1197	2.5	2500	1.52	0.114	6.85 min
1310	1235	2.5	2500	3	0.088	5.28 min
1383	1310	2.5	2500	2.92	0.089	5.33 min
1479	1383	2.5	2500	3.84	0.080	4.80 min
1599	1479	1.34	1340	8.96	0.036	2.14 min
					Total Tc	40.8 min
					Hrs	0.68

Nota. El tiempo de concentración estudiado se estableció desde la vereda Simitarigua hasta el punto de análisis (Puente la Gloria).

Tabla 7

Valores de Número de curva (CN II) de cada área tributaria

Áreas Tributarias	Descripción	Área (km ²)	Has	% Área	Pend.	Tipo de suelo	CN II	%Área*CN II
1	Cubierta Buena	1.89	189.0	0.062	2.77%	A	25	1.55
2	Cubierta pobre, sin hierba	2.27	227.0	0.075	2.77%	A	45	3.36
3	Cubierta pobre, sin hierba	1.27	127.0	0.042	2.77%	A	45	1.88
4	Cubierta Buena	0.75	75.3	0.025	2.77%	A	25	0.62
5	Cubierta Buena	5.88	588.0	0.193	2.77%	A	25	4.84
6	Cubierta Buena	0.96	95.8	0.032	2.77%	A	25	0.79
7	Cubierta Buena	0.34	33.5	0.011	2.77%	A	25	0.28
8	Cubierta pobre, sin hierba	0.34	33.5	0.011	2.77%	A	45	0.50
9	Cubierta pobre, sin hierba	0.42	41.5	0.014	2.77%	A	45	0.61
10	Distrito Urbanizado	0.16	16.0	0.005	2.77%	A	45	0.24
11	Cubierta Buena	0.12	11.5	0.004	2.77%	A	25	0.09
12	Distrito Urbanizado	0.10	9.8	0.003	2.77%	A	81	0.26
13	Cubierta Buena	0.86	85.6	0.028	2.77%	A	25	0.70
14	Cubierta Buena	0.85	84.7	0.028	2.77%	A	25	0.70
15	Cubierta pobre, sin hierba	1.95	195.0	0.064	2.77%	A	45	2.89
16	Cubierta Buena	0.41	40.7	0.013	2.77%	A	25	0.33
17	Cubierta pobre, sin hierba	0.28	28.3	0.009	2.77%	A	45	0.42
18	Cubierta Buena	0.26	26.2	0.009	2.77%	A	25	0.22
19	Distrito Urbanizado	0.03	3.3	0.001	2.77%	A	81	0.09
20	Cubierta Buena	0.23	23.2	0.008	2.77%	A	25	0.19
21	Distrito Urbanizado	0.08	8.4	0.003	2.77%	A	81	0.22
22	Cubierta Buena	1.62	162.0	0.053	2.77%	A	25	1.33
23	Cubierta Buena	0.20	20.0	0.007	2.77%	A	25	0.16
24	Distrito Urbanizado	0.09	8.6	0.003	2.77%	A	81	0.23
25	Distrito Urbanizado	0.27	27.1	0.009	2.77%	A	81	0.72
26	Cubierta Buena	0.33	33.0	0.011	2.77%	A	25	0.27
27	Distrito Urbanizado	0.66	65.5	0.022	2.77%	A	81	1.75
28	Distrito Urbanizado	1.59	159.2	0.052	2.77%	A	81	4.24
29	Cubierta Buena	0.69	69.3	0.023	2.77%	A	25	0.57
30	Cubierta pobre, sin hierba	0.35	34.5	0.011	2.77%	A	45	0.51
31	Distrito Urbanizado	3.42	342.0	0.113	2.77%	A	81	9.11
32	Distrito Urbanizado	0.56	56.0	0.018	2.77%	A	81	1.49
33	Distrito Urbanizado	1.19	119.0	0.039	2.77%	A	81	3.17
Área Total (Km²)		30.39	3039					44.34

Finalmente, para determinar la Intensidad o precipitación en mm/h, se entró con el tiempo de concentración ya calculado a las curvas IDF, obteniendo un valor para cada uno de los periodos de retorno estudiados: Esta información se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Valores de Intensidad para cada periodo de retorno

Tr (Años)	I (mm/hr)
10	55
20	63
50	75
100	84

4.4.1 Hidrograma Unitario Sintético

Debido a la inexistencia de estructuras que permitan la medición directa de caudales en el punto de estudio (limnómetro calibrado), se optó por realizar un estudio hidrológico que permita determinar el caudal para cada periodo de retorno, a través de un hidrograma sintético triangular unitario, el cual se grafica a partir de la información obtenida anteriormente. Para ejecutar este método, inicialmente se debe contar con los datos de entrada. Los datos usados en la presente investigación se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Información general de la cuenca estudiada

Datos de entrada	Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100
Superficie (km ²)	30.39	30.39	30.39	30.39
Precipitación (mm)	55	63	75	84
Tiempo de concentración (Horas)	0.68	00.68	0.68	0.68
Duración P neta (Horas)	3	3	3	3

Posteriormente a partir de la información de la Tabla 10 se calcularon los siguientes parámetros, fundamentales al momento de construir el hidrograma.

Tabla 10

Parámetros resultantes del método de hidrograma Unitario

Parámetro	Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100
Tiempo Conc. (Horas)	0.68	0.68	0.68	0.68
tiempo punta (Horas)	1.91	1.91	1.91	1.91
tiempo base (Horas)	5.09	5.09	5.09	5.09
Caudal de la punta (m ³ /seg)	127	146	174	194

Seguidamente se generó el gráfico de hidrograma sintético unitario (Figura 17), de acuerdo con el tiempo base, tiempo punta y caudal para los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Los datos calculados para cada periodo se muestran en las Tablas 11 hasta la 14. Estos valores se ingresan posteriormente al programa para su procesamiento y obtener el resultado final.

Tabla 11

Valores para Tr10

t (hr)	Q (m³/seg.)
0	0
1.91	127
5.09	0

Tabla 12*Valores para Tr20*

t (hr)	Q (m³/seg.)
0	0
1.91	146
5.09	0

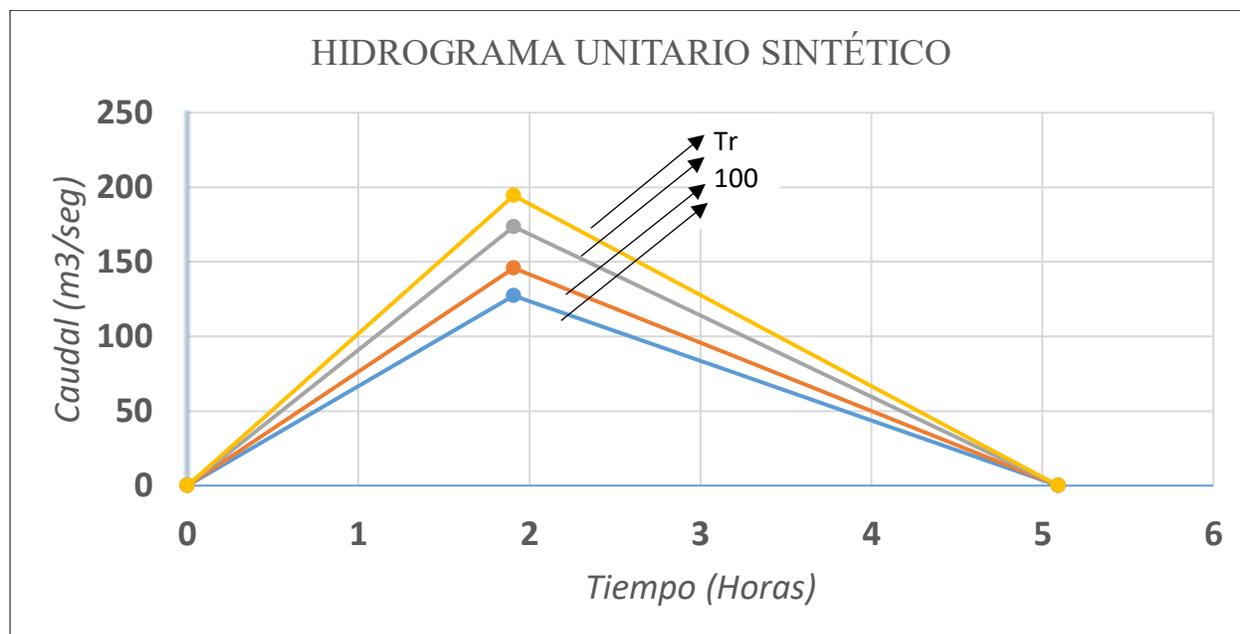
Tabla 13*Valores de Tr50*

t (hr)	Q (m³/seg.)
0	0
1.91	174
5.09	0

Tabla 14*Valores de Tr 100*

t (hr)	Q (m³/seg.)
0	0
1.91	194
5.09	0

En la Figura 22 se muestra el histograma sintético final.

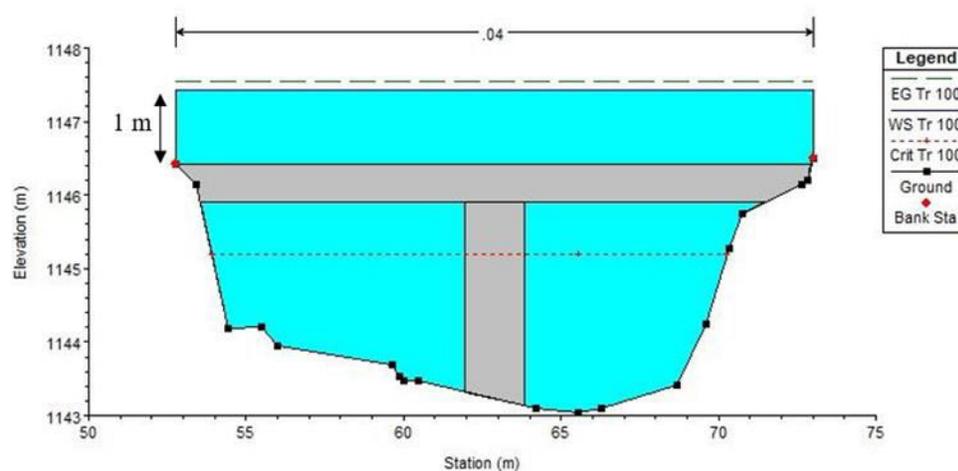
Figura 22*Hidrograma Unitario Sintético final*

Es importante destacar que la cuenca en estudio tiene una característica particular: como el cauce del río atraviesa el municipio de Ocaña existen áreas susceptibles a inundación antes del punto en estudio, es decir, antes de que el caudal atravesase el puente la gloria ha tenido pérdidas por desbordamientos en zonas como: el barrio 20 de julio, federación de cafeteros, club caza y pesca, proyecto Ocaña plaza, colegio Francisco Fernández de Contreras entre otros. Con el propósito de ajustar los caudales generados por el hidrograma unitario se planteó un análisis basado en cuantificar dichas pérdidas, el cual fue realizado mediante el estudio de un evento (14 de noviembre de 2014) en el que una precipitación de 121.5 mm generó una lámina de 1 metro de agua sobre el puente, como se puede observar en la Figura 23.

Dicho estudio arrojó que únicamente el 42.50% del caudal generado por la cuenca descarga en el punto de estudio.

Figura 23

Sección Hidráulica para evento del 14 de noviembre de 2014



Los caudales resultantes ajustados se muestran a continuación en la Tabla 15. Cabe aclarar que es en base a estos que se realizarán los posteriores cálculos.

Tabla 15

Caudales Ajustados teniendo en cuenta las pérdidas

Tr	Caudal (m³/seg)
10	54.106
20	61.976
50	73.781
100	82.634

4.5 Simulación del cauce natural del río Tejo en el tramo de estudio, por medio del programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers)

A través del software HEC-RAS se puede simular el flujo de un cauce natural o artificial, dando a conocer los posibles niveles de agua para determinados caudales, permitiendo realizar estudios hidráulicos y determinación de posibles zonas inundables. Dentro del proceso llevado a cabo para ejecutar el programa, se tuvo en cuenta inicialmente diferentes factores como la forma del cauce (secciones transversales obtenidas en el estudio topográfico), su pendiente y su naturaleza (tipo de material, presencia de vegetación, etc.).

En cuanto al tipo de material se utilizaron dos rugosidades representadas por medio del n de Manning; una de 0.04 para el fondo y otra de 0.033 para las paredes del canal natural, estos valores basados en la tabla 2.5.1 (coeficientes de rugosidad de Manning para varias superficies de canales abiertos) del libro de ven te Chow.

Para realizar las diferentes modelaciones para los periodos de retorno planteados, se ingresaron los valores de caudales conocidos por medio de método SCS y el hidrograma unitario sintético, obteniendo la simulación de los niveles de agua que puede presentar el río Tejo para cada periodo de retorno analizado.

Adicionalmente al análisis realizado para determinar la cota de inundación en los diferentes periodos de retorno, tema objetivo del presente estudio, se consideró una posible solución, a través de la construcción de un canal rectangular que conduzca y disminuya el riesgo de inundación en la zona de estudio.

Para llevar a cabo este análisis se realizó una modelación en HEC-RAS, con el propósito de determinar las dimensiones apropiadas para transportar la cantidad de flujo calculada. A continuación se presentan los resultados obtenidos en las Figuras 24 hasta la 27.

Figura 24

Datos generales obtenidos para el Tr 10

Descripción

Caudal: 54.11 m³/seg

Precipitación: 55 mm/h

Altura adicional a cota de rebose: 0.43 m

Cota de lámina de agua

Sección natural: 1146.34 msnm

Sección artificial: 1144.35 msnm

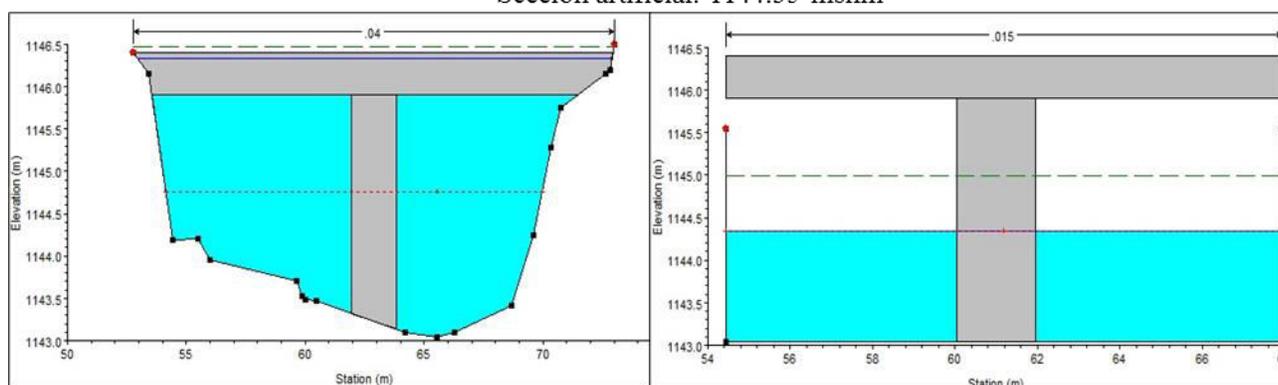


Figura 25

Datos generales obtenidos para el Tr 20

Descripción

Caudal: 61.98 m³/seg

Precipitación: 63 mm/h

Altura adicional a cota de rebose: 0.71

m

Cota de lámina de agua

Sección natural: 1146.62 msnm

Sección artificial: 1144.47 msnm

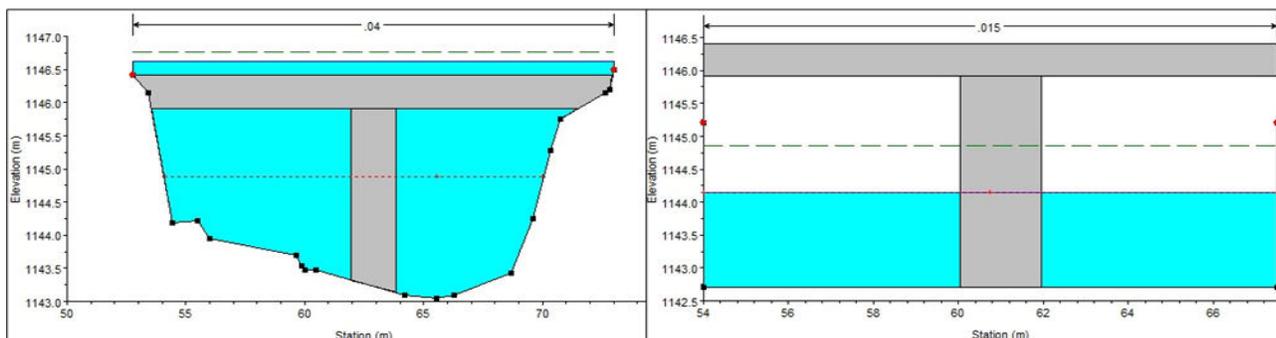


Figura 26

Datos generales obtenidos para el Tr 50

Descripción

Caudal: 73.78 m³/seg

Precipitación: 63 mm/h

Altura adicional a cota de rebose: 1.1 m

Cota de lámina de agua

Sección natural: 1147.01 msnm

Sección artificial: 1144.65 msnm, Borde libre: 0.89 m

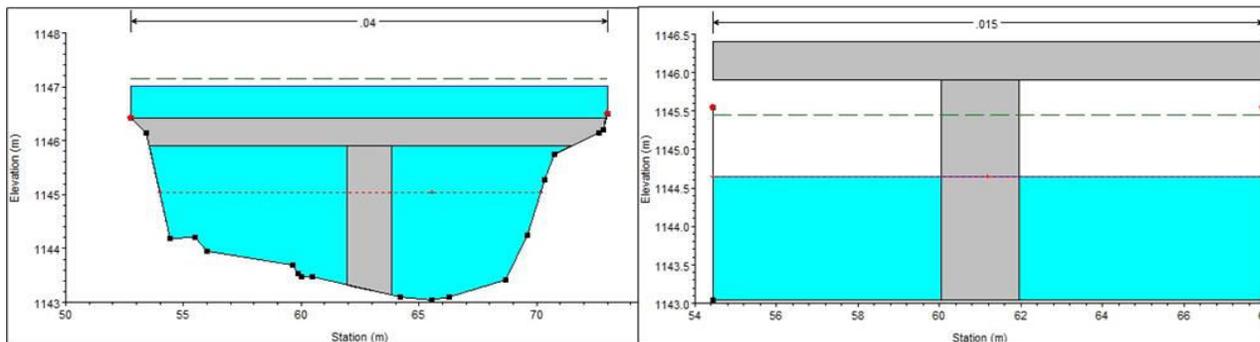


Figura 27

Datos generales obtenidos para el Tr 100

Descripción

Caudal: 82.63 m³/seg

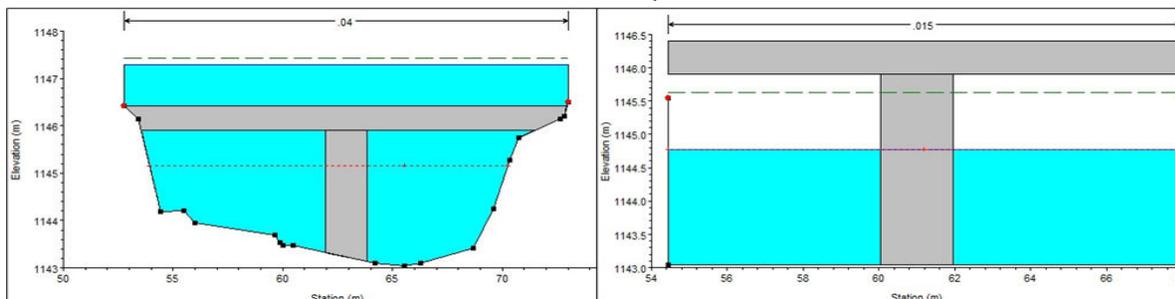
Precipitación: 63 mm/h

Altura adicional a cota de rebose: 1.38 m

Cota de lámina de agua

Sección natural: 1147.25 msnm

Sección artificial: 1144.77 msnm, Borde libre: 0.77 m



Por último, en las Figura 28 a la 31, se muestra el desglose de las características generales del puente vehicular.

Figura 28

Características generales resultantes para la sección del puente vehicular en un Tr de 10

Plan: Plan_01_02 Rio Tejo Tejo_01 RS: 75 Profile: Tr 10				
E.G. US. (m)	1146.48	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	1146.42	E.G. Elev (m)	1146.48	1146.43
Q Total (m3/s)	54.11	W.S. Elev (m)	1146.34	1146.33
Q Bridge (m3/s)	54.11	Crit W.S. (m)	1144.76	1144.26
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	3.30	3.62
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.64	1.39
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	33.01	38.82
Weir Submerg		Froude # Chl	0.29	0.23
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	61.75	78.91
Min El Weir Flow (m)	1146.41	Hydr Depth (m)		
Min El Prs (m)	1145.91	W.P. Total (m)	39.77	38.38
Delta EG (m)	0.07	Conv. Total (m3/s)	728.9	977.9
Delta WS (m)	0.06	Top Width (m)		
BR Open Area (m2)	33.01	Frctn Loss (m)	0.03	0.00
BR Open Vel (m/s)	1.64	C & E Loss (m)	0.01	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	44.85	30.37
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	73.52	42.33

Figura 29

Características generales resultantes para la sección del puente vehicular en un Tr de 20 años

Plan: Plan_01_02 Rio Tejo Tejo_01 RS: 75 Profile: Tr 20				
E.G. US. (m)	1146.77	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	1146.71	E.G. Elev (m)	1146.77	1146.71
Q Total (m3/s)	61.98	W.S. Elev (m)	1146.63	1146.59
Q Bridge (m3/s)	58.88	Crit W.S. (m)	1144.87	1144.39
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	3.58	3.88
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.66	1.48
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	37.35	41.83
Weir Submerg		Froude # Chl	0.28	0.24
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	73.12	90.99
Min El Weir Flow (m)	1146.41	Hydr Depth (m)	1.85	2.54
Min El Prs (m)	1145.91	W.P. Total (m)	60.38	55.20
Delta EG (m)	0.08	Conv. Total (m3/s)	677.8	869.2
Delta WS (m)	0.08	Top Width (m)	20.22	16.46
BR Open Area (m2)	33.01	Frctn Loss (m)	0.05	0.00
BR Open Vel (m/s)	1.78	C & E Loss (m)	0.01	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	50.71	37.78
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	84.16	55.97

Figura 30

Características generales resultantes para la sección del puente vehicular en un Tr de 50 años

Plan: Plan_01_02 Rio Tejo Tejo_01 RS: 75 Profile: Tr 50				
E.G. US. (m)	1147.15	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	1147.08	E.G. Elev (m)	1147.14	1147.10
Q Total (m3/s)	73.78	W.S. Elev (m)	1147.01	1146.98
Q Bridge (m3/s)	57.50	Crit W.S. (m)	1145.03	1144.56
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	3.97	4.27
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.64	1.53
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	45.09	48.14
Weir Submerg		Froude # Chl	0.26	0.24
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	90.73	110.39
Min El Weir Flow (m)	1146.41	Hydr Depth (m)	2.23	2.92
Min El Prs (m)	1145.91	W.P. Total (m)	61.15	55.97
Delta EG (m)	0.07	Conv. Total (m3/s)	920.2	1088.4
Delta WS (m)	0.07	Top Width (m)	20.22	16.46
BR Open Area (m2)	33.01	Frctn Loss (m)	0.04	0.00
BR Open Vel (m/s)	1.74	C & E Loss (m)	0.01	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	46.49	38.76
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	76.07	59.41

Figura 31

Características generales resultantes para la sección del puente vehicular en un Tr de 50 años

Plan: Plan_01_02 Rio Tejo Tejo_01 RS: 75 Profile: Tr 100				
E.G. US. (m)	1147.43	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	1147.35	E.G. Elev (m)	1147.42	1147.38
Q Total (m3/s)	82.63	W.S. Elev (m)	1147.29	1147.25
Q Bridge (m3/s)	54.13	Crit W.S. (m)	1145.15	1144.66
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	4.25	4.54
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.63	1.57
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	50.72	52.71
Weir Submerg		Froude # Chl	0.25	0.23
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	105.48	126.08
Min El Weir Flow (m)	1146.41	Hydr Depth (m)	2.51	3.20
Min El Prs (m)	1145.91	W.P. Total (m)	61.70	56.52
Delta EG (m)	0.06	Conv. Total (m3/s)	1112.6	1257.8
Delta WS (m)	0.06	Top Width (m)	20.22	16.46
BR Open Area (m2)	33.01	Frctn Loss (m)	0.04	0.00
BR Open Vel (m/s)	1.64	C & E Loss (m)	0.00	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	44.46	39.47
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	72.44	61.88

4.6 Propuesta económica

Con el propósito de plantear una solución para la problemática en estudio, que contemple todos los aspectos que pueden verse involucrados en este tipo de obras, se presenta un presupuesto base en el que se relaciona el costo estimado de actividades constructivas que permitan la materialización de las soluciones planteadas.

A continuación se presentan los resultados encontrados mediante las Tablas 16 hasta la 19.

Tabla 16*Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 10 años*

Tr 10					
Ítems	Descripción	Unid	Cant.	Vr. unitario	Vr. parcial
1	preliminares				\$ 9,044,460
1.1	localización trazado y replanteo	m2	2430	\$ 3,722	\$ 9,044,460
2	concretos				\$ 867,981,807
2.1	concreto de limpieza e: 0.05m	m2	2430	\$ 52,922	\$ 128,600,460
2.2	concreto impermeabilizado 24 Mpa	m3	747	\$ 989,801	\$ 739,381,347
3	acero de refuerzo				\$ 113,325,767
3.1	acero de refuerzo fy=4.2mpa	kg	2932	\$ 7,997	\$ 23,449,607
3.2	filtro en grava fina con geotextil NT 1600	ml	360	\$ 249,656	\$ 89,876,160
Total costo directo					\$ 990,352,034

Tabla 17*Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 20 años*

Tr 20					
Ítems	Descripción	Unid	Cant.	Vr. unitario	Vr. parcial
1	preliminares				\$ 9,044,460
1.1	localización trazado y replanteo	m2	2430	\$ 3,722	\$ 9,044,460
2	concretos				\$ 876,890,016
2.1	concreto de limpieza e: 0.05m	m2	2430	\$ 52,922	\$ 128,600,460
2.2	concreto impermeabilizado 24 Mpa	m3	756	\$ 989,801	\$ 748,289,556
3	acero de refuerzo				\$ 113,608,292
3.1	acero de refuerzo fy=4.2mpa	kg	2968	\$ 7,997	\$ 23,732,132
3.2	filtro en grava fina con geotextil NT 1600	ml	360	\$ 249,656	\$ 89,876,160
Total costo directo					\$ 999,542,768

Tabla 18*Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 50 años*

Tr 50					
Ítems	Descripción	Unid	Cant.	Vr. unitario	Vr. parcial
1	preliminares				\$ 9,044,460
1.1	localización trazado y replanteo	m2	2430	\$ 3,722	\$ 9,044,460
2	concretos				\$ 908,068,748
2.1	concreto de limpieza e: 0.05m	m2	2430	\$ 52,922	\$ 128,600,460
2.2	concreto impermeabilizado 24 Mpa	m3	788	\$ 989,801	\$ 79,468,288
3	acero de refuerzo				\$ 114,597,131
3.1	acero de refuerzo fy=4.2mpa	kg	3091	\$ 7,997	\$ 24,720,971
3.2	filtro en grava fina con geotextil NT 1600	ml	360	\$ 249,656	\$ 89,876,160
					\$
				Total costo directo	1,031,710,339

Tabla 19*Presupuesto de canal rectangular para periodo de retorno de 100 años*

Tr 100					
Ítems	Descripción	Unid	Cant.	Vr. unitario	Vr. parcial
1	preliminares				\$ 9,044,460
1.1	localización trazado y replanteo	m2	2430	\$ 3,722	\$ 9,044,460
2	concretos				\$ 916,976,957
2.1	concreto de limpieza e: 0.05m	m2	2430	\$ 52,922	\$ 128,600,460
2.2	concreto impermeabilizado 24 Mpa	m3	797	\$ 989,801	\$ 788,376,497
3	acero de refuerzo				\$ 114,879,657
3.1	acero de refuerzo fy=4.2mpa	kg	3127	\$ 7,997	\$ 25,003,497
3.2	filtro en grava fina con geotextil NT 1600	ml	360	\$ 249,656	\$ 89,876,160
					\$
				Total costo directo	1,040,901,074

La estimación de los costos directos para la construcción de la solución planteada varía de acuerdo con el periodo de retorno analizado, teniendo en cuenta que un Tr mayor significa un caudal de diseño mayor y por lo tanto es necesario una estructura más robusta, como se puede ver en las Figura 32 y 33.

Figura 32

Periodo de Retorno (Tr) Vs Costo

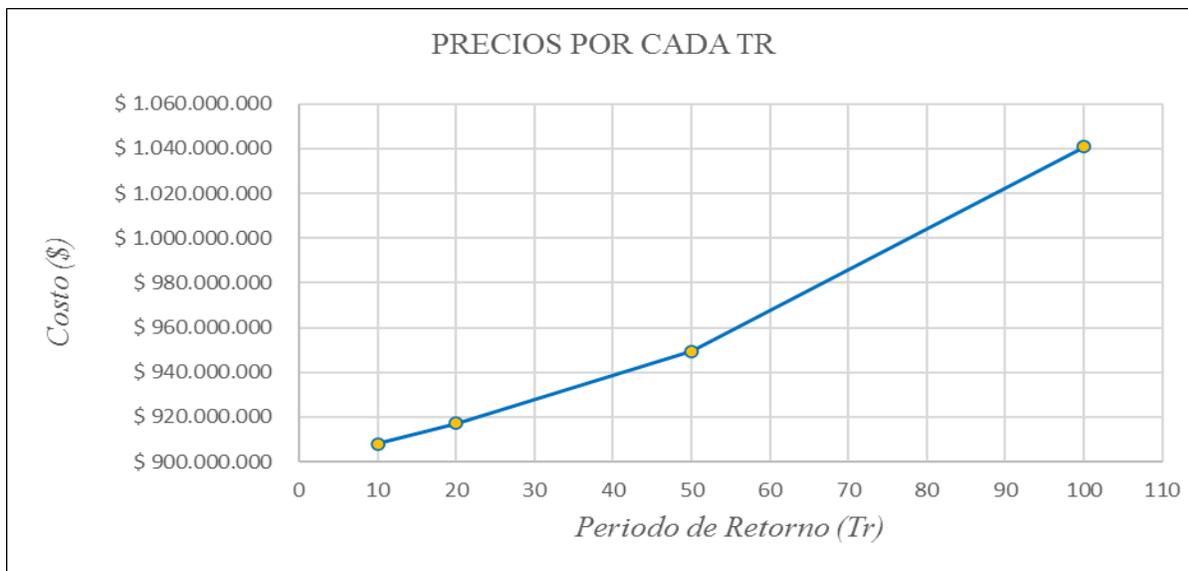
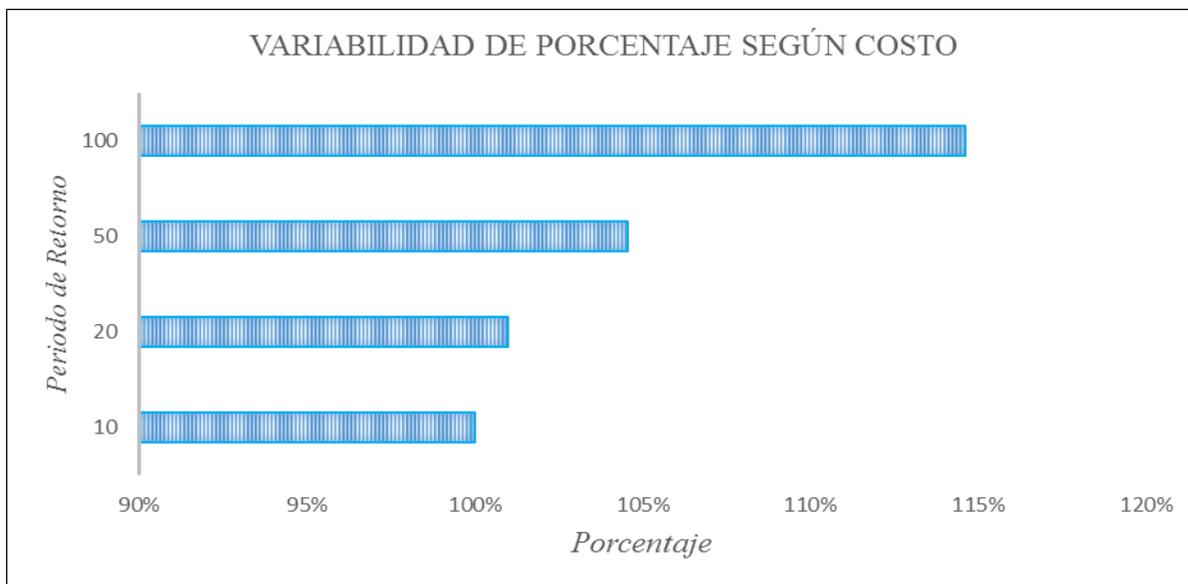


Figura 33

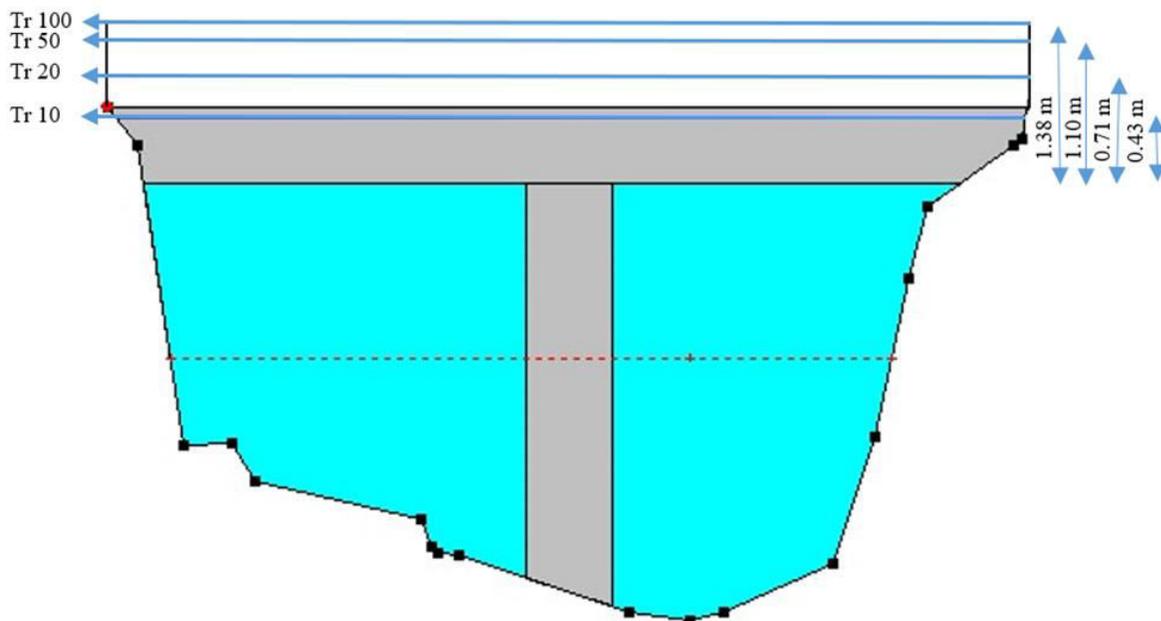
Incremento en costos de construcción según cada periodo de retorno



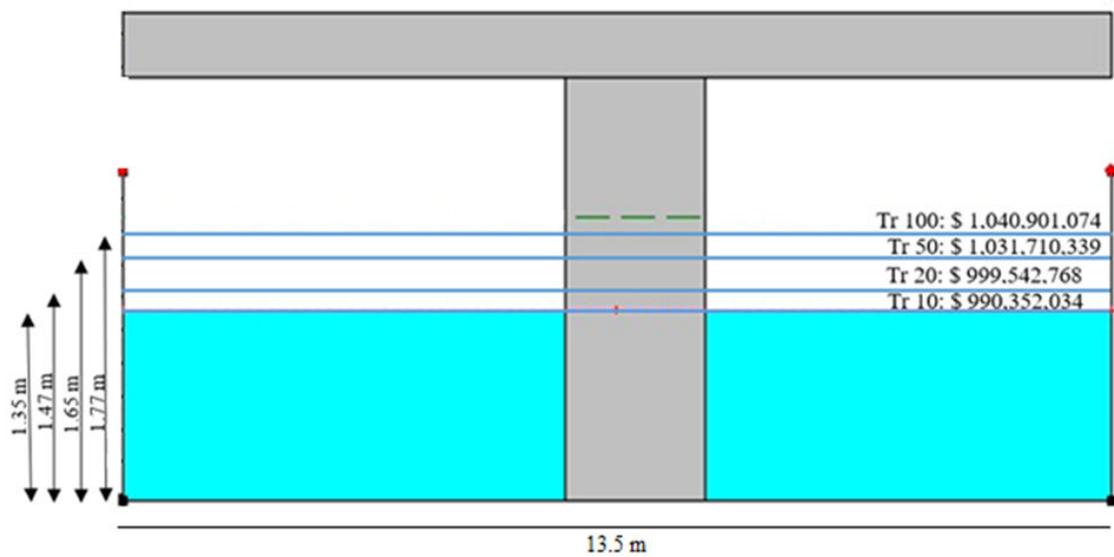
Por último, en las Figuras 34 y 35 se muestra la altura de rebose en función de cada periodo y las alturas con su respectivo costo en los periodos de retorno.

Figura 34

Altura de rebose de agua con respecto a cada periodo de retorno analizado

**Figura 35**

Comparación de alturas y costos entre periodos de retorno



Capítulo 5. Conclusiones

La presente investigación permitió determinar la información necesaria para implementar el software HEC-RAS en la cuenca del río tejo en el sector del barrio la gloria Ocaña norte de Santander, inicialmente a través de un trabajo de campo mediante el cual se logró determinar la geometría del cauce, es decir su batimetría y altimetría. Adicionalmente se recolecto los datos requeridos para la construcción de las curvas IDF para conocer la intensidad de lluvia en mm, y por último a partir de los métodos de la Soil Conservation Service (SCS) y del hidrograma unitario sintético para precisar el caudal que escurre para cada unos de los periodos de retorno trabajados.

Adicionalmente a través del software HEC-RAS, se logró determinar la cota de inundación para los periodos de retorno 10, 20, 50 y 100 años, obteniendo que para una precipitación asociada a un TR de 10 años la cota es de 1146.34 msnm, mientras que para los periodos de retorno 20, 50 y 100 se sufren aumentos que varían entre 20.3, 48.6 y 68.9% respectivamente.

La realización de esta investigación permitió efectuar un análisis con el fin de plantear una solución para la problemática. Se aconseja realizar una estructura que garantice la durabilidad para un periodo mayor que comprende la construcción de un canal rectangular en concreto, es importante considerar que una inversión de este tipo debe diseñarse preferiblemente para los casos mas extremos, por lo tanto se recomienda trabajar con las dimensiones

encontradas para un periodo de retorno de 100 años teniendo en cuenta que la variabilidad de precios es prácticamente baja con respecto al presupuesto total de la obra de construcción.

Asimismo, tras el análisis realizado durante la investigación se pudo deducir que la contaminación y la tala de árboles que se ha ido presentando contribuye en cierta medida a la problemática presentada en el sitio de estudio, debido a que se produce un aumento considerable de caudal por los materiales que no deberían circular por el cause, causando súbitas crecidas.

Capítulo 6. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda realizar un levantamiento del cauce con una longitud mayor, considerando las limitaciones que tiene el software para simular caudales permanentes.

Se sugiere para investigaciones de esta índole, realizar un levantamiento 3d que permita realizar simulaciones bajo condiciones de flujo no permanentes.

Se recomienda la instalación de estructuras que registren variables ambientales, porque el municipio no cuenta con información actualizada ni constante, esto limita en gran manera la realización de investigaciones.

Se deja la puerta abierta para posibles investigaciones que consideren otro tipo de soluciones como: ampliación de la selección natural, rediseño del puente (con el fin de evitar la pila), construcción de estructuras de retención de caudales, entre otras.

Como material de apoyo para investigaciones venideras, se dejan calculadas unas Curvas IDF de la zona.

Referencias

- Amaya, F. A. Y. (2019). *Estudio hidráulico del meandro del río Magdalena, municipio de La Dorada Caldas* [Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75945?show=full>
- Amaya, B. A., & Estupiñan, M. A. (2021). *Estudio de inundación en el río apulo en el sector de san antonio en el municipio de anapoima, cundinamarca, mediante un modelo hidraúlico-hidrológico en el software hec-ras*. [católica de colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26380/1/Proyecto%20de%20grado.pdf>
- Bateman, A. (2017). *Hidrologia basica y aplicada*. 70.
- Bladé, E., Sánchez, M., S?nchez H. P., & Juny. (2009). *Modelaci??n num??rica en r??os en r??gimen permanente y variable una visi??n a partir del modelo HEC-RAS*. Ed. UPC.
- Bogning, S., Frappart, F., Paris, A., Blarel, F., Niño, F., Saux Picart, S., Lanet, P., Seyler, F., Mahé, G., Onguene, R., Bricquet, J.-P., Etame, J., Paiz, M.-C., & Braun, J.-J. (2021). Hydro-climatology study of the Ogooué River basin using hydrological modeling and satellite altimetry. *Advances in Space Research*, 68(2), 672-690.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.03.045>
- Cea, L. (2015). *Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable*. 30.
- Change, I. P. on C. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Cruz, K. S., Escobar, Y. C., & Díaz, Á. J. Á. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. *Revista Luna Azul (On Line)*, 37, 219-238.
<https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1683>
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. (s. f.). *Centro de Ingeniería Hidrológica*.
 Recuperado 5 de marzo de 2022, de <https://www.hec.usace.army.mil/>
- Dhi, M. (2011). *A modelling system for Rivers and Channels User Guide*. 542.
- Valentín & Bladé. (2005). *Modelación del flujo en lámina libre sobre cauces naturales. Análisis integrado con esquemas en volúmenes finitos en una y dos dimensiones*. 14.
- Elera Moreno, G. A. (2005). *Modelación Numérica Del Río Piura— [PDF Document]*. fdocuments.es. <https://fdocuments.es/document/modelacion-numerica-del-rio-piura.html>
- Francisco-Nicolás, N., Turrent-Fernández, A., Flores-López, H. E., Martínez-Menes, M. R., & Enríquez-Quiroz, J. F. (2010). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS-CN en el trópico subhúmedo de México. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 71-78.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792010000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- García, M. C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F. A., & Ardila Robles, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. *Revista de Ingeniería*, 36, 60-64. <https://doi.org/10.16924/revinge.36.11>
- Gobierno De Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993—Gestor Normativo—Función Pública [Español]*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

- Gómez, D. A. A. (2015). *Evaluación Temporal Del Método Número De Curva De Escorrentía En Una Hoya Hidrográfica Sub-Urbana A Través De Modelos Arima: Estudio De Caso Quebrada La Vieja (Bogotá D.C., Colombia)*.
- González, L. E., Baeriswyl Rada, S., Zazo Moratalla, A., & Alvarado Aedo, S. (2019). Modelo de evaluación de resiliencia urbana frente a inundaciones fluviales: Papel potencial de los planes reguladores comunales en Chile. *XI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Santiago de Chile, Junio 2019*. <https://doi.org/10.5821/siiu.6714>
- Hou, A., Hu, Z., & Hu, H. (2020). A distributed hydrological forecast system and its application in predicting the flood caused by Mangkhut. *Tropical Cyclone Research and Review*, 9(4), 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2020.10.001>
- Hu, C., Xia, J., She, D., Song, Z., Zhang, Y., & Hong, S. (2021). A new urban hydrological model considering various land covers for flood simulation. *Journal of Hydrology*, 603, 126833. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126833>
- IDEAM. (s. f.). *Ministerio de Ambiente e IDEAM presentan el avance del Estudio Nacional del Agua (ENA- 2018)—NOTICIAS - IDEAM*. Recuperado 22 de febrero de 2022, de http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/ministerio-de-ambiente-e-ideam-presentan-el-avance-del-estudio-nacional-del-agua-ena-2018-
- IDEAM. (2012). *Cotas de inundación - IDEAM*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/cotas-inundacion>
- IDEAM. (2017). *Amenazas inundación - IDEAM*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

INVIAS. (2009). *Manual de drenajes para carreteras.pdf*.

<https://onl.dnp.gov.co/sites/comunidadvirtual/comunidadvirtual/Tecnologas%20%20inter-venciones/Manual%20de%20drenajes%20para%20carreteras.pdf>

INVIAS. (2016). *Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016_V2.pdf*. ministerio de

transporte. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7714-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-v2/file>

Kheradmand, S., Seidou, O., Konte, D., & Barmou Batoure, M. B. (2018). Evaluation of

adaptation options to flood risk in a probabilistic framework. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.07.001>

Ley 1523 de 2012, (testimony of ley 1523). Recuperado 11 de marzo de 2022, de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

Li, Z., Chen, M., Gao, S., Luo, X., Gourley, J. J., Kirstetter, P., Yang, T., Kolar, R., McGovern,

A., Wen, Y., Rao, B., Yami, T., & Hong, Y. (2021). CREST-iMAP v1.0: A fully coupled hydrologic-hydraulic modeling framework dedicated to flood inundation mapping and prediction. *Environmental Modelling & Software*, 141, 105051.

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105051>

López, D. P., & GÓMEZ ROJAS, D. F. (2019). *Determinación De La Cota De Inundación Del*

Río Arauca En La Vereda Barrancones, Municipio De Arauca Mediante Un Modelo Hidrodinamico. [Católica De Colombia].

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23392/1/PROYECTO_%20INUNDA-CI%C3%93N_ARAUCA_final.pdf

Martínez, K. L. P. (s. f.). *Resumen – trabajo de grado*. 123.

- Martínez, K. L. P. (2018). *Estudio Hidrológico E Hidráulico Para Determinación De Las Áreas De Inundación En La Zona Urbana Del Municipio De Ocaña Norte De Santander Basado Con La Herramienta Sig* [Francisco De Paula Santander, Ocaña].
<http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/1811/31403.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- METEORED. (2011, febrero 28). *METEORED*. Tiempo.com | Meteored.
<https://www.tiempo.com/ram/13493/la-nina-y-los-fenomenos-meteorologicos-extremos-actuales-preguntas-y-respuestas/>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- Modelación hidrológica - IDEAM*. (2012). <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- Murillo, L. G. (2018). *JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN Presidente de la República de Colombia*. 71.
- Naciones Unidas Cepal, C. (2007, diciembre 13). *Información para la gestión de riesgo de desastres: Estudio de caso de cinco países: Colombia*.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25930>
- Noriega, E. J. G., Florez, L. A. O., & Quintero, H. A. G. (2015). *Estudio de amenaza por inundación del río tejo en el tramo comprendido entre el puente el tejariño y el puente las delicias en la ciudad de ocaña, norte de santander utilizando el software hec-ras y la extensión hec-georassfacultad plan de estudios director título de la tesis*. 119.

- Oliveras, J. (2015, febrero 25). *Cómo obtener el umbral de escorrentía Po*. HidrojING.
<https://www.hidrojing.com/como-obtener-el-umbral-de-escorrentia-po/>
- Ordoñez Gálves, J. J. (2012). *Cartilla técnica: Qué es cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima : Foro Peruano para el Agua.
- Osorio, W. C. C. (2016). *Modelación hidrológico-hidráulica de eventos de inundación en el río bogota (sector tocanzipa-chia) usando hec-ras*. 7.
- Ovalle, E. A. G., Cortes, A. M., & Torres, W. L. G. (2016). *Determinación del grado de vulnerabilidad y cota de inundación del Río Bogotá en el sector de Recodo Fontibón* [LA SALLE].
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1076&context=ing_civil
- PBOT, O. N. S. (2002). *Plan básico de ordenamiento territorial*.
<https://www.corponor.gov.co/pot/Ocana/Proyecto%20de%20Acuerdo/Ocana%20Proyecto%20de%20Acuerdo%20Tomo%201.pdf>
- Philander, S. G. H. (1985). El Niño and La Niña. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 42(23), 2652-2662. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1985\)042<2652:ENALN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1985)042<2652:ENALN>2.0.CO;2)
- Sanchez, J. (2018, abril). *Causas y consecuencias de las inundaciones*.
<https://www.ecologiaverde.com/causas-y-consecuencias-de-las-inundaciones-1282.html>
- Sánchez, J. M. G.-C., & Álvarez, D. E. Á. (2017). *Potencial energético de las corrientes generadas por las mareas en las desembocaduras de los ríos y estuarios. Aplicación a la ría de avilés*. 120.
- Sanchez, C. S. (2019). *Estudio para la zonificación del riesgo por inundación en el valle de ábrego norte de santander* [francisco de paula santander, ocaña].

<http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/1959/32554.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez San Román, F. J. (s. f.). Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación—

Escorrentía. *Hidrología Hidrogeología*. Recuperado 28 de septiembre de 2022, de

https://hidrologia.usal.es/temas/Hid_Sup_3.pdf

Tamiru, H., & Dinka, M. O. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood

inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology:*

Regional Studies, 36, 100855. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855>

Varas C, E. (s. f.). *ICH-3202 hidrologia*. Recuperado 28 de septiembre de 2022, de

http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_4/modulo4/scs.pdf

Vargas, R., & Granados, M. (s. f.). *Curvas sinteticas regionalizadas de intensidad-duración-*

frecuencia para colombia. pdfcoffee.com. Recuperado 18 de septiembre de 2022, de

<https://pdfcoffee.com/vargas-diaz-granados-curvasidf-1998-5-pdf-free.html>

Zurich. (2019). Tres tipos comunes de inundacion. *Zurich Insurance*.

[https://www.zurich.com.mx/es-mx/blog/articles/2019/04/tres-tipos-comunes-de-](https://www.zurich.com.mx/es-mx/blog/articles/2019/04/tres-tipos-comunes-de-inundacion)

[inundacion](https://www.zurich.com.mx/es-mx/blog/articles/2019/04/tres-tipos-comunes-de-inundacion)

Apéndices

Apéndice A. Entrevista a don Gustavo Casadiegos habitante del barrio de la gloria.

1. ¿Sabe usted en que año construyeron el puente de la gloria?

RTA/la verdad en esa época no había nacido, pero mi madre me contaba que el puente se construyó más o menos en los años 1932 y 1937, para la época no se había invadido la ribera del río y Ocaña contaba con un promedio de 3 mil habitantes en ese entonces.

2. ¿nos puede contar un poco de los eventos históricos que ha presentado el río tejo en esta localidad?

RTA/ En el año 1972 si mal no recuerdo, por el mes de junio se desbordo el río y subió 1.4 m en las casas aledañas, ocasionando estragos a la comunidad afectada, cabe recordar que para la época el flujo vehicular era de muy baja densidad. En el año 1984 exactamente el 24 de octubre nuevamente se desbordo el río en el puente de la gloria, la cota del río subió 1.2 m. otra fecha significativa fue el 10 de diciembre de 2014, donde la cota subió 70 cm.

3. ¿Cuáles creé usted que sean las causas principales de esta problemática?

RTA/una de las principales causas fue el crecimiento poblacional de Ocaña, que fueron invadiendo las riberas del río y por lo tanto este se fue sedimentando desde su origen hasta su desembocadura reduciendo su sección transversal, por otro lado, se tiene que la estructura del puente está constituida por una pila central, elemento que obstruye el paso de residuos de gran tamaño que bajan por el cauce de una crecida. Cuando hablo de residuos grandes me refiero a la gran contaminación que existe por parte de los habitantes con este río, pues este funciona como sitio de depósito de basura para muchas de las viviendas que están a sus orillas.

4. ¿Qué soluciones puede dar a esta situación?

RTA/ con las anteriores problemáticas que a presentado la sección del puente, se deben realizar limpiezas periódicamente para que la sección quede totalmente despejada y pueda bajar el cauce con normalidad. También se debe plantear un diseño y construcción de un nuevo puente más alto para garantizar la sección hidráulica apropiada para un caudal de crecida.

Apéndice B. Entrevista a la estación de bomberos.

En la estación de bombero estuvimos varias veces para solicitar documentos que contaran con registros y datos acerca de la problemática estudiada, estuvimos hablando con el agente encargado de la sede, el cual nos facilitó unos documentos en Excel de registros tabulados, pero al hacer la revisión encontramos que la mayoría de los datos registrados se trataban de accidentes de tránsito, limpiezas del río y problemas de incendios forestales.

Apéndice C. Entrevista al instituto nacional de vías (invias) Ocaña norte de Santander.

A esta entidad se habló con el ingeniero profesional encargado, la cual se comprometió en facilitar unos documentos del puente, se le estuvo recordando constantemente sobre la prestación de esa información, pero este nunca se pronunció