

**SISTEMATIZACION DE LOS ESTUDIOS DE CONTROL DE INUNDACIONES  
APLICADO AL RÍO SANCHÓN**

*Por*  
*Ing. Gustavo Enrique Rangel Sulbarán*

Trabajo de grado para optar al grado de Magíster Scientiae en Desarrollo de los  
Recursos Aguas y Tierras Mención Planificación y Desarrollo de los Recursos  
Hidráulicos

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO  
E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
MÉRIDA, VENEZUELA  
2015

## INDICE

INDICE .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	i
LISTA DE TABLAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	v
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.2.1. Objetivo general.....	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	1
1.3. Descripción del área de estudio .....	2
1.3.1. Ubicación geográfica.....	2
1.3.2. Accesibilidad.....	3
1.3.3. Clima .....	4
1.4. Importancia del Estudio .....	5
1.5. Alcances .....	5
1.6. Limitaciones.....	6
1.7. Revisión bibliográfica.....	6
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Inundaciones .....	9
2.2. Consecuencia de las Inundaciones.....	10
2.3. Acciones o medidas para reducir o prevenir los daños debido a las inundaciones.....	11
2.3.1. Acciones o medidas estructurales (directas) .....	11
2.3.2. Acciones o medidas no estructurales (indirectas).....	12
2.4. Selección y empleo del modelo de simulación hidrológica.....	13
2.5. Características del modelo de simulación hidrológica <i>HEC-HMS</i> .....	13
2.6. Selección y empleo del modelo de simulación hidráulica.....	16
2.7. Características del modelo de simulación hidráulica <i>HEC-RAS</i> .....	16

2.8. Aspectos que se consideran en evaluación de crecientes y de daños por inundaciones .....	18
2.8.1. Aspectos ambientales.....	18
2.8.2. Aspectos sociales .....	23
2.8.3. Aspectos jurídicos e institucionales .....	24
2.8.4. Aspectos técnicos.....	25
2.8.5. Aspectos económicos.....	25
Capítulo 3 METODOLOGÍA.....	26
3.1. Recopilación de información básica.....	32
3.1.1. Información meteorológica .....	32
3.1.2. Información topográfica .....	32
3.2. Análisis y procesamiento de la información .....	33
3.2.1. Información sobre la cuenca.....	33
3.2.2. Hietogramas .....	34
3.3. Aplicación del modelo <i>HEC-HMS</i> en la cuenca del río Sanchón .....	35
3.4. Aplicación del modelo <i>HEC-RAS</i> en la cuenca del río Sanchón .....	37
3.4.1. Alternativa cero. Situación actual.....	39
3.4.2. Alternativa 1. Presa de enrocado para control de inundaciones...	39
3.4.3. Alternativa 2. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista.....	42
3.4.4. Alternativa 3. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, adicionando elevación del puente de la autopista y reconfigurar su sección.....	47
3.5. Estimación de las áreas de inundación para cada período de retorno	48
3.6. Costos estimados para la alternativa solución .....	48
3.7. Valoración económica .....	48
Capítulo 4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	49
4.1. Resultados obtenidos del modelo hidrológico <i>HEC-HMS</i> .....	49
4.2. Resultados obtenidos del modelo hidráulico <i>HEC-RAS</i> .....	51
4.2.1. Alternativa cero. Situación actual.....	51
4.2.2. Alternativa 1. Presa de enrocado para control de inundaciones...	61
4.2.3. Alternativa 2. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista.....	62

4.2.4. Alternativa 3. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, elevación del puente de la autopista y reconfigurar su sección. .....	70
4.3. Estimación de las áreas de inundación para cada período de retorno considerado .....	78
4.4. Comparación técnica de las alternativas consideradas.....	79
4.5. Costos estimados para la alternativa solución .....	80
4.6. Valoración económica .....	80
Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
Referencias Bibliográficas .....	86

WWW.bdigital.ula.ve

## DEDICATORIA

- A mis hijos, **Diany, Gustavo, Yosmer, Mathias, Iván y Gabriel** como ejemplo de trabajo, honestidad, paciencia y comprensión. Para ustedes mis hijos.
- A mi Esposa **Gaelle**, por el aliento, comprensión y apoyo para conmigo. A tí con Amor.
- Al Profesor, **Hervé Jegat**, por su gran ayuda, apoyo, confianza, paciencia y comprensión.

**Gustavo Enrique**

WWW.bdigital.ula.ve

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes (CIDIAT-ULA), a todo su personal docente, administrativo y obrero.

Un especial agradecimiento al Profesor Hervé Jegat, principalmente por su ayuda incondicional, su orientación tutorial y sabios consejos, realmente, sin su intervención, tanto en el campo profesional, como en el campo de la vida, lograr esta meta hubiese sido mucho más difícil para mí, gracias Profesor.

A los profesores Roberto Duque y Ángela Henao, por su orientación y aportes para la realización del estudio hidrológico del proyecto.

A la señora Isabel Teresa Vielma, por sus palabras de aliento y esperanza. Muy agradecido, mil gracias

A mi madre Lene Maria, por su apoyo, aliento esperanzador, y paciencia. Gracias mamá.

A mis compadres, Maria Alejandra y Miguel, por creer en mí, por darme esperanza y aliento. Gracias.

A mi Esposa, Gaelle, Por su comprensión, ayuda, apoyo y amor para conmigo. Gracias, Amor mío.

A toda las personas que de una manera u otra estan siempre conmigo..

A todos Gracias.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1 Descripción de los elementos hidrológicos.....	13
Tabla 2. 2 Métodos de cálculo para subcuencas. ....	14
Tabla 2. 3 Descripción de los métodos incluidos en el modelo meteorológico. ....	15
Tabla 2. 4 Componente de los datos de entrada.....	16
Tabla 3.1 Características físicas de los segmentos considerados en la conceptualización de la cuenca del río Sanchón.....	34
Tabla 3. 2 Hietogramas de Precipitación Horaria, para cada período de retorno. ....	34
Tabla 3. 3. Alternativas y escenarios para el estudio hidráulico del río Sanchón. ....	37
Tabla 3. 4 Escenarios analizados.....	39
Tabla 3. 5 Hidrogramas de entrada para el transito en los embalses .....	41
Tabla 3. 6 Niveles característicos de los embalses. ....	42
Tabla 3. 7 Niveles iniciales .....	42
Tabla 3. 8 Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning.....	44
Tabla 3. 9 Información básica del canal.....	44
Tabla 4. 1 Caudales picos generados en el modelo <i>HEC-HMS</i> , para los períodos de retorno considerados.....	49
Tabla 4. 2 Caudales generados en el Tránsito del Embalse para los períodos de retorno considerados.....	50
Tabla 4. 3 Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo <i>HEC RAS</i> , para la alternativa cero.....	52
Tabla 4. 4 Caudales de entrada y Caudales de salida. ....	61
Tabla 4. 5 Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo <i>HEC RAS</i> para la alternativa 2. ....	63
Tabla 4. 6 Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo <i>HEC RAS</i> para la alternativa 3. ....	71
Tabla 4. 7 Estimación preliminar de costos para la alternativa 3.....	80
Tabla 4. 8 Áreas probables de inundación respecto a los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años en el río Sanchón .....	80
Tabla 4. 9 Áreas probables para las manchas de inundación para los tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años en el río Sanchón.....	81
Tabla 4. 10 Relación Beneficio-Costo. ....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Ubicación relativa de la cuenca del río Sanchón.....	3
Figura 3. 1 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones. ....	26
Figura 3. 2 Esquema de conceptualización de una Cuenca. ....	33
Figura 3. 3 Conceptualización de la cuenca.....	36
Figura 3. 4 Ubicación longitudinal de las secciones en el río Sanchón. ....	38
Figura 3. 5 Curva Granulométrica típica de la zona en estudio.....	38
Figura 3. 6 Curva altura-área-capacidad. ....	40
Figura 3. 7 Sección preliminar del Canal.....	43
Figura 3. 8 Sección propuesta de canal de paredes revestidas en concreto. ...	46
Figura 3. 9 Sección transversal de Muro de Gavión propuesto.....	46
Figura 3. 10 Corte transversal del canal propuesto.....	47
Figura 4. 1 Comparación gráfica entre los caudales obtenidos con <i>HEC-HMS</i> y <i>EVENTO</i> .....	49
Figura 4. 2 Secciones en el río Sanchón.....	51
Figura 4. 3 Secciones en el río Sanchón.....	62
Figura 4. 4 Secciones en el río Sanchón. Puente entre las secciones 32.5 y 32. ....	70
Figura 4. 5 Secciones en el río Sanchón. Puente entre las secciones 30.75* y 30.5. ....	70
Figura 4. 6 Hoja de cálculo para estimar áreas de inundación.....	78
Figura 4. 7 Mancha de inundación probable en el río Sanchón, para el período de retorno ( <i>tr</i> ) de 25 años.....	79
Figura 4. 8 Mancha de inundación probable en el río para un <i>tr</i> de 25 años que afectaría directamente las instalaciones nuevas de la refinería el Palito. ....	81



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN**  
**AMBIENTAL Y TERRITORIAL**  
**MAGÍSTER SCIENTIAE EN DESARROLLO DE LOS RECURSOS AGUAS Y**  
**TIERRAS MENCIÓN PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE LOS**  
**RECURSOS HIDRÁULICOS**

**SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE CONTROL DE INUNDACIONES**  
**APLICADO AL RÍO SANCHÓN**

Trabajo especial de grado

**Autor:** Gustavo Enrique Rangel Sulbaran

**Tutores:**

Prof: Hervé Jegat

Prof: Roberto Duque

Prof: Ángela Henao

**RESUMEN**

Los estudios de control de inundaciones deben realizarse de tal manera, que sean capaces de satisfacer las necesidades de cada proyecto en particular, cumpliendo con los requisitos mínimos para la elaboración de los mismos. En la actualidad se han desarrollado modelos computacionales para calcular el alcance del flujo fuera del cauce natural. Dichos modelos emplean información que se debe verificar y validar para obtener una aproximación ajustada a la realidad, con ello se deben considerar elementos como son topografía, hidrología, geología y hidráulica entre otros, al requerir tanta información se debería cumplir con una serie de instrucciones para la correlación, procesamiento, validación y aplicación de los diferentes parámetros. En este trabajo de investigación, se plantea la problemática de las inundaciones en la planicie del río Sanchón. Se detallan los procedimientos seguidos para el estudio hidrológico e hidráulico del área en estudio, desarrollo de la metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones. Se realizó el análisis hidrológico con la finalidad de generar caudales picos para diferentes períodos de retorno, a través del modelo de simulación hidrológica *HEC-HMS*. Se describe el procedimiento seguido para el estudio hidráulico, con la finalidad de generar la magnitud de la mancha de inundación para cada período de retorno, utilizando el modelo de simulación hidráulica *HEC-RAS*. Se detalla el esquema metodológico de evaluación de creciente y de los daños por inundación, según las diferentes alternativas para los períodos de retorno ( $T_r$ ) considerados en este trabajo de 5, 10, 25,50 y 100 años. Las alternativas planteadas son: a) construcción de un embalse, b) construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, c) construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, adicionando elevación y aumento en la sección del puente de la autopista. Además, se muestra el método de evaluación económica, ambiental y social de la alternativa seleccionada.

**PALABRAS CLAVE:** Alternativas, cuenca del río Sanchón, modelo hidrológico, modelo hidráulico, inundación, análisis.

## **Capítulo 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

El problema de las inundaciones periódicas o no, es un hecho en la planicie del río Sanchón. Ante esta situación, surge la necesidad del manejo de la planicie de inundación. Las obras de control de inundaciones se diseñan para garantizar un cierto grado de protección, casi nunca se diseña para una protección absoluta ya que ésta sería muy costosa. Para el Estado es difícil la recuperación de la inversión, debido a que no existen elementos de juicio para evaluar los beneficios frente al riesgo no cubierto. El desarrollo acelerado que ha tenido la industria petrolera en los últimos años, ha ocasionado que en la planicie de inundación se haya ocupado para desarrollar actividades de expansión de la refinería El Palito, a pesar de las inundaciones que se han observado.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Establecer una metodología para la sistematización de los estudios de inundación.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Desarrollar una metodología que permita una primera estimación de las áreas que puedan ser afectadas por las inundaciones.
2. Desarrollar una metodología para la evaluación integral de las obras seleccionadas para el control de inundación.
3. Sistematizar la metodología para la evaluación y control de las inundaciones.
4. Aplicar la metodología desarrollada a un caso en particular.

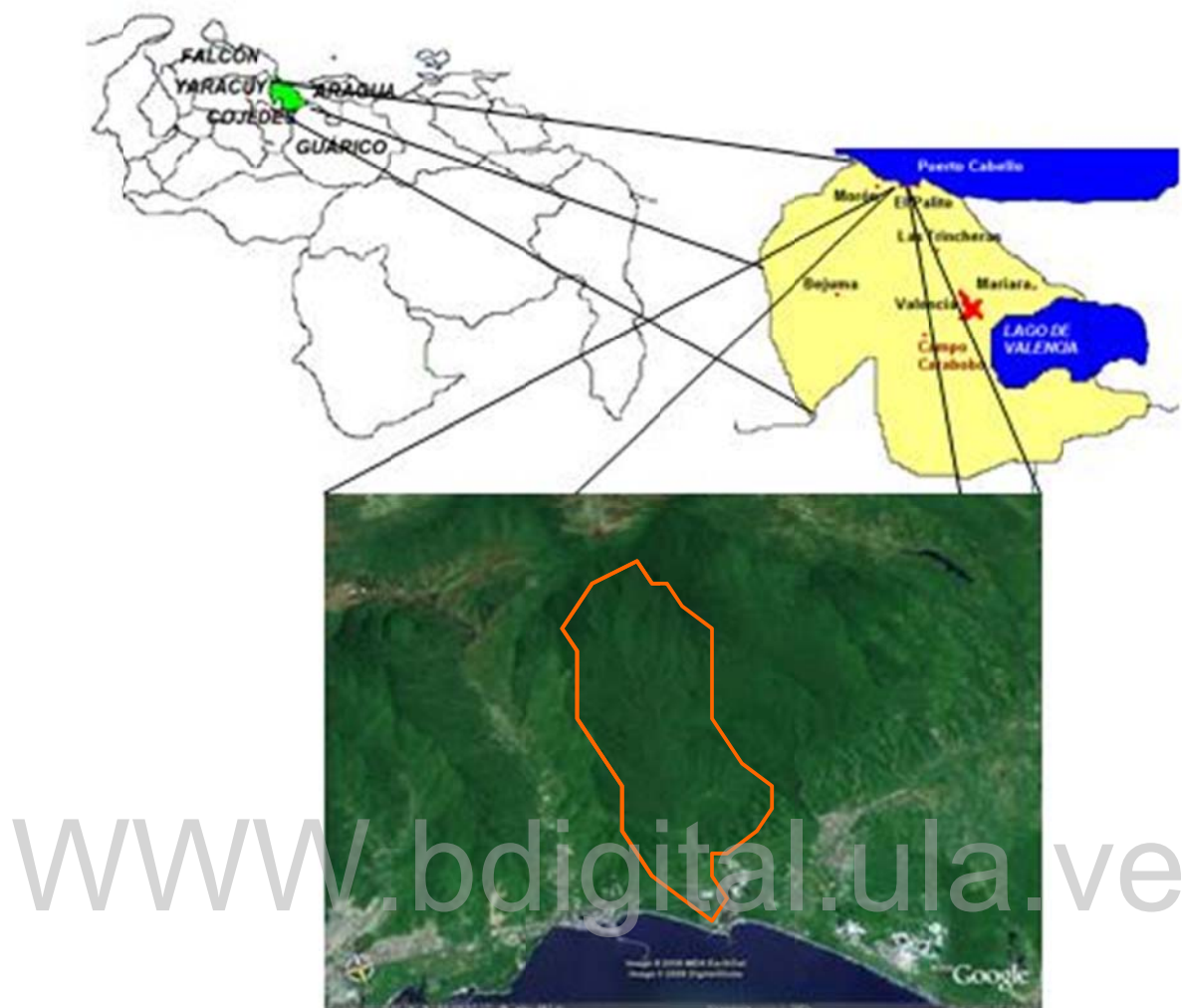
### **1.3. Descripción del área de estudio**

#### **1.3.1. Ubicación geográfica**

Esta cuenca cubre una superficie aproximada de 89 Km<sup>2</sup>. El área de estudio se localiza en el contacto del piedemonte de la Cordillera de La Costa, con la llanura fluvio-marina de Puerto Cabello y Morón, al sur de la refinería El Palito y el oeste del área Las Trincheras en el Estado Carabobo, en el Municipio Juan José Mora del Estado Carabobo. Ver Figura 1.1.

La cuenca del río Sanchón en su totalidad, se ubica geográficamente entre las coordenadas 10°19'30" - 10°28'40" y 68° 02'32" - 68°10'23", dentro los linderos del fundo Sanchón, que de acuerdo a los documentos de propiedad son los siguientes:

- Norte: La orilla del mar, desde Punta Chávez hasta Punta Morón.
- Este: desde Punta Chávez, a orillas del mar, en línea recta hacia el sur hasta el pie de la serranía que divide el valle del río Sanchón, del valle del río Aguas Calientes y por las cumbres de esta serranía, hasta la fila donde nace la quebrada de Guarataro, tributaria del río Sanchón.
- Sur: desde la fila naciente de la quebrada Guarataro, tributaria del río Sanchón, se continúa por las cumbres más altas que separan al valle del Sanchón con el valle del río Chirgua.
- Oeste: desde las altas cumbres hasta La Fila, cercana a las cabeceras del río Chirgua, se sigue hacia el norte por la fila divisoria de aguas entre las cuencas del río Sanchón y el río Morón, hasta Punta Morón a orillas del mar.



Fuente: (CIDIAT, 2007).

**Figura 1. 1 Ubicación relativa de la cuenca del río Sanchón.**

### **1.3.2. Accesibilidad**

La accesibilidad al área de estudio (parte de la cuenca media y toda la cuenca baja), se realiza fácilmente a partir de la vía Morón- Puerto Cabello, por una carretera de tierra que bordea la margen izquierda del río Sanchón, hasta llegar al tercer pozo de agua (Pozo Superior), perteneciente a la Refinería El Palito, en un recorrido de 2.000 metros (m) aproximadamente. A partir de este sitio se continúa a pie por el lecho del río, recorriendo una serie de curvas, hasta llegar al sitio de los túneles, donde se construye el viaducto sobre este cuerpo de agua, que unirá el trazado del ferrocarril Puerto Cabello - Cagua.

Existe otra vía alterna para llegar a este sitio, a través de una carretera con calzada de cemento, que parte del primer pozo y el sitio de bote de rocas de los túneles, recorriendo parte de la vertiente derecha de la quebrada La Paragüita y parte de la vertiente izquierda del río Sanchón, hasta llegar al sitio a ocupar por el mencionado viaducto.

### **1.3.3. Clima**

El clima es generalmente cálido, con una temperatura promedio que gira en torno a los 27°C y con un margen de variación de casi 2°C. Esta variación térmica es más pronunciada durante los meses extremos del año (enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre), donde la temperatura baja, para luego ascender a partir del mes de abril y se mantiene constante en el resto del año. Sin embargo, hacia el sector de la montaña interviene la altitud como agente modificador del clima y logra mantener una temperatura más suave que en los demás sectores geográficos del área.

Según el Servicio Meteorológico de las Fuerzas Armadas Nacionales, las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 1.045 milímetros (mm), el régimen pluviométrico define claramente dos períodos: uno seco, que va desde los tres primeros meses del año; se interrumpe en abril o mayo, pero continúa en junio, julio, agosto y septiembre.

El período lluvioso se presenta durante los meses de abril, mayo y los tres meses finales del año. Los vientos alisios que provienen del noreste ejercen una acción prácticamente constante durante todo el año, suelen ser vientos de comportamiento seco, pero al avanzar van calentando y al tropezar con un relieve elevado, ascienden y por ende se enfrían, con lo cual producen lluvias de tipo orográfica.

En la parte costanera no se producen lluvias de carácter orográfica, por la existencia de una geomorfología que retiene los vientos alisios y los conlleva a condensarse y a precipitarse; tampoco favorece a estos propósitos la ubicación de Morón, que al situarse por encima de los 10 grados de latitud norte, va a estar enmarcado en una zona que habitualmente recibe precipitaciones, por su lejanía de la convergencia intertropical. Por estas razones, la evaporación promedio anual (2.300 y 2.100 milímetros (mm)), supera doblando al promedio de precipitación anual (1.045 milímetros (mm)). No obstante, hacia el sur (sector montañoso) y hacia el noroeste (sector Urama) se van a producir, con cierta periodicidad, aguaceros de corta duración que van a modelar una vegetación de bosque seco tropical, donde se pueden dar temperaturas entre 22°C y 27°C, con especies de tronco grueso y de gran tamaño que van a contrastar con la vegetación xerófila, pobre y espinosa de la sección costera, con temperaturas superiores a los 26°C.

El conjunto hidrográfico del área lo integran los ríos Sanchón, Alpargatón, Morón, Urama y Yracuy, que tienen su nacimiento en la Cordillera de La Costa y su vertedero a la cuenca del Mar Caribe, en sentido sur-norte. Son ríos de curso mediano y régimen irregular que en el período de lluvias aumentan considerablemente su caudal, se desbordan e inundan las zonas aledañas, pero en el período de sequía se convierten en finos riachuelos, casi imperceptibles. Estos ríos en la parte alta conservan un caudal regular, protegido por la vegetación y con escasa incidencia de la mano del hombre, pero en la medida en que descienden van mermando el volumen de sus aguas por efecto de la acción depredadora del hombre (tala, quema, caos urbanístico,

contaminación residencial e industrial, entre otros), a esto se une una alta evaporación y unas bajas precipitaciones.

#### **1.4. Importancia del Estudio**

Es importante el desarrollo de un estudio donde se analice y se evalúen múltiples alternativas de una posible solución. El presente estudio trata de proponer y aplicar una metodología para tal fin.

#### **1.5. Alcances**

Esta investigación busca plantear alternativas, que den solución a las inundaciones, para eso es necesario conocer la situación actual del área en estudio, ya que de esta manera se identificarán las dificultades y las virtudes del área.

A partir de la condición inicial del área de estudio, planteada en el numeral 1.1, se proponen las siguientes alternativas: construir un embalse o reservorio natural o artificial, que permita controlar o amortiguar los caudales de crecida. La rectificación del fondo del canal, conservando una pendiente apta para desalojar el agua rápidamente, en los casos que sean necesarios se puede considerar la reforestación de la cuenca, cortes de meandros, reemplazar estructuras en el cauce, entre otras. Todo depende de las condiciones que presente el área en estudio, para ello se debe considerar por lo menos las tres mejores alternativas que permitan la solución a los problemas causados por las inundaciones desde el punto de vista técnico y financiero (la mejor alternativa resultaría ser muy costosa), desde el punto de vista económico, se debe tener en cuenta el beneficio que representa para la sociedad, desde el punto de vista ambiental, tratar en lo posible de causar el menor impacto ambiental, entre otras consideraciones que no se deben obviar, como es la legal y la institucional.

Para la evaluación de los daños causados por las inundaciones, no se propone una metodología fija, ya que depende de las condiciones del área en estudio, se conoce algunas metodologías aplicada a zonas agrícolas que están sujetas a la pérdida que se ocasionan a los cultivos dependiendo del tipo de rubro.

Para la alternativa seleccionada se recomienda hacer la valoración económica, ambiental y social. Para lograr hacer una estimación económica, ambiental y social de los daños causados por las inundaciones, se debe en primer lugar conocer el alcance de la zona de inundación para los diferentes períodos de retorno, así se determinan las áreas que pueden ser afectadas y por consiguiente, tener una aproximación de las pérdidas ocasionadas.

## **1.6. Limitaciones**

El acceso a la información y al área de estudio, fueron restricciones significativas en la elaboración de esta investigación. Dada la escasa información topográfica que se tenía, se planteó la realización del levantamiento topográfico de la zona de estudio.

## **1.7. Revisión bibliográfica**

A continuación se presenta en primer término los planteamientos de diversos autores acerca del mecanismo de las inundaciones, sus causas y planteamientos en líneas generales para su control. En segundo término, se hace una reseña bibliográfica y de las metodologías utilizadas en los estudios correspondientes al control de inundaciones. Para luego revisar criterios generales sobre este aspecto.

Kijewski (1967) citado por Abi Saab (1972) y luego por Barrios (1985), plantea que las crecidas que presentan los ríos y quebradas de la carretera Panamericana son causados por la deforestación a la parte alta de las cuencas. Kijewski hace referencia que las obras están dirigidas hacia la protección de la parte norte y central, dejando desprovista la parte sur o de pie de monte. Dicho en 1967 y seguían siendo válido en 1984.

Kijewski (1970), citado por Barrios (1985), expresa como solución al problema de inundaciones y sedimentación una posible rectificación y profundización de cauces de los torrentes y/o protección por medio de diques marginales. Recomienda a su vez la medida de delimitar la zona de las cuencas declarándola como zonas de protección y hasta cercas y dejarla bajo el cuidado de la Guardia Nacional.

Barrios (1985), señala que en las metodologías empleadas en la evaluación de alternativas para control de inundaciones existen pocos estudios aplicados a las condiciones del país.

Gallardo (1979), citado por Barrios (1985), hace un estudio de control de crecientes en la cuenca baja del río Chama en el cual evalúa alternativas solo de tipo estructural. El análisis se basa en la asignación de costos anuales a cada alternativa y la determinación del daño anual debido a las crecidas. El costo anual de las obras se calcula a partir del costo total y suponiendo una vida útil de 25 años para diques laterales y 50 años para presas; usando una tasa de descuento del 8%. La cuantificación de los daños se hace a partir de una relación lineal entre daño y caudal pico. El daño anual es calculado aplicando una metodología de valor esperado. Este daño considera además del correspondiente al caudal pico, un daño adicional por reparación de obras, el cual es de 10% del costo de la obra, si los caudales están entre 10 y 100 años de período de retorno; para caudales mayores se supone reposición completa de la obra.

Hace una evaluación económica de proyectos en los criterios de mínimo costo, máxima relación beneficios - costos (B-C), y los beneficios sobre los costos

B/C, el costo usado para el primer criterio es la suma del costo anual de las obras más el daño anual esperado por las inundaciones. Para el otro criterio el costo usado es solamente el de las obras y el beneficio, es la diferencia entre el daño anual esperado en condiciones naturales, menos el daño anual esperado al implementar cada alternativa.

Según Linsley y Franzini (1970), citado por Barrios (1985), las medidas más comunes para reducir los daños por inundación son:

- Reducción de la escorrentía máxima con vasos de almacenamientos.
- Encauzamiento de la escorrentía dentro de la sección de un cauce determinado por medio de bordes, muros de encauzamiento o conductos cerrados.
- Reducción de los niveles máximos por aumento de las velocidades, a través de mejoramiento y rectificación del cauce.
- Derivación de las aguas de creciente por obras de desvío.
- Evacuación y zonificación de la planicie inundable.
- Reducción de daños con manejo de terrenos.

Colmenares (1976), citado por Barrios (1985), señala la existencia de tres clases de medidas en el manejo de una planicie de inundación:

1. Acciones dirigidas a modificar las características de la inundación.
2. Acciones dirigidas a ajustar las actividades del hombre en la planicie de inundación.
3. Acciones dirigidas a que el ocupante de la planicie soporte parte de los daños causados por las inundaciones.

La primera clase se refiere a medidas estructurales de mantenimiento de cauces: dragado, rectificación, corte de meandros, desviaciones, diques marginales, embalses y obras de ingeniería a nivel de cuenca.

La segunda clase se refiere a medidas no estructurales de reglamentación del uso de la tierra, protección de edificaciones, reubicación de actividades y sistemas de pronósticos y evacuación de poblaciones.

La tercera clase se refiere a una medida no estructural que consiste de un sistema de seguro contra daños, basado sobre la prima que son equivalentes al riego, y en consecuencia, los usuarios acumulan reservas para cubrir el aleatorio daño de las inundaciones.

La evaluación de las medidas dentro de las clases dos y tres es difícil. Kuiper (1975), citado por Barrios (1985), señala que para efectuar un análisis económico adecuado, se necesita una cantidad considerable de datos básicos; posiblemente más de los que hay disponibles para el momento. Sin embargo,



el análisis daría de todos modos cierto conocimiento sobre la naturaleza del problema, que de no hacerlo, no se llegarían a conocer. Aún más, éste indicaría el tipo de datos básicos que se deben recolectar en el futuro. En relación a los beneficios del control de inundaciones, señala que, la eliminación de las avenidas o la reducción de las frecuencias de las mismas, tienen un doble efecto beneficioso.

En primer lugar, previene contra el incidente de los daños causados por crecidas. En segundo lugar, estimula el incremento de la producción en áreas protegidas. Los primeros los divide en:

- Daño físico a las obras y a sus partes, puentes, carreteras. Esto se deben estimar en relación al costo de sustitución o reparación.
- Pérdida de la cosecha agrícola. Esto se debe estimar en relación al valor del mercado.
- Pérdida de ingreso debido a una interrupción en las actividades económicas. Esto se debe estimar en relación a las mercancías o servicios que se hubieran producido si no hubiera ocurrido la inundación.
- Costos del combate de las crecidas y la evacuación, cuidado y rehabilitación de las víctimas de la inundación.

El segundo grupo de beneficios, es decir, el uso más intensivo de la tierra, es similar a los beneficios de los trabajos de recuperación, que en el caso de inundaciones periódicas, consisten en beneficios, debido a la construcción de diques que mantengan las crecidas fuera de las tierras.

Zerpa (1987), realizó un estudio hidrológico dirigido a estimar las crecidas excepcionales para diferentes períodos de retorno del río Aguas Calientes, sistema fluvial localizado en la margen derecha del río Sanchón.

Para alcanzar este objetivo, se aplicó el Hidrograma Unitario de C.O Clark y de la Curva S, en distintos sitios de interés: Puente Aguas Calientes (área = 71,13 Km<sup>2</sup>), el Cambur (área = 147,11 Km<sup>2</sup>) y el Palito (área = 176,50 Km<sup>2</sup>); y se obtuvo finalmente los caudales picos con períodos de recurrencia: 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

En el año 1999, CALTEC, S.C (Oficina de Cálculos Técnicos e Hidráulicos), elaboró un informe titulado: "Estudio de Factibilidad de Construcción de Presa Sobre el Río El Palito". Dentro del estudio se analizó entre muchos otros aspectos información geológica – geotécnica, hidrológica, realizaron una actualización de las características básicas de las obras del embalse Sanchón, además de una evaluación preliminar de soluciones al embalse Sanchón.

En lo referente a los aspectos hidrológicos aplicaron el modelo de simulación hidrológica: "National Weather Service River Forecasting Sistem", desarrollado por el servicio meteorológico de los Estados Unidos (NWS). Finalmente, generaron estocásticamente los gastos máximos para diferentes períodos de retorno.

## Capítulo 2

### MARCO TEÓRICO

La historia muestra que las civilizaciones siempre se han asentado en lugares donde el suministro de agua está garantizado. Esos lugares se encuentran en las márgenes de los ríos y muy próximos a los lagos, en el pasado se desarrollaron a lo largo de grandes ríos como el Nilo, Eufrates, Tigres, Ganges, entre otros; donde las tierras fértiles proporcionaban un desarrollo agrícola intensivo.

A lo largo de los ríos, generalmente, se distinguen tres zonas: montañosa, intermedia o de pie de monte y plana o llanura.

Las crecidas de un río, conocidas como avenidas, son fenómenos naturales que se presentan por la conjunción de una serie de factores meteorológicos, climáticos, topográficos y geomorfológicos. Formadas por lo general por sedimentos y por el propio cauce. Estos eventos favorecen el escurrimiento del agua, que al concentrarse en el cauce, incrementan los niveles del río y aumenta la velocidad, consecutivamente hacen posible el acarreo de material de fondo y en suspensión. También las aguas crecidas erosionan el fondo y pueden socavar las riveras.

#### 2.1. Inundaciones

Una inundación es un fenómeno natural que se origina cuando el flujo de una corriente sobrepasa las condiciones que le son normales, ampliándose temporalmente el lecho fluvial alcanzando niveles extraordinarios que no pueden ser controlados por los vasos naturales o artificiales que la contienen, ocupando el río su llanura de inundación o planicies adyacentes.

Los habitantes de las zonas montañosas casi nunca sufren por las inundaciones, porque pueden construir sus viviendas en zonas altas. Sin embargo, en las zonas intermedias o pie de monte, las inundaciones afectan las áreas agrícolas, más no la pérdida de animales domésticos o las viviendas porque construyen en áreas más altas donde el agua de las crecidas no las alcanza. Por el contrario, la zona plana o llanura está fuertemente sujeta a las inundaciones, ya que están condicionadas por su baja pendiente y en muchos casos por la acumulación de sedimentos finos con poca permeabilidad que limitan el drenaje, tanto superficial como subterráneo, es a esta zona donde los trabajos más importantes de protección de inundaciones debe estar dirigidos.

La variación del caudal de un río depende de la distribución de la precipitación en tiempo y espacio. Cuando los flujos son altos, en ocasiones tiende a exceder la capacidad del cauce principal, causando que el agua se desborde y fluya hacia los terrenos adyacentes. Estos desbordes están condicionados por la topografía quien determinará si el agua se moverá paralelo al cauce

retornando a él o se extenderá por la planicie o llanura hasta que se infiltre, se evapore o encuentre otro cauce.

Por lo general las aguas que se desbordan pueden: infiltrarse, evaporarse, correr sobre la planicie y retornar al río, correr por la planicie y encontrar otro río, almacenarse en lagos, o permanecer en la planicie hasta que se evapore, se infiltre o hasta que sea usada.

Cuando las zonas planas o llanura del río son cortas o no existe, como por ejemplo, la costa pacífica de América, las inundaciones cubren casi toda la longitud del río en su parte baja. Pero donde las pendientes son fuertes y los caudales pequeños, las crecidas normalmente duran poco tiempo, debido a que alcanzan velocidades elevadas. Al contrario, como sucede en la costa del Atlántico Americano, las planicies tienen poca pendiente y están completamente desarrolladas; por eso las inundaciones cubren grandes extensiones de tierra y tardan tiempos mayores.

## **2.2. Consecuencia de las Inundaciones**

Debido a la elevación del agua y al aumento en la velocidad, los daños producidos por las inundaciones, pueden ser:

- Pérdida de vidas humanas.
- Pérdida de ganado y otros animales.
- Destrucción de las cosechas.
- Daños a la propiedad, casas, mobiliario, instalaciones urbanas, entre otros.
- Destrucción y/o interrupción de instalaciones de comunicación, suministro eléctrico, telefónico, de agua potable, aguas servidas, etc.
- Propagación de enfermedades.

La gravedad de los daños mencionados está íntimamente ligada a la economía, por tal razón, se pueden separar en tres situaciones:

1. El río desborda a menudo o anualmente.
2. El río desborda en pocas ocasiones.
3. El río tiene flujo intermitente (como ocurre en zonas áridas y semiáridas), cuando el agua fluye, normalmente se producen inundaciones.

Las regiones que normalmente sufren de inundaciones anuales, prácticamente no presentan daños, con excepción de escasas pérdidas de animales y sembradíos (esto ocurre cuando las inundaciones llegan antes del período de cosecha), debido a que las personas se acostumbran a las inundaciones y toman las precauciones necesarias antes de que ocurran. Los daños más

frecuentes son la interrupción de las vías de comunicación, y la propagación de enfermedades por consumo de esta agua.

Por otro lado, cuando el período de retorno de la inundación es largo o el río rara vez se desborda, toda clase de daños pueden ocurrir, debido a que los habitantes de estas regiones no están acostumbrados a las inundaciones o nunca han visto una en su vida.

En regiones semiáridas, donde los ríos pocas veces tienen agua, y las poblaciones se establecen en sus cauces, todo es destruido con la primera inundación.

### **2.3. Acciones o medidas para reducir o prevenir los daños debido a las inundaciones**

Las acciones o medidas con el fin de reducir o prevenir los daños por inundaciones, se dividen en dos clases:

#### **2.3.1. Acciones o medidas estructurales (directas)**

Son todas las medidas o acciones que interfieren directamente con el flujo de agua como las estructuras construidas en el cauce o en sus márgenes, para almacenar, desviar o confinar el agua y hacerla fluir con mayor velocidad y sin obstáculos.

Las principales acciones o medidas que pueden realizarse para reducir o prevenir inundaciones, en un área determinada, incluye por lo menos una de las siguientes:

- Diques perimetrales alrededor de poblados o estructuras importantes.
- Diques longitudinales a lo largo de uno o ambos márgenes del río.
- Desviación permanente mediante canales.
- Desviación temporal hacia lagunas y/o almacenamientos artificiales limitados por diques.
- Corte de meandros o rectificación de canales.
- Presas con capacidad para regular crecidas.
- Presas rompe crecidas.
- Dragado del cauce principal.
- Remoción de la vegetación en el cauce o en el canal entre las orillas.
- Reforestación de la cuenca.

Existen casos particulares en los que se pueden aplicar una de estas medidas y se obtienen resultados buenos en el control de las inundaciones; generalmente, cuando las zonas a proteger son grandes y se deben aplicar una combinación adecuada de estas medidas. Una de las desventajas en la aplicación de estas medidas, es que está referida a los costos elevados y que en muchos casos son difíciles de cubrir, aún cuando los beneficios puedan exceder los costos de los daños producidos por las inundaciones.

### **2.3.2. Acciones o medidas no estructurales (indirectas)**

Se refieren a aquellos trabajos que pueden interferir o modificar el flujo, pero permiten conocer con anterioridad el volumen de la crecida, la máxima descarga y los niveles máximos de agua que pueden pasar o alcanzar en ciertos lugares. Como consecuencia, los habitantes del área pueden ser prevenidos, salvando sus vidas y posiblemente reduciendo otros daños. Las principales acciones o medidas incluyen las tomadas para maximizar la operación de los trabajos hidráulicos o estructuras construidas a lo largo del los ríos.

Se pueden nombrar las medidas para prevenir los desastres, tales como:

- Planificación.
- Entrenamiento a las personas que podrían ser afectadas.
- Cálculos hidrológicos e hidráulicos.
- Estimación de las zonas de inundación.
- Diseño de modelos matemáticos para prevenir los efectos de las crecidas.
- Mantenimiento y vigilancia de las obras de protección, de las vías de comunicación y de los servicios públicos.
- Establecimiento de centros operacionales tanto local, regional o nacional.
- Organizar sistemas de alarmas.
- Acciones sanitarias, como son: construcción y operación de centros de primeros auxilios.
- Evacuaciones.
- Entrenamiento del personal a cargo de las acciones enunciadas.

## 2.4. Selección y empleo del modelo de simulación hidrológica

El contar con la información básica meteorológica necesaria obtenida en la recopilación de información permite seleccionar el modelo de simulación hidrológica a emplear para la estimación de los parámetros hidrométricos del área o de la cuenca en estudio y calibración del mismo. Para la aplicación del modelo de simulación hidrológica a emplear, es necesario conocer los aspectos físicos-naturales de la cuenca en estudio, la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas, hietogramas o cualquier otros aspecto climatológico que proporcione información pluviométrica de la cuenca.

## 2.5. Características del modelo de simulación hidrológica *HEC-HMS*

Según Nanía L. (2007). El modelo de simulación hidrológica HMS 3.0.0 fue desarrollado por el Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Enginneers, para simular respuestas hidrológicas de una o varias cuencas, utilizando los siguientes componentes:

### a) Modelo de cuenca

El modelo de la cuenca representa la cuenca física, se desarrolla incluyendo y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en la cuenca. La Tabla 2.1 que se muestra a continuación, describe los elementos hidrológicos.

**Tabla 2. 1 Descripción de los elementos hidrológicos.**

<b>Elemento hidrológico</b>	<b>Descripción</b>
Subbasin (Subcuenca)	Se usa para la representación física de la cuenca.
Reach (Cauce o Tramo)	Se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto en la cuenca, definido ambos en el modelo de la cuenca. La repuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada.
Junction (Unión)	Se usa para sumar flujos de agua que provienen de elementos hidrológicos situados aguas arriba de la unión. La repuesta es simple la suma de los hidrogramas de todos los elementos conectados a la unión.
Source (Fuente)	Se usa para introducir agua dentro del modelo de la cuenca. Este elemento no tiene entrada y la salida debe ser definida por el usuario.

**Descripción de los elementos hidrológicos.**  
Continuación

Elemento hidrológico	Descripción
Sink (Sumidero)	Se usa para representar el punto de salida de la cuenca. La entrada puede provenir de uno o más elementos situados aguas arriba del sumidero. Este elemento no tiene salida.
Reservoir (Reservorio)	Se usa para modelar la retención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o depósito de retención. La entrada puede provenir de uno o varios elementos hidrológicos situados aguas arriba del depósito. Las salidas pueden calcularse de dos maneras: se define una relación almacenamiento salida, se define cota-almacenamiento-salida o cota-área-salida o bien se define una relación cota-almacenamiento o cota-área o más estructuras de salida.
Diversión (Derivación)	Se usa para modelar un flujo de agua que abandona el tramo del cauce. La entrada proviene de uno o varios elementos hidrológicos de aguas arriba. La salida de este elemento consiste en un flujo derivado y otro no derivado (que sigue por el cauce). El flujo derivado lo define el usuario. Tanto el flujo derivado como el no derivado se pueden conectar aguas abajo con otros elementos hidrológicos.

Fuente: (Nanía, 2007).

Los modelos de cálculo que se usan en las cuencas y/o subcuencas, son: pérdida, transformación de lluvia en caudal y flujo base; a su vez, estos modelos emplean diferentes métodos de cálculo, como se muestra en la Tabla 2.2.

**Tabla 2. 2 Métodos de cálculo para subcuencas.**

Tipo de modelo	Método
Pérdidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Déficit y tasa constante (DC)</li> <li>✓ Inicial y tasa constante</li> <li>✓ Exponencial</li> <li>✓ Numero de Curva (CN, SCS)</li> <li>✓ Green y Ampt</li> <li>✓ Consideraciones de la humedad del suelo (SMA)</li> <li>✓ DC por celdas</li> <li>✓ CN por celdas</li> <li>✓ SMA por celdas</li> </ul>
Transformación lluvia-caudal	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Hidrograma unitario (HU) de Clark</li> <li>✓ Onda cinemática</li> <li>✓ ModClark</li> <li>✓ HU SCS</li> <li>✓ HU Snyder</li> <li>✓ HU especificado por el usuario</li> <li>✓ Hidrograma en S del usuario</li> </ul>
Flujo base	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recesión restringida</li> <li>✓ Constante mensual</li> <li>✓ Depósito lineal</li> <li>✓ Recesión</li> </ul>

Fuente: (Nanía, 2007).

Los métodos de cálculo que se usan en los tramos son los relativos a la propagación de caudales: Onda cinemática, Retardo, Puls modificado (embalse a nivel), Muskingum y Muskingum-Cunge.

#### b) Modelo meteorológico

Calcula la entrada de la precipitación que requiere un elemento de subcuenca. El modelo meteorológico puede usar precipitación puntual o por celda y puede modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración. Los métodos de evapotranspiración incluyen el método constante mensual y el de Priestle y Taylor. Un método de evapotranspiración se requiere únicamente cuando se desee una respuesta de la cuenca continua o a largo plazo. Para calcular la precipitación media se presenta una breve descripción de los métodos disponibles en la Tabla 2.3.

**Tabla 2. 3 Descripción de los métodos incluidos en el modelo meteorológico.**

Métodos de precipitación	Descripción
Tormentas asociadas a frecuencias	Se usa para desarrollar un evento de precipitación donde los volúmenes correspondientes a distintas duraciones tienen una probabilidad de excedencia consistente
Pluviómetros con pesos	Este método aplica pesos definidos por el usuario a los pluviómetros que el usuario desee.
Precipitación por celda	Este método permite usar productos con precipitación por celdas, como por ejemplo los datos de radar.
Inversa de la distancia	Se usa para calcular la precipitación media en una subcuenca aplicando una ponderación basada en la inversa de la distancia al cuadrado.
Tormenta del SCS	Este método aplica una distribución temporal tipo SCS a un volumen total de lluvia en 24 horas.
Hietograma especificado	Este método aplica un hietograma definido por el usuario a un elemento de la subcuenca.
Tormentas de proyecto estándar	Este método aplica una distribución temporal a un volumen índice de precipitación (este índice se extrae de un manual del Corps of Engineers y es válido solo para Estados Unidos. Esta actualmente en desuso).

Fuente: (Nanía, 2007)

#### c) Especificaciones de control

Las especificaciones de control se refieren al tiempo de duración de la simulación, incluyendo fecha y hora de comienzo y fin del proyecto e intervalo de cálculo.

#### d) Datos de entrada

Los datos de entrada se refieren a datos de series temporales, pares de datos y datos por celdas, que son requeridos como parámetros o condiciones de



contorno en los modelos de la cuenca y meteorológicos. Pueden introducirse a mano o bien pueden referenciarse a un registro en un fichero *HEC-DSS* (*HEC-Data Storage System*). Todos los datos por celdas deben referenciarse a un registro *HEC-DSS* existente. En la Tabla 2.4, que se muestra a continuación se presenta una lista de los datos de entrada.

**Tabla 2. 4 Componente de los datos de entrada.**

<b>Serie temporales de datos</b>	<b>Pares de datos</b>	<b>Datos por celda</b>
Pluviómetros	Funciones de almacenamiento-caudal	Precipitación
Medidores de caudal	Funciones cota-almacenamiento	Temperatura
Limnímetros	Funciones cota-área	Radiación solar
Termómetros	Funciones cota-caudal	Coeficiente de cultivo
Medidores de radiación solar	Funciones caudal-derivación	Capacidad de almacenamiento
Medidores de coeficiente de cultivos	Secciones transversales	Tasa de percolación
	Hidrogramas unitarios	Coeficiente de almacenamiento
	Curvas de porcentaje	Déficit de humedad
	Función de fusión de nieve	Área impermeable
	Patrones de tasa de fusión de nieve	Número de curva CN
		Cota
		Equivalente de agua de nieve
		Contenido de agua
		Tasa de fusión de nieve

Fuente: (Nanía, 2007).

Una simulación calcula la transformación de lluvia en caudal en el modelo de cuenca. Las especificaciones de control definen el período de duración de la simulación y los intervalos de tiempo a usar. Los componentes de datos de entrada, tales como series temporales, cuadros y datos por celdas son requeridos como parámetros o condiciones de contorno, tanto en el modelo de la cuenca, como en el meteorológico.

## **2.6. Selección y empleo del modelo de simulación hidráulica**

Seleccionar un modelo de simulación hidráulica del cauce, dependerá de la destreza y conocimiento del ejecutor y es necesario conocer la topografía actualizada y detallada del cauce o los tramos a ser simulados, y las secciones transversales. Tener una prolongación considerable en ambos márgenes a lo largo del cauce de interés; también se requiere del ó de los caudales máximos para la cuenca en estudio, conocidos o estimados con el modelo de simulación hidrológica debidamente calibrado y validado.

## **2.7. Características del modelo de simulación hidráulica *HEC-RAS***

Según Nanía L, (2007). El modelo de simulación hidráulica *HEC-RAS* 3.1.3 fue desarrollado por el Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Enginners, para simular el comportamiento hidráulico de un tramo del río, cauce o canal.

Para desarrollar un modelo hidráulico se deben seguir los siguientes pasos:

**a) Introducir los datos de geometría**

Se define el esquema del río, cauce o canal, y se introducen los datos de las secciones transversales.

**b) Introducir los datos hidráulicos y condiciones de contorno**

Se introducen los datos de caudal o caudales (permite 2000 valores diferentes), se definen las condiciones de borde: nivel de agua conocido (Known W.S), profundidad crítica (Critical Depth), profundidad normal (Normal Depth), curva de gasto (Rating Curva). Pueden introducirse condiciones para todos los perfiles a la vez o uno a uno.

**c) Crear un plan con los datos geométricos e hidráulicos y ejecución de la simulación**

Para realizar la simulación hidráulica del cauce es necesario crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

Noalsa SL. (1999):...” *HEC-RAS* es un sistema integrado de software, diseñado para uso interactivo en un entorno multiusuario, multitarea. El sistema contiene una interfaz de un gráfico de usuario, componente análisis hidráulico, almacenamiento y gestión de datos, y edición de gráficos e informes”...

Actualmente, el sistema solo permite el cálculo de perfiles de lámina de agua con movimiento estacionario unidimensional. El *HEC-RAS* puede manejar desde redes malladas hasta tramos simples, pasado por sistemas dendríticos, modelizando tanto régimen lento (subcrítico), como rápido (supercrítico) y mixto.

El método básico de cálculo, se basa en la solución de las ecuaciones unidimensional de la energía. Se consideran las pérdidas de carga por fricción (ecuación de Manning) y por contracción-expansión (coeficiente de pérdida multiplicado por la variación de la carga de energía cinética). La ecuación de variación de cantidad de movimiento, se utiliza en aquellas situaciones en las que es un movimiento rápidamente variado (resalto hidráulico, por ejemplo).

En los cálculos se pueden contemplar los efectos de los puentes, alcantarillas, azudes y estructuras en la llanura de inundación. También permite estudiar los cambios en el perfil de la lámina de agua inducidos por motas y mejoras en el canal. El componente analítico hidráulico ofrece varias opciones especiales: análisis de varios planes, cálculo simultáneo de varios perfiles y análisis de secciones con varios puentes y/o alcantarillas.

#### **d) Visualizar los resultados**

Los resultados de los cálculos se pueden obtener de dos formas diferentes

##### **1) Gráficamente**

Las distintas posibilidades de obtener resultados son:

- Gráficos en dos dimensiones del esquema del río a estudiar.
- Gráficos de las secciones, perfiles de lámina de agua, curva de gasto.
- Gráfica tridimensional del conjunto de secciones.

##### **2) En forma tabulada:**

Los datos se pueden visualizar en forma de tablas. Existen unos formatos estándar de tabla de salida de datos, pero el usuario tiene la posibilidad de crear sus propias tablas de salida de datos.

Todos estos resultados se pueden ver en la pantalla, imprimir directamente o enviarlos a otro programa por medio del portapapeles (Clipboard).

Según CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas, Ministerio de Fomento, España). El modelo *HEC-RAS*, surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado *HEC-2*, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que se destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS, mediante *HEC-GeoRAS*. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

## **2.8. Aspectos que se consideran en evaluación de crecientes y de daños por inundaciones**

### **2.8.1. Aspectos ambientales**

La protección contra las inundaciones incluye, tanto los medios estructurales, como los no estructurales, que dan protección o reducen los riesgos de inundación. Las medidas estructurales, incluyen las represas y reservorios, modificaciones a los canales de los ríos, diques y riberos, depresiones para desbordamiento, cauces de alivio y obras de drenaje. Las medidas no estructurales, consisten en el control del uso de los terrenos aluviales, mediante zonificación, y la reglamentación del uso de la tierra de las cuencas hidrográficas.

### **2.8.1.1. Potenciales impactos ambientales**

Con la excepción de los casos de inundación severa, los ecosistemas y las comunidades humanas de muchas áreas, se han adaptado y dependen de la inundación periódica de la tierra. Ordinariamente, la inundación llega a ser un problema, solo si los eventos naturales o las actividades humanas aumentan su intensidad o frecuencia, o si el hombre invade las áreas anegadas, colocando estructuras y realizando actividades que requieren protección.

Los potenciales impactos ambientales más importantes de las medidas estructurales para controlar las inundaciones, se basan en la eliminación del modelo natural de inundación y los beneficios que ésta trae. Los terrenos aluviales son productivos porque la inundación los hace así, la misma, renueva la humedad del suelo, y deposita limos en las tierras aluviales fértiles. En las áreas áridas, posiblemente sea la única fuente de riego natural, o de enriquecimiento del suelo.

Al reducir o eliminar las inundaciones, existe el potencial de empobrecer la agricultura de los terrenos aluviales (recesión), su vegetación natural, las poblaciones de fauna y ganado, y la pesca de río y de la zona aluvial, que se han adaptado a los ciclos naturales de inundación.

Es necesario tomar medidas de compensación para mantener el nivel de productividad de los sistemas naturales, utilizando fertilizantes, o riego en los terrenos agrícolas, mejorando los terrenos de pastoreo, o implementando sistemas intensificados de manejo y producción de la pesca. Asimismo, si a raíz de las medidas de canalización, se reduce la frecuencia de las inundaciones, se transportarán los sedimentos que ingresan al río en las áreas altas de la cuenca hidrográfica, hasta la desembocadura del río, a menos que existan áreas de rebosamiento aguas abajo. Las cantidades más grandes de depósitos de sedimentos en el río, pueden causar cambios físicos, mediante la sedimentación y las variaciones en los caudales de agua en la altura del estuario, el delta, o las áreas costaneras, próximas a la playa. Los arrecifes de coral son, especialmente sensibles al aumento de sedimento en los ríos, y pueden ser destruidos, irreparablemente. A continuación se describen las medidas para controlar inundaciones, las mismas se presentan en forma tabulada en el Anexo A.

### ***Medidas estructurales o reglamentación del uso de los terrenos aluviales***

La función de las represas y reservorios, en cuanto al control, es la de reducir los caudales picos, que ingresan a un área propensa a inundaciones. La operación de un reservorio para controlar inundaciones es muy diferente al de funcionamiento hidroeléctrico, o para riego. En vez de mantener altos los niveles de agua, a fin de tener una mayor carga hidroestática o fuente de agua para riego, su operación para controlar las inundaciones requiere que se mantengan bajos, los niveles de agua, antes y durante la temporada de inundaciones, para tener la capacidad de almacenar las crecientes de agua. Sin embargo, la eventual liberación del agua puede causar problemas. En vez

de estar inundadas a una mayor profundidad, durante un período más corto de tiempo, algunos terrenos estarán inundados a una profundidad mucho menor, pero durante un período mucho más largo.

1. Las medidas estructurales para controlar las inundaciones, en riberas y mejoramientos al canal, incrementan la capacidad del río, aumentan su velocidad de flujo, o logran los dos efectos, simultáneamente. Las modificaciones al canal que se pueden realizar, son: dragarlo para que sea más ancho o profundo, limpiar la vegetación u otros residuos, emparejar el lecho o las paredes, o enderezarlo; todo esto ayuda a aumentar la velocidad del agua que pasa por el sistema, e impedir las inundaciones. Al enderezar el canal, eliminando los meandros, se reduce el riesgo de que el agua rompa la orilla del río en la parte exterior de las curvas, donde la corriente es más rápida y el nivel es más alto.
2. La modificación del canal puede causar algunos impactos ambientales negativos. Cualquier medida que aumente la velocidad de la corriente, incrementará la capacidad del agua para causar erosión. Los problemas de erosión y sedimentación pueden ocurrir en el sitio o aguas abajo. Al pavimentar los canales, se reducen o se eliminan todos los factores que impiden el flujo, pero esta práctica produce problemas estéticos y ambientales, incluyendo la reducción de la renovación de las aguas freáticas, y trastornan las poblaciones acuáticas.
3. Al emparejar, limpiar y dragar el canal, puede haber un gran impacto en los organismos acuáticos y la pesca, porque destruye sus hábitats. Otra serie de problemas se originan en la eliminación de los desechos del dragado. El mejoramiento del canal puede aliviar los problemas causados por las inundaciones en el área tratada; sin embargo, los picos serán más altos aguas abajo, y simplemente, se ha transferido el problema a otra parte.
4. Los riberos artificiales, los bordos naturales mejorados y los diques, aumentan la capacidad del canal y mantienen toda el agua dentro del mismo, con la excepción de las crecientes que sean extraordinariamente altas. Sin embargo, al igual que las medidas de mejoramiento de los canales, estas estructuras tienden a transferir el problema a las áreas más abajo, y éstas, a su vez, sufren también, o es necesario gastar los fondos públicos para implementar las medidas urgentes, a fin de controlar las inundaciones. Los diques que se construyan en el terreno aluvial, con el propósito de excluir el agua de ciertas áreas, intervienen en la hidrología del área, y pueden tener impactos en el hábitat y en el movimiento de la fauna y el ganado.
5. Las depresiones para desbordamiento, usualmente, son pantanos entre las riberas del río y los costados del valle. Asimismo, es posible construir depresiones artificiales para las aguas. Las depresiones de detención o embalses pequeños se emplean, a menudo, cerca de las áreas urbanas, para interceptar y recolectar el flujo antes de que llegue el río; también son efectivos para reducir los caudales picos. Las depresiones tienen un efecto positivo en cuanto al reabastecimiento de los acuíferos, y permiten que se

asienten los sedimentos suspendidos, que, de otra manera, fluirían hacia el canal. Sin embargo, pueden convertirse en hábitats para los vectores de las enfermedades.

6. Las estructuras para controlar las inundaciones son costosas. Además, dan un sentido falso de seguridad, porque la gente piensa que se ha eliminado el riesgo de inundación, y la finalidad de estas estructuras es sólo reducirlo. Esto les puede estimular a que aumenten el desarrollo de los terrenos aluviales, causando resultados desastrosos en el caso de una creciente inusitadamente alta, o la falla de las estructuras de control.
7. Además de los impactos de las estructuras en el medio ambiente, se deben considerar los factores ambientales que influyen en el control de las inundaciones. Las infraestructuras u otras obras en el terreno aluvial, no solamente significan riesgos para la gente de allí mismo (dependiendo de su vulnerabilidad), sino que aumentan el riesgo para los vecinos y las otras personas que viven en las comunidades aguas abajo. Los edificios, por ejemplo, al obstruir el flujo del agua, pueden aumentar la altura y la velocidad de la inundación, reducir la capacidad de almacenamiento del terreno aluvial, y aumentar el flujo.
8. Los eventos naturales, como los incendios, ventarrones, o cambios de rumbo del río, influyen en las inundaciones. Las actividades humanas en la cuenca hidrográfica, como la tala de los árboles o el desbroce para agricultura, en general, aumentan el flujo, al igual que el labrado de los terrenos inclinados sin implementar las terrazas adecuadas, o el surcado en contorno. Al pavimentar el terreno de la cuenca hidrográfica y de la zona aluvial, se aumentará el flujo; al instalar los sistemas de alcantarillado para tormentas, se aumentará el flujo; al instalar los sistemas de alcantarillado para tormentas, se aumentará la cantidad y velocidad del ingreso de las aguas lluvias al sistema del río.

#### ***Medidas no estructurales o reglamentación del uso de los terrenos aluviales***

Las medidas no estructurales para controlar las inundaciones, tienen el objetivo de prohibir o regular el desarrollo de la zona aluvial, o la cuenca hidrográfica, o proteger las estructuras existentes, a fin de reducir la posibilidad de que sufran pérdidas debido a la inundación. Al igual que toda medida preventiva, son menos costosas que el tratamiento, es decir, la instalación de las medidas estructurales necesarias para controlar las inundaciones. Esencialmente, las medidas no estructurales son beneficiosas, porque no tratan de regular el modelo natural de inundación del río. La filosofía actual de muchos planificadores y fomentadores de políticas, dicen que es mejor mantener los terrenos aluviales sin desarrollo, como áreas naturales de desbordamiento. Sin embargo, si existe desarrollo en la zona aluvial, se deberá utilizar control no estructural, conjuntamente, con las medidas estructurales.

9. La zonificación es un medio efectivo para controlar el desarrollo del terreno aluvial. Al destinar el terreno a la agricultura, los parques y las áreas de conservación, se protege la zona aluvial, y se previenen los usos del terreno que sean vulnerables a los daños causados por las inundaciones. Como las tierras húmedas cumplen una función natural de control, es de particular importancia implementar zonificación para prohibir las actividades en estas áreas que puedan reducir su capacidad de almacenamiento de agua.
10. Los reglamentos de las ordenanzas de zonificación pueden prohibir, o especificar, los tipos y funciones de las estructuras que pueden ser construidas en el cauce de alivio, o en el terreno aluvial, para reducir el riesgo de inundación. Por ejemplo, se puede prohibir la eliminación de las aguas negras y los materiales tóxicos o peligrosos, requerir que las estructuras tengan protección contra inundaciones, y rechazar la construcción de los edificios y caminos privados que puedan exacerbar los efectos de las inundaciones.
11. Las ordenanzas sanitarias y de la construcción pueden, además, contemplar especificaciones adicionales en cuanto al manejo de la zona aluvial.
12. Las ordenanzas sanitarias pueden reducir el riesgo de los problemas de salud, que se originarían de la contaminación del agua potable luego de una interrupción en los sistemas de alcantarillado, a causa de la inundación. Las ordenanzas pueden prohibir la instalación de sistemas de absorción por el suelo (tanques sépticos, campos de absorción, etc.) o requerir un permiso para su instalación. Las ordenanzas de la construcción pueden especificar los requerimientos estructurales de los edificios nuevos, para reducir su vulnerabilidad a la inundación, y disminuir los riesgos sanitarios y de seguridad para los ocupantes, por ejemplo, los reglamentos en cuanto a las instalaciones eléctricas y elevación de los pisos, y reducir al mínimo el grado en que el edificio impida el flujo de las aguas.
13. Para poder aplicar las medidas no estructurales necesarias para controlar las inundaciones, debe existir control sobre el uso del terreno, y, por lo tanto, es una cuestión institucional. Las medidas no estructurales puede ser efectivas en el grado en que el gobierno sea capaz de diseñar e implementar el uso adecuado del terreno.
14. Finalmente, se pueden realizar diferentes actividades que ayudarán a reducir o demorar el flujo del agua de los terrenos, y aumentar la infiltración, y, por eso, reducir el riesgo de inundación. Estas actividades incluyen el manejo de la cuenca hidrográfica (por ejemplo, aumentar la cubierta vegetal, especialmente en las pendientes, mejorar las prácticas agrícolas, implementar medidas para controlar la erosión de los arroyos, etc.), sembrar plantas junto a las orillas de los ríos, y proteger y restringir el acceso a las tierras húmedas que ejercen un efecto natural para controlar las inundaciones.

### **2.8.2. Aspectos sociales**

El principal aspecto social que se relaciona con la protección contra inundaciones, es la distribución desigual de los beneficios que se reciben, y los costos que se ocasionan entre las poblaciones afectadas por las medidas tomadas para controlarlas. Cuando los usos tradicionales de los terrenos aluviales para la pesca, la agricultura, o la ganadería, dependen de los ciclos naturales de inundación, estos se interrumpen debido a las medidas tomadas para proteger las otras comunidades (a menudo urbanas), a fin de controlar las inundaciones, y los campesinos no reciben la compensación adecuada por las pérdidas causadas.

Los moradores de las zonas aluviales reciben el mayor impacto del aumento de la inundación, causado por los cambios en el uso de la tierra, implementados por otros, aguas arriba; sin embargo, generalmente, tienen menos poder para producir cambios o exigir que el gobierno intervenga a su favor.

Hay dos opciones para reducir al mínimo las medidas estructurales que pueden causar trastornos ambientales:

- Revisar la operación de las represas y reservorios existentes, aguas arriba, para que proporcionen, por lo menos, un alivio parcial del riesgo de inundaciones.
- Usar los medios no estructurales, en cuanto sea posible, para reducir ese riesgo.

Si la intensidad y la frecuencia de las inundaciones aumentan debido a los cambios artificiales en la cuenca hidrográfica, se puede enfatizar las soluciones no estructurales (renovar la vegetación de las áreas desbrozadas, implementar contornos y terrazas, sembrar árboles junto a las riberas, reducir el acceso al área para disminuir la afluencia de la gente). Donde sea necesario controlar las inundaciones para proteger las estructuras existentes, puede no haber ninguna otra alternativa, sino las medidas estructurales de protección. En este caso, las opciones se relacionan con la selección de las medidas, su instalación y manejo para reducir al mínimo el impacto ambiental.

Como se dijo anteriormente, la habilidad de aplicar las medidas no estructurales es, mayormente, un tema institucional. Las agencias gubernamentales con responsabilidad por el control de las inundaciones, deberá diseñar las medidas indicadas, en particular, las no estructurales, que sean apropiadas para las condiciones locales. A menudo, la adopción exitosa de las medidas de mitigación de las inundaciones, depende del interés y el apoyo de las comunidades locales, y su habilidad y voluntad de cambiar los modelos de uso para controlar las inundaciones, una campaña de información pública. En las áreas remotas, donde la influencia del gobierno sea débil, se puede estimular la acción a nivel local, trabajando con las estructuras tradicionales de poder y las organizaciones comunitarias, para fomentar los cambios necesarios. El gobierno deberá estimular la mayor coordinación y cooperación con estos grupos, si los vínculos son débiles.



### **2.8.2.1. Monitoreo**

Los factores que influyen en la calidad del agua que entra y sale del río, la capacidad de la tierra para absorber las aguas, y los daños potenciales que pueden ser causados por las inundaciones, deben ser monitoreados para poder realizar la planificación adecuada del manejo de la zona aluvial. Se debe observar cuidadosamente los impactos directos e indirectos de las obras que controlan las inundaciones. Los siguientes datos deben ser recolectados a través de un monitoreo rutinario:

- La calidad, intensidad, tiempo, y distribución geográfica de la lluvia y del derretimiento de la nieve.
- Los modelos de las tempestades.
- Las condiciones de humedad del suelo durante las diferentes temporadas del año.
- Derrame de riachuelos (incluyendo registros de derrames anuales máximos).
- El almacenamiento, diversión y regulación de los caudales de los ríos.
- Los cambios en el drenaje y los otros factores que intervienen en el flujo de las aguas provenientes de las tempestades.
- El contenido de sedimento del agua del río.
- Los problemas de sedimentación en las áreas aguas abajo.
- Los cambios en el rumbo y lecho del río.
- Los cambios demográficos en la zona aluvial y la cuenca hidrográfica.
- El uso rural y urbano de la tierra (el uso controlado e incontrolado de la tierra en la zona aluvial y las cuencas hidrográficas del río).
- Los impactos socioeconómicos causados por el proyecto (incluyendo los cambios que se producen en la agricultura, el pastoreo y la pesca, como resultado del proyecto).
- Los efectos de las medidas tomadas para controlar las inundaciones sobre la pesca de río, de estero, o marina cerca de la playa.
- Los efectos de las medidas implementadas para controlar las inundaciones sobre la vegetación de la zona aluvial.
- Los efectos de las medidas tomadas para controlar las inundaciones, sobre las tierras húmedas.

### **2.8.3. Aspectos jurídicos e institucionales**

La legislación, puede desempeñar una función en la puesta en práctica eficaz de los métodos de gestión integrada a escala regional, nacional e internacional. Para poder realizar una gestión integrada debe intervenir un complejo conjunto de actores en diversos ámbitos, de forma que se garantice la coordinación y cooperación entre las diferentes instituciones y los expertos de diferentes disciplinas. Las administraciones nacionales, regionales y locales, deben tomar decisiones concretas que tengan en cuenta sus posibles consecuencias en la gestión y el control de crecidas.

Es preciso que se dé ese concierto entre los ministerios competentes, los servicios y los organismos en el nivel de la adopción de decisiones, pero

también debe tener en cuenta la integración vertical, o sea, los planes nacionales, las políticas y los programas, y los órganos representativos locales.

Un marco jurídico fructífero, es aquel que se adapta y responde a las condiciones cambiantes y proporciona un sentido de orientación claro, sin enredarse en intrincados detalles. Un proceso destinado a elaborar planes de gestión detallados y jurídicamente vinculantes en el marco de directrices legislativas claras puede proporcionar la capacidad de adaptación deseada. Es preciso conocer las disposiciones de la constitución nacional del país en relación con las cuestiones concernientes a la gestión de crecidas y la distribución de responsabilidades entre las diferentes dependencias administrativas. Además, hay diferentes instrumentos jurídicos nacionales, que pueden emplearse para ejecutar programas de gestión de crecidas.

En Venezuela existe la Ley de Aguas, esta ley tiene por objetivo establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés del Estado; en los artículos 14 y 15 referentes “DE LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LOS POSIBLES EFECTOS NEGATIVOS DE LAS AGUAS SOBRE LAS POBLACIONES Y BIENES”.

Los organismos competentes deben ser plenamente conscientes de la importancia de sus competencias y de sus funciones en la gestión de crecidas, y los individuos deben conocer también sus responsabilidades, derechos y facultades en ese ámbito, tanto lo que representa la etapa de planificación, durante las crecidas, como en el proceso de evaluación posterior a las mismas. Deben fijarse por Ley normas de cumplimiento y establecerse unas claras delimitaciones de los deberes, derechos y facultades de los órganos interesados, adecuados a sus respectivos mandatos. De igual forma, hay que establecer criterios y procedimientos detallados con respecto a la vigilancia del cumplimiento, así como los mecanismos de ejecución correspondientes, que deben aplicarse cuando el nivel de cumplimiento sea insuficiente.

#### **2.8.4. Aspectos técnicos**

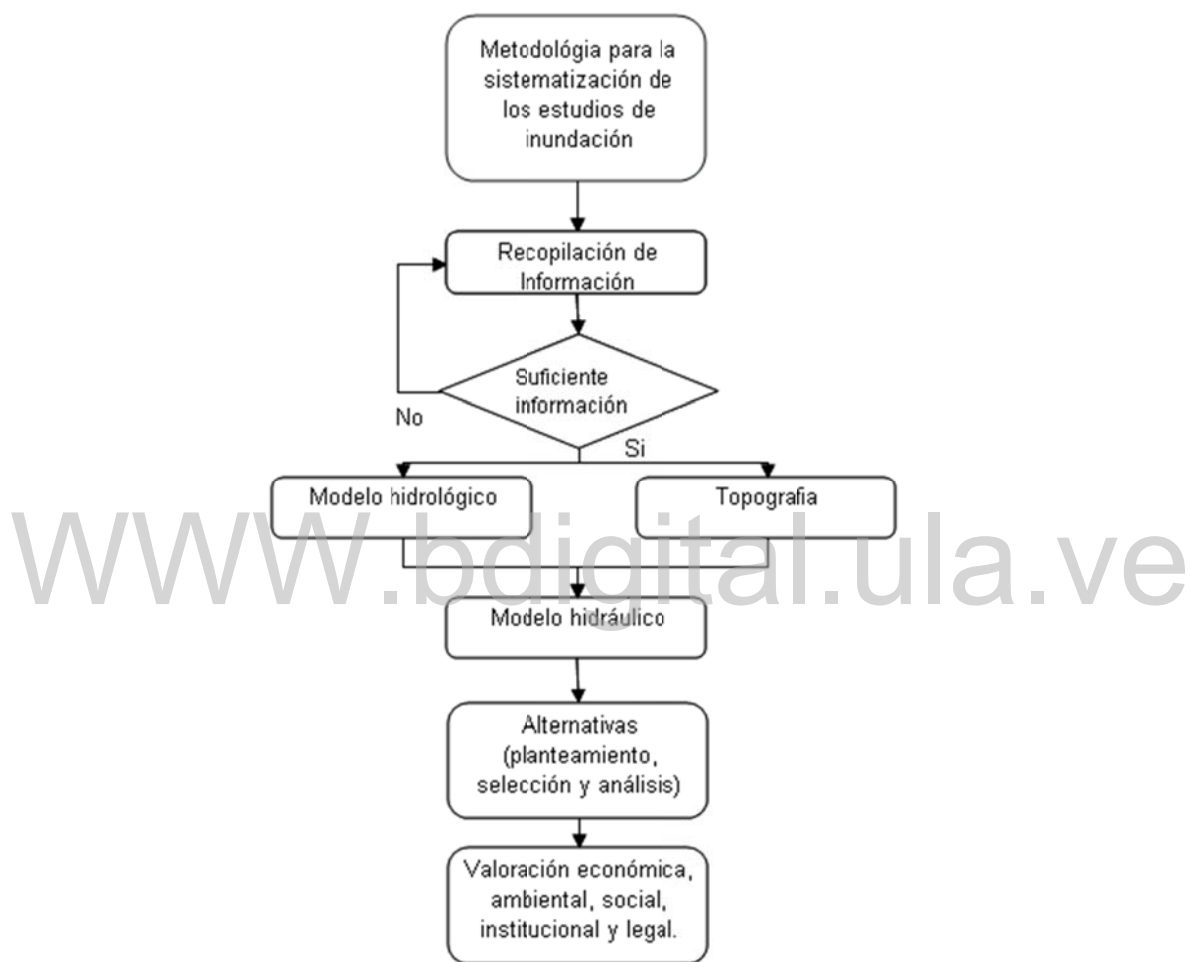
Los aspectos técnicos se desarrollan a través de los resultados obtenidos en la simulación y observación de campo realizada en la zona de estudio, estos aspectos dependen de la capacidad del técnico que ejecuta estas acciones.

#### **2.8.5. Aspectos económicos**

Los aspectos económicos de los estudios de control de inundaciones serán considerados los que aporten el mayor beneficio a la sociedad y al ambiente.

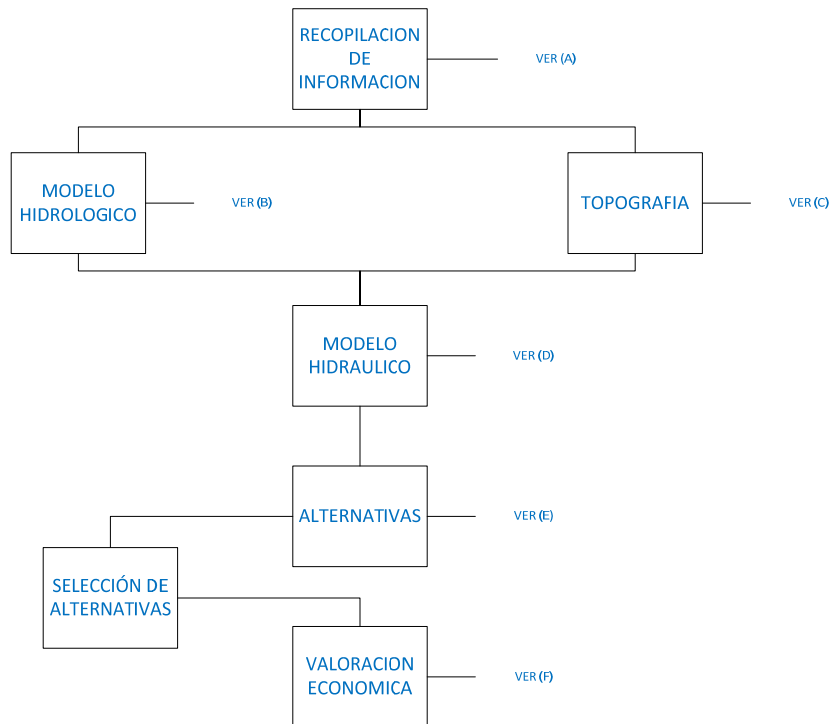
### Capítulo 3 METODOLOGÍA

En la Figura 3.1 que se muestra a continuación, se representa el flujograma general, de la metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones, planteada en este trabajo. En la tabla 3.1 se muestra la metodología desglosada planteada en este estudio.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 1 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones.**



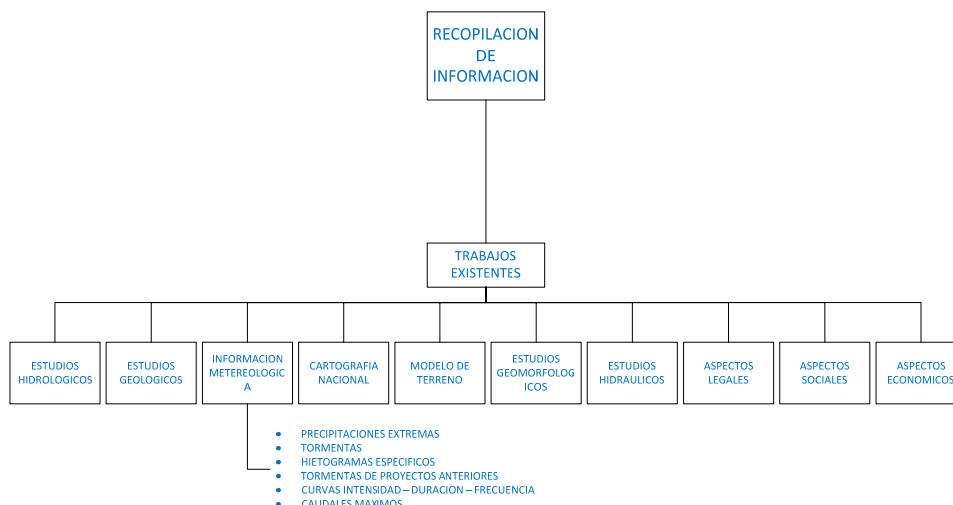
Se presenta el esquema general para el seguimiento de la metodología propuesta para el estudio hidrológico-hidráulico en una cuenca

ESQUEMA GENERAL

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 2 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones**

La figura 3.2 mostrada anteriormente presenta el esquema seguido para el seguimiento de la metodología propuesta para los estudios de control de inundaciones.



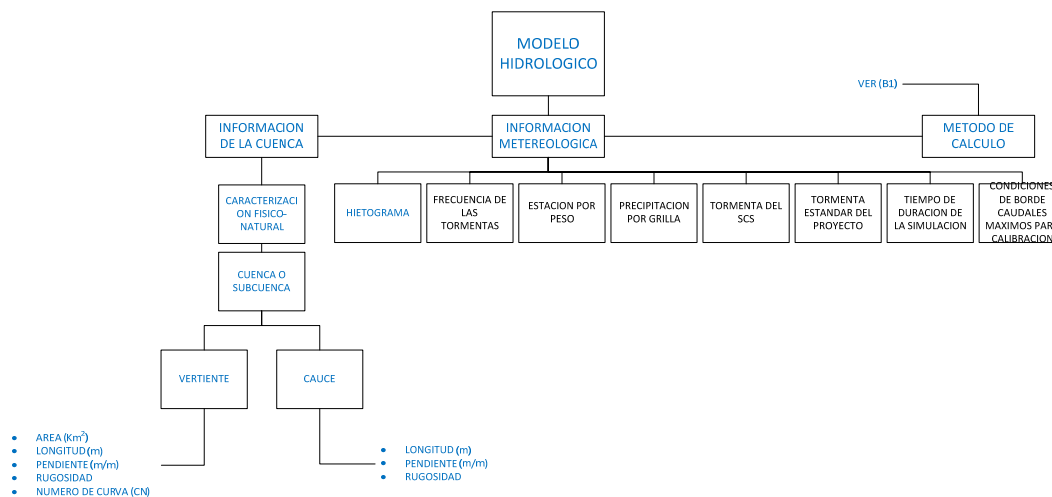
Como primera parte del estudio, se hace indispensable recopilar toda la información disponible en la zona de interés, según se discretiza en la figura. Aún cuando no toda la información exista, debe recopilarse la mayor cantidad de datos disponibles, así como su validación.

(A)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.3 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones**  
**Recopilación de Información.**

La figura 3.3 muestra como primera parte del estudio, se hace indispensable recopilar toda la información disponible en la zona de interés. Aún cuando no toda la información exista, debe recopilarse la mayor cantidad de datos disponibles, así como su validación.



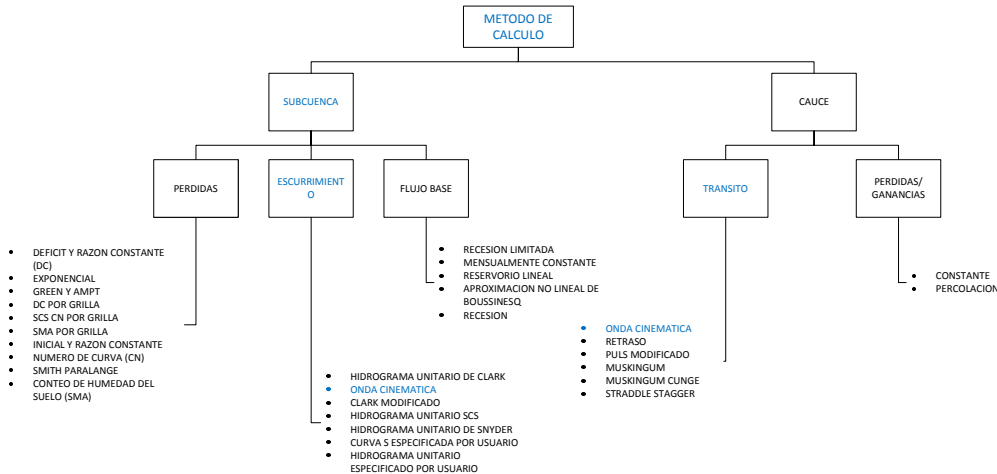
Con la información obtenida, se procede, entonces, a definir el modelo hidrológico a utilizar, destacado en este caso en color azul, no siendo restrictivo, pues de acuerdo a la información disponible, y al nivel del estudio, pueden adoptarse diferentes métodos para el análisis hidráulico de la cuenca en estudio.

(B)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 4 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones Modelo Hidrológico**

La figura 3.4 Con la información obtenida, se procede, entonces, a definir el modelo hidrológico a utilizar, destacado en este caso en color azul, no siendo restrictivo, pues de acuerdo a la información disponible, y al nivel del estudio, pueden adoptarse diferentes métodos para el análisis hidráulico de la cuenca en estudio.



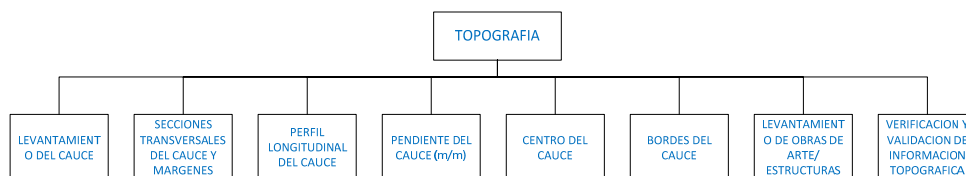
El método de cálculo dependerá, entre otros aspectos, del nivel del estudio, así como de la información disponible, en este trabajo, se adoptó como método de cálculo, aquello resaltado en color azul.

(B1)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 5 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones Modelo Hidrológico Método de Cálculo.**

La figura 3.5 El método de cálculo dependerá, entre otros aspectos, del nivel del estudio, así como de la información disponible, en este trabajo, se adoptó como método de cálculo, aquello resaltado en color azul.



Con la finalidad de producir datos confiables y de buena precisión, es indispensable contar con una buena información topográfica del sitio de estudio, siendo un factor importante para definir el nivel de detalle de la información topográfica, el nivel del estudio llevado a cabo.

Se da por entendido que el comportamiento hidrológico - hidráulico del sistema, está íntimamente ligado a la configuración orográfica de la cuenca en estudio.

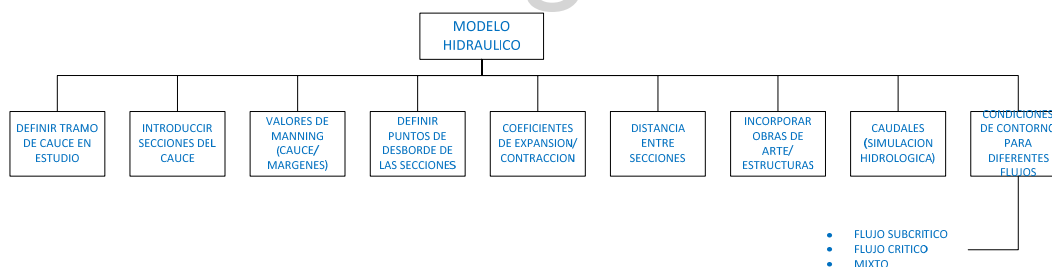
(C)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 6 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones Topografía.**

En la figura 3.6 se muestran los aspectos a considerar con la finalidad de producir datos confiables y de buena precisión; es indispensable contar con una buena información topográfica del sitio de estudio, siendo un factor importante para definir el nivel de detalle de la información topográfica, el nivel del estudio llevado a cabo.

Se da por entendido que el comportamiento hidrológico - hidráulico del sistema, está íntimamente ligado a la configuración orográfica de la cuenca en estudio.



El modelo hidráulico, responsable de reproducir el comportamiento del río bajo ciertas condiciones hidrológicas, debe caracterizarse según lo representado en este esquema, utilizando como patrón la información mínima necesaria requerida por un modelo matemático como el HEC-RAS

(D)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 7 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones Modelo Hidráulico.**

La figura 3.7 muestra la esquematización empleada para el modelo hidráulico de la cuenca. El modelo hidráulico, responsable de reproducir el comportamiento del río bajo ciertas condiciones hidrológicas, debe caracterizarse según lo representado en este esquema, utilizando como patrón

la información mínima necesaria requerida por un modelo matemático como el HEC-RAS



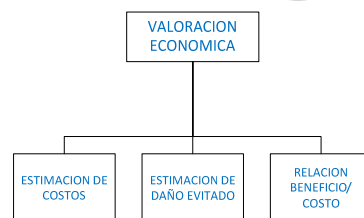
Todo problema tiende a poder ser resuelto mediante una o más vías, por lo que debe realizarse un estudio técnico de las diferentes posibilidades de solución, de acuerdo a lo presentado en el esquema.

(E)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 8 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones Alternativas.**

La figura 3.8 se muestra que todo problema tiende a poder ser resuelto mediante una o más vías, por lo que debe realizarse un estudio técnico de las diferentes posibilidades de solución, de acuerdo a lo presentado en el esquema.



Para cada alternativa analizada, es conveniente, con la finalidad de establecer su aplicabilidad, someterla al análisis económico respectivo, de acuerdo al esquema presentado, lo que resultará en una herramienta de utilidad para el decisor al momento de evaluar la implementación de la solución adoptada.

(F)

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. 9 Metodología sistematizada para la evaluación y control de las inundaciones Valoración Económica.**

La figura 3.9 cada alternativa analizada, es conveniente, con la finalidad de establecer su aplicabilidad, someterla al análisis económico respectivo, de acuerdo al esquema presentado, lo que resultará en una herramienta de utilidad para el decisor al momento de evaluar la implementación de la solución adoptada.



A continuación se describen los pasos mínimos para desarrollar un estudio de control de inundaciones.

### **3.1. Recopilación de información básica**

La elaboración de estudios de inundación se iniciará por la adquisición de información que puede variar según las necesidades particulares del proyecto. En ella se deben considerar todos los estudios previos si existen, integrar información topográfica, hidrológica, geológica, hidráulica, legal, social, económica y cualquier otra que para el caso se considere.

La primera parte consiste en la revisión de toda aquella información existente climatológica, hidrométrica, topográfica, de trabajos de investigación elaborados en el área de estudio y que contribuirán en el cumplimiento del objeto de la presente investigación.

#### **3.1.1. Información meteorológica**

Es necesario contar con información meteorológica e hidrométrica del área en particular, ya que es fundamental para la estimación de los parámetros hidroclimáticos para los diferentes períodos de retorno requeridos por el estudio. La información meteorológica e hidrométrica requerida es:

- Precipitaciones máximas o extremas.
- Tormentas.
- Hietogramas específicos.
- Tormentas de proyectos anteriores.
- Caudales máximos del cauce (empleado para calibrar el modelo computacional).

#### **3.1.2. Información topográfica**

Es necesario contar con planos topográficos de la cuenca en estudio, la cual permitirá obtener los perfiles longitudinales del cauce, la pendiente media natural del cauce y ubicación de las secciones transversales en el tramo del río en consideración. A partir del mapa topográfico, se debe realizar la conceptualización de la cuenca, la cual es fundamental para distinguir las áreas de escurrimiento (vertientes) de las áreas de escorrentía (cauces).

Debe existir el levantamiento topográfico reciente del tramo a considerar (secciones transversales y perfil longitudinal) fundamental para el análisis hidráulico del mismo. Los planos se presentarán a escala 1:25.000.



**Tabla 3. 2 Características físicas de los segmentos considerados en la conceptualización de la cuenca del río Sanchón.**

Segmento Nº	Tipo de Segmento	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Rugosidad	Número de Curva (CN)
101	Vertiente	7,61	1.244,16	0,4962	0,80	86
10	Cauce		6.113,55	0,2162	0,030	
102	Vertiente	12,41	2.030,48	0,4804	0,80	86
201	Vertiente	7,47	1.187,95	0,3319	0,80	86
20	Cauce		6.285,48	0,0419	0,030	
202	Vertiente	1,89	301,23	0,4211	0,80	86
301	Vertiente	6,98	1.203,69	0,4690	0,80	86
30	Cauce		5.796,13	0,2189	0,030	
302	Vertiente	4,22	727,63	0,5310	0,80	86
401	Vertiente	0,52	181,53	0,2674	0,80	86
40	Cauce		2.851,60	0,0193	0,030	
402	Vertiente	4,03	1.411,72	0,4548	0,80	86
501	Vertiente	15,41	2.308,33	0,4912	0,80	84
50	Cauce		6.675,54	0,0245	0,030	
502	Vertiente	16,84	2.522,40	0,4983	0,80	84
601	Vertiente	5,92	742,79	0,4173	0,80	84
60	Cauce		6.564,30	0,0024	0,030	
602	Vertiente	3,05	509,60	0,2906	0,80	84

Fuente: (CIDIAT-ULA, 2007).

### 3.2.2. Hietogramas

A continuación, en la Tabla 3.3, se muestran los hietogramas de precipitación horaria, para cada período de retorno considerados en el estudio realizado por el CIDIAT-ULA. En este caso se tomarán en cuenta los hietogramas para la cuenca, correspondientes a los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años para 24 horas de duración.

**Tabla 3. 3 Hietogramas de Precipitación Horaria, para cada período de retorno.**

Tiempo (min)	Precipitación (mm)*	%	Período de retorno en años				
			5	10	25	50	100
60	5,2	4,04	4,1	5,0	6,2	7,0	8,1
120	5,7	4,46	4,5	5,5	6,8	7,7	8,9
180	7,3	5,71	5,8	7,1	8,7	9,9	11,4
240	3,2	2,52	2,6	3,1	3,9	4,4	5,0
300	1,5	1,15	1,2	1,4	1,8	2,0	2,3
360	1,3	1,00	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0
420	2,6	2,05	2,1	2,5	3,1	3,6	4,1
480	5,0	3,89	4,0	4,8	5,9	6,7	7,8
540	13,0	10,15	10,4	12,6	15,5	17,6	20,3
600	8,2	6,41	6,5	7,9	9,8	11,1	12,8
660	17,3	13,53	13,8	16,8	20,7	23,4	27,1
720	10,1	7,87	8,0	9,8	12,0	13,6	15,7
780	10,3	8,02	8,2	9,9	12,3	13,9	16,0
840	7,0	5,43	5,5	6,7	8,3	9,4	10,9
900	3,2	2,50	2,5	3,1	3,8	4,3	5,0
960	1,8	1,40	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8

**Hietogramas de Precipitación Horaria, para cada período de retorno.  
Continuación**

Tiempo (min)	Precipitación (mm)*	%	Período de retorno en años				
			5	10	25	50	100
1020	4,1	3,19	3,3	4,0	4,9	5,5	6,4
1080	4,1	3,22	3,3	4,0	4,9	5,6	6,4
1140	5,9	4,61	4,7	5,7	7,1	8,0	9,2
1200	1,4	1,08	1,1	1,3	1,7	1,9	2,2
1260	1,9	1,44	1,5	1,8	2,2	2,5	2,9
1320	3,8	2,96	3,0	3,7	4,5	5,1	5,9
1380	1,4	1,08	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2
1440	2,9	2,29	2,3	2,8	3,5	4,0	4,6
Total	128,1	100	102	124	153	173	200

Fuente: (CIDIAT, 2007).

La información topográfica a tomar en cuenta es actualizada para este trabajo, con 75 secciones transversales con 50 metros de separación y aproximadamente 300 metros a cada margen, cubriendo un tramo de 3,5 kilómetros de la longitud del cauce del río Sanchón, a partir de su desembocadura en el Mar Caribe. Por esta razón, para este trabajo se debe considerar la salida del río, ya que drena sobre el mar, por consiguiente se estimará la marea alta como condición de borde aguas abajo en 0,5 m.

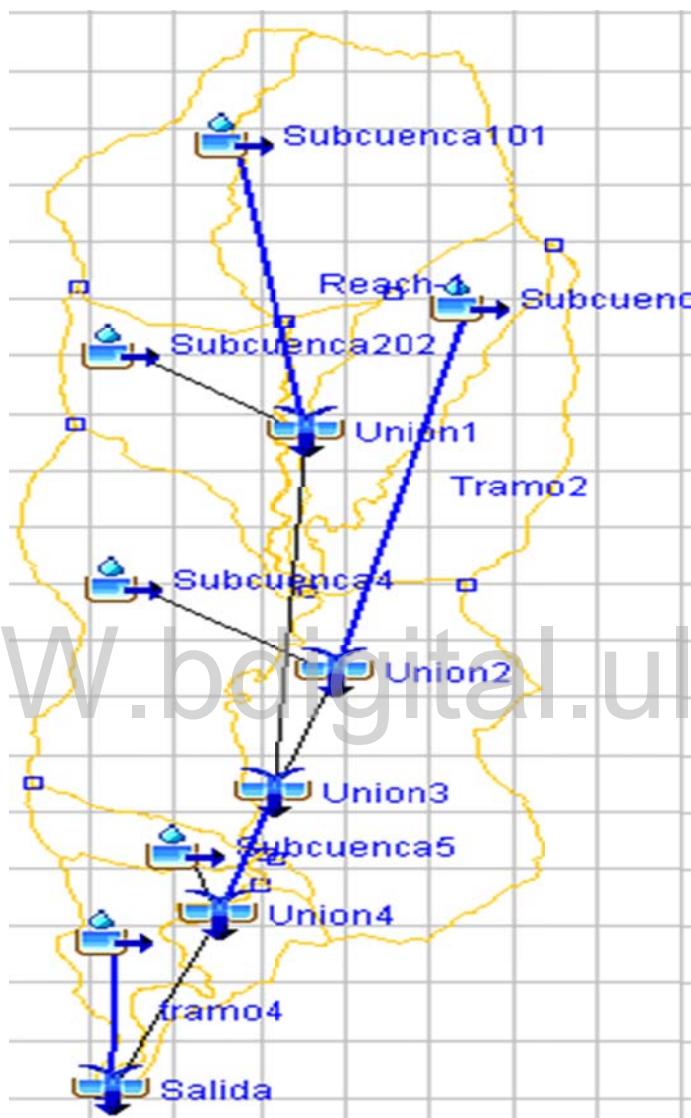
### **3.3. Aplicación del modelo *HEC-HMS* en la cuenca del río Sanchón**

Los datos a introducir en el modelo son: hietogramas y las características físico-naturales de la cuenca, y las características físicas y mecánicas de las partículas que conforman el lecho natural, que tienen gran influencia en el proceso de tránsito por el cauce, es necesario estimar el coeficiente de Manning, el valor del CN, pendiente del fondo y longitud del tramo o río.

Se debe saber sobre las condiciones de borde que van a controlar el cauce tanto aguas arriba como aguas abajo, por ejemplo, debiéndose considerar la altura máxima de las mareas en caso que el área en estudio esté al borde del mar.

Se establecerá una subdivisión de seis subcuencas, los valores picos serán los simulados para la unión *SALIDA* en la parte baja de la cuenca.

Se esquematizará la cuenca en el modelo (Ver Figura 3.11), a partir de la conceptualización de la misma, que se muestra en la Figura 3.1.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 11 Conceptualización de la cuenca.**

A partir de los componentes físicos de la cuenca, de los datos meteorológicos, los datos de entrada de precipitación y el tiempo de comienzo y fin de la simulación, se obtendrán los resultados para el elemento **SALIDA**.

Una vez realizada la simulación con el *HEC-HMS*, se compararán los caudales generados para los períodos de retorno de interés, con los que se obtuvieron simulando en el modelo *EVENTO*, en el Estudio Hidrológico e Hidráulico del río Sanchón. CIDIAT ULA, 2007.

Se realizará el tránsito de embalse de los caudales que se obtengan de la simulación hidrológica, hasta el área de interés de esta investigación.

### 3.4. Aplicación del modelo *HEC-RAS* en la cuenca del río Sanchón

Las alternativas y escenarios planteados para el estudio Hidráulico del río Sanchón, se presentan en la Tabla 3.4, que se muestra a continuación:

**Tabla 3. 4. Alternativas y escenarios para el estudio hidráulico del río Sanchón.**

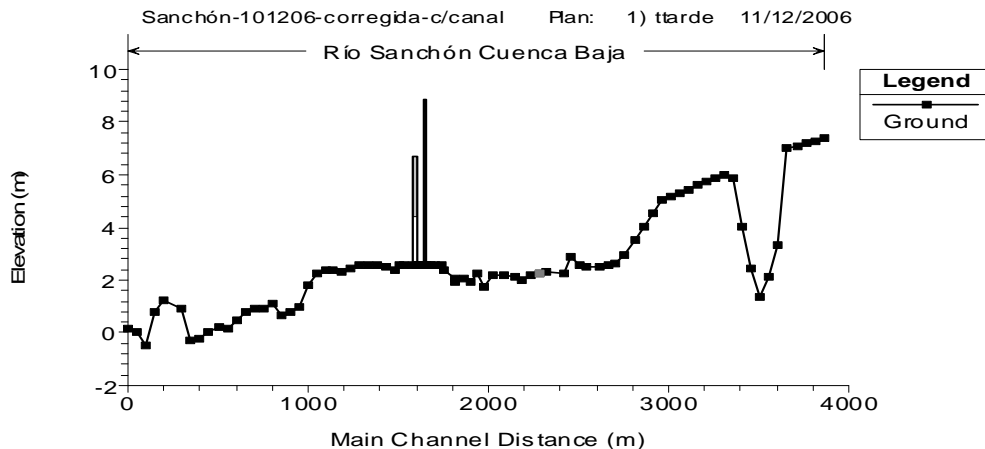
Alternativas	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Construcción de un embalse	Caudal para 5 años de tiempo de retorno	Caudal para 10 años de tiempo de retorno	Caudal para 25 años de tiempo de retorno	Caudal para 50 años de tiempo de retorno	Caudal para 100 años de tiempo de retorno
Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista	Caudal para 5 años de tiempo de retorno	Caudal para 10 años de tiempo de retorno	Caudal para 25 años de tiempo de retorno	Caudal para 50 años de tiempo de retorno	Caudal para 100 años de tiempo de retorno
Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, adicionando elevación y aumento en la sección del puente de la autopista	Caudal para 5 años de tiempo de retorno	Caudal para 10 años de tiempo de retorno	Caudal para 25 años de tiempo de retorno	Caudal para 50 años de tiempo de retorno	Caudal para 100 años de tiempo de retorno

Fuente: Elaboración propia.

De manera general los datos a introducir en el modelo *HEC-RAS*, serán:

- Los caudales de diseño correspondientes a los períodos de retorno que en este trabajo se consideran, generados del estudio hidrológico, una vez realizado el tránsito de embalse correspondiente. Así como información del levantamiento topográfico y de la investigación geotécnica.
- Referente a la información topográfica, el estudio hidráulico del río Sanchón, se realizará en un tramo de tres kilómetros (3 Km), setecientos cincuenta metros (750 m), tomando como centro la desembocadura del río con el mar Caribe, y utilizando como información topográfica un perfil longitudinal por el eje principal del río y 77 secciones transversales, dos de ella bajo la proyección del puente de la autopista y vía férrea, las estaciones están espaciadas a cada 50 metros, con un ancho aproximado de 300 metros, a ambos lados del eje principal del cauce.

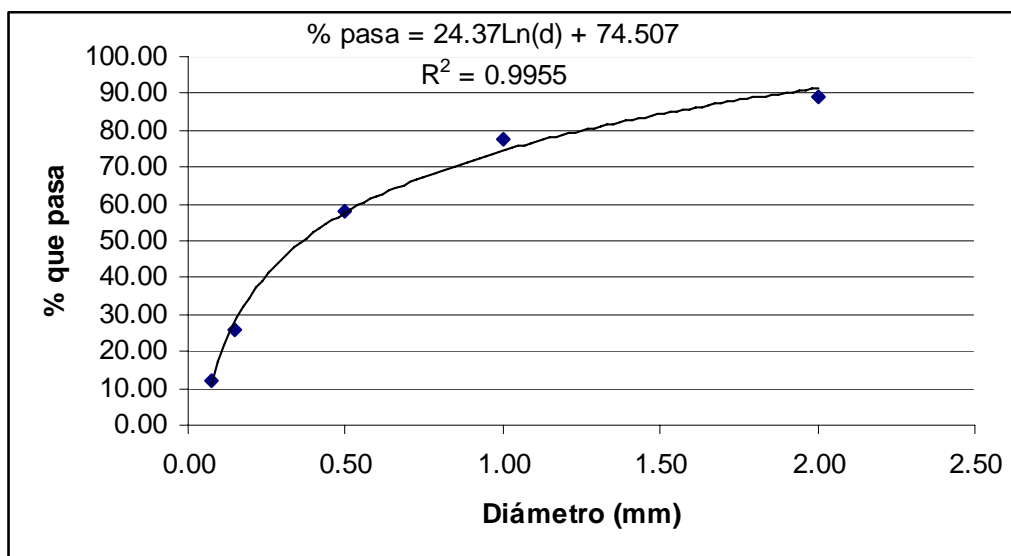
En la Figura 3.12, se puede apreciar el perfil longitudinal del tramo estudiado con la ubicación de las diferentes secciones levantadas, notándose una similar distribución de las secciones a lo largo del perfil, además se observa la ubicación de los puentes: de la autopista y vía férrea (señalado por las líneas verticales).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 12**Ubicación longitudinal de las secciones en el río Sanchón.

- Respecto a la información geotécnica, los parámetros geotécnicos necesarios para realizar el estudio hidráulico del río en el tramo estudiado serán obtenidos de la curva granulométrica mostrada en la Figura 3.13.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 13** Curva Granulométrica típica de la zona en estudio.

- Información de la geometría del puente, tanto para el puente de la autopista, como para la vía férrea, se incorporará al modelo indicando sus

características geométricas: cota inferior y superior del tablero, ubicación y ancho de la plataforma, entre otros. En el Anexo B, se presentan las secciones correspondientes a las vías.

Adicionalmente a los datos geométricos del puente, se proporcionará al modelo la información hidráulica requerida para la simulación. Esta información consiste en:

- ✓ Caudales: Los datos de caudales se introducirán especificando la sección por donde entran al tramo considerado del río.
- ✓ Condición de borde: Las condiciones de borde se especificarán aguas abajo, por tratarse de un régimen de flujo sub-crítico, se indicará condición de flujo uniforme con una pendiente de 0,00193.

#### **3.4.1. Alternativa cero. Situación actual**

Para los períodos de retorno que se consideran en este trabajo, se realizará en este caso la simulación con los caudales obtenidos de la simulación hidrológica con el *HEC HMS* en la situación actual.

#### **3.4.2. Alternativa 1. Presa de enrocado para control de inundaciones**

Una vez seleccionado el probable sitio de presa, se procederá a realizar el tránsito del hidrógrama de caudales máximos probables correspondiente a los períodos de retorno de 5, 50, 100 años, para diferentes alturas de presa, y distintos niveles iniciales del embalse.

La Tabla 3.5, resume la combinación de escenarios analizados.

**Tabla 3. 5 Escenarios analizados.**

Período de retorno ( <i>tr</i> ) (años)	Escenarios	Altura presa (m)	Nivel inicial (%)
5	1-a	20	100
	1-b	25	75
	1-c	30	60
50	2-a	20	100
	2-b	25	75
	2-c	30	60
100	3-a	20	100
	3-b	25	75
	3-c	30	60

Fuente: Elaboración propia.



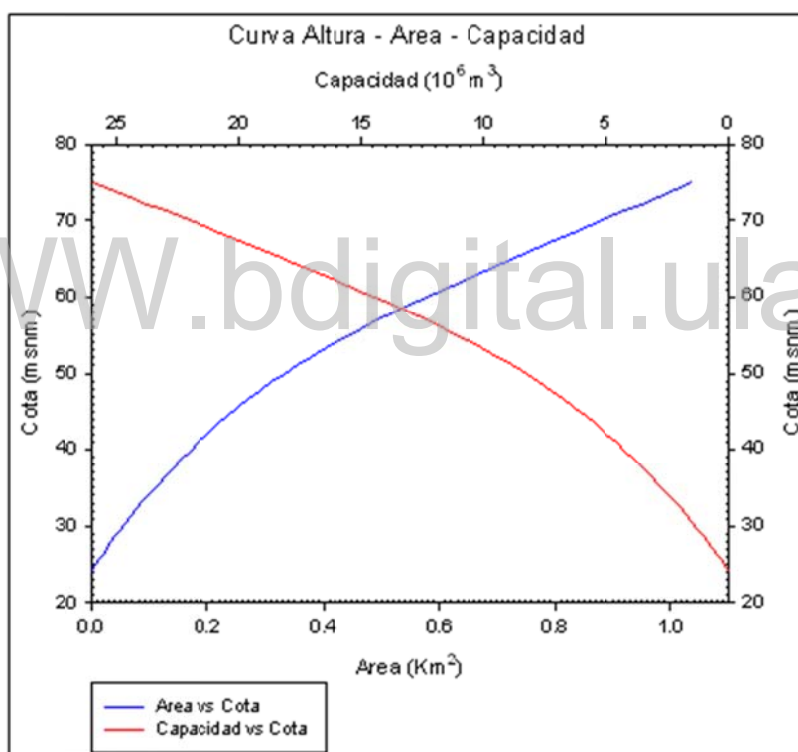
Para el tránsito del hidrógrama en el embalse, se utilizará un programa desarrollado por Mora Mora, cuya solución se basa en el método de Runge-Kutta.

Los parámetros que este programa requiere son:

- Hidrógrama de entrada
- Datos de la curva Altura – Área – Capacidad
- Niveles característicos del embalse
- Características de las estructuras de descarga

Se tomará en cuenta la curva Altura – Área – Capacidad, del estudio elaborado en el CIDIAT, 2007. Esta curva característica se presenta a continuación.

En cuanto a las características de las estructuras de descarga, se fijará una longitud de aliviadero de 30 m, y un diámetro de descarga de 1.5 m.



**Figura 3. 14 Curva altura-área-capacidad.**

Fuente: (Estudio Hidrológico Hidráulico del río Sanchón, CIDIAT ULA , 2007).

#### **3.4.2.1. Tránsito de crecientes en embalses de diferentes alturas**

El tránsito de crecida se analizará para diferentes alturas de presa, (20, 25 y 30 metros), y para diferentes períodos de retorno (100, 50 y 5 años), también los efectos que causarían las crecientes sobre un embalse de las alturas mencionadas, con distintos niveles en éstos (100%, 75% y 60% de las capacidades respectivas).

La estructura de alivio se simulará como un vertedero rectangular de 30 metros de ancho para todas las situaciones, y la estructura de descarga, un orificio de 1,5 metros de diámetro. La obra de descarga se ubicará a 4 metros sobre el nivel de fondo, (21,17 msnm), es decir, a la cota 25,17 msnm, y el aliviadero, a 3 metros por debajo del nivel de la corona para las diferentes alturas de presa de 20, 25 y 30 metros. (41,17 msnm, 46,17 msnm y 51,17 msnm, respectivamente).

### 3.4.2.2. Hidrograma de entrada para el tránsito de crecidas en el embalse

Se realizará el tránsito de crecidas para diferentes períodos de retorno, utilizando para ello, los hidrogramas de crecientes correspondientes al Segmento 50 (sitio probable de presa) generado en la simulación hidrológica.

### 3.4.2.3. Hidrograma de crecida para los diferentes períodos de retorno

A continuación se presenta en la Tabla 3.6, los diferentes hidrogramas, correspondientes a los distintos períodos de retorno para el Segmento 50.

**Tabla 3. 6 Hidrogramas de entrada para el tránsito en los embalses**

Tr = 100		Tr = 50		Tr = 5	
TIEMPO	CAUDAL	TIEMPO	CAUDAL	TIEMPO	CAUDAL
(min)	(m3/s)	(min)	(m3/s)	(min)	(m3/s)
0	0.000	0	0.000	0	0.000
60	0.000	60	0.000	60	0.000
120	0.000	120	0.000	120	0.000
180	0.002	180	0.002	180	0.001
240	0.021	240	0.020	240	0.019
300	0.140	300	0.144	300	0.182
360	1.014	360	1.176	360	2.175
420	8.583	420	9.187	420	9.505
480	19.290	480	19.214	480	16.989
540	40.255	540	36.305	540	24.807
600	73.162	600	62.591	600	35.952
660	93.472	660	79.137	660	43.530
720	90.636	720	77.029	720	43.066
780	79.912	780	68.432	780	39.639
840	73.300	840	63.159	840	37.192
900	79.800	900	68.147	900	38.825
960	138.027	960	113.964	960	56.275
1020	192.858	1020	158.714	1020	75.849
1080	305.110	1080	248.922	1080	112.660
1140	351.407	1140	292.291	1140	140.128
1200	350.490	1200	296.648	1200	151.526
1260	308.441	1260	265.049	1260	146.078
1320	237.525	1320	206.721	1320	122.469
1380	172.308	1380	151.541	1380	95.461
1440	141.652	1440	124.374	1440	79.529
1500	129.786	1500	113.454	1500	71.150
1560	136.571	1560	117.992	1560	69.929
1620	123.059	1620	106.419	1620	62.834
1680	104.243	1680	90.310	1680	53.757
1740	101.112	1740	87.303	1740	51.041
1800	91.695	1800	79.564	1800	47.146
1860	85.654	1860	74.339	1860	43.871
1920	72.024	1920	62.934	1920	38.293
1980	54.766	1980	48.290	1980	30.730

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2.4. Características básicas del embalse

En la Tabla 3.7, se presentan las características básicas de los embalses, tales como: altura de presa, niveles característicos, entre otros. En la Tabla 3.8, se observan los niveles iniciales de agua para los diferentes períodos de retorno.

**Tabla 3. 7 Niveles característicos de los embalses.**

<b>NIVELES CARACTERISTICOS</b>					
Altura presa	N. Maximo	N. Toma	N. Fondo	Long. Aliviadero	Diam. Orif.
20	41.17	25.17	21.17	30	1.5
25	46.17	25.17	21.17	30	1.5
30	51.17	25.17	21.17	30	1.5

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3. 8 Niveles iniciales**

<b>NIVELES INICIALES (msnm)</b>									
Tr/C	H = 20 m			H = 25 m			H = 30 m		
	100%	75%	60%	100%	75%	60%	100%	75%	60%
100									
50	41.17	34.50	33.00	46.17	39.00	37.00	51.17	34.50	41.00
5									

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2.5. Tránsito de crecidas

Se realizará el tránsito para diferentes situaciones y alturas.

### 3.4.3. Alternativa 2. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista

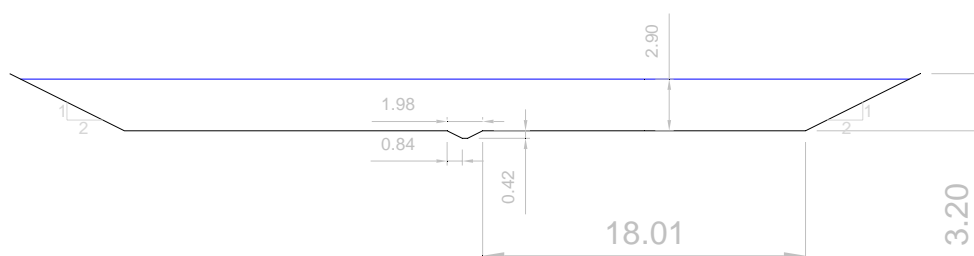
Se plantea, como alternativa, la estabilización del cauce natural mediante la construcción de un canal trapezoidal revestido de concreto, el cual comenzará aguas abajo del puente de la autopista Morón – Puerto Cabello, y desembocará en la salida al mar. Este canal permitirá uniformizar el cauce, así como mantener el flujo dentro de éste, evitando posibles desbordamientos al momento de ocurrir eventos de crecientes.

Para el diseño hidráulico de la sección, se tomará en cuenta el caudal máximo generado para un período de retorno de 50 años, y la topografía original del cauce del río en la zona identificada anteriormente.

### 3.4.3.1. Diseño el canal de concreto

Los cálculos hidrológicos e hidráulicos previamente realizados, definirán una sección hidráulica para el canal capaz de transportar el caudal correspondiente a una crecida para un período de retorno de 50 años, aproximadamente 334 m<sup>3</sup>/s.

Se establecerán las dimensiones aproximadas del canal, así como los costos preliminares de ejecución del mismo. Se muestra, en la Figura 3.15, la sección del canal obtenido.



Fuente:Elaboración propia.

**Figura 3. 15 Sección preliminar del Canal**

La sección definida cuenta con un canal para la circulación del caudal medio del río, el cual se estima en un aproximado de 300 l/s.

Se diseñará la sección del canal, de manera que no se vea afectada por los efectos erosivos del agua, con la finalidad de minimizar los costos de mantenimiento de la estructura, garantizando la vida útil de la misma.

La evaluación hidráulica de la estructura se realizará, en primera instancia, considerando el canal como excavado en sitio, sin ningún tipo de recubrimiento, utilizando el material de la zona para las labores de conformación tanto del fondo como de los taludes del canal.

Una vez analizadas las condiciones de estabilidad, producto de los efectos erosivos del agua, se determinará la necesidad de utilizar materiales adicionales o recubrimientos especiales para minimizar cualquier efecto erosivo sobre la estructura propuesta.

### 3.4.3.2. Metodología de cálculo

Se procederá a analizar la estabilidad del canal ante el efecto erosivo del agua, la metodología a seguir para el diseño será por el método de la *velocidad permisible*, y el diseño por el método de la *fuerza tractiva*.

Una vez determinada la sección estable por ambos métodos, se procederá a calcular la profundidad posible de socavación en el canal, con la finalidad de brindar a la estructura un elemento de protección contra este efecto, para lo

cual se utiliza el método tradicional, que consiste en igualar la velocidad media de la corriente con la velocidad media para iniciar el arrastre del material.

### 3.4.3.3. Estimación del coeficiente de Manning

En la Figura 3.5, se aprecia una curva granulométrica característica de la zona en estudio, ajustada a una función logarítmica. A partir de esta curva, se puede estimar el coeficiente de rugosidad de Manning, de acuerdo a la ecuación de Aguirre, 1998, según la cual se establece la siguiente relación:

$$n = \frac{\sqrt[6]{d_{84}}}{26} \quad (\text{Ec. 1})$$

El valor correspondiente al  $d_{84}$ , fue calculado de acuerdo a la ecuación logarítmica de ajuste presentada en la Figura 3.13. El coeficiente de rugosidad de Manning estimado se presenta en la tabla siguiente:

**Tabla 3. 9 Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning.**

Parámetro	Valor
$d_{84}$ (mm)	1.476
$n$	0.013

Fuente: (CIDIAT, 2007).

### 3.4.3.4. Estabilidad de la estructura frente a procesos erosivos

Se dispone de la siguiente información básica para el diseño de la sección para resistir los efectos de la erosión, según se observa en la Tabla 3.10.

**Tabla 3. 10 Información básica del canal**

Parámetro	Valor	Observaciones
$n$	0.013	<b>Rugosidad de Manning</b>
$M$	2	<b>Pendiente de los taludes</b>
$S_o$ (%)	0.08%	<b>Pendiente del fondo del canal</b>
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	327	<b>Caudal de diseño; <math>tr = 50</math> años</b>
$b$ (m)	38	<b>Ancho de la base</b>
$y$ (m)	1.97336098	<b>Tirante normal</b>
$y$ (m)	0.000124766	<b>Parámetro para la Iteración (0)</b>
$A$ (m <sup>2</sup> )	82.77602437	<b>Área hidráulica</b>
$P$ (m)	46.82513859	<b>Perímetro mojado</b>
$r$ (m)	1.767768913	<b>Radio hidráulico</b>
$V$ (m/s)	3.180914307	<b>Velocidad media; Ecuación de Manning</b>

Fuente:(CIDIAT, 2007).

### **3.4.3.5. Estabilidad de la estructura frente a procesos erosivos**

#### **Método de la Velocidad permisible**

Este método consiste en realizar el diseño de la sección en función del material, el tirante calculado previamente, y el valor de velocidad tabulado de acuerdo a múltiples experiencias de diferentes autores en la materia, señalados en la publicación “Erosión del Cauce de un Río en el Cruce de un Puente”, de J.A. Maza, en 1967.

la velocidad máxima permisible, en el caso particular, no debe ser superior a 1,5 m/s ( $\leq 1,5$  m/s).

#### **Método de la Fuerza Tractiva**

Este método consiste en determinar el esfuerzo cortante generado en los contornos del canal, el cual produce el arrastre del material que lo compone. Calculado este esfuerzo cortante, y aplicando las ecuaciones que se desarrollan en el método, se puede determinar la sección hidráulica estable, de acuerdo a las condiciones particulares del sitio en estudio.

De acuerdo a lo realizado en el cálculo por ambos métodos, tomando como premisa de cálculo las condiciones para la no producción de erosión, la sección del canal que satisface estas condiciones es extremadamente grande, por lo que resulta en una sección no económica.

### **3.4.3.6. Alternativas de diseño definitivo de la sección del canal**

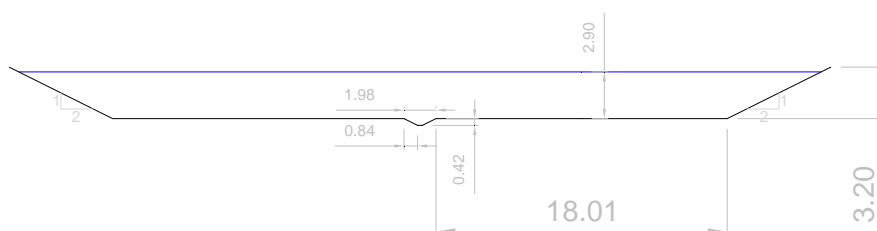
No es factible construir el canal en tierra, ya que los efectos erosivos del agua no lo permiten, se plantean dos posibles alternativas de solución, de manera de someterlas a los análisis correspondientes para la toma de decisiones.

#### **3.4.3.6.1. Canal de paredes revestidas en concreto**

La ejecución del canal con paredes revestidas de concreto sin armar, lo cual resultaría, dadas las características del material de la zona, en un canal con las propiedades físicas señaladas anteriormente en la Tabla 3.9, dado que el coeficiente de rugosidad de Manning coincide con el del material del sitio.

Se diseñará el canal con un espesor de paredes de 5 centímetros (cm). El revestimiento de concreto se aplicará, igualmente, en el canal interno diseñado para el tránsito del caudal medio del río, extendiendo esta pequeña losa, 1.00 metro sobre el fondo del canal mayor, a cada lado.

La sección del canal en concreto, se aprecia en la Figura 3.16



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 16 Sección propuesta de canal de paredes revestidas en concreto.**

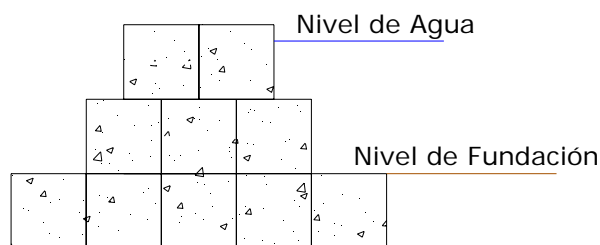
#### **3.4.3.6.2. Obras adicionales de protección**

Además de la construcción del canal, se propone la construcción de muros de gaviones aguas arriba del puente a sobreelevar, con la finalidad de proteger las márgenes del río en esta zona, de posibles inundaciones. Estos gaviones serán de una altura mínima de 2,00 metros, fundados a 1,00 metro de la cota del terreno en las márgenes del cauce, y de 100 metros de longitud, dispuestas en ambas márgenes.

Adicionalmente, el fondo del canal deberá contar con barbacanas construidas con tubería plástica de 2 pulgadas de diámetro, de una longitud mínima de 60 cm, ubicadas de manera que exista al menos una cada 6 m<sup>2</sup>, con la finalidad de evitar subpresiones originadas por la ausencia del flujo de diseño en el canal.

A fin, de proveer de agua a los manglares, el canal contará con un vertedero de ventana, en la margen izquierda, capaz de suministrar, en la zona baja del río, el caudal medio anual hacia la zona de los manglares.

En la Figura 3.17, se muestra una sección transversal de la estructura propuesta.

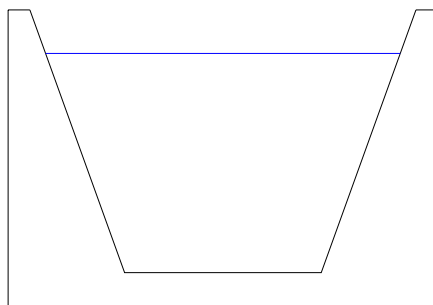


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 17 Sección transversal de Muro de Gavión propuesto.**

Adicional al canal, se hace necesario, de acuerdo a la topografía, la construcción de diques marginales, evitando, con esta estructura, el desbordamiento del agua en las secciones en las que el canal, por sí solo, no sea hidráulicamente capaz de conducir el caudal. Estos diques se proponen como elemento integral del canal, según se puede apreciar en la Figura 3.18.

Es de hacer notar que la figura se encuentra distorsionada 10 veces en la escala vertical.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. 18 Corte transversal del canal propuesto.**

Aunque la velocidad máxima del flujo es inferior a la indicada en la literatura como límite superior para canales de concreto armado para evitar la erosión por efecto del agua, se estima conveniente hacer en el fondo del canal, un canal más pequeño que permita el flujo del caudal medio para evitar la acumulación de sedimentos a lo largo del canal por sinuosidad del flujo, para tal efecto se recomienda que esté sea por lo menos de 50 cm de espesor.

El canal propuesto, en resumen, será hidráulicamente capaz (con una pendiente del 0.8/1000), de conducir el agua de la zona en estudio hacia su desembocadura al mar, llegando en su descarga a una cota superior a la propia del río, por lo que se evitaría, de esta manera, un posible remanso por efecto de la entrada del mar al canal.

La información descrita anteriormente, será incorporada al modelo *HEC-RAS* para elaborar el modelo específico del río Sanchón, en una longitud aproximada de 3750 metros aguas arriba de la descarga al Mar Caribe.

#### **3.4.4. Alternativa 3. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, adicionando elevación del puente de la autopista y reconfigurar su sección.**

Adicionalmente, a los datos geométricos se le proporcionará al modelo *HEC-RAS* la información hidráulica requerida para la simulación. Esta información consiste en los datos de caudales y en las condiciones de borde.

- **Caudales:** Los datos de caudales se introducirán especificando la sección por donde entran al tramo considerado del río.
- **Condición de borde:** será aguas abajo por tratarse de un régimen de flujo sub-crítico, se indicará una condición de flujo uniforme desde la progresiva 3+750,00 hasta la progresiva 1+500,00, con una pendiente de **0,002569** y desde la progresiva 1+500,00 hasta la progresiva 0+000,00 una pendiente de **0,00085**.



### **3.5. Estimación de las áreas de inundación para cada período de retorno**

Una vez realizadas las simulaciones de cada alternativa propuesta, se estiman las áreas de inundación para los períodos de retorno considerados en este trabajo.

Se desarrollará una hoja de cálculo que permitirá tener una primera aproximación de las áreas afectadas por las inundaciones tanto general, como para cada margen, esta hoja de cálculo empleará datos de la ubicación de las secciones transversales del río, cauce o canal, coordenadas de los extremos de la secciones, coordenadas del borde del cauce y la distancia que el modelo de simulación hidráulica *HEC-RAS*, dé como resultado del alcance para cada sección transversal.

Los cálculos los realizará aplicando trigonometría y ajustando el área entre las secciones a un trapecio. En los tramos rectos del cauce, río o canal el error será mínimo, en los tramos curvos o muy curvos el error aumenta pero siempre el área calculada esta en excedencia por lo tanto como es una primera aproximación se puede considerar para obtener valores a nivel de idea y de orden de magnitud.

El alcanzar con éxito la evaluación hidráulica del cauce con el modelo de simulación hidráulica empleado dará información al respecto de las alternativas a ser consideradas como posible solución al problema de inundaciones en el área de estudio, se considerarán las alternativas que producen mitigación o eliminación de los efectos causados por las inundaciones en el área considerada, y que tome en cuenta todos los aspectos que se mencionan en el numeral 2.8.

### **3.6. Costos estimados para la alternativa solución**

Con la finalidad de facilitar la toma de decisiones entre las alternativas propuestas, se presentará, de manera resumida, una primera estimación de costo para la solución descrita. Debe aclararse que la estimación se realizará tomando en cuenta los costos de ejecución de la alternativa seleccionada en lo que a materiales se refiere, es decir, no contempla costos de excavación o relleno, obras de derivación del cauce, entre otros.

### **3.7. Valoración económica**

Se realizará el cálculo de la relación beneficio-costos, tomando en cuenta las áreas afectadas que producirían pérdidas económicas a la Refinería El Palito (daños evitados). Igualmente se realizará un cálculo del valor esperado, para los daños ocasionados por las inundaciones del río Sanchón en la Refinería El Palito.

## Capítulo 4

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados obtenidos del modelo hidrológico *HEC-HMS*

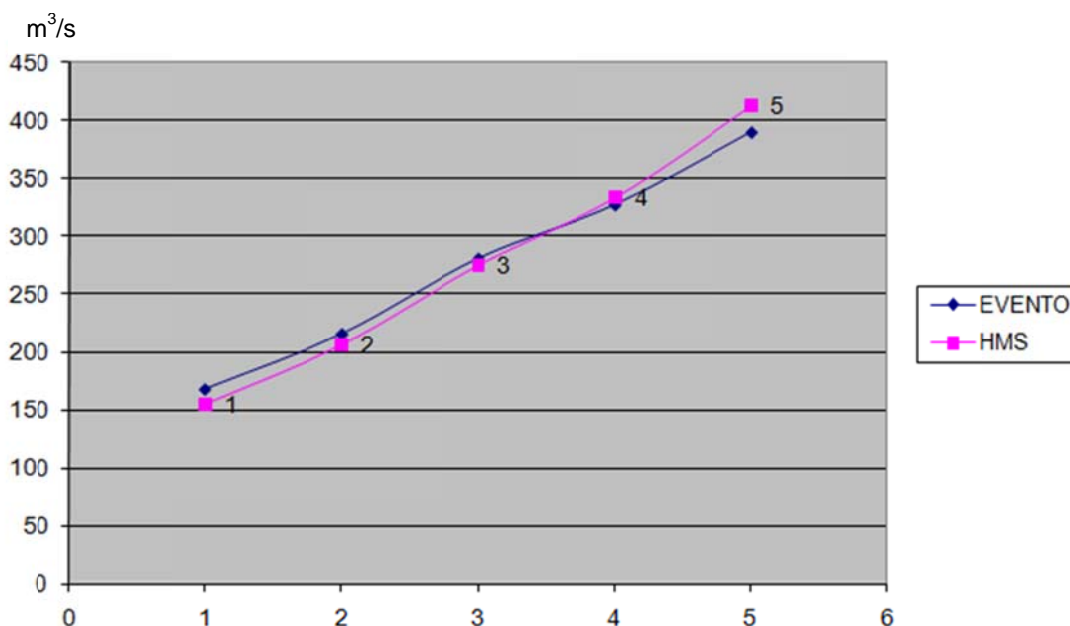
A continuación se presentan los caudales picos generados para los diferentes períodos de retorno considerados.

Tabla 4. 1 Caudales picos generados en el modelo *HEC-HMS*, para los períodos de retorno considerados

TR (años)	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)
5	159
10	214
25	283
50	334
100	407

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.1, se muestra la comparación gráfica entre los caudales obtenidos en el modelo *HEC-HMS* y los obtenidos con el modelo *EVENTO*, empleado en el Estudio hidrológico e hidráulico del río Sanchón, 2007. Se observa que los valores conservan el orden de magnitud y que las pequeñas diferencias que existen, se debe a los métodos de cálculo empleado por ambos modelos de simulación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 1 Comparación gráfica entre los caudales obtenidos con *HEC-HMS* y *EVENTO*.

Una vez realizado el tránsito del embalse a partir de los caudales obtenidos en el modelo *HEC HMS*, los caudales a tomar en cuenta serán los que se muestran en la Tabla 4.2.

**Tabla 4. 2 Caudales generados en el Tránsito del Embalse para los períodos de retorno considerados**

Embalse 25% de la capacidad			
Caudal Entrada sitio de presa (m3/s)	Tiempo de retorno	Altura Embalse (m)	Caudal salida (m3/s)
151,3	5 años	20	129,4
		25	124,4
		30	70
296,61	50 años	20	276
		25	277
		30	261
351	100 años	20	349
		25	332
		30	317

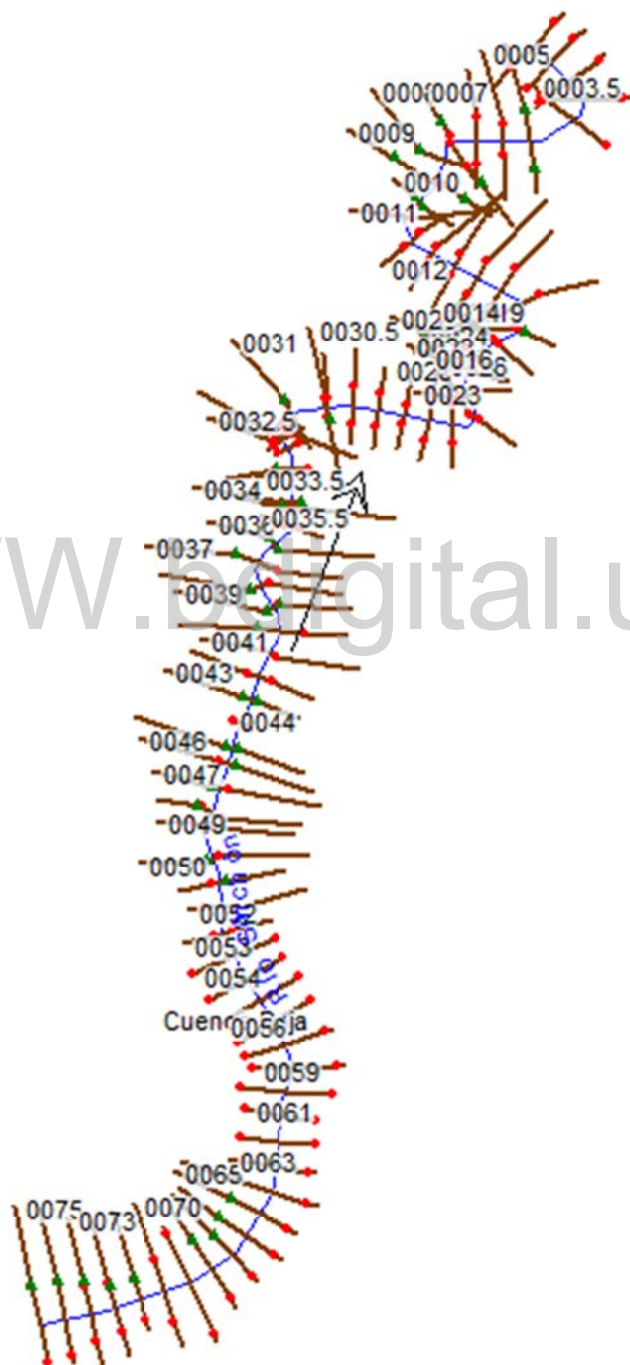
Fuente: Elaboración propia.

www.bdigital.ula.ve

## 4.2. Resultados obtenidos del modelo hidráulico *HEC-RAS*

### 4.2.1. *Alternativa cero. Situación actual*

En la Figura 4.2, se incluye la localización en planta de las secciones transversales con las que se simuló hidráulicamente el río Sanchón.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 2 Secciones en el río Sanchón.

El modelo *HEC- RAS*, proporciona para esta alternativa, información tabulada para cada sección transversal donde se describen las principales características del flujo, siendo de importancia para esta investigación, las siguientes:

**Tabla 4. 3 Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

<i>Información de secciones transversales en el río Sanchón, obtenida del modelo HEC RAS</i>						
<b>Sección</b>	<b>TR (años)</b>	<b>Caudal Total Q(m³/s)</b>	<b>Elev. Mín. canal (m)</b>	<b>Elev.sup. Agua (m)</b>	<b>Veloc. Canal (m/s)</b>	<b>Espejo de agua T(m)</b>
75	5	159.1	7.39	10.09	1.59	91.9
	10	214.4	7.39	10.4	1.72	94.77
	25	283.4	7.39	10.71	1.92	97.63
	50	334.4	7.39	10.94	2.02	99.78
	100	407.0	7.39	11.14	2.21	101.63
74	5	159.1	7.28	9.9	1.82	133.22
	10	214.4	7.28	10.2	1.98	137.64
	25	283.4	7.28	10.47	2.25	140.35
	50	334.4	7.28	10.69	2.37	142.52
	100	407.0	7.28	10.84	2.65	143.97
73	5	159.1	7.18	9.75	1.71	132.62
	10	214.4	7.18	10.06	1.82	141.23
	25	283.4	7.18	10.32	2.05	144.95
	50	334.4	7.18	10.55	2.14	148.19
	100	407.0	7.18	10.67	2.41	149.84
72	5	159.1	7.07	9.51	1.91	151.2
	10	214.4	7.07	9.84	1.95	163.66
	25	283.4	7.07	10.09	2.17	171.95
	50	334.4	7.07	10.36	2.17	180.92
	100	407.0	7.07	10.81	0.82	201.11
71	5	159.1	7.01	9.22	2.01	160.57
	10	214.4	7.01	9.61	1.96	192.3
	25	283.4	7.01	10.18	0.79	208.18
	50	334.4	7.01	10.45	0.84	209.64
	100	407.0	7.01	10.78	0.9	211.41
70	5	159.1	3.33	9.35	0.29	250.85
	10	214.4	3.33	9.74	0.34	257.61
	25	283.4	3.33	10.19	0.39	262.61
	50	334.4	3.33	10.46	0.43	264.52
	100	407.0	3.33	10.79	0.47	266.85

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
69	5	159.1	2.12	9.36	0.2	174.96
	10	214.4	2.12	9.74	0.24	179.03
	25	283.4	2.12	10.19	0.28	182.56
	50	334.4	2.12	10.46	0.31	183.65
	100	407.0	2.12	10.79	0.35	184.98
68	5	159.1	1.38	9.35	0.39	149.84
	10	214.4	1.38	9.73	0.46	164.29
	25	283.4	1.38	10.17	0.54	183.79
	50	334.4	1.38	10.44	0.6	192.38
	100	407.0	1.38	10.77	0.61	220.07
67	5	159.1	2.42	9.34	0.48	158.73
	10	214.4	2.42	9.72	0.55	174.97
	25	283.4	2.42	10.17	0.6	201.2
	50	334.4	2.42	10.43	0.64	202.35
	100	407.0	2.42	10.76	0.7	203.76
66	5	159.1	4.04	9.31	0.82	126.41
	10	214.4	4.04	9.68	0.94	138.03
	25	283.4	4.04	10.11	1.07	149.72
	50	334.4	4.04	10.37	1.15	153.47
	100	407.0	4.04	10.68	1.26	158.01
65	5	159.1	5.86	9.2	1.43	118.57
	10	214.4	5.86	9.56	1.52	130.42
	25	283.4	5.86	9.99	1.62	144.34
	50	334.4	5.86	10.24	1.69	148.64
	100	407.0	5.86	10.55	1.78	153.54
64	5	159.1	5.99	9.06	1.63	99.72
	10	214.4	5.99	9.41	1.74	110.36
	25	283.4	5.99	9.83	1.86	122.85
	50	334.4	5.99	10.09	1.94	128.97
	100	407.0	5.99	10.39	2.04	133.13
63	5	159.1	5.86	8.86	1.91	48.58
	10	214.4	5.86	9.21	2.05	52.94
	25	283.4	5.86	9.62	2.19	58.11
	50	334.4	5.86	9.86	2.29	61.18
	100	407.0	5.86	10.16	2.41	64.2
62	5	159.1	5.73	8.7	1.8	57.09
	10	214.4	5.73	9.06	1.88	63.08
	25	283.4	5.73	9.49	1.97	70.21
	50	334.4	5.73	9.74	2.03	74.4
	100	407.0	5.73	10.05	2.1	79.06
61	5	159.1	5.6	8.46	2.03	51.03
	10	214.4	5.6	8.83	2.1	56.76
	25	283.4	5.6	9.27	2.18	63.58
	50	334.4	5.6	9.52	2.25	67.46
	100	407.0	5.6	9.83	2.33	72.29

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
60	5	159.1	5.46	8.3	1.77	58.37
	10	214.4	5.46	8.69	1.81	65.37
	25	283.4	5.46	9.15	1.86	73.71
	50	334.4	5.46	9.41	1.92	78.34
	100	407.0	5.46	9.73	1.98	84.13
59	5	159.1	5.31	8.13	1.78	59.21
	10	214.4	5.31	8.55	1.79	66.77
	25	283.4	5.31	9.03	1.82	75.51
	50	334.4	5.31	9.28	1.87	80.22
	100	407.0	5.31	9.61	1.93	86.13
58	5	159.1	5.17	7.81	2.19	52.99
	10	214.4	5.17	8.31	2.05	62.11
	25	283.4	5.17	8.84	2	71.75
	50	334.4	5.17	9.11	2.04	76.61
	100	407.0	5.17	9.44	2.08	82.7
57	5	159.1	5.02	7.66	1.76	58.42
	10	214.4	5.02	8.21	1.66	65.86
	25	283.4	5.02	8.76	1.67	74.16
	50	334.4	5.02	9.03	1.73	77.43
	100	407.0	5.02	9.36	1.81	81.48
56	5	159.1	4.55	7.66	1.05	71.88
	10	214.4	4.55	8.21	1.07	78.5
	25	283.4	4.55	8.76	1.14	85.02
	50	334.4	4.55	9.03	1.21	88.22
	100	407.0	4.55	9.36	1.29	92.22
55	5	159.1	4.05	7.63	1.02	66.73
	10	214.4	4.05	8.18	1.06	72.27
	25	283.4	4.05	8.73	1.15	77.69
	50	334.4	4.05	8.99	1.24	80.33
	100	407.0	4.05	9.32	1.33	83.62
54	5	159.1	3.52	7.61	0.89	71.59
	10	214.4	3.52	8.17	0.94	77.81
	25	283.4	3.52	8.71	1.02	84.12
	50	334.4	3.52	8.98	1.1	87.18
	100	407.0	3.52	9.31	1.19	91
53	5	159.1	2.94	7.55	1.19	70.04
	10	214.4	2.94	8.11	1.3	76.18
	25	283.4	2.94	8.64	1.47	83.86
	50	334.4	2.94	8.89	1.61	88.19
	100	407.0	2.94	9.2	1.78	93.6
52	5	159.1	2.62	7.53	1.09	69.51
	10	214.4	2.62	8.09	1.14	81.96
	25	283.4	2.62	8.62	1.25	93.13
	50	334.4	2.62	8.87	1.35	98.38
	100	407.0	2.62	9.19	1.47	102.61

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
51	5	159.1	2.59	7.4	1.67	73.53
	10	214.4	2.59	7.96	1.78	88.03
	25	283.4	2.59	8.49	1.95	96.03
	50	334.4	2.59	8.72	2.12	99.96
	100	407.0	2.59	9.01	2.31	104.91
50	5	159.1	2.53	7.36	1.59	71.76
	10	214.4	2.53	7.93	1.69	82.05
	25	283.4	2.53	8.45	1.87	92.37
	50	334.4	2.53	8.67	2.04	97.24
	100	407.0	2.53	8.96	2.24	103.66
49	5	159.1	2.53	7.33	1.3	66.63
	10	214.4	2.53	7.89	1.41	81.24
	25	283.4	2.53	8.41	1.59	94.97
	50	334.4	2.53	8.63	1.74	101.04
	100	407.0	2.53	8.91	1.93	110.23
48	5	159.1	2.59	7.26	1.52	69.38
	10	214.4	2.59	7.83	1.56	99.01
	25	283.4	2.59	8.38	1.6	126.49
	50	334.4	2.59	8.6	1.72	134.64
	100	407.0	2.59	8.89	1.86	144.87
47	5	159.1	2.87	7.14	1.75	68.51
	10	214.4	2.87	7.71	1.88	98.32
	25	283.4	2.87	8.3	1.82	126.07
	50	334.4	2.87	8.52	1.96	136.44
	100	407.0	2.87	8.79	2.13	147.84
46	5	159.1	2.28	7.13	1.43	83.88
	10	214.4	2.28	7.72	1.47	98.18
	25	283.4	2.28	8.29	1.59	119.57
	50	334.4	2.28	8.5	1.73	128.45
	100	407.0	2.28	8.77	1.9	135.47
45	5	159.1	2.3	7.01	1.6	81.05
	10	214.4	2.3	7.6	1.68	98.97
	25	283.4	2.3	8.17	1.82	118.83
	50	334.4	2.3	8.37	2	125.96
	100	407.0	2.3	8.62	2.21	135.08
44	5	159.1	2.25	6.93	1.7	74.5
	10	214.4	2.25	7.54	1.76	90.35
	25	283.4	2.25	8.1	1.9	105.37
	50	334.4	2.25	8.28	2.1	110.74
	100	407.0	2.25	8.52	2.33	115.55
43	5	159.1	2.2	6.84	1.85	60.68
	10	214.4	2.2	7.47	1.83	75.79
	25	283.4	2.2	8.03	1.99	89.4
	50	334.4	2.2	8.2	2.2	92.44
	100	407.0	2.2	8.41	2.46	96.31



**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
42	5	159.1	2.03	6.8	1.48	51.26
	10	214.4	2.03	7.44	1.5	66.87
	25	283.4	2.03	8.01	1.62	84.42
	50	334.4	2.03	8.17	1.79	89.04
	100	407.0	2.03	8.38	2	94.62
41	5	159.1	2.11	6.76	1.48	94.84
	10	214.4	2.11	7.42	1.48	104.11
	25	283.4	2.11	7.99	1.59	112.62
	50	334.4	2.11	8.16	1.76	115.06
	100	407.0	2.11	8.37	1.97	118.19
40	5	159.1	2.17	6.71	1.32	56.2
	10	214.4	2.17	7.37	1.29	72.75
	25	283.4	2.17	7.95	1.34	83
	50	334.4	2.17	8.11	1.48	86.98
	100	407.0	2.17	8.31	1.64	92.6
39	5	159.1	2.17	6.49	1.96	70.4
	10	214.4	2.17	7.22	1.84	104.64
	25	283.4	2.17	7.81	1.91	116.92
	50	334.4	2.17	7.94	2.13	120.27
	100	407.0	2.17	8.1	2.4	125.17
38	5	159.1	1.72	6.54	1.11	153.16
	10	214.4	1.72	7.27	1.04	177.89
	25	283.4	1.72	7.86	1.08	197.96
	50	334.4	1.72	8	1.2	202.75
	100	407.0	1.72	8.18	1.35	208.97
37	5	159.1	2.23	6.39	1.7	157.32
	10	214.4	2.23	7.25	0.92	225.71
	25	283.4	2.23	7.85	0.88	270.29
	50	334.4	2.23	7.99	0.96	279.86
	100	407.0	2.23	8.17	1.06	293.88
36	5	159.1	1.92	6.42	1.14	272.36
	10	214.4	1.92	7.24	0.87	312.35
	25	283.4	1.92	7.85	0.84	316.77
	50	334.4	1.92	7.99	0.93	317.31
	100	407.0	1.92	8.17	1.03	318.01
35	5	159.1	1.91	6.41	0.8	302.79
	10	214.4	1.91	7.24	0.57	307.42
	25	283.4	1.91	7.84	0.6	307.42
	50	334.4	1.91	7.98	0.67	307.42
	100	407.0	1.91	8.15	0.76	307.42
34	5	159.1	2.06	6.41	0.68	174.82
	10	214.4	2.06	7.23	0.67	181.77
	25	283.4	2.06	7.83	0.75	186.84
	50	334.4	2.06	7.96	0.84	187.99
	100	407.0	2.06	8.13	0.96	189.45

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
33	5	159.1	2.59	6.35	1.05	156.14
	10	214.4	2.59	7.19	0.94	160.11
	25	283.4	2.59	7.79	0.98	160.11
	50	334.4	2.59	7.91	1.1	160.11
	100	407.0	2.59	8.07	1.24	160.11
32	5	159.1	2.59	6.15	1.68	70.67
	10	214.4	2.59	6.98	1.73	140.79
	25	283.4	2.59	7.63	1.59	152.55
	50	334.4	2.59	7.72	1.79	153.29
	100	407.0	2.59	7.82	2.05	154.17
31	5	159.1	2.59	6.17	1.26	158.68
	10	214.4	2.59	7.04	1.04	231.25
	25	283.4	2.59	7.67	1.03	237.85
	50	334.4	2.59	7.77	1.16	238.86
	100	407.0	2.59	7.88	1.32	240.07
30	5	159.1	2.59	4.94	1.69	296.48
	10	214.4	2.59	4.61	3.19	193.14
	25	283.4	2.59	4.9	2.94	294.71
	50	334.4	2.59	5	3.09	299.79
	100	407.0	2.59	5.11	3.28	305.88
29	5	159.1	2.36	4.48	2.9	220.75
	10	214.4	2.36	4.72	1.76	301.48
	25	283.4	2.36	4.91	1.85	328.85
	50	334.4	2.36	5.03	1.92	343.79
	100	407.0	2.36	5.17	2.01	356.22
28	5	159.1	2.49	4.47	0.84	349.67
	10	214.4	2.49	4.63	0.93	361.49
	25	283.4	2.49	4.82	1.04	375.28
	50	334.4	2.49	4.94	1.11	406.52
	100	407.0	2.49	5.08	1.19	430.55
27	5	159.1	2.56	4.39	0.78	364.28
	10	214.4	2.56	4.54	0.89	370.15
	25	283.4	2.56	4.73	1.02	382.62
	50	334.4	2.56	4.84	1.1	391.76
	100	407.0	2.56	4.98	1.2	430.58
26	5	159.1	2.54	4.33	0.61	404.05
	10	214.4	2.54	4.48	0.68	416.55
	25	283.4	2.54	4.67	0.78	428.82
	50	334.4	2.54	4.78	0.85	435.87
	100	407.0	2.54	4.91	0.94	444.07
25	5	159.1	2.57	4.3	0.69	436.84
	10	214.4	2.57	4.45	0.8	521.02
	25	283.4	2.57	4.62	0.93	600
	50	334.4	2.57	4.74	0.99	600
	100	407.0	2.57	4.87	1.07	600

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
24	5	159.1	2.47	4.22	1.21	431.85
	10	214.4	2.47	4.36	1.31	441.32
	25	283.4	2.47	4.54	1.42	452.78
	50	334.4	2.47	4.64	1.55	546.69
	100	407.0	2.47	4.77	1.64	567.98
23	5	159.1	2.32	4.15	0.58	506.78
	10	214.4	2.32	4.29	0.69	590.84
	25	283.4	2.32	4.45	0.79	600
	50	334.4	2.32	4.56	0.86	600
	100	407.0	2.32	4.68	0.94	600
22	5	159.1	2.35	4.04	1.21	414.23
	10	214.4	2.35	4.16	1.33	423.14
	25	283.4	2.35	4.32	1.46	434.87
	50	334.4	2.35	4.42	1.56	442.77
	100	407.0	2.35	4.53	1.68	453.75
20	5	159.1	2.4	4.01	0.45	600
	10	214.4	2.4	4.14	0.53	600
	25	283.4	2.4	4.3	0.63	600
	50	334.4	2.4	4.39	0.7	600
	100	407.0	2.4	4.5	0.78	600
19	5	159.1	2.25	3.99	0.5	600
	10	214.4	2.25	4.12	0.58	600
	25	283.4	2.25	4.27	0.69	600
	50	334.4	2.25	4.36	0.75	600
	100	407.0	2.25	4.47	0.84	600
18	5	159.1	1.82	3.7	2.8	342.51
	10	214.4	1.82	3.77	3.16	363.96
	25	283.4	1.82	3.89	3.42	390.64
	50	334.4	1.82	3.98	3.48	403.55
	100	407.0	1.82	4.04	3.72	405.12
17	5	159.1	1	3.32	0.56	600
	10	214.4	1	3.45	0.64	600
	25	283.4	1	3.66	0.71	600
	50	334.4	1	3.79	0.75	600
	100	407.0	1	3.97	0.8	600
16	5	159.1	0.79	3.29	0.65	490.89
	10	214.4	0.79	3.42	0.76	499.42
	25	283.4	0.79	3.63	0.81	513.18
	50	334.4	0.79	3.76	0.87	518.18
	100	407.0	0.79	3.93	0.92	523.14
15	5	159.1	0.69	3.27	0.52	432.85
	10	214.4	0.69	3.39	0.63	458.46
	25	283.4	0.69	3.59	0.73	512.99
	50	334.4	0.69	3.72	0.79	535.04
	100	407.0	0.69	3.9	0.85	585.77

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
14	5	159.1	1.09	3.23	0.71	600
	10	214.4	1.09	3.34	0.81	600
	25	283.4	1.09	3.54	0.87	600
	50	334.4	1.09	3.67	0.91	600
	100	407.0	1.09	3.84	0.95	600
13	5	159.1	0.89	3.18	0.84	600
	10	214.4	0.89	3.28	0.96	600
	25	283.4	0.89	3.49	0.99	600
	50	334.4	0.89	3.61	1.03	600
	100	407.0	0.89	3.79	1.06	600
12	5	159.1	0.92	3.12	0.91	412.99
	10	214.4	0.92	3.2	1.09	415.49
	25	283.4	0.92	3.41	1.19	421.97
	50	334.4	0.92	3.54	1.26	425.93
	100	407.0	0.92	3.71	1.33	431.51
11	5	159.1	0.81	3.07	0.93	545.99
	10	214.4	0.81	3.12	1.12	564.57
	25	283.4	0.81	3.34	1.14	600
	50	334.4	0.81	3.47	1.17	600
	100	407.0	0.81	3.66	1.19	600
10	5	159.1	0.45	3.05	0.81	499.05
	10	214.4	0.45	3.1	1.01	500.15
	25	283.4	0.45	3.31	1.12	505.01
	50	334.4	0.45	3.44	1.2	507.9
	100	407.0	0.45	3.62	1.27	512.04
9	5	159.1	0.15	3.04	0.49	600
	10	214.4	0.15	3.09	0.6	600
	25	283.4	0.15	3.3	0.68	600
	50	334.4	0.15	3.43	0.72	600
	100	407.0	0.15	3.61	0.78	600
8	5	159.1	0.25	3.01	0.55	499.72
	10	214.4	0.25	3.05	0.64	508.2
	25	283.4	0.25	3.26	0.71	594.6
	50	334.4	0.25	3.38	0.76	599.64
	100	407.0	0.25	3.56	0.81	600
7	5	159.1	0	2.93	1.1	447.59
	10	214.4	0	2.92	1.43	447.02
	25	283.4	0	3.11	1.63	454.82
	50	334.4	0	3.21	1.76	459.21
	100	407.0	0	3.38	1.89	466.12
6	5	159.1	-0.23	2.88	0.61	499.68
	10	214.4	-0.23	2.82	0.82	491.28
	25	283.4	-0.23	2.98	0.97	514.16
	50	334.4	-0.23	3.07	1.07	524.24
	100	407.0	-0.23	3.23	1.17	531.26

**Información de secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS*, para la alternativa cero.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
5	5	159.1	-0.27	2.87	0.61	499.86
	10	214.4	-0.27	2.8	0.81	493.9
	25	283.4	-0.27	2.96	0.96	507.86
	50	334.4	-0.27	3.05	1.06	515.13
	100	407.0	-0.27	3.2	1.15	528.45
4	5	159.1	0.92	2.86	0.42	600
	10	214.4	0.92	2.77	0.85	598.59
	25	283.4	0.92	2.95	0.65	600
	50	334.4	0.92	3.03	0.71	600
	100	407.0	0.92	3.19	0.76	600
3	5	159.1	0.8	2.24	1.63	282.54
	10	214.4	0.8	2.28	2.01	285.04
	25	283.4	0.8	2.56	2.03	303.31
	50	334.4	0.8	2.55	2.37	302.89
	100	407.0	0.8	2.7	2.51	312.73
2	5	159.1	-0.5	2.04	0.71	287.83
	10	214.4	-0.5	2.25	0.81	306.91
	25	283.4	-0.5	2.52	0.91	369.79
	50	334.4	-0.5	2.49	1.08	363.62
	100	407.0	-0.5	2.64	1.2	402.41
1	5	159.1	0.05	1.69	2.51	198.92
	10	214.4	0.05	1.77	3	208.8
	25	283.4	0.05	1.87	3.57	224.53
	50	334.4	0.05	2.07	3.01	287.29
	100	407.0	0.05	2.2	3.13	292.3

Fuente: Adaptada de los resultados del modelo hidráulico *HEC-RAS*.

La información anterior se complementa con el perfil longitudinal, y secciones de interés para cada período de retorno considerado en esta alternativa, las mismas se presentan en el Anexo C.

***Análisis alternativa 0.Situación actual.***

Por lo observado en la simulación de la alternativa 0, se evidencia que la sección transversal del puente de la autopista Morón-Puerto Cabello en el río Sanchón, no es suficiente para transitar los caudales estimados para los diferentes períodos de retorno.

#### 4.2.2. Alternativa 1. Presa de enrocado para control de inundaciones

De acuerdo a lo referido en la metodología de esta alternativa, se realizó el tránsito de crecidas para diferentes situaciones y alturas, arrojando como resultado los valores que se muestran en la Tabla 4.4. Es de hacer notar que, para una altura de presa de 20 metros, a diferentes capacidades, para las estructuras de descarga descritas anteriormente, el nivel del agua sobrepasa el nivel máximo, por lo que los resultados del tránsito, aun cuando matemáticamente puede realizarse el cálculo, no son confiables; esto implica que las estructuras de descarga deberían ser de mayor capacidad para poder desalojar el caudal de entrada eficientemente sin correr riesgos de fallas estructurales de la obra de presa, o mantener el nivel de agua en el embalse en su mínimo.

#### Resultados de los tránsitos para los diferentes escenarios

Tabla 4. 4 Caudales de entrada y Caudales de salida.

CAUDAL MAXIMO DE ENTRADA (m <sup>3</sup> /s)									
Tr/C	H = 20 m			H = 25 m			H = 30 m		
	100%	75%	60%	100%	75%	60%	100%	75%	60%
100	351.41	351.41	351.41	351.41	351.41	351.41	351.41	351.41	351.41
50	296.65	296.65	296.65	296.65	296.65	296.65	296.65	296.65	296.65
5	151.53	151.53	151.53	151.53	151.53	151.53	151.53	151.53	151.53

CAUDAL MAXIMO DE SALIDA (m <sup>3</sup> /s)									
Tr/C	H = 20 m			H = 25 m			H = 30 m		
	100%	75%	60%	100%	75%	60%	100%	75%	60%
100	357.11	353.09	352.64	336.28	336.05	335.40	339.85	338.16	334.38
50	281.95	280.43	270.50	283.99	283.36	282.07	284.45	280.00	272.70
5	140.94	135.57	131.42	145.33	140.97	135.27	144.02	121.39	101.92

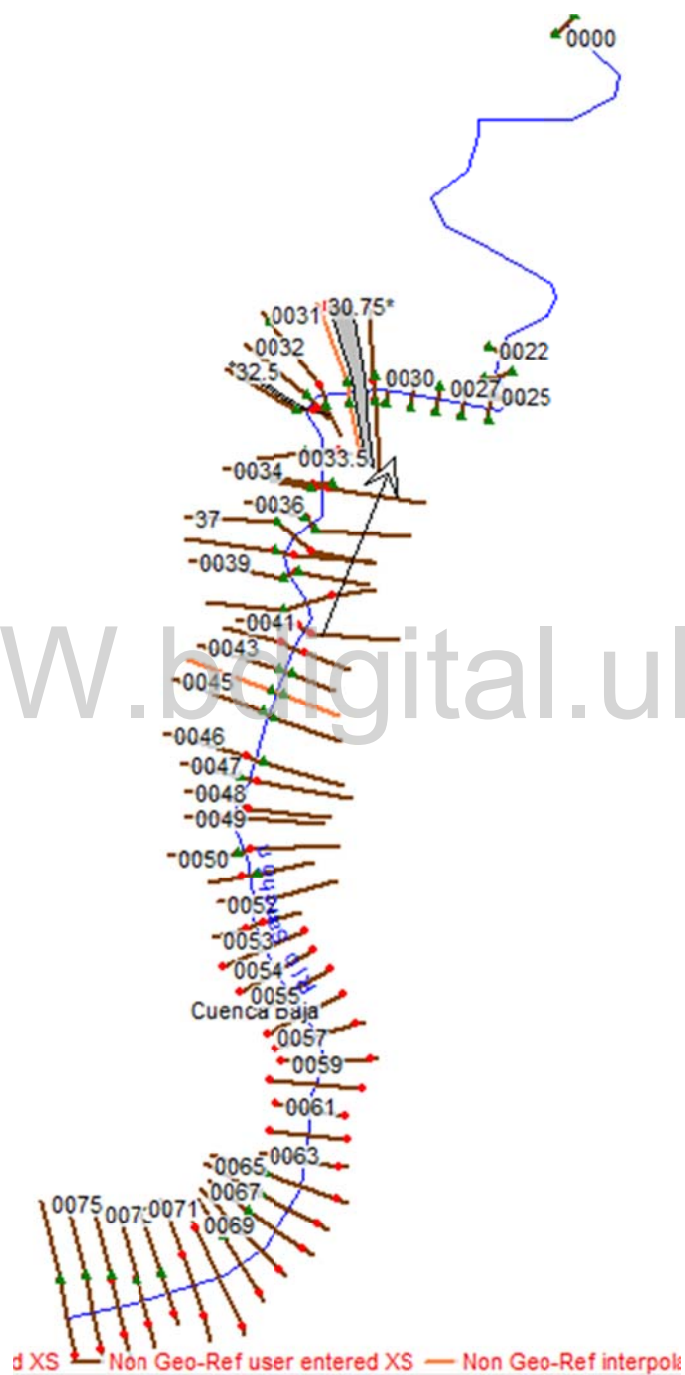
Fuente: Elaboración propia.

#### Análisis alternativa 1. Presa de enrocado para control de inundaciones.

Como resultado, todos los caudales de salida son mayores a 50 m<sup>3</sup>/s lo que hace que la sección transversal del puente de la autopista Morón-Puerto Cabello en el río Sanchón, sea insuficiente para transitar los caudales de salida del embalse, esta alternativa por sí sola, no satisface como solución al control de inundaciones en el río Sanchón.

#### 4.2.3. Alternativa 2. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista.

En la Figura 4.3, se incluye la localización en planta de las secciones transversales con las que se simuló hidráulicamente el río Sanchón.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 3 Secciones en el río Sanchón.

El modelo *HEC- RAS*, proporciona para esta alternativa, información tabulada para cada sección transversal donde se describen las principales características del flujo, siendo de importancia para esta investigación, las siguientes:

**Tabla 4. 5 Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS* para la alternativa 2.**

<i>Información de secciones transversales en el río Sanchón, obtenida del modelo HEC RAS</i>						
<b>Sección</b>	<b>TR (años)</b>	<b>Caudal Total Q(m³/s)</b>	<b>Elev. Mín. canal (m)</b>	<b>Elev.sup. Agua (m)</b>	<b>Veloc. Canal (m/s)</b>	<b>Espejo de agua T(m)</b>
75	5	159.1	7.39	10.09	1.59	91.89
	10	214.4	7.39	10.4	1.72	94.74
	25	283.4	7.39	10.7	1.93	97.57
	50	334.4	7.39	10.93	2.03	99.7
	100	407.0	7.39	11.13	2.22	101.54
74	5	159.1	7.28	9.9	1.83	133.21
	10	214.4	7.28	10.2	1.98	137.6
	25	283.4	7.28	10.46	2.26	140.25
	50	334.4	7.28	10.68	2.38	142.4
	100	407.0	7.28	10.82	2.66	143.81
73	5	159.1	7.18	9.75	1.71	132.6
	10	214.4	7.18	10.05	1.82	141.16
	25	283.4	7.18	10.31	2.07	144.76
	50	334.4	7.18	10.54	2.15	147.97
	100	407.0	7.18	10.65	2.44	149.54
72	5	159.1	7.07	9.51	1.91	151.14
	10	214.4	7.07	9.84	1.96	163.35
	25	283.4	7.07	10.07	2.2	171.24
	50	334.4	7.07	10.33	2.2	179.85
	100	407.0	7.07	10.79	0.82	201.04
71	5	159.1	7.01	9.22	2.01	160.36
	10	214.4	7.01	9.6	1.98	191.28
	25	283.4	7.01	10.16	0.8	208.06
	50	334.4	7.01	10.43	0.84	209.51
	100	407.0	7.01	10.76	0.9	211.31
70	5	159.1	3.33	9.35	0.29	250.81
	10	214.4	3.33	9.73	0.34	257.41
	25	283.4	3.33	10.16	0.39	262.46
	50	334.4	3.33	10.43	0.43	264.36
	100	407.0	3.33	10.77	0.48	266.71



**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo  
HEC RAS para la alternativa 2.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
69	5	159.1	2.12	9.35	0.2	174.93
	10	214.4	2.12	9.73	0.24	178.9
	25	283.4	2.12	10.16	0.28	182.47
	50	334.4	2.12	10.43	0.31	183.56
	100	407.0	2.12	10.77	0.35	184.9
68	5	159.1	1.38	9.35	0.39	149.78
	10	214.4	1.38	9.72	0.46	163.82
	25	283.4	1.38	10.15	0.55	183.16
	50	334.4	1.38	10.42	0.6	191.56
	100	407.0	1.38	10.75	0.66	218.97
67	5	159.1	2.42	9.34	0.48	158.62
	10	214.4	2.42	9.71	0.56	174.44
	25	283.4	2.42	10.14	0.6	201.1
	50	334.4	2.42	10.41	0.65	202.26
	100	407.0	2.42	10.74	0.7	203.68
66	5	159.1	4.04	9.31	0.83	126.33
	10	214.4	4.04	9.67	0.94	137.64
	25	283.4	4.04	10.09	1.07	149.38
	50	334.4	4.04	10.35	1.16	153.12
	100	407.0	4.04	10.66	1.26	157.71
65	5	159.1	5.86	9.2	1.43	118.46
	10	214.4	5.86	9.55	1.53	129.95
	25	283.4	5.86	9.96	1.64	143.45
	50	334.4	5.86	10.21	1.71	148.2
	100	407.0	5.86	10.53	1.79	153.16
64	5	159.1	5.99	9.06	1.63	99.6
	10	214.4	5.99	9.4	1.76	109.84
	25	283.4	5.99	9.8	1.89	121.86
	50	334.4	5.99	10.05	1.97	128.51
	100	407.0	5.99	10.36	2.07	132.73
63	5	159.1	5.86	8.86	1.92	48.51
	10	214.4	5.86	9.18	2.07	52.63
	25	283.4	5.86	9.57	2.24	57.53
	50	334.4	5.86	9.81	2.34	60.59
	100	407.0	5.86	10.12	2.45	63.88
62	5	159.1	5.73	8.7	1.81	56.96
	10	214.4	5.73	9.03	1.92	62.54
	25	283.4	5.73	9.43	2.02	69.24
	50	334.4	5.73	9.68	2.09	73.43
	100	407.0	5.73	10	2.15	78.76
61	5	159.1	5.6	8.45	2.05	50.82
	10	214.4	5.6	8.78	2.17	55.96
	25	283.4	5.6	9.18	2.27	62.25
	50	334.4	5.6	9.43	2.34	66.15
	100	407.0	5.6	9.76	2.4	71.19

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo  
HEC RAS para la alternativa 2.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
60	5	159.1	5.46	8.28	1.79	58.05
	10	214.4	5.46	8.63	1.88	64.14
	25	283.4	5.46	9.05	1.96	71.79
	50	334.4	5.46	9.31	2.01	76.5
	100	407.0	5.46	9.64	2.05	82.63
59	5	159.1	5.31	8.1	1.81	58.72
	10	214.4	5.31	8.46	1.88	65.14
	25	283.4	5.31	8.89	1.94	73.12
	50	334.4	5.31	9.16	1.98	77.99
	100	407.0	5.31	9.51	2.01	84.35
58	5	159.1	5.17	7.75	2.29	51.82
	10	214.4	5.17	8.16	2.25	59.28
	25	283.4	5.17	8.65	2.2	68.28
	50	334.4	5.17	8.94	2.21	73.51
	100	407.0	5.17	9.31	2.2	80.37
57	5	159.1	5.02	7.56	1.87	57.11
	10	214.4	5.02	8.02	1.84	63.24
	25	283.4	5.02	8.54	1.84	70.97
	50	334.4	5.02	8.83	1.88	75.1
	100	407.0	5.02	9.22	1.91	79.77
56	5	159.1	4.55	7.56	1.09	70.71
	10	214.4	4.55	8.02	1.15	76.19
	25	283.4	4.55	8.54	1.23	82.42
	50	334.4	4.55	8.84	1.29	85.93
	100	407.0	4.55	9.22	1.35	90.53
55	5	159.1	4.05	7.52	1.07	65.71
	10	214.4	4.05	7.98	1.15	70.28
	25	283.4	4.05	8.5	1.24	75.46
	50	334.4	4.05	8.79	1.31	78.36
	100	407.0	4.05	9.18	1.39	82.17
54	5	159.1	3.52	7.51	0.92	70.51
	10	214.4	3.52	7.96	1	75.44
	25	283.4	3.52	8.48	1.1	81.48
	50	334.4	3.52	8.78	1.17	84.84
	100	407.0	3.52	9.16	1.24	89.28
53	5	159.1	2.94	7.45	1.23	68.83
	10	214.4	2.94	7.89	1.38	73.81
	25	283.4	2.94	8.4	1.57	79.7
	50	334.4	2.94	8.67	1.7	84.5
	100	407.0	2.94	9.04	1.85	90.85
52	5	159.1	2.62	7.42	1.14	58.68
	10	214.4	2.62	7.87	1.24	77.35
	25	283.4	2.62	8.37	1.35	87.97
	50	334.4	2.62	8.65	1.44	93.8
	100	407.0	2.62	9.02	1.54	100.75

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo  
HEC RAS para la alternativa 2.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
51	5	159.1	2.59	7.27	1.75	70.15
	10	214.4	2.59	7.71	1.94	81.45
	25	283.4	2.59	8.2	2.14	91.76
	50	334.4	2.59	8.46	2.29	95.65
	100	407.0	2.59	8.82	2.44	101.68
50	5	159.1	2.53	7.23	1.67	69.24
	10	214.4	2.53	7.66	1.84	77.2
	25	283.4	2.53	8.15	2.04	86.49
	50	334.4	2.53	8.41	2.2	91.59
	100	407.0	2.53	8.76	2.37	99.17
49	5	159.1	2.53	7.19	1.36	62.94
	10	214.4	2.53	7.62	1.53	74.31
	25	283.4	2.53	8.1	1.73	86.52
	50	334.4	2.53	8.35	1.88	93.42
	100	407.0	2.53	8.7	2.04	102.96
48	5	159.1	2.59	7.11	1.62	61.56
	10	214.4	2.59	7.53	1.75	83.43
	25	283.4	2.59	8.05	1.81	114.27
	50	334.4	2.59	8.31	1.92	123.8
	100	407.0	2.59	8.67	2	136.92
47	5	159.1	2.87	6.97	1.86	57.31
	10	214.4	2.87	7.37	2.09	80.33
	25	283.4	2.87	7.83	2.35	104.13
	50	334.4	2.87	8.18	2.21	120.83
	100	407.0	2.87	8.54	2.31	137.45
46	5	159.1	2.28	6.95	1.54	79.66
	10	214.4	2.28	7.37	1.67	88.92
	25	283.4	2.28	7.85	1.83	102
	50	334.4	2.28	8.16	1.93	111.86
	100	407.0	2.28	8.52	2.05	128.91
45	5	159.1	2.3	6.79	1.74	74.95
	10	214.4	2.3	7.2	1.92	85.38
	25	283.4	2.3	7.66	2.14	100.94
	50	334.4	2.3	7.96	2.26	111.32
	100	407.0	2.3	8.31	2.42	124.06
44	5	159.1	2.25	6.69	1.87	67.67
	10	214.4	2.25	7.09	2.07	77.99
	25	283.4	2.25	7.54	2.29	90.41
	50	334.4	2.25	7.84	2.41	95.97
	100	407.0	2.25	8.18	2.57	107.88
43	5	159.1	2.2	6.57	2.02	55.82
	10	214.4	2.2	6.97	2.18	64.55
	25	283.4	2.2	7.41	2.43	74.47
	50	334.4	2.2	7.7	2.57	81.95
	100	407.0	2.2	8.03	2.76	89.39

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC*  
RAS para la alternativa 2.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
42	5	159.1	2.03	6.51	1.69	47.88
	10	214.4	2.03	6.91	1.82	52.49
	25	283.4	2.03	7.36	2.01	64.25
	50	334.4	2.03	7.65	2.11	73.4
	100	407.0	2.03	7.98	2.26	83.72
41	5	159.1	2.11	6.44	1.7	90.5
	10	214.4	2.11	6.85	1.83	96.04
	25	283.4	2.11	7.31	2	102.47
	50	334.4	2.11	7.61	2.1	106.95
	100	407.0	2.11	7.95	2.24	111.97
40	5	159.1	2.17	6.35	1.56	51.81
	10	214.4	2.17	6.77	1.65	56.91
	25	283.4	2.17	7.22	1.78	66.82
	50	334.4	2.17	7.52	1.84	75.42
	100	407.0	2.17	7.86	1.92	81.56
39	5	159.1	2.17	5.99	2.4	44.68
	10	214.4	2.17	6.36	2.64	63.61
	25	283.4	2.17	6.81	2.82	94.02
	50	334.4	2.17	7.11	2.91	102.47
	100	407.0	2.17	7.45	3.02	109.35
38	5	159.1	1.72	5.94	1.88	130.03
	10	214.4	1.72	6.31	2.09	144.52
	25	283.4	1.72	6.93	1.56	166.24
	50	334.4	1.72	7.24	1.59	176.86
	100	407.0	1.72	7.6	1.65	188.93
37	5	159.1	2.23	5.7	2.39	93.52
	10	214.4	2.23	6.02	2.64	130.99
	25	283.4	2.23	6.57	2.56	171.09
	50	334.4	2.23	6.94	2.38	199.69
	100	407.0	2.23	7.56	1.4	250.1
36	5	159.1	1.92	5.54	2.4	175.39
	10	214.4	1.92	6.07	1.84	235.48
	25	283.4	1.92	6.65	1.65	287.1
	50	334.4	1.92	7.03	1.48	310.22
	100	407.0	1.92	7.55	1.34	315.37
35	5	159.1	1.91	5.6	1.25	296.98
	10	214.4	1.91	6.05	1.23	299.97
	25	283.4	1.91	6.63	1.21	304.5
	50	334.4	1.91	7.03	0.93	307.42
	100	407.0	1.91	7.54	0.92	307.42
34	5	159.1	2.06	5.61	0.96	164.73
	10	214.4	2.06	6.06	1.01	171.81
	25	283.4	2.06	6.63	1.06	176.66
	50	334.4	2.06	7	1.09	179.86
	100	407.0	2.06	7.52	1.12	184.22

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC*  
RAS para la alternativa 2.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
33	5	159.1	2.59	5.48	1.53	143.84
	10	214.4	2.59	5.91	1.62	152.53
	25	283.4	2.59	6.48	1.66	156.98
	50	334.4	2.59	6.88	1.62	159.47
	100	407.0	2.59	7.41	1.55	160.11
32	5	159.1	2.59	4.82	2.73	28.14
	10	214.4	2.59	5.16	3.03	28.3
	25	283.4	2.59	5.67	3.28	55.63
	50	334.4	2.59	6.04	3.38	67.5
	100	407.0	2.59	6.58	3.44	83.71
31	5	159.1	2.59	4.7	2.58	33.77
	10	214.4	2.59	5.06	2.77	45.53
	25	283.4	2.59	5.63	2.79	98.23
	50	334.4	2.59	6.12	2.54	158.06
	100	407.0	2.59	6.79	2.15	205.05
30.5	5	159.1	2.32	4.41	0.78	323.36
	10	214.4	2.32	4.8	0.78	323.36
	25	283.4	2.32	5.26	0.8	323.36
	50	334.4	2.32	5.56	0.81	323.36
	100	407.0	2.32	5.93	0.84	323.36
30	5	159.1	1.62	4.24	1.82	46.68
	10	214.4	1.62	4.59	1.98	48.08
	25	283.4	1.62	5.01	2.17	49.76
	50	334.4	1.62	5.28	2.28	50.81
	100	407.0	1.62	5.61	2.43	51.14
29	5	159.1	1.58	4.22	1.8	46.76
	10	214.4	1.58	4.57	1.96	48.16
	25	283.4	1.58	4.99	2.15	49.85
	50	334.4	1.58	5.26	2.26	50.83
	100	407.0	1.58	5.59	2.42	51.16
28	5	159.1	1.54	4.18	1.8	46.75
	10	214.4	1.54	4.53	1.97	48.15
	25	283.4	1.54	4.95	2.15	49.84
	50	334.4	1.54	5.22	2.27	50.83
	100	407.0	1.54	5.55	2.42	51.16
27	5	159.1	1.49	4.14	1.79	46.79
	10	214.4	1.49	4.49	1.96	48.19
	25	283.4	1.49	4.91	2.14	49.88
	50	334.4	1.49	5.18	2.26	50.84
	100	407.0	1.49	5.51	2.41	51.17
26	5	159.1	1.45	4.1	1.79	46.79
	10	214.4	1.45	4.45	1.96	48.18
	25	283.4	1.45	4.87	2.15	49.87
	50	334.4	1.45	5.14	2.26	50.84
	100	407.0	1.45	5.47	2.41	51.17

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS* para la alternativa 2.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
25	5	159.1	1.41	4.05	1.8	46.78
	10	214.4	1.41	4.4	1.96	48.18
	25	283.4	1.41	4.83	2.15	49.87
	50	334.4	1.41	5.1	2.26	50.84
	100	407.0	1.41	5.43	2.41	51.17
24	5	159.1	1.37	4.01	1.8	46.77
	10	214.4	1.37	4.36	1.96	48.17
	25	283.4	1.37	4.78	2.15	49.86
	50	334.4	1.37	5.06	2.26	50.84
	100	407.0	1.37	5.38	2.41	51.16
23	5	159.1	1.32	3.97	1.79	46.81
	10	214.4	1.32	4.32	1.95	48.21
	25	283.4	1.32	4.74	2.14	49.9
	50	334.4	1.32	5.02	2.26	50.85
	100	407.0	1.32	5.34	2.41	51.17
22	5	159.1	1.28	3.93	1.79	46.81
	10	214.4	1.28	4.28	1.96	48.2
	25	283.4	1.28	4.7	2.14	49.89
	50	334.4	1.28	4.98	2.26	50.84
	100	407.0	1.28	5.3	2.41	51.17
0	5	159.1	0.35	2.98	1.81	46.71
	10	214.4	0.35	3.33	1.98	48.1
	25	283.4	0.35	3.75	2.16	49.79
	50	334.4	0.35	4.02	2.28	50.82
	100	407.0	0.35	4.34	2.43	51.14

Fuente: Adaptada de los resultados del modelo hidráulico *HEC-RAS*.

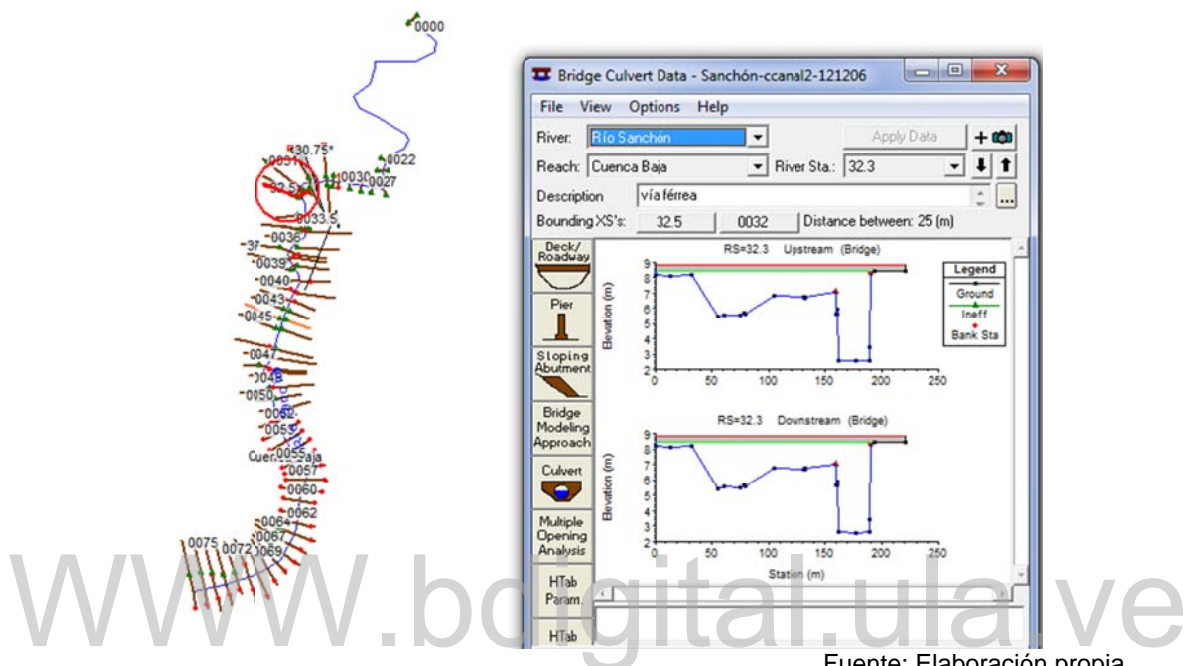
La información anterior se complementa con el perfil longitudinal, y secciones de interés para cada período de retorno considerado en esta alternativa, las mismas se presentan en el Anexo D.

### ***Análisis de la Alternativa 2.***

Como se observa en la tabla 4.5, mostrada anteriormente, la sección del puente de la autopista Morón – Puerto Cabello sobre el río Sanchón es insuficiente para dejar fluir caudales mayores a 159 m<sup>3</sup>/s.

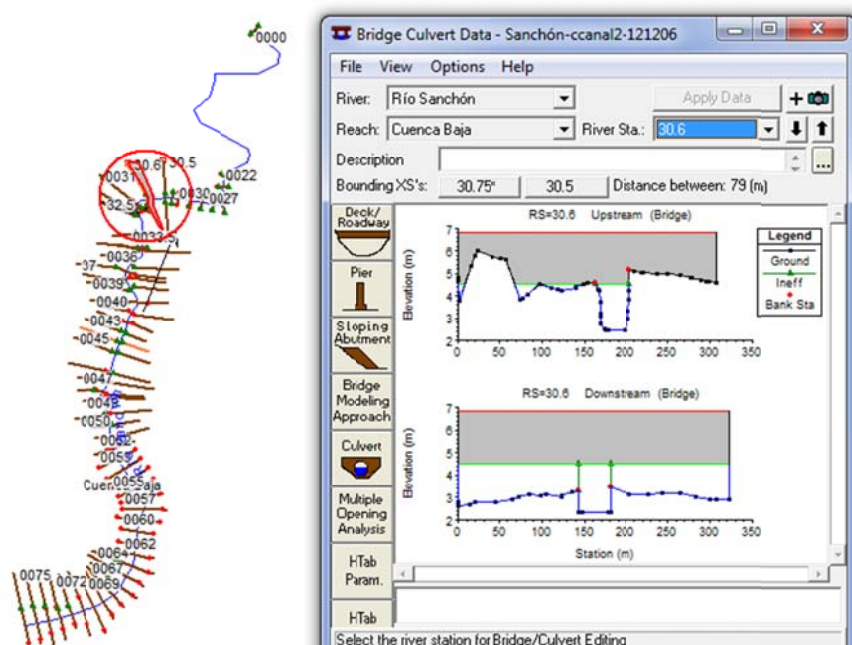
#### 4.2.4. Alternativa 3. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, elevación del puente de la autopista y reconfigurar su sección.

En las Figuras 4.4 y 4.5, se muestra la localización en planta de las secciones transversales con las que se simuló hidráulicamente el río Sanchón y el puente que se plantea en esta alternativa ser elevado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 4 Secciones en el río Sanchón. Puente entre las secciones 32.5 y 32.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 5 Secciones en el río Sanchón. Puente entre las secciones 30.75\* y 30.5.

El modelo *HEC- RAS*, proporciona para esta alternativa, información tabulada para cada sección transversal donde se describen las principales características del flujo, siendo de importancia para esta investigación, las siguientes:

**Tabla 4. 6 Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo *HEC RAS* para la alternativa 3.**

<i>Información de secciones transversales en el río Sanchón, obtenida del modelo HEC RAS</i>						
<b>Sección</b>	<b>TR (años)</b>	<b>Caudal Total Q(m³/s)</b>	<b>Elev. Mín. canal (m)</b>	<b>Elev.sup. Agua (m)</b>	<b>Veloc. Canal (m/s)</b>	<b>Espejo de agua T(m)</b>
75	5	159.1	7.39	10.09	1.59	91.89
	10	214.4	7.39	10.4	1.72	94.74
	25	283.4	7.39	10.7	1.92	97.57
	50	334.4	7.39	10.93	2.03	99.72
	100	407.0	7.39	11.14	2.21	101.63
74	5	159.1	7.28	9.9	1.83	133.21
	10	214.4	7.28	10.2	1.98	137.6
	25	283.4	7.28	10.46	2.26	140.26
	50	334.4	7.28	10.68	2.38	142.43
	100	407.0	7.28	10.84	2.65	143.96
73	5	159.1	7.18	9.75	1.71	132.6
	10	214.4	7.18	10.05	1.82	141.16
	25	283.4	7.18	10.31	2.07	144.79
	50	334.4	7.18	10.54	2.15	148.02
	100	407.0	7.18	10.67	2.41	149.84
72	5	159.1	7.07	9.51	1.91	151.15
	10	214.4	7.07	9.84	1.96	163.36
	25	283.4	7.07	10.07	2.2	171.33
	50	334.4	7.07	10.34	2.19	180.08
	100	407.0	7.07	10.81	0.82	201.11
71	5	159.1	7.01	9.22	2.01	160.36
	10	214.4	7.01	9.6	1.98	191.31
	25	283.4	7.01	10.16	0.79	208.07
	50	334.4	7.01	10.43	0.84	209.54
	100	407.0	7.01	10.78	0.9	211.41
70	5	159.1	3.33	9.35	0.29	250.81
	10	214.4	3.33	9.73	0.34	257.42
	25	283.4	3.33	10.17	0.39	262.48
	50	334.4	3.33	10.44	0.43	264.4
	100	407.0	3.33	10.79	0.47	266.84



**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo HEC  
RAS para la alternativa 3.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
69	5	159.1	2.12	9.35	0.2	174.93
	10	214.4	2.12	9.73	0.24	178.91
	25	283.4	2.12	10.17	0.28	182.48
	50	334.4	2.12	10.44	0.31	183.58
	100	407.0	2.12	10.79	0.35	184.98
68	5	159.1	1.38	9.35	0.39	149.78
	10	214.4	1.38	9.72	0.46	163.84
	25	283.4	1.38	10.15	0.55	183.24
	50	334.4	1.38	10.42	0.6	191.73
	100	407.0	1.38	10.77	0.61	220.07
67	5	159.1	2.42	9.34	0.48	158.62
	10	214.4	2.42	9.71	0.56	174.46
	25	283.4	2.42	10.15	0.6	201.11
	50	334.4	2.42	10.42	0.65	202.28
	100	407.0	2.42	10.76	0.7	203.76
66	5	159.1	4.04	9.31	0.83	126.33
	10	214.4	4.04	9.67	0.94	137.66
	25	283.4	4.04	10.09	1.07	149.43
	50	334.4	4.04	10.35	1.16	153.2
	100	407.0	4.04	10.68	1.26	158
65	5	159.1	5.86	9.2	1.43	118.46
	10	214.4	5.86	9.55	1.53	129.97
	25	283.4	5.86	9.96	1.64	143.57
	50	334.4	5.86	10.22	1.7	148.29
	100	407.0	5.86	10.55	1.78	153.53
64	5	159.1	5.99	9.06	1.63	99.61
	10	214.4	5.99	9.4	1.76	109.86
	25	283.4	5.99	9.8	1.88	121.99
	50	334.4	5.99	10.06	1.96	128.61
	100	407.0	5.99	10.39	2.04	133.12
63	5	159.1	5.86	8.86	1.92	48.51
	10	214.4	5.86	9.18	2.07	52.65
	25	283.4	5.86	9.58	2.23	57.61
	50	334.4	5.86	9.82	2.33	60.72
	100	407.0	5.86	10.16	2.41	64.19
62	5	159.1	5.73	8.7	1.81	56.96
	10	214.4	5.73	9.03	1.92	62.57
	25	283.4	5.73	9.44	2.02	69.37
	50	334.4	5.73	9.69	2.07	73.64
	100	407.0	5.73	10.04	2.11	79.05
61	5	159.1	5.6	8.45	2.05	50.83
	10	214.4	5.6	8.78	2.16	56
	25	283.4	5.6	9.19	2.26	62.43
	50	334.4	5.6	9.45	2.32	66.44
	100	407.0	5.6	9.82	2.33	72.26

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo HEC  
RAS para la alternativa 3.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
60	5	159.1	5.46	8.28	1.79	58.05
	10	214.4	5.46	8.63	1.88	64.21
	25	283.4	5.46	9.06	1.94	72.05
	50	334.4	5.46	9.33	1.99	76.91
	100	407.0	5.46	9.73	1.98	84.09
59	5	159.1	5.31	8.1	1.81	58.73
	10	214.4	5.31	8.46	1.88	65.23
	25	283.4	5.31	8.91	1.92	73.46
	50	334.4	5.31	9.19	1.95	78.5
	100	407.0	5.31	9.61	1.93	86.08
58	5	159.1	5.17	7.75	2.29	51.85
	10	214.4	5.17	8.17	2.24	59.45
	25	283.4	5.17	8.68	2.17	68.8
	50	334.4	5.17	8.98	2.17	74.24
	100	407.0	5.17	9.44	2.08	82.64
57	5	159.1	5.02	7.56	1.87	57.14
	10	214.4	5.02	8.03	1.83	63.41
	25	283.4	5.02	8.57	1.81	71.46
	50	334.4	5.02	8.88	1.84	75.66
	100	407.0	5.02	9.36	1.81	81.44
56	5	159.1	4.55	7.56	1.09	70.74
	10	214.4	4.55	8.03	1.15	76.34
	25	283.4	4.55	8.58	1.21	82.82
	50	334.4	4.55	8.88	1.27	86.48
	100	407.0	4.55	9.36	1.3	92.18
55	5	159.1	4.05	7.53	1.07	65.74
	10	214.4	4.05	8	1.14	70.41
	25	283.4	4.05	8.54	1.23	75.81
	50	334.4	4.05	8.84	1.29	78.83
	100	407.0	4.05	9.32	1.33	83.59
54	5	159.1	3.52	7.51	0.92	70.53
	10	214.4	3.52	7.98	1	75.59
	25	283.4	3.52	8.52	1.08	81.89
	50	334.4	3.52	8.82	1.15	85.41
	100	407.0	3.52	9.3	1.19	90.96
53	5	159.1	2.94	7.45	1.23	68.86
	10	214.4	2.94	7.91	1.38	73.96
	25	283.4	2.94	8.43	1.55	80.35
	50	334.4	2.94	8.73	1.68	85.39
	100	407.0	2.94	9.19	1.78	93.53
52	5	159.1	2.62	7.42	1.14	58.69
	10	214.4	2.62	7.88	1.23	77.65
	25	283.4	2.62	8.41	1.34	88.78
	50	334.4	2.62	8.71	1.42	94.91
	100	407.0	2.62	9.18	1.47	102.56

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo HEC  
RAS para la alternativa 3.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
51	5	159.1	2.59	7.28	1.75	70.23
	10	214.4	2.59	7.72	1.93	81.88
	25	283.4	2.59	8.25	2.11	92.43
	50	334.4	2.59	8.53	2.24	96.72
	100	407.0	2.59	9.01	2.32	104.83
50	5	159.1	2.53	7.23	1.66	69.31
	10	214.4	2.53	7.68	1.83	77.52
	25	283.4	2.53	8.2	2.02	87.43
	50	334.4	2.53	8.47	2.16	92.91
	100	407.0	2.53	8.96	2.24	103.55
49	5	159.1	2.53	7.19	1.36	63.03
	10	214.4	2.53	7.63	1.52	74.81
	25	283.4	2.53	8.15	1.71	87.89
	50	334.4	2.53	8.42	1.84	95.32
	100	407.0	2.53	8.91	1.93	110
48	5	159.1	2.59	7.11	1.62	61.76
	10	214.4	2.59	7.56	1.73	84.49
	25	283.4	2.59	8.1	1.78	116.32
	50	334.4	2.59	8.38	1.86	126.56
	100	407.0	2.59	8.88	1.86	144.69
47	5	159.1	2.87	6.97	1.86	57.75
	10	214.4	2.87	7.39	2.08	81.61
	25	283.4	2.87	7.89	2.3	107.59
	50	334.4	2.87	8.27	2.14	124.73
	100	407.0	2.87	8.79	2.13	147.74
46	5	159.1	2.28	6.96	1.53	79.88
	10	214.4	2.28	7.4	1.65	89.59
	25	283.4	2.28	7.92	1.79	104.17
	50	334.4	2.28	8.26	1.87	117.81
	100	407.0	2.28	8.78	1.9	135.61
45	5	159.1	2.3	6.8	1.73	75.18
	10	214.4	2.3	7.24	1.89	85.74
	25	283.4	2.3	7.75	2.08	104.03
	50	334.4	2.3	8.08	2.18	115.68
	100	407.0	2.3	8.62	2.2	135.3
44	5	159.1	2.25	6.7	1.86	68
	10	214.4	2.25	7.13	2.04	78.98
	25	283.4	2.25	7.64	2.21	91.85
	50	334.4	2.25	7.98	2.31	101.06
	100	407.0	2.25	8.53	2.32	115.7
43	5	159.1	2.2	6.58	2.01	56.04
	10	214.4	2.2	7.02	2.14	65.63
	25	283.4	2.2	7.53	2.34	77.13
	50	334.4	2.2	7.86	2.45	86.24
	100	407.0	2.2	8.42	2.45	96.44

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo HEC  
RAS para la alternativa 3.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
42	5	159.1	2.03	6.52	1.68	48.05
	10	214.4	2.03	6.97	1.78	53.1
	25	283.4	2.03	7.49	1.92	68.19
	50	334.4	2.03	7.82	2	78.53
	100	407.0	2.03	8.39	2	94.74
41	5	159.1	2.11	6.45	1.69	90.7
	10	214.4	2.11	6.91	1.79	96.82
	25	283.4	2.11	7.45	1.91	104.5
	50	334.4	2.11	7.79	1.98	109.55
	100	407.0	2.11	8.37	1.97	118.31
40	5	159.1	2.17	6.37	1.54	52.05
	10	214.4	2.17	6.83	1.61	57.71
	25	283.4	2.17	7.37	1.68	72.62
	50	334.4	2.17	7.71	1.71	78.92
	100	407.0	2.17	8.32	1.64	92.83
39	5	159.1	2.17	6.02	2.37	50.18
	10	214.4	2.17	6.46	2.54	67.83
	25	283.4	2.17	7.04	2.57	101.25
	50	334.4	2.17	7.42	2.57	108.67
	100	407.0	2.17	8.11	2.39	125.49
38	5	159.1	1.72	5.97	1.85	131.31
	10	214.4	1.72	6.55	1.43	153.45
	25	283.4	1.72	7.14	1.42	173.6
	50	334.4	1.72	7.52	1.42	186.42
	100	407.0	1.72	8.19	1.34	209.35
37	5	159.1	2.23	5.74	2.35	98.47
	10	214.4	2.23	6.25	2.36	146.23
	25	283.4	2.23	6.92	2.08	197.91
	50	334.4	2.23	7.5	1.22	245.41
	100	407.0	2.23	8.18	1.05	294.67
36	5	159.1	1.92	5.59	2.36	177.69
	10	214.4	1.92	6.3	1.57	261.88
	25	283.4	1.92	6.97	1.38	308.03
	50	334.4	1.92	7.48	1.16	314.73
	100	407.0	1.92	8.18	1.02	318.05
35	5	159.1	1.91	5.65	1.21	297.86
	10	214.4	1.91	6.28	1.09	301.8
	25	283.4	1.91	6.95	1.06	307.05
	50	334.4	1.91	7.48	0.79	307.42
	100	407.0	1.91	8.18	0.76	307.42
34	5	159.1	2.06	5.66	0.94	166.04
	10	214.4	2.06	6.29	0.92	173.76
	25	283.4	2.06	6.95	0.95	179.42
	50	334.4	2.06	7.46	0.96	183.74
	100	407.0	2.06	8.16	0.95	189.65

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo HEC  
RAS para la alternativa 3.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
33	5	159.1	2.59	5.54	1.49	144.9
	10	214.4	2.59	6.17	1.46	154.99
	25	283.4	2.59	6.86	1.4	159.34
	50	334.4	2.59	7.38	1.32	160.11
	100	407.0	2.59	8.1	1.23	160.11
32.5	5	159.1	2.59	5.12	2.4	28.28
	10	214.4	2.59	5.79	2.42	59.76
	25	283.4	2.59	6.45	2.58	79.68
	50	334.4	2.59	7.1	2.29	148.03
	100	407.0	2.59	7.93	1.97	155.06
32.3	Puente					
32	5	159.1	2.59	4.96	2.57	28.2
	10	214.4	2.59	5.68	2.52	55.97
	25	283.4	2.59	6.34	2.65	76.57
	50	334.4	2.59	6.91	2.66	133.26
	100	407.0	2.59	7.89	2	154.74
31	5	159.1	2.59	4.87	2.36	39.83
	10	214.4	2.59	5.66	2.12	102.19
	25	283.4	2.59	6.43	1.84	171.42
	50	334.4	2.59	7.05	1.6	231.32
	100	407.0	2.59	7.94	1.31	240.73
30.6	Puente					
30.5	5	159.1	2.32	4.23	2.34	323.36
	10	214.4	2.32	4.56	2.56	323.36
	25	283.4	2.32	5.11	2.11	323.36
	50	334.4	2.32	5.45	1.89	323.36
	100	407.0	2.32	5.84	1.74	323.36
30	5	159.1	1.62	4.26	1.8	46.76
	10	214.4	1.62	4.6	1.97	48.11
	25	283.4	1.62	5	2.17	49.73
	50	334.4	1.62	5.26	2.3	50.77
	100	407.0	1.62	5.57	2.46	51.1
29	5	159.1	1.58	4.24	1.78	46.85
	10	214.4	1.58	4.58	1.96	48.2
	25	283.4	1.58	4.98	2.16	49.82
	50	334.4	1.58	5.24	2.28	50.81
	100	407.0	1.58	5.56	2.44	51.13
28	5	159.1	1.54	4.2	1.78	46.85
	10	214.4	1.54	4.54	1.96	48.2
	25	283.4	1.54	4.94	2.16	49.73
	50	334.4	1.54	5.2	2.29	50.36
	100	407.0	1.54	5.51	2.45	50.67
27	5	159.1	1.49	4.16	1.77	46.97
	10	214.4	1.49	4.5	1.95	48.32
	25	283.4	1.49	4.9	2.15	49.94
	50	334.4	1.49	5.16	2.28	50.92
	100	407.0	1.49	5.47	2.44	51.25

**Información de las secciones transversales en el Río Sanchón, obtenida del modelo HEC  
RAS para la alternativa 3.**

Continuación

Sección	TR (años)	Caudal Total Q(m <sup>3</sup> /s)	Elev. Mín. canal (m)	Elev.sup. Agua (m)	Veloc. Canal (m/s)	Espejo de agua T(m)
26	5	159.1	1.45	4.12	1.77	46.9
	10	214.4	1.45	4.46	1.95	48.23
	25	283.4	1.45	4.86	2.15	49.84
	50	334.4	1.45	5.11	2.28	50.81
	100	407.0	1.45	5.43	2.44	51.13
25	5	159.1	1.41	4.08	1.77	46.9
	10	214.4	1.41	4.42	1.95	48.23
	25	283.4	1.41	4.82	2.16	49.74
	50	334.4	1.41	5.07	2.29	50.36
	100	407.0	1.41	5.38	2.45	50.67
24	5	159.1	1.37	4.04	1.77	46.9
	10	214.4	1.37	4.38	1.95	48.22
	25	283.4	1.37	4.77	2.16	49.81
	50	334.4	1.37	5.03	2.29	50.81
	100	407.0	1.37	5.34	2.45	51.12
23	5	159.1	1.32	4.01	1.76	46.95
	10	214.4	1.32	4.34	1.94	48.27
	25	283.4	1.32	4.73	2.16	49.85
	50	334.4	1.32	4.98	2.29	50.81
	100	407.0	1.32	5.29	2.45	51.12
22	5	159.1	1.28	3.97	1.76	46.95
	10	214.4	1.28	4.3	1.94	48.27
	25	283.4	1.28	4.69	2.15	49.84
	50	334.4	1.28	4.94	2.28	50.81
	100	407.0	1.28	5.25	2.45	51.12
0	5	159.1	0.35	2.51	2.36	44.83
	10	214.4	0.35	2.78	2.58	45.93
	25	283.4	0.35	3.12	2.83	47.26
	50	334.4	0.35	3.33	2.98	48.13
	100	407.0	0.35	3.6	3.17	49.21

Fuente: Adaptada de los resultados del modelo hidráulico HEC-RAS.

La información anterior se complementa con el perfil longitudinal, y secciones de interés para cada período de retorno considerado en esta alternativa, las mismas se presentan en el Anexo E.

### **Análisis de la alternativa 3**

La alternativa 3, es la posible solución a los problemas de inundación ocasionados por el río Sanchón en el puente de la autopista Morón – Puerto Cabello, ya que drena el caudal para los períodos de retorno simulados.

### 4.3. Estimación de las áreas de inundación para cada período de retorno considerado

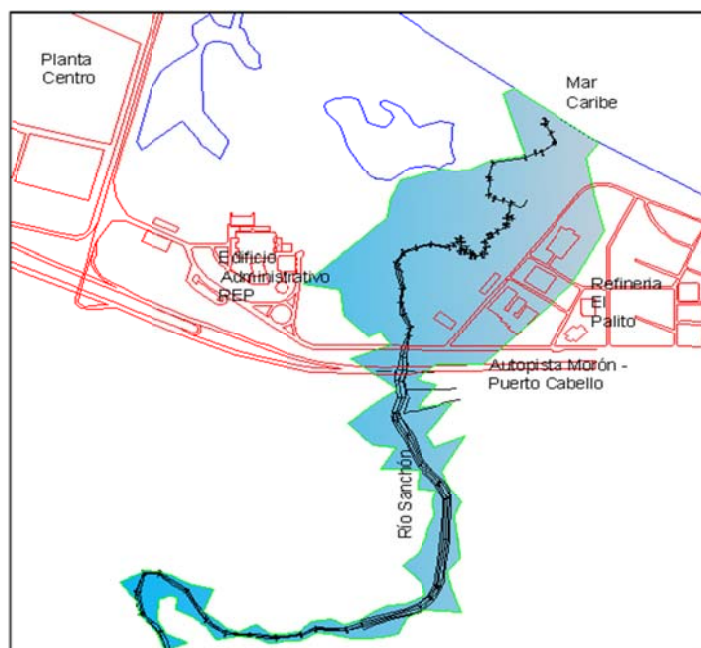
En la Figura 4.6, se muestra la hoja de cálculo para la margen derecha de igual manera existe una para la margen izquierda, en esta se presenta Extremo derecho de la sección en coordenadas UTM (m) de igual manera el borde del canal y la distancia del alcance del agua en la sección, en la parte derecha se presenta el valor para el área en la margen derecha y el valor para el área total, es de aclarar que se debe introducir los datos para la margen izquierda para que el valor del área total aproximado sea calculado.

**Figura 4. 6 Hoja de cálculo para estimar áreas de inundación.**

MARGEN DERECHO				Distancia mancha de inundación (m)		
UBICACION	Id sección	Este (m)	Norte (m)			
Extremo Derecho	75	464646.359	334474.269	51.51	AREA TOTAL	346704.47 m <sup>2</sup>
Canal margen derecho		464633.58	334470.352		(Margen derecho )=	34.67 ha
Extremo Derecho	74	464641	334525.18	6.08		
Canal margen derecho		464618.327	334517.76			
Extremo Derecho	73	464654.398	334622.88	6.14		
Canal margen derecho		464586.584	334559.808			
Extremo Derecho	72	464620.182	334658.539	3.98		
Canal margen derecho		464552.781	334596.497			
Extremo Derecho	71	464634.61	334657.096	30.55		
Canal margen derecho		464544.33	334641.225			
Extremo Derecho	70	464630.694	334658.333	141.48		
Canal margen derecho		464543.093	334685.747			
Extremo Derecho	68	464595.654	334635.866	6.77	AREA TOTAL (dos	580178.90 m <sup>2</sup>
Canal margen derecho		464598.745	334728.825		margenes) =	58.018 ha
Extremo Derecho	67	464582.05	334627.827	27.35		
Canal margen derecho		464635.228	334702.855			
Extremo Derecho	66	464623.274	334598.971	19.87		
Canal margen derecho		464676.658	334673.998			
Extremo Derecho	65	464624.51	334588.458	34.11		
Canal margen derecho		464702.835	334636.072			
Extremo Derecho	64	464650.069	334545.792	17.73		
Canal margen derecho		464729.013	334593.405			

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta como ejemplo la mancha de inundación para un período de retorno correspondiente a 25 años, en la Figura 4.7.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4. 7 Mancha de inundación probable en el río Sanchón, para el período de retorno ( $t_r$ ) de 25 años.**

Las manchas de inundación para los demás periodos de retorno de interés para esta investigación, se presentan en el Anexo F.

#### **4.4. Comparación técnica de las alternativas consideradas**

Referente a la alternativa 1 (embalse sobre el río Sanchón), este no es suficiente para amortiguar los caudales picos para los diferentes períodos de retorno considerados, se descarta desde el punto de vista técnico como posible solución a los problemas de inundación causados por este río.

En cuanto a la alternativa 2 (construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista), el canal mejora el tránsito de los caudales para los diferentes períodos de retorno, pero la sección del puente de la autopista Morón – Puerto Cabello es insuficiente para transitar caudales superiores a  $159 \text{ m}^3/\text{s}$ , esta alternativa por sí sola, no es solución para el control de las inundaciones en el río Sanchón.

Se considera la alternativa 3 (construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, adicionando una elevación al puente y reconfigurando el sección), como la solución a los problemas causados por las inundaciones del río Sanchón.



#### 4.5. Costos estimados para la alternativa solución, teóricamente posible alternativa 3.

En la Tabla 4.7, se muestra una estimación preliminar de costos para la alternativa solución.

**Tabla 4. 7 Estimación preliminar de costos para la alternativa 3**

<b>Canal en Concreto</b>	
<b>Volumen Concreto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,225.50</b>
<b>Costo concreto (Bs/m<sup>3</sup>)</b> <b>[Rcc = 250 Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>1.000.000,00</b>
<b>Total (Bs)</b>	<b>1.225.500.000,00</b>
<b>Total (US\$)</b>	<b>570.000,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6. Valoración económica de la alternativa 3, teóricamente la alternativa solución para el caso estudiado.

Los costos se refieren exclusivamente a valores de concreto colocado en el sitio, no se incluyen movimiento de tierra y otras actividades, dado que, por el nivel de este estudio, solo se propone una estimación de la alternativa solución, y no se desarrolla la ingeniería de esta.

Se hace la relación teniendo en cuenta estrictamente

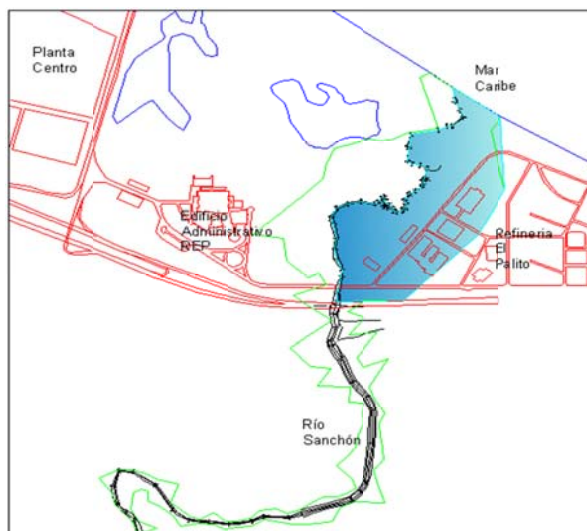
Se presenta en la Tabla 4.8, el resumen de las áreas obtenidas para cada período de retorno, dichas áreas están representadas en metros y hectáreas y para cada margen.

**Tabla 4. 8 Áreas probables de inundación respecto a los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años en el río Sanchón**

<b>tr (años)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		<b>Total (m2)</b>	<b>Área (hectáreas)</b>		<b>Total (hectáreas)</b>
	<b>Margen Derecho</b>	<b>Margen Izquierdo</b>		<b>Margen Derecho</b>	<b>Margen Izquierdo</b>	
5	211900,28	260659,09	472559,37	21,19	26,07	47,26
10	226978,15	322309,04	549287,20	22,70	32,23	54,93
25	431139,20	368916,60	800055,80	43,11	36,89	80,01
50	442076,61	388382,75	830459,36	44,21	38,84	83,05
100	450188,99	414197,07	864386,06	45,02	41,42	86,44

Fuente: Elaboración propia.

Estas áreas que se muestran, representan las áreas totales para cada margen. En el cálculo de la relación beneficio – costo realizado en este estudio, se utilizaron las áreas correspondientes a la margen derecha del río Sanchón desde la progresiva 1+500,00 hasta la desembocadura en el Mar Caribe, Golfo Triste, ya que éstas tienen influencia directa sobre la nuevas instalaciones de la Refinería El Palito, las áreas afectadas en la margen izquierda no producen pérdidas económicas a la refinería (Ver Figura 4.8).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4. 8 Mancha de inundación probable en el río para un  $tr$  de 25 años que afectaría directamente las instalaciones nuevas de la refinería el Palito.**

En el cálculo del valor esperado para los daños ocasionados por las inundaciones del río Sanchón a las nuevas instalaciones de la Refinería El Palito, se consideró que es posible limpiar 10.000,00 m<sup>2</sup> por día y que el costo del día de parada para las nuevas instalaciones debería ser próximo al 1.000.000,00 dólares, ya que estas instalaciones son mayores que las actuales; además, se requieren de 2 a 3 días para el arranque de la planta.

La Tabla 4.9, resume el valor del daño esperado ocasionado por las inundaciones para los diferentes períodos de retorno, y se considera el costo del canal en el río Sanchón para obtener la relación beneficio – costo. Calculado a una tasa de cambio de 2150 Bs/\$.

**Tabla 4. 9 Áreas probables para las manchas de inundación para los tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años en el río Sanchón.**

$tr$ (años)	Área (m <sup>2</sup> )	Daño (US\$)
5	224.323,1	35.891.937,78
10	278.981,6	44.637.290,75
25	319.188,2	51.070.352,41
50	333.034,6	53.285.781,87
100	354.229,0	56.676.882,37
<b>Daño esperado (US\$)</b>		<b>242.362.245,19</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.10, se aprecia que la relación beneficio – costo es >> a 1, lo que indica que los ingresos son mayores a los egresos, por lo tanto el proyecto es aconsejable.

**Tabla 4. 10 Relación Beneficio-Costo.**

<b>Daño evitado (US\$)</b>	242.362.245,19
<b>Costo del canal (US\$)</b>	570.000,00
<b>Relación Costo/Beneficio</b>	425.20

Fuente: Elaboración propia.

WWW.bdigital.ula.ve

## **Capítulo 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

- La metodología propuesta para sistematizar los estudios de inundaciones es sencilla y fácil de aplicar, pero presenta algunas limitaciones que se deben considerar al momento de ubicar la información, como lo son: el acceso y la inexistencia de los datos hidrológicos con los que se estiman los caudales máximos para los diferentes períodos de retorno, de igual manera la información referente a las secciones transversales detalladas del cauce, que permiten identificar los puntos de interés del río.
- Como primera parte del estudio, se hace indispensable recopilar toda la información disponible en la zona de interés. Aun cuando no toda la información exista, debe recopilarse la mayor cantidad de datos disponibles, así como su validación.
- Con la información obtenida, se procede, entonces, a definir el modelo hidrológico a utilizar, no siendo restrictivo, pues de acuerdo a la información disponible, y al nivel del estudio, pueden adoptarse diferentes métodos para el análisis hidráulico de la cuenca en estudio.
- El método de cálculo dependerá, entre otros aspectos, del nivel del estudio, así como de la información disponible, en este trabajo.
- Con la finalidad de producir datos confiables y de buena precisión, es indispensable contar con una buena información topográfica del sitio de estudio, siendo un factor importante para definir el nivel de detalle de la información topográfica, el nivel del estudio llevado a cabo.
- Se da por entendido que el comportamiento hidrológico - hidráulico del sistema, está íntimamente ligado a la configuración orográfica de la cuenca en estudio.
- El modelo hidráulico, responsable de reproducir el comportamiento del río bajo ciertas condiciones hidrológicas, debe caracterizarse según lo representado en este esquema, utilizando como patrón la información mínima necesaria requerida por un modelo matemático como el HEC-RAS.

- Todo problema tiende a poder ser resuelto mediante una o más vías, por lo que debe realizarse un estudio técnico de las diferentes posibilidades de solución, selección de alternativas.
- Para cada alternativa analizada, es conveniente, con la finalidad de establecer su aplicabilidad, someterla al análisis económico respectivo, de acuerdo al esquema presentado, lo que resultará en una herramienta de utilidad para el decisor al momento de evaluar la implementación de la solución adoptada.
- La sección del puente es insuficiente para transitar un caudal de 159 m<sup>3</sup>/s, obtenido para un período de retorno de 5 años, para un período de retorno mayor se represará detrás del puente y buscara salir por los extremos buscando las zonas más bajas.
- En la alternativa 1, presa de enrocado en el río Sanchón para el control de inundaciones, no es solución a los problemas de inundación ya que el embalse amortigua poco los caudales de crecida para los diferentes períodos de retorno.
- En la alternativa 2, canal aguas abajo del puente de la autopista, no soluciona los problemas de inundación causados por el río Sanchón, ya que la sección transversal del puente de la autopista Morón – Puerto Cabello es insuficiente para transitar un caudal de 159 m<sup>3</sup>/s.
- La alternativa 3, construcción del canal aguas abajo del puente de la autopista Morón – Puerto Cabello y elevación de 1,5 metros (m) del puente, es la alternativa simulada que resultó corregir los problemas de inundación causados por el río.
- Para la expansión de la Refinería El Palito se debe considerar aplicar la alternativa solución (Alternativa 3), ya que de no aplicarla causara grandes pérdidas financieras y económicas a la refinería por la inundación que pueda ocurrir y paralizar los trabajos en ella. Pérdidas que fueron calculadas en base a un dato suministrado por la refinería, y que estimados pueden alcanzar el valor en dólares de 242.362.245,19, suma que es bastante importante calculada en basa a la tasa oficial del 2012.
- Aguas abajo del puente de la autopista, se presenta una pendiente muy baja, originando grandes depósitos de sedimentos, contribuyendo al represamiento o desborde del río en esta área.

### **Recomendaciones**

En relación a la problemática mencionada anteriormente, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar el comportamiento hidráulico del cauce en el tramo estudiado:

- Se recomienda realizar el mantenimiento del cauce periódicamente, para mejorar la conductividad del canal y de la sección aguas abajo del puente de la autopista Morón – Puerto Cabello en el río Sanchón.
- Se recomienda aplicar la alternativa 3, obtenida de esta investigación, para controlar los efectos que puedan causar las inundaciones provocadas por el río Sanchón.
- Se recomienda mejorar la conducción aguas abajo del puente de la autopista hasta la desembocadura del río Sanchón con el mar, realizando la construcción de una canal capaz de captar el caudal aportado por una crecida para un período de retorno ( $t_r$ ) de 50 años. Este canal va desde la Progresiva 0+00,00 hasta la Progresiva 1+500,00.

WWW.bdigital.ula.ve

## Referencias Bibliográficas

Aguirre, J. (1998). Hidráulica de canales. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Mérida, Venezuela.

CIDIAT, ULA, (2007). Estudio hidrológico e hidráulico del río Sanchon. El Palito, Carabobo, Venezuela.

Coplanarh. (1974). Glosario de términos geomorfológicos. Publicación N° 33. 57 pp. Caracas, República Bolivariana de Venezuela.

Derruau, Max. (1966). Geomorfología. Ariel, 442 pp. Barcelona, España.

Emel y Madriz (1962). Zonas de Vida de Venezuela. Mac Dirección de investigación, 266 pp.

Gonzáles de Juana y Picard Cadillat. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas sedimentarias .II Tomo Ediciones Foninves, 1031 pp. Caracas, República Bolivariana de Venezuela.

Goosen, (D). (1968). Interpretación de las Fotos aéreas y su importancia en el levantamiento de suelos. FAO, Roma, Italia.

Maza, J, A., (1967). Erosion del cauce de un río en el cruce de un puente. Ingeniería Hidráulica de México, Vol, XXI, Nos. 1 y 2.

Menéndez, A. (1966). Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe. Editorial Sucre Caracas.

Noalsa, SL. (1999). Estudio de incidencia ambiental en el T. M. de Murillo, El Cuende, Navarra, España.

Nanía S, Leonaredo. (2007), Manual básico de HRC HMS 3.0.0. Universidad de Granada. Granada, España.

Nanía S, Leonaredo. (2007), Manual básico de HRC RAS 3.1.3. Universidad de Granada. Granada, España.

PDVSA. Refinería El Palito. Manejo Integral de cuencas. Cuenca del Río Sanchón. VI Jornadas de seguridad industrial. El Palito Puerto Cabello.

Thornbury, (WDF). (1966). Principios de geomorfología. Ediciones Kapeluz. Buenos Aires, Argentina.

Vila, Antonio. (1966) .Aspectos geográficos del estado Yaracuy. CVF. Caracas, 191 pp.

Vila, Antonio. (1966) .Aspectos geográficos del estado Carabobo. CVF. Caracas, 191 pp.

Vivas, L, Cabello, D y Ferrer, C. (1975). Métodos de levantamiento Geomorfológico con especial referencia a Venezuela. 30 pp. Universidad de Los Andes, Mérida.

Vivas, Lionel. (1966). Métodos de investigación Hidrogeomorfológica aplicado al estudio de una cuenca Hidrográfica (Caso de la cuenca del Rubión SE. Francia. Revista Geográfica. Vol VII N° 16-.17). Universidad de Los Andes, Mérida.

WWW.bdigital.ula.ve



**Anexo A**  
**MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES**

Tabla A.1 Medidas de protección contra Inundaciones					
Impactos Negativos Potenciales					Medias de Atenuación
Directos					
1.	Inundaciones de la zona aluvial aguas abajo, de menor magnitud, pero de mayor duración, debido al agua que se libera de la represa.			1.	Se debe fomentar la adaptación, cambiando las prácticas agrícolas.
2.	Potencial de tener fallas estructurales y crecientes más altas de las que las estructuras/medidas de control puedan soportar, causando un mayor riesgo para la vida y la propiedad, porque se relajan o se abandonan las adaptaciones que existieron antes del proyecto, o porque se ha producido mayor desarrollo en la zona aluvial después del proyecto.			2.	Es necesario implementar medidas no estructurales para prevenir el mayor riesgo de inundación, e implementar un sistema de alarma.
3.	Se interrumpe el ciclo de enriquecimiento y el reabastecimiento del agua freática de los suelos de los terrenos aluviales			3.	Si existen represas, se puede lograr un efecto parcial de atenuación, regulando la descarga para imitar la inundación natural de una manera controlada.
5.	Efectos negativos sobre la pesca y los otros recursos acuáticos, debido a la interrupción de las rutas migratorias, degradación del hábitat y cambios en la calidad del agua (por ejemplo, la concentración de sedimento), que reduce la productividad de la pesca costanera, marina y de río.			5.	<ul style="list-style-type: none"><li>Se pueden instalar pasos para los peces. Hay que proteger sus sitios de reproducción;</li><li>Se debe incluir el manejo de la pesca, incluyendo los criaderos y los programas de renovación.</li></ul>
6.	Efectos negativos de las medidas de canalización. <ul style="list-style-type: none"><li>Se interrumpe el hábitat de los peces, debido a la eliminación de los charcos, rápidos e irregularidades del lecho;</li><li>Se aumenta la temperatura del agua al limpiar la vegetación que se</li></ul>			6.	<ul style="list-style-type: none"><li>Debe haber una selección cuidadosa de las opciones de ingeniería en la etapa de planificación.</li><li>Hay que limitar la magnitud de la modificación o mantenimiento del canal.</li><li>Es necesario implementar medidas de atenuación después de la fase de construcción.</li><li>Se debe minimizar la reducción de</li></ul>

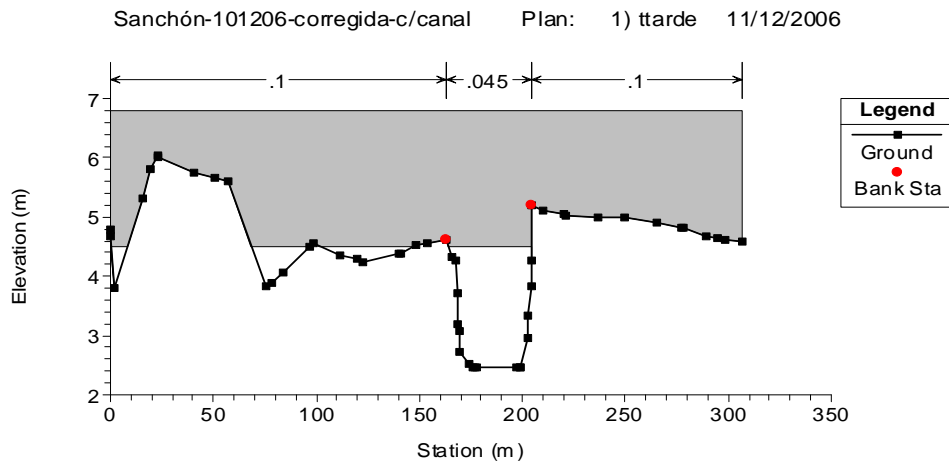
6	<p>encuentra en la corriente, o en las orillas;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se producen mayores problemas de erosión y sedimentación; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se causa erosión del lecho y de las orillas;</li> </ul> </li> <li>• Se producen inundaciones y sedimentación aguas abajo.</li> </ul>		<p>longitud del canal y conservar algunos meandros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay que limitar la excavación y el relleno.</li> <li>• Es importante limitar la destrucción de la vegetación de las orillas, y la que se encuentra junto al río.</li> <li>• Se puede volver a sembrar o plantar vegetación en la orillas.</li> <li>• Se debe excavar una de las orillas, y no ambas, etc. (Ver Brookes 1988).</li> </ul>
7.	<p>Efectos adversos de la construcción.</p>	7.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se pueden reducir los efectos, evitando las obstrucciones al drenaje natural, el flujo incontrolado y erosión del suelo, y la contaminación atmosférica.</li> <li>• Hay que asegurar que se rellenen, adecuadamente, las áreas aprobadas; se debe controlar el desbroce del terreno y la eliminación de los desechos de este proceso.</li> <li>• Es necesario limitar el acceso de los vehículos a las orillas del río</li> <li>•</li> </ul>
<b>Indirectos</b>			
10.	Obstaculización (riveras, diques, etc.) del movimiento de la fauna.	10.	Se pueden construir puentes o lugares especiales de cruce.

11.	Pérdida de tierras silvestres y el hábitat de la fauna.	11.	Es necesario identificar los hábitats críticos, y planificar las medidas necesarias para controlar las inundaciones, de tal manera que se reduzcan los efectos al mínimo. Si los hábitats o las especies dependen del régimen natural de inundación, hay que limitar, tanto como sea posible, la interrupción del flujo en esa área.
12.	Se crean problemas de inundación aguas abajo.	12.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay que proteger las áreas naturales de desbordamiento, aguas abajo;</li> <li>• Se pueden crear depresiones de rebosamiento.</li> </ul>

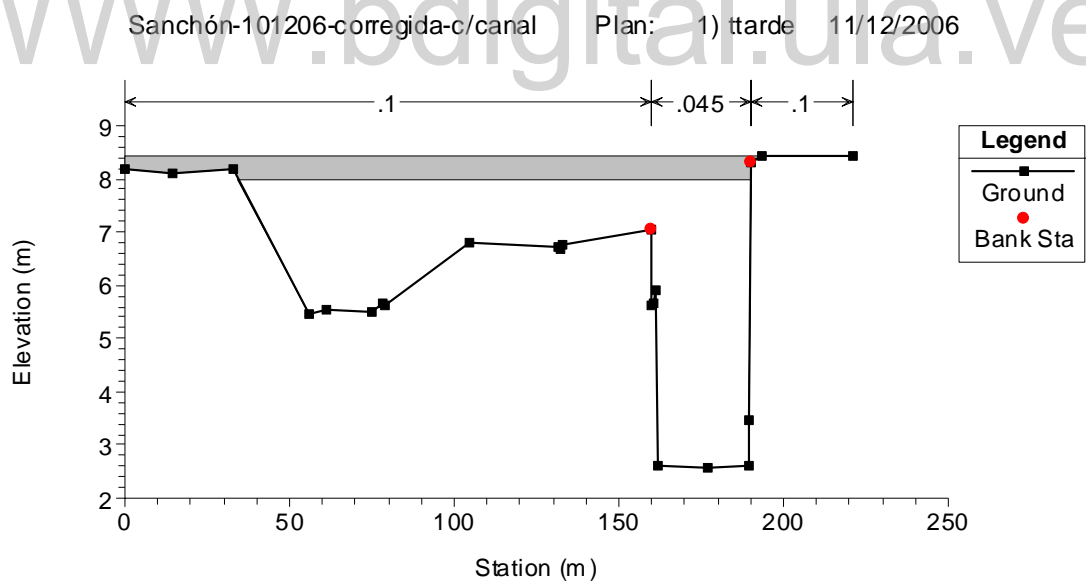
WWW.bdigital.ula.ve

**Anexo B**  
**SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO SANCHÓN EN EL**  
**PUENTE DE LA AUTOPISTA, Y EN EL PUENTE DE LA VÍA**  
**FÉRREA**

### B.1 Sección transversal del río Sanchón en el puente de la autopista.



### B.2 Sección transversal del río Sanchón en el puente de la vía férrea.

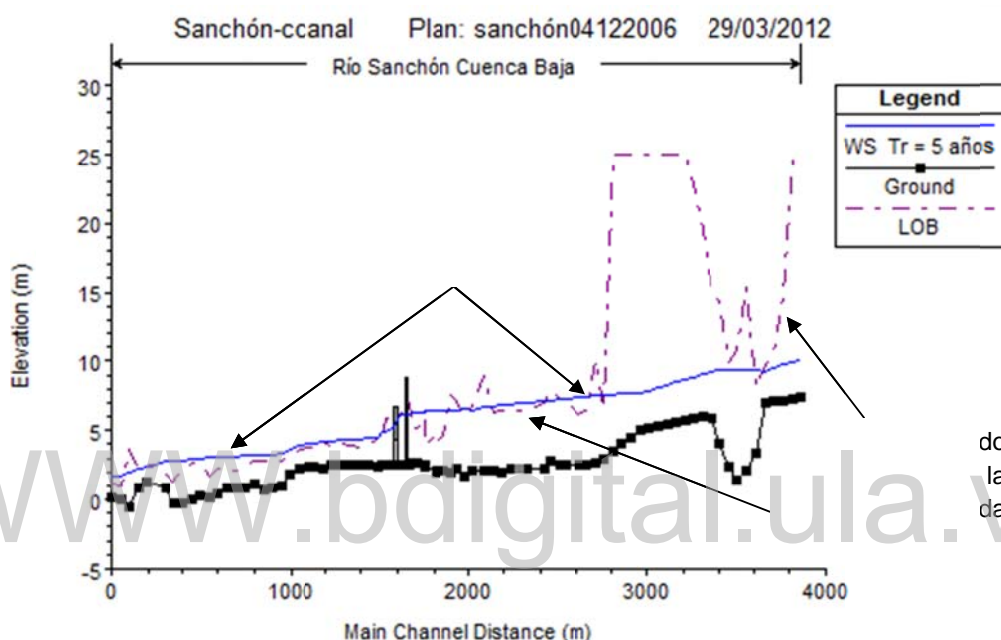


**Anexo C**  
**INFORMACIÓN GENERADA EN EL MODELO *HEC RAS* PARA**  
**LA ALTERNATIVA CERO**

## Alternativa cero. Situación actual

### C.1 Período de retorno ( $t_r$ ) de 5 años

En la Figura C.1, se observa el perfil longitudinal del tramo en estudio, la línea de color azul representa el nivel superficial del agua para el caudal correspondiente a un período de retorno de 5 años, también se observan las zonas de inundación o de posibles desbordes en la margen izquierda del río Sanchón, líneas segmentadas de color morado.



Fuente: Simulación hidráulica con HEC-RAS.

**Figura C. 1 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $t_r$ ) de 5 años. Alternativa cero.**

Se puede apreciar que en todo el tramo del cauce bajo estudio, el río se sale del cauce principal, tanto aguas arriba como aguas abajo donde la línea segmentada supera la línea azul altura del agua, pero en términos generales se mantienen dentro de su cauce la mayor cantidad del mismo.



En la Figura C.2, se observa el nivel que alcanzaría la crecida para el tiempo de retorno de 5 años, en la sección correspondiente al puente de la autopista. Se aprecia que la capacidad de dicha sección no es suficiente para transitar el caudal de  $159 \text{ m}^3/\text{s}$ .

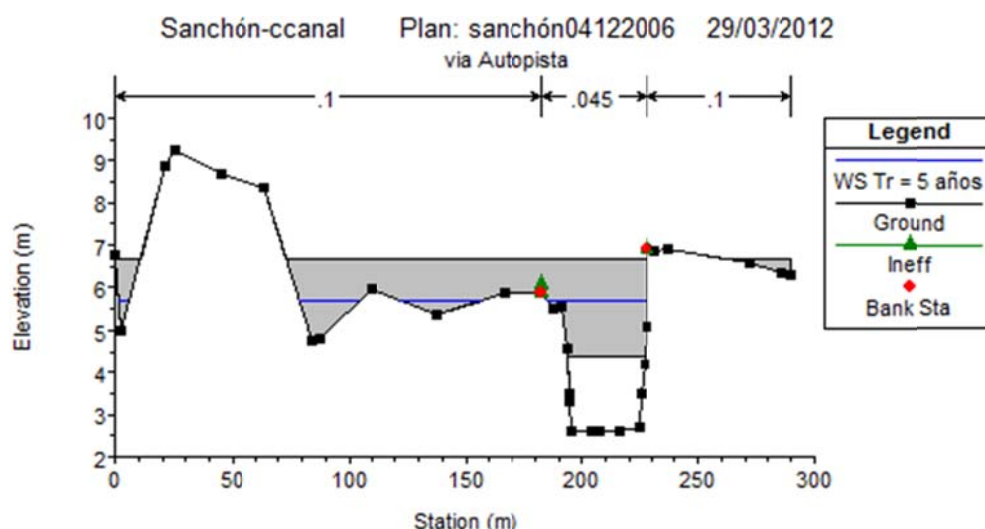
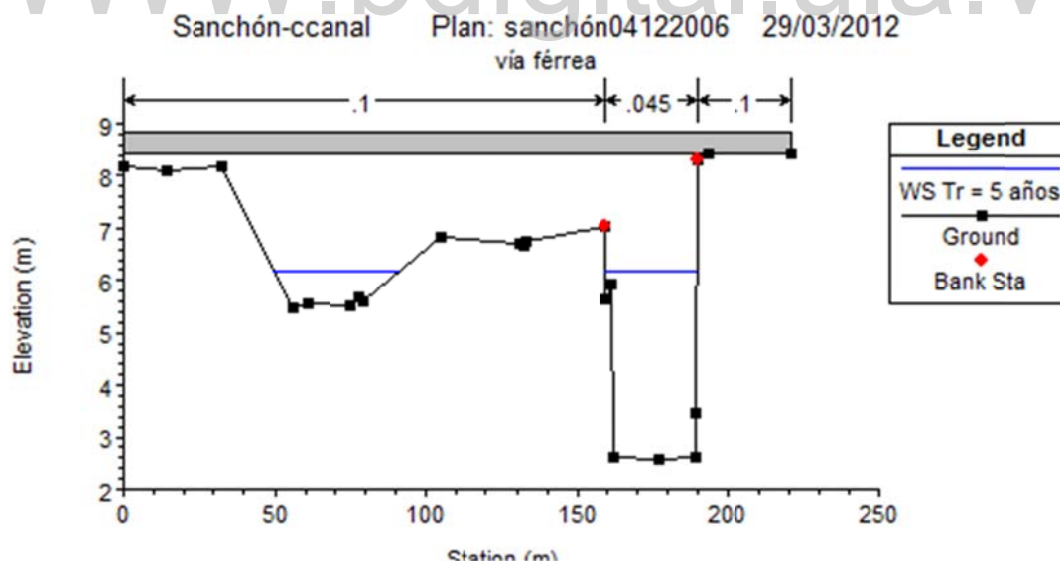


Figura C. 2 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años en la sección del puente de la Autopista. Alternativa cero.

De igual forma la Figura C.3, muestra la sección del puente de la vía férrea donde se puede apreciar que por dicha sección si puede transitar el caudal para este período de retorno.

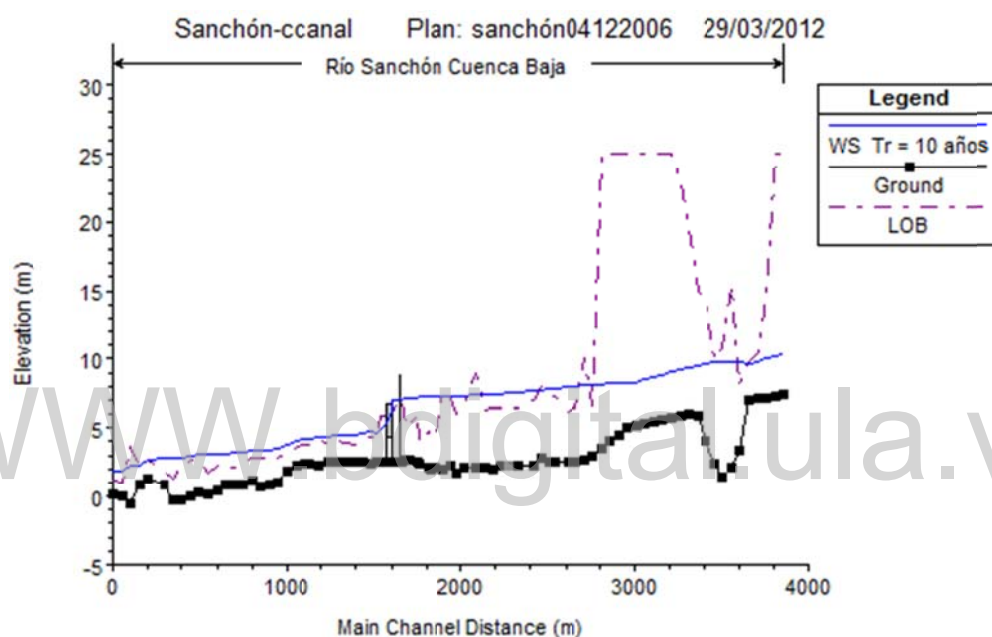


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura C. 3 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa cero.

## C.2 Período de retorno ( $tr$ ) de 10 años

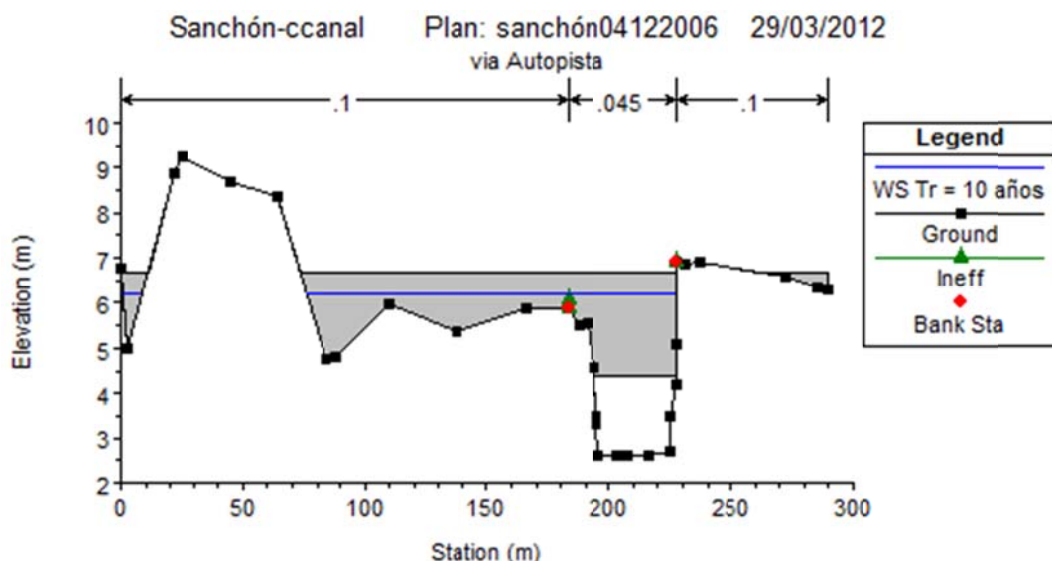
En la Figura C.4, se puede ver el perfil longitudinal del agua para el caudal correspondiente a un tiempo de retorno de 10 años. Se puede apreciar que en el tramo bajo estudio el río se sale del cauce principal, pero permanece dentro del cauce mayor aguas arriba del puente con excepción de algunos tramos cortos, no presentándose la misma situación aguas abajo de este, ya que la sección del río es insuficiente, para el tránsito de dicho caudal. También se presenta el perfil del tramo en estudio donde se evidencia las zonas con problemas de inundación o de desborde, donde la capacidad de conducción del cauce no es suficiente.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura C. 4 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 10 años. Alternativa cero.**

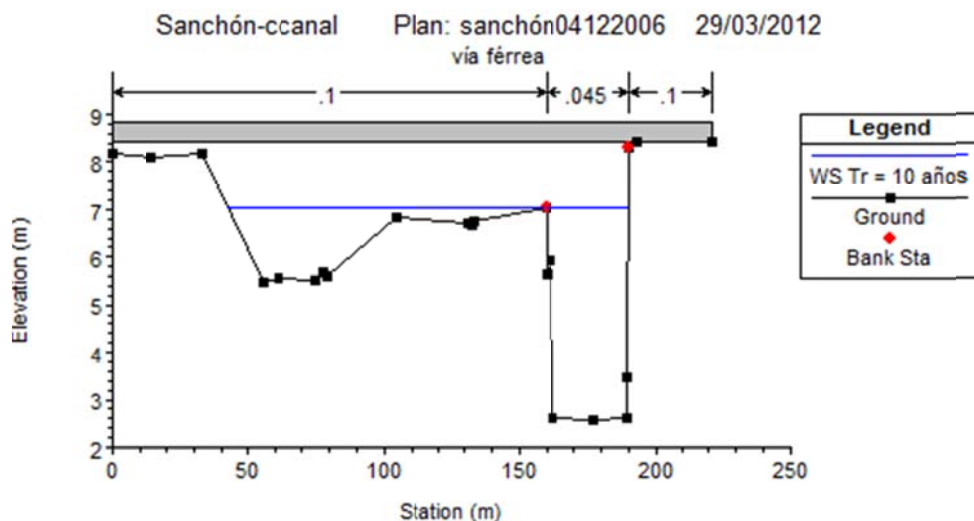
En la simulación de la crecida del cauce en el río Sanchón, también se puede observar el nivel que alcanzaría la crecida para el período de retorno de 10 años, en la sección transversal correspondiente al puente de la autopista, demostrándose que dicha sección no es suficiente para transitar el caudal del correspondiente período de retorno, situación que se muestra en la Figura C.5.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura C. 5 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años en la sección del puente de la Autopista. Alternativa cero.**

La Figura C.6, muestra la sección transversal del puente en la vía férrea donde se puede apreciar que por dicha sección sí puede transitar el caudal contemplado para este período de retorno.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura C. 6 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa cero.**

### C.3 Período de retorno ( $tr$ ) de 25 años

En la Figura C.7, se observa el perfil longitudinal del agua para el caudal correspondiente a un tiempo de retorno de 25 años, también se muestra el perfil del tramo en estudio donde se evidencia las zonas con problemas de inundación o de desborde, donde la capacidad de conducción del cauce mayor no es suficiente.

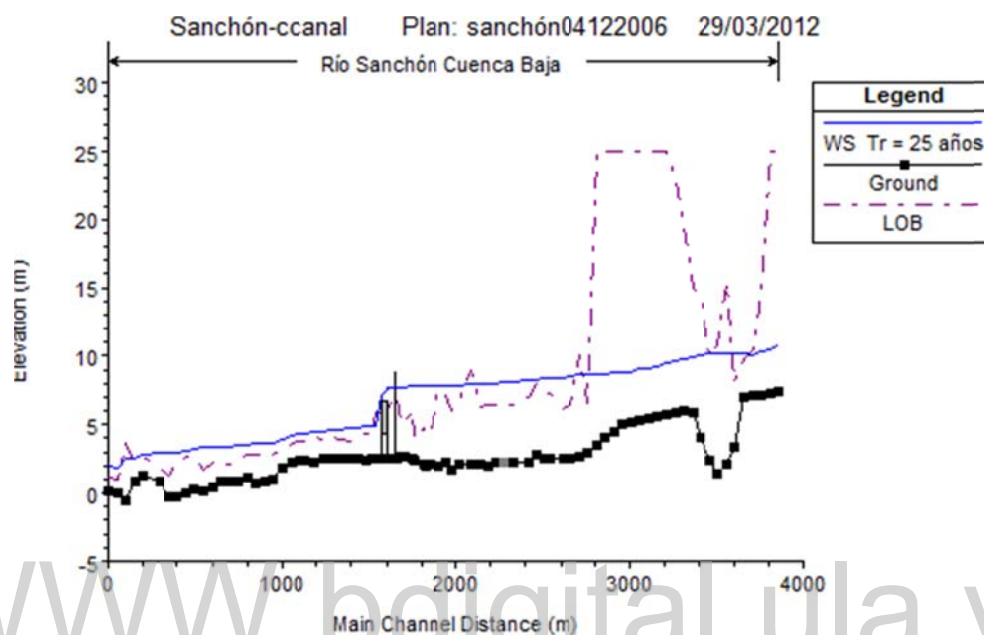


Figura C. 7 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y las posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 25 años. Alternativa cero.

De igual forma, en las Figuras C.8 y C.9, se muestran las secciones de los puentes emplazados sobre el cauce del río Sanchón para un período de retorno de 25 años

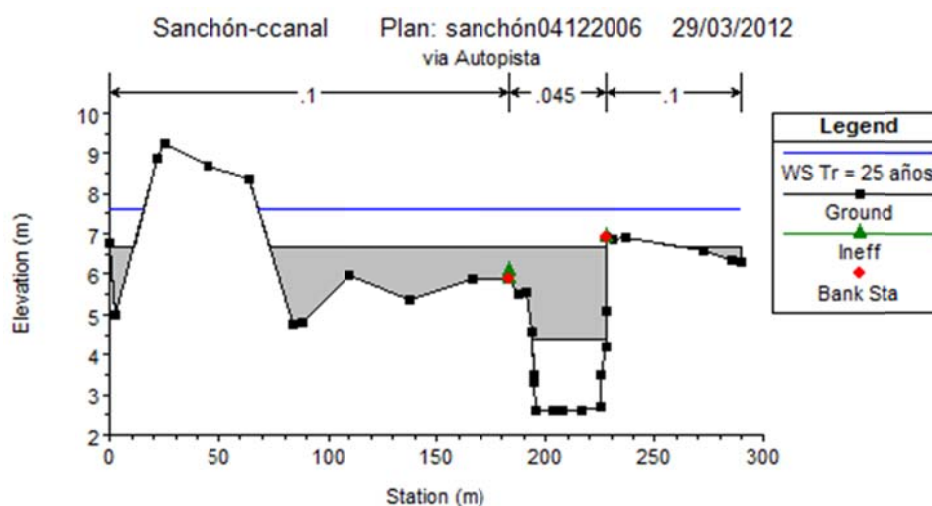


Figura C. 8 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años en la sección del puente de la Autopista. Alternativa cero.

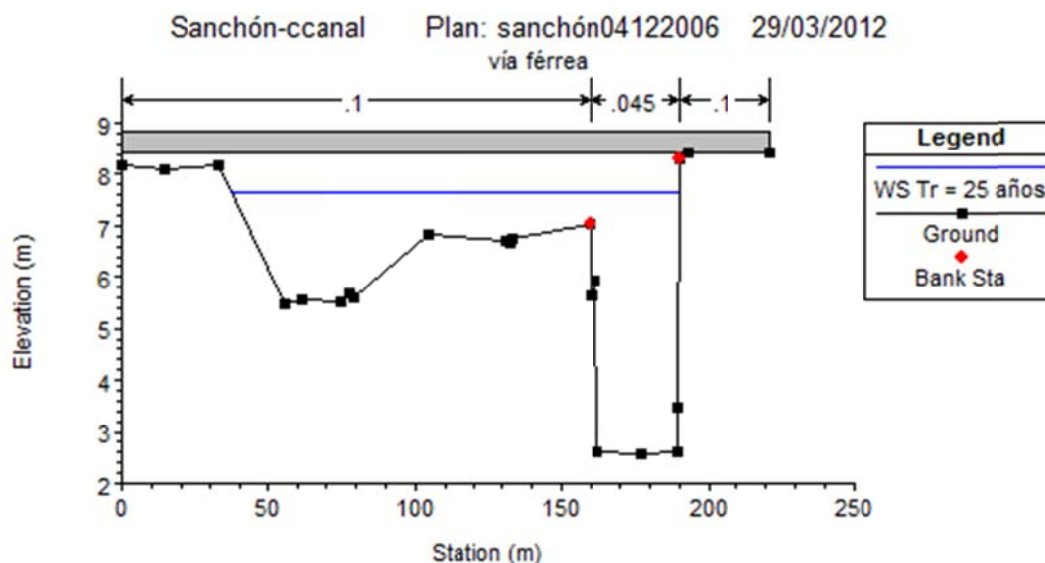
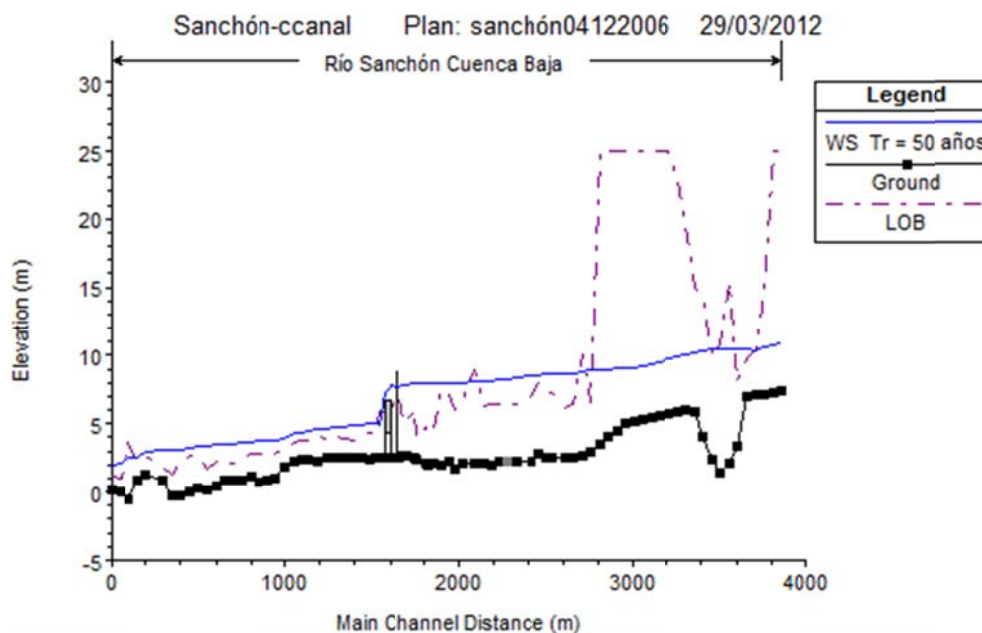


Figura C. 9 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa cero.

#### C.4 Período de retorno ( $tr$ ) de 50 años

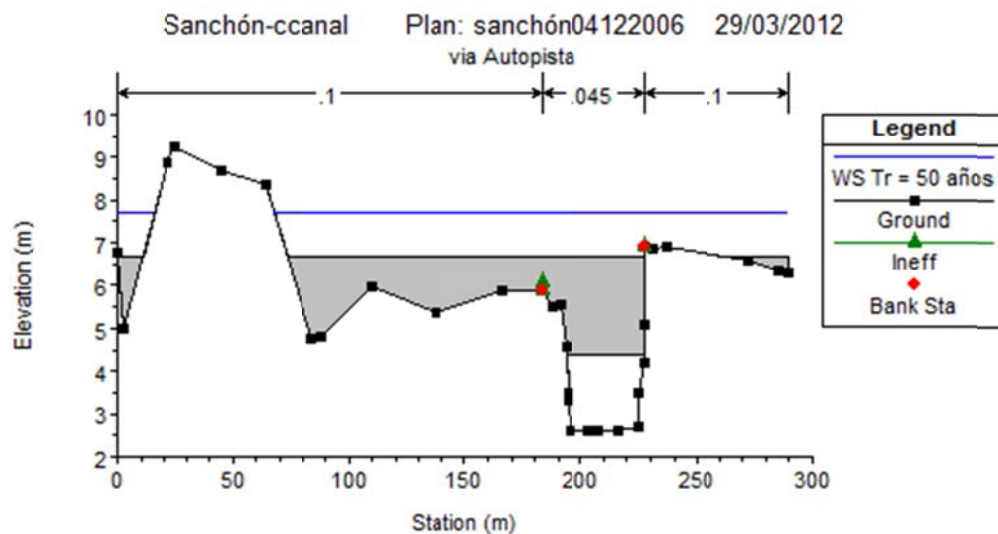
Se puede observar que continúa el incremento de la inundación y desbordes a lo largo del tramo del cauce estudiado. La Figura C.10, muestra el perfil hidráulico longitudinal del agua para el caudal correspondiente a un tiempo de retorno de 50 años. También se muestran las zonas de inundación en la margen izquierda del río Sanchón para este período de retorno. En este perfil se observa el resalto presente aguas arriba del puente de la autopista.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura C. 10 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 50 años. Alternativa cero.

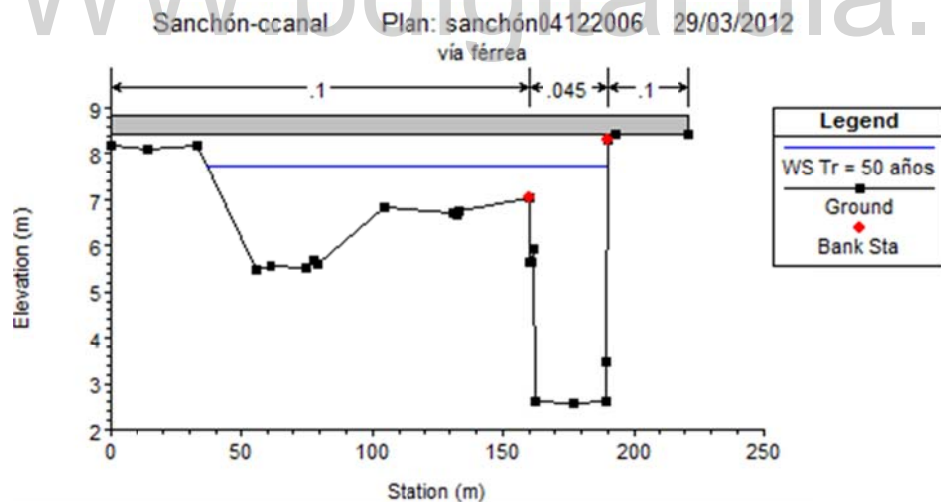
La Figura C.11, muestra la sección del puente de la Autopista Morón – Puerto Cabello que es insuficiente para transitar el caudal para el periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura C. 11 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años en la sección del puente de la Autopista. Alternativa cero.**

La Figura C.12, muestra la sección transversal del puente del ferrocarril que si tiene capacidad para transitar el caudal mencionado anteriormente.

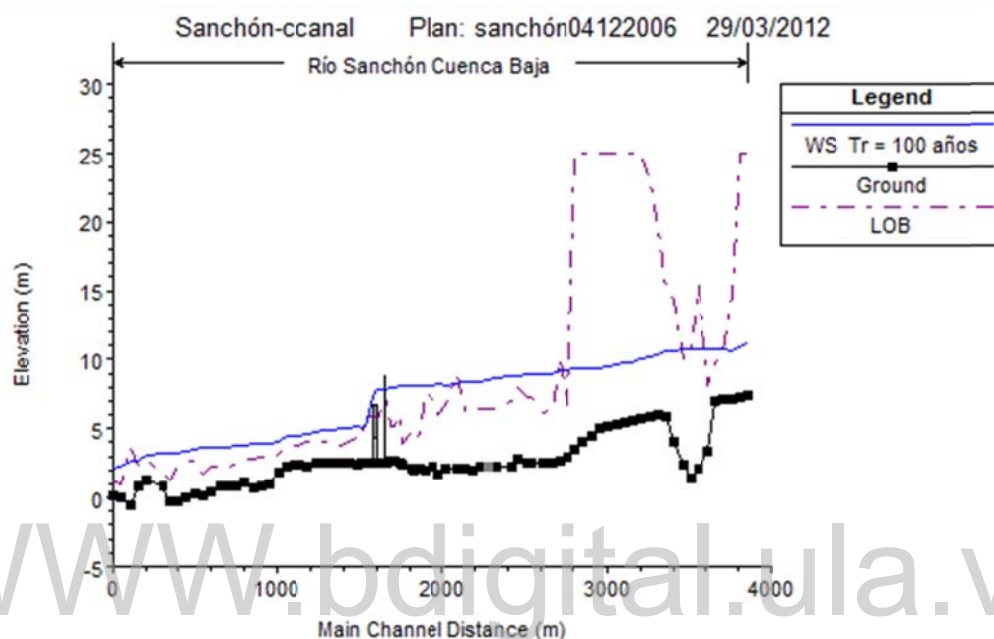


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura C. 12 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa cero.**

### C.5 Período de retorno ( $tr$ ) de 100 años

Se observa el incremento de las zonas inundables en la margen izquierda, en la Figura C.13, se presenta el perfil hidráulico longitudinal del tramo para este período de retorno, en donde se puede observar que para este evento las secciones de los puentes emplazados a lo largo del tramo en estudio son insuficientes.

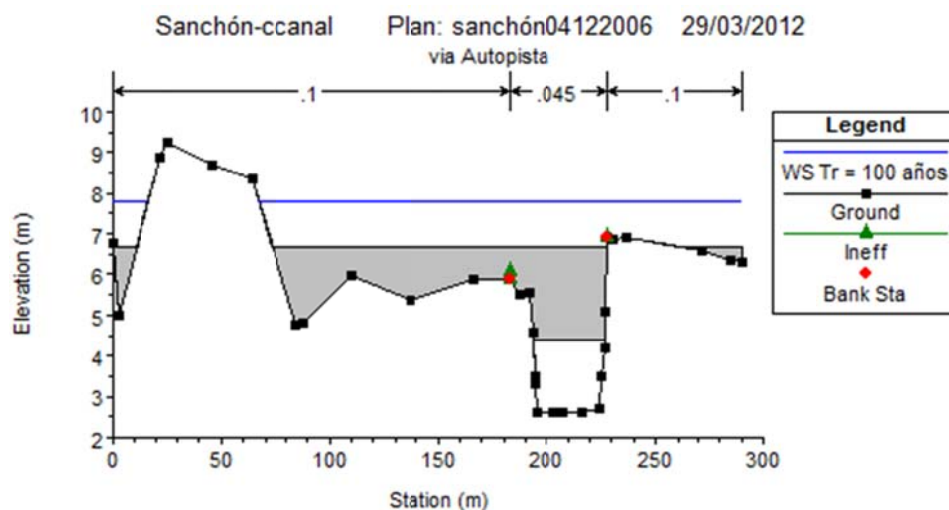


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura C. 13 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 100 años. Alternativa cero.**

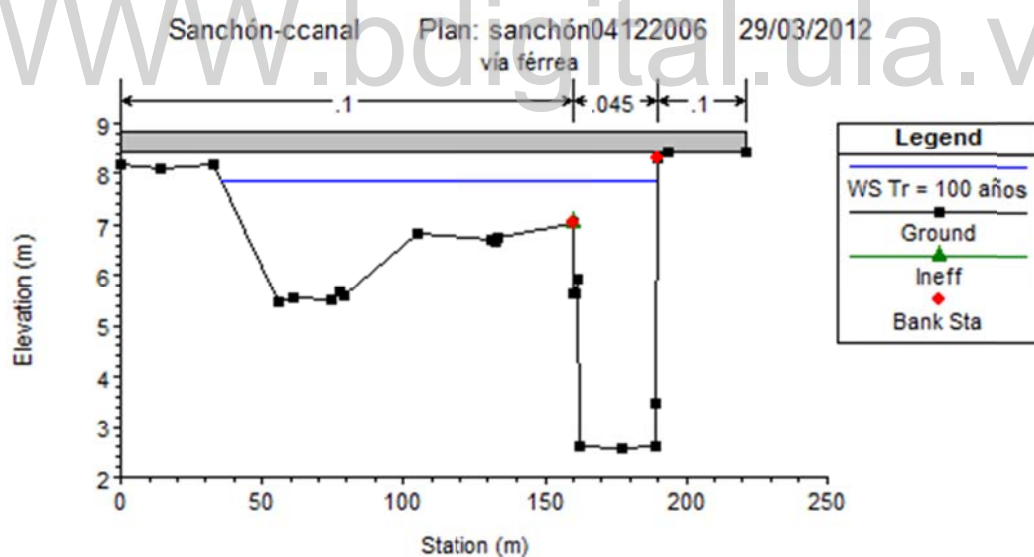


Las Figuras C.14 y C.15, muestran las secciones de los puentes para este período de retorno, en donde se muestra la insuficiencia de las secciones para esta crecida.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura C. 14 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años en la sección del puente de la Autopista. Alternativa cero.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura C. 15 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa cero.

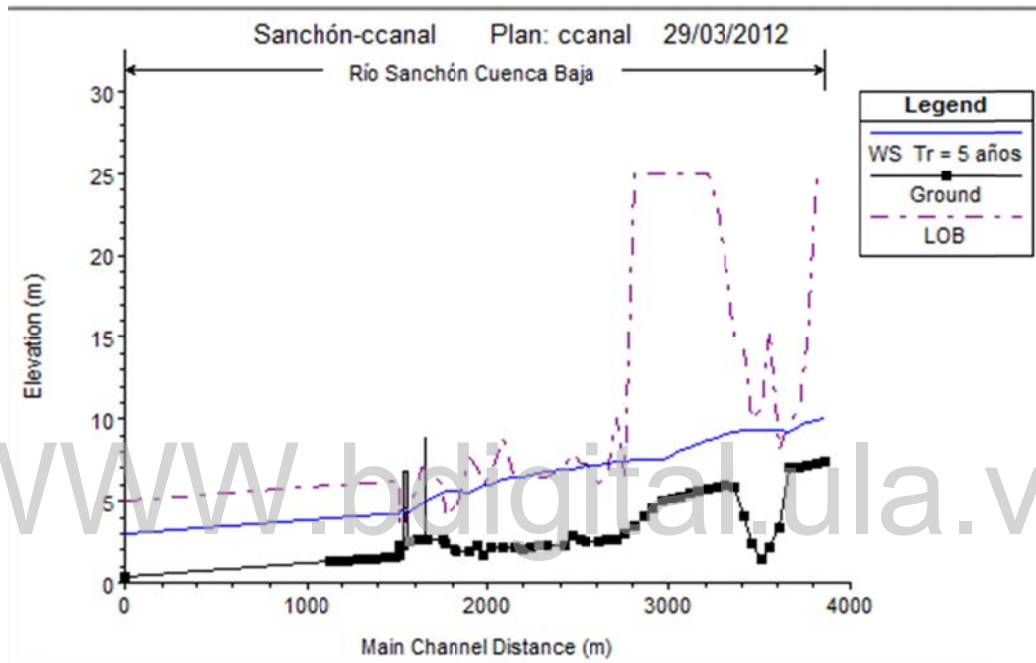


**Anexo D**  
**INFORMACIÓN GENERADA EN EL MODELO *HEC RAS* PARA**  
**LA ALTERNATIVA DOS**

## Alternativa 2. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista.

### D.1 Período de retorno ( $t_r$ ) de 5 años

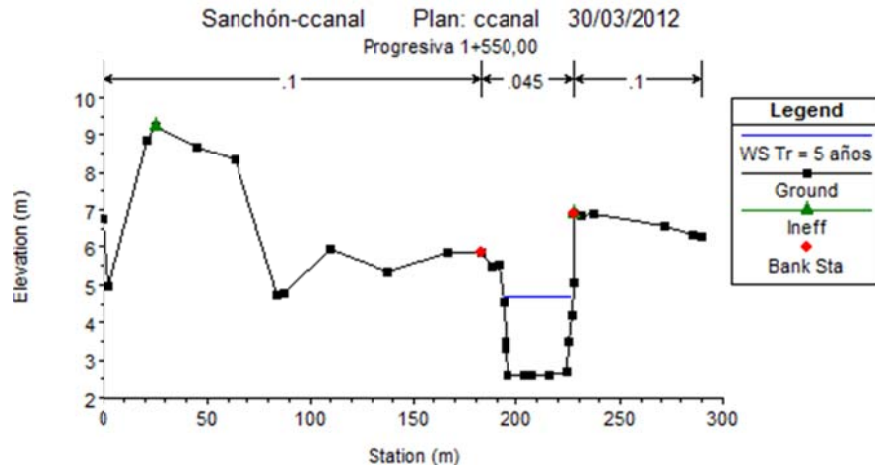
En la Figura D.1, se puede ver el perfil superficial del agua para el caudal correspondiente a un período de retorno de 5 años. También muestra las zonas con problemas de inundación o de desborde, donde la capacidad de conducción del cauce mayor no es suficiente, todos los sitios de desborde se encuentran aguas arriba del puente de la autopista.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura D. 1 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $t_r$ ) de 5 años. Alternativa 2.

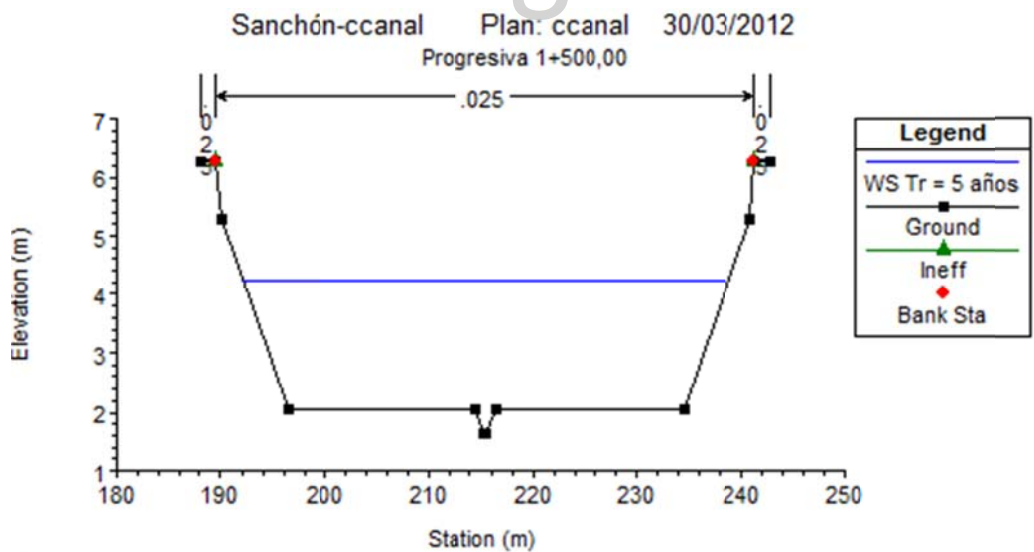
En la Figura D.2, se observa el nivel que alcanzaría la crecida para el período de retorno de 5 años, en la sección correspondiente al puente de la autopista. Se aprecia que la capacidad de dicha sección es suficiente para transitar el caudal de  $168 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 2 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años en la sección del puente de la Autopista. Alternativa 2.**

De igual manera la Figura D.3, muestra la sección del canal aguas abajo del puente de la autopista donde se puede apreciar, que por dicha sección si puede transitar dicha caudal para este periodo de retorno.

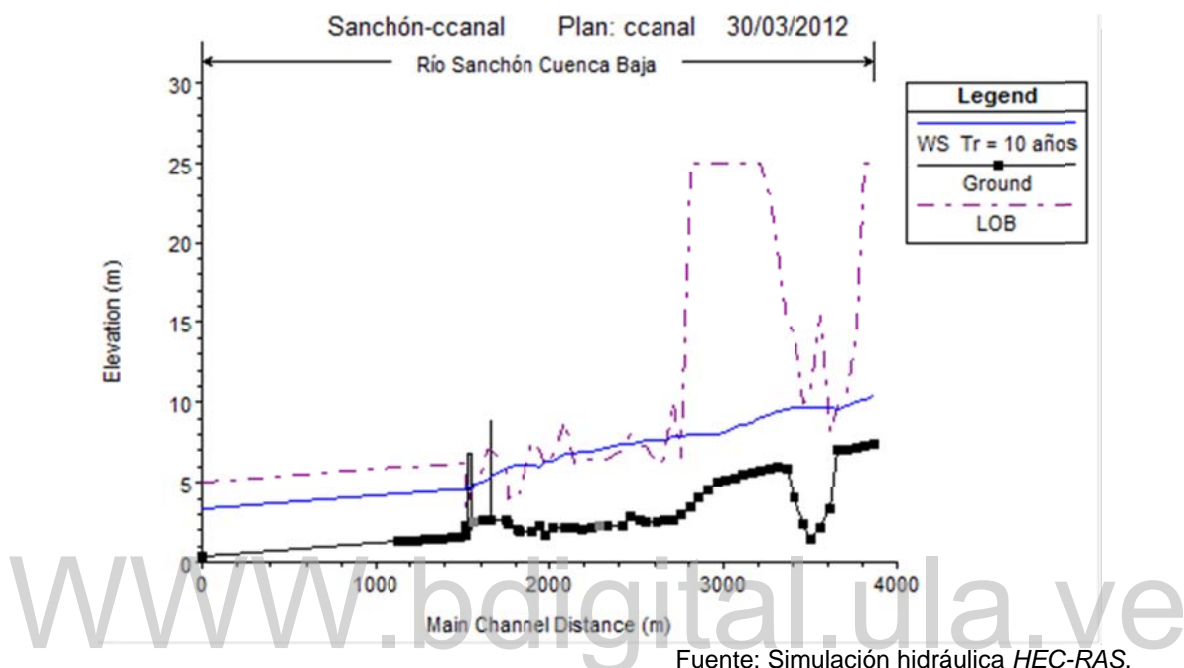


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 3 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años en la sección del canal aguas abajo del puente e la autopista Morón-Puerto Cabello. Alternativa 2.**

## D.2 Período de retorno ( $t_r$ ) de 10 años

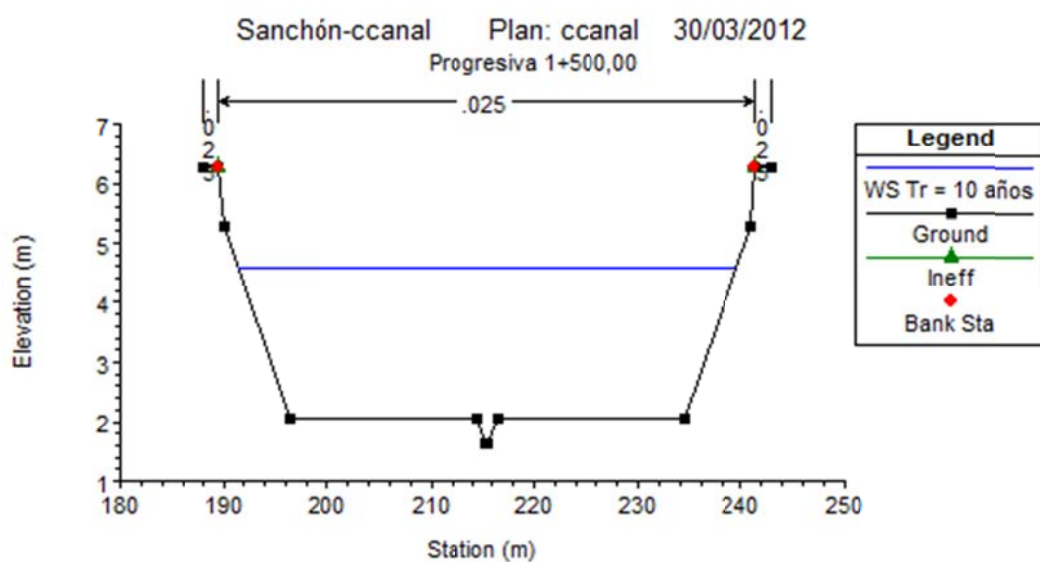
En la Figura D.4, se puede ver el perfil longitudinal del agua para el caudal correspondiente a un tiempo de retorno de 10 años. También se muestra el perfil del tramo en estudio donde se evidencia las zonas con problemas de inundación o de desborde, donde la capacidad de conducción del cauce mayor no es suficiente.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 4 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $t_r$ ) de 10 años. Alternativa 2.**

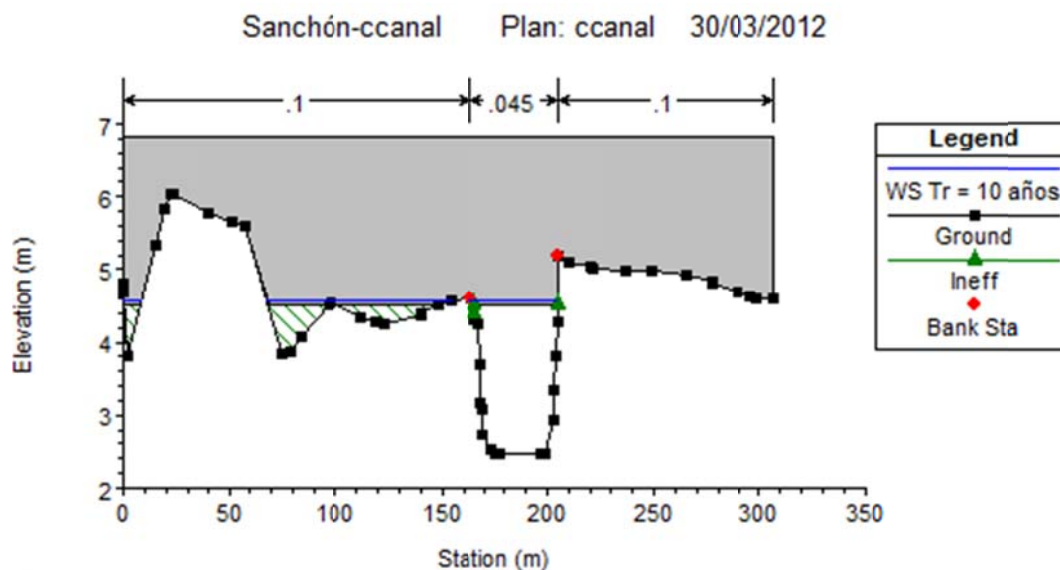
La Figura D.5, muestra la sección del canal aguas abajo del puente de la autopista, donde se puede apreciar que por dicha sección si puede transitar dicha caudal para este período de retorno.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 5 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años en la sección del canal aguas abajo del puente e la autopista Morón-Puerto Cabello. Alternativa 2.**

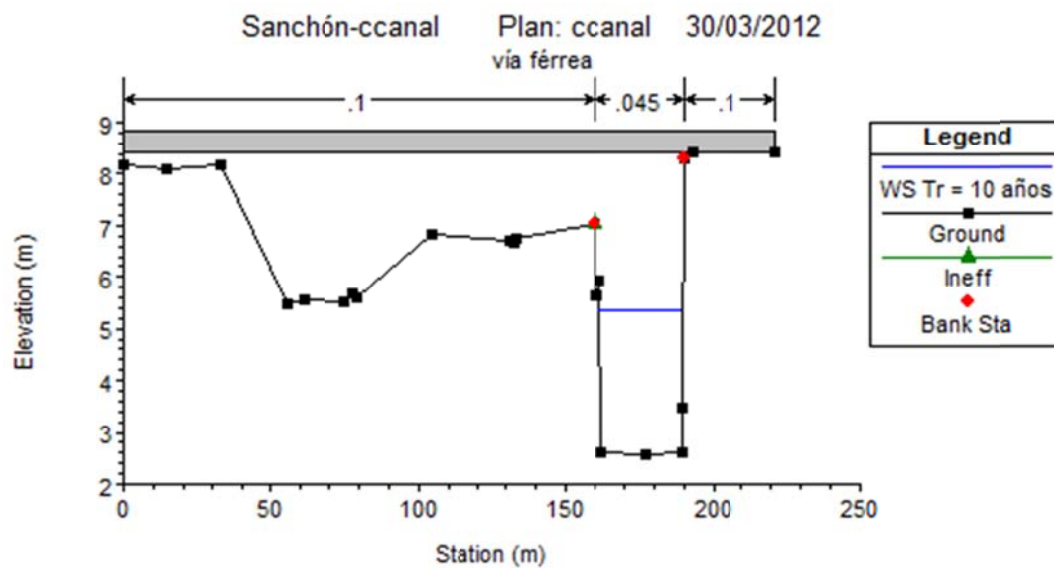
En la simulación de la crecida del cauce en el río Sanchón, también se puede observar el nivel que alcanzaría la crecida para el período de retorno de 10 años, en la sección transversal correspondiente al puente de la autopista, demostrándose que dicha sección no es suficiente para transitar el caudal del correspondiente período de retorno, situación que se muestra en la Figura D.6.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 6 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años en la sección del puente de la autopista. Alternativa 2.**

La Figura D.7, muestra la sección transversal del puente en la vía férrea donde se puede apreciar que por dicha sección si puede transitar el caudal contemplado para este período de retorno.



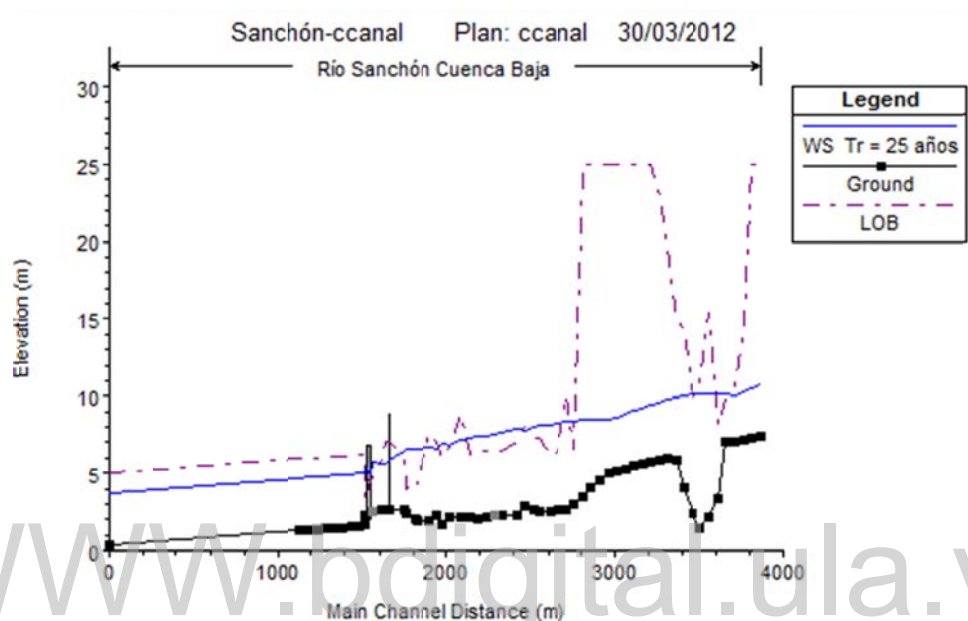
Fuente: Simulación hidráulica *HEC-RAS*.

**Figura D. 7 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa 2.**

WWW.bdigital.ula.ve

### D.3 Período de retorno ( $t_r$ ) de 25 años

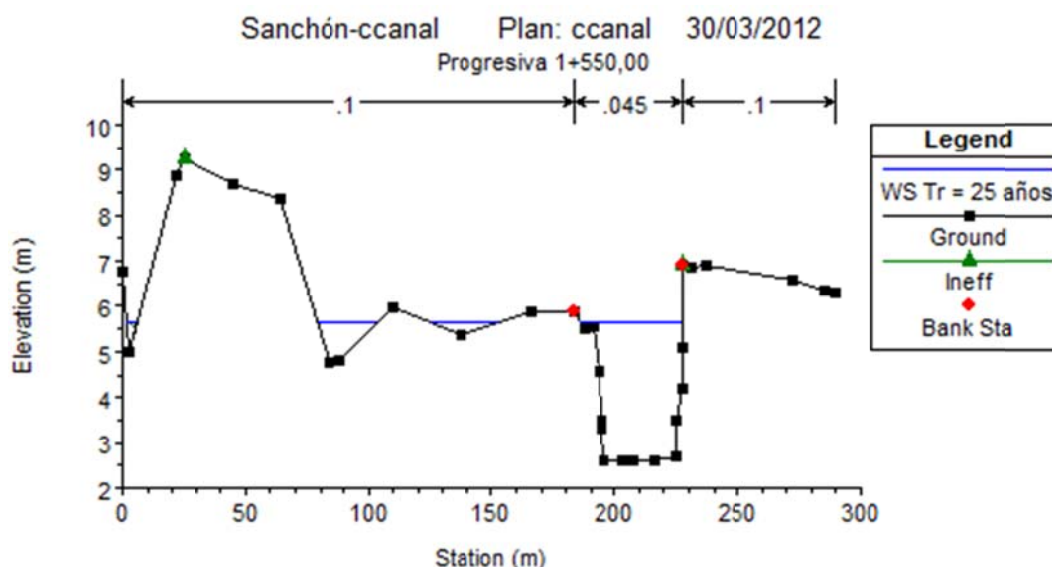
En la Figura D.8, se puede ver el perfil longitudinal del agua para el caudal correspondiente a un tiempo de retorno de 25 años. También se muestra el perfil del tramo en estudio donde se evidencia las zonas con problemas de inundación o de desborde, donde la capacidad de conducción del cauce mayor no es suficiente.



Fuente: Simulación hidrológica con HEC-RAS.

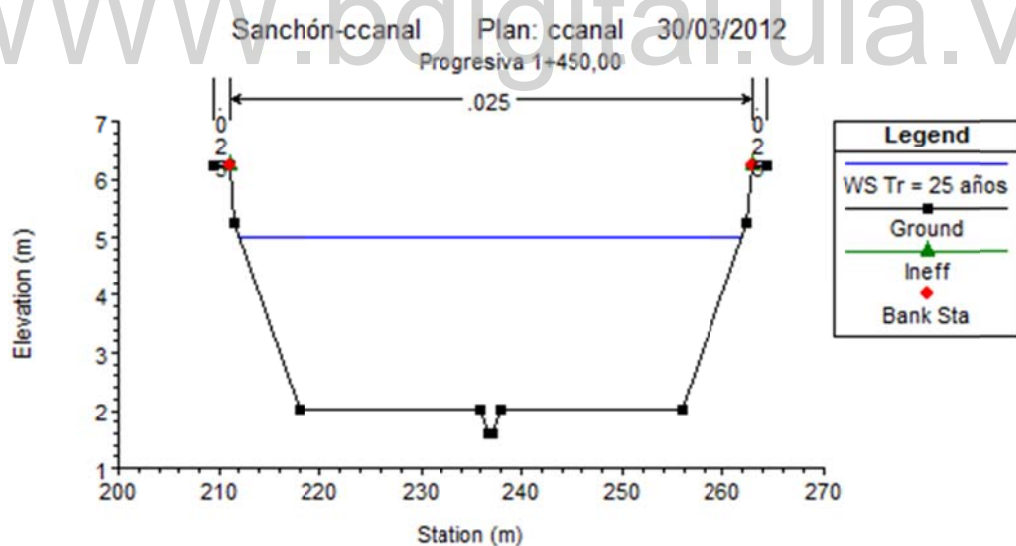
**Figura D. 8 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $t_r$ ) de 25 años. Alternativa 2.**

De igual forma en las Figuras D.9 y D.10, se muestran las secciones del puente de la autopista y del canal aguas abajo del mismo, sobre el cauce del río Sanchón para un período de retorno de 25 años.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura D. 9 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años en la sección del puente de la vía autopista. Alternativa 2.



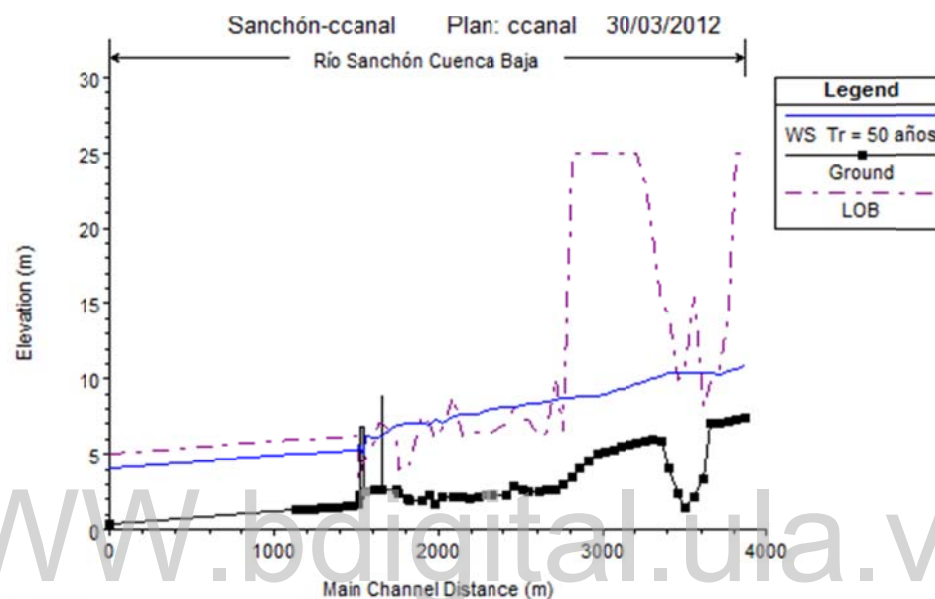
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura D. 10 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años en la sección del canal aguas abajo del puente de la autopista Morón-Puerto Cabello. Alternativa 2.



#### D.4 Período de retorno ( $tr$ ) de 50 años

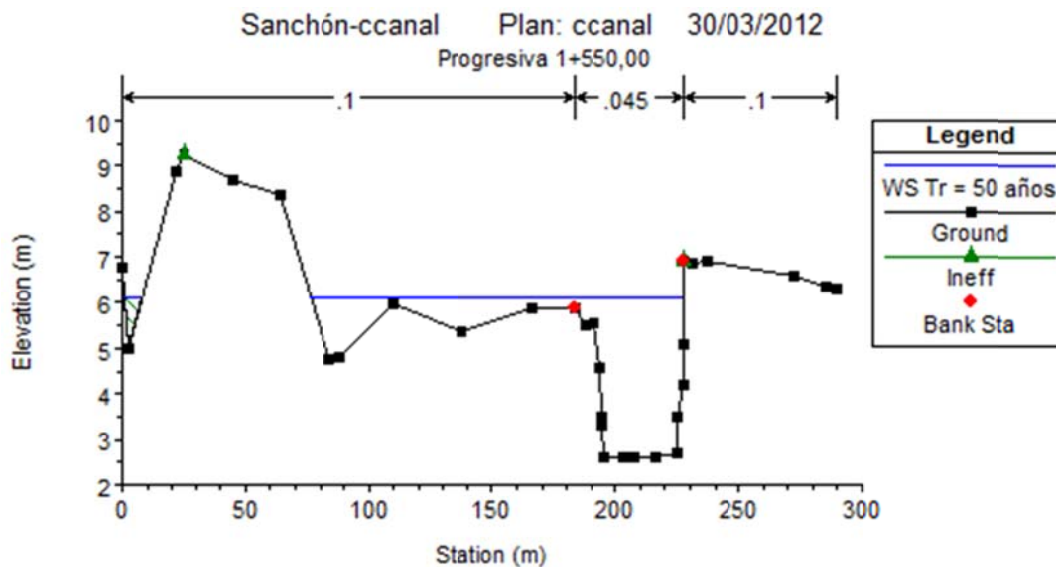
Se puede observar que continúa el incremento de la inundación y desbordes a lo largo del tramo del cauce estudiado. La Figura D.11, muestra el perfil hidráulico longitudinal del agua para el caudal correspondiente a un tiempo de retorno de 50 años. También se muestra un perfil longitudinal del tramo en estudio en donde se indican las zonas de inundación en la margen izquierda del río Sanchón para este período de retorno. En este perfil se observa el resalto presente aguas arriba del puente de la autopista.



Fuente: Simulación hidrológica con HEC-RAS.

**Figura D. 11 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 50 años. Alternativa 2.**

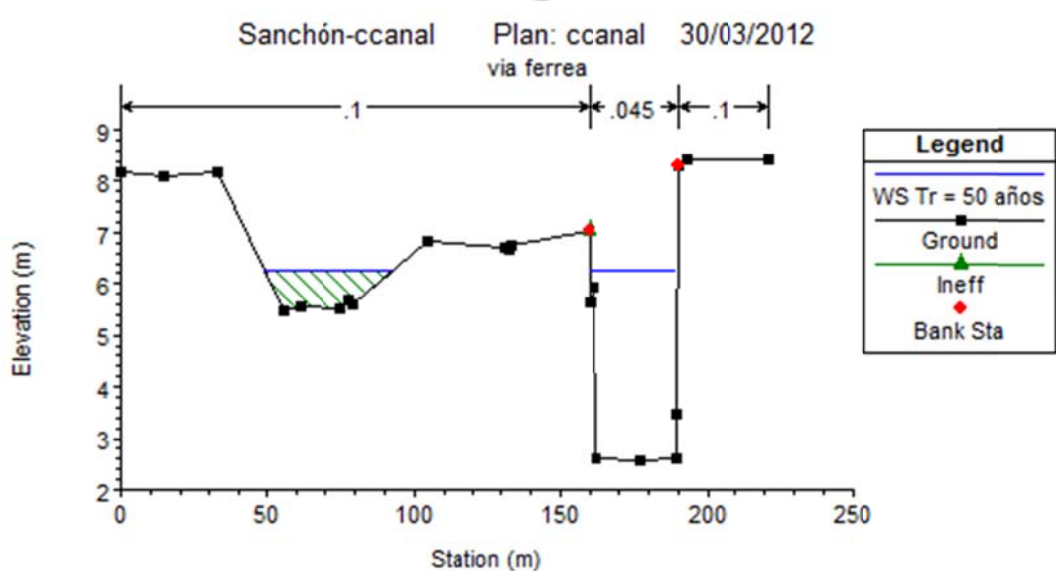
La Figura D.12, muestra la sección transversal del puente de la autopista, la cual es insuficiente para transitar el caudal correspondiente para este período de retorno.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 12 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años en la sección del puente de la vía autopista. Alternativa 2.**

La Figura D.13, presenta la sección transversal del puente del ferrocarril el cual permite transitar el caudal correspondiente a este período de retorno.

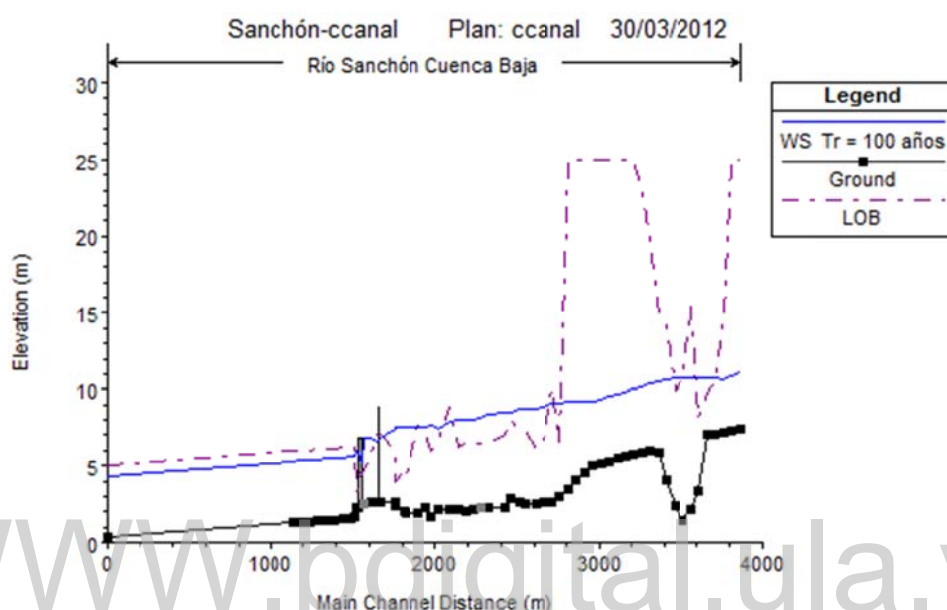


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura D. 13 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa 2.**

### D.5 Período de retorno ( $t_r$ ) de 100 años

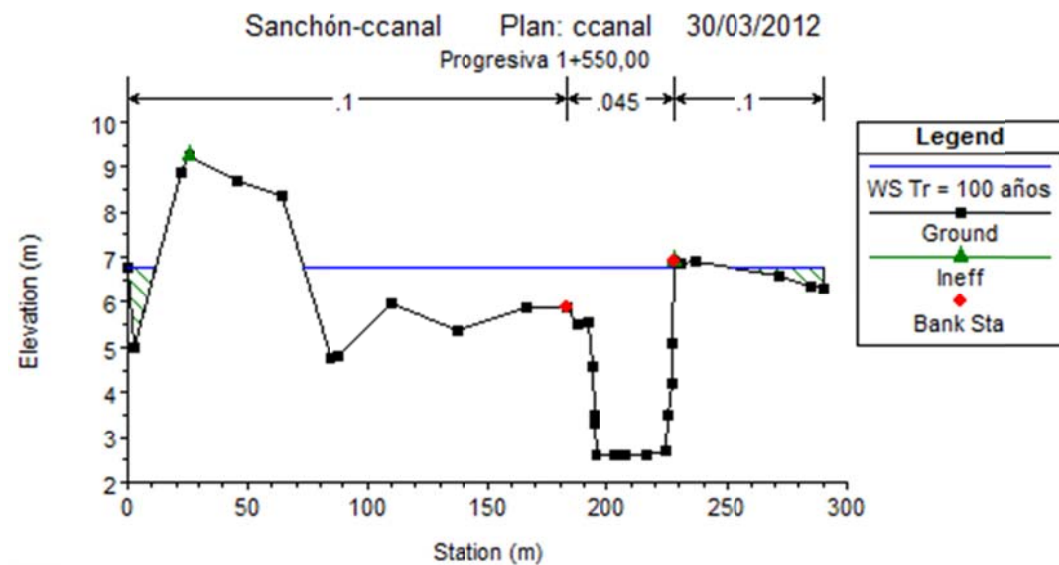
Se observa el incremento de las zonas inundables en la margen izquierda, a continuación en la Figura D.14, se presenta el perfil hidráulico longitudinal del tramo para este período de retorno, en donde se puede observar, que para este evento las secciones de los puentes emplazados a lo largo del tramo en estudio son insuficientes.



Fuente: Simulación hidrológica con *HEC-RAS*.

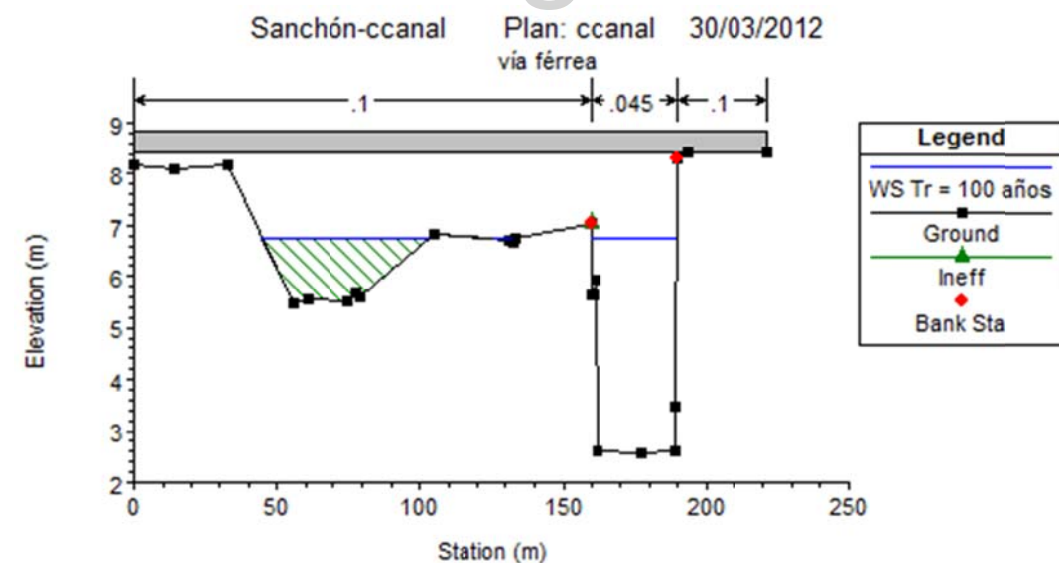
**Figura D. 14 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $t_r$ ) de 100 años. Alternativa 2.**

Las Figuras D.15 y D.16, muestran las secciones de los puentes para este período de retorno, en donde se muestra la insuficiencia de las secciones para esta crecida.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura D. 15 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años en la sección del puente de la vía autopista. Alternativa 2.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

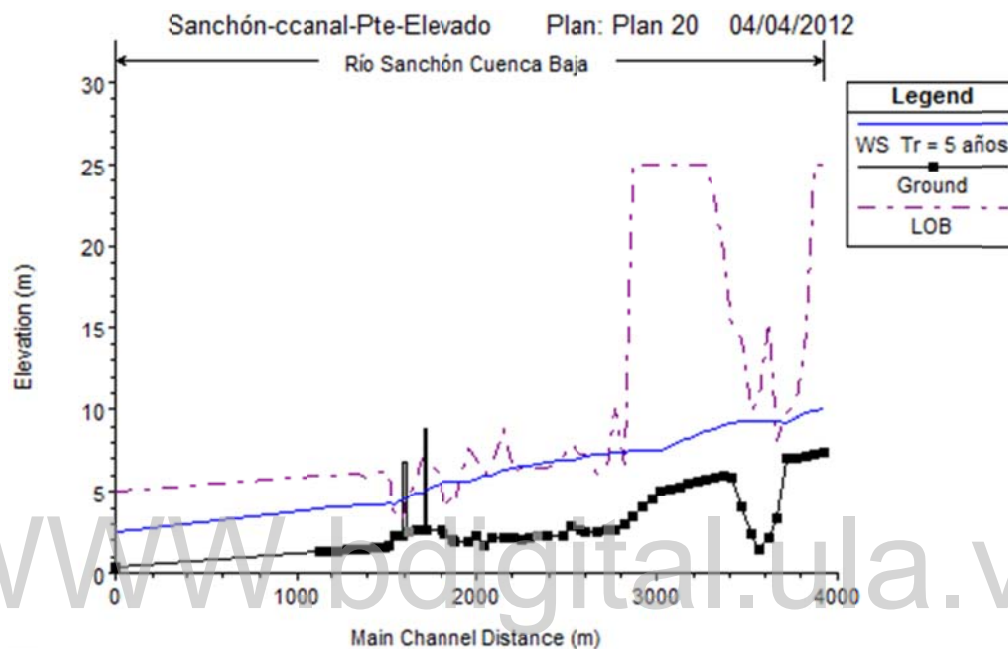
Figura D. 16 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años en la sección del puente de la vía férrea. Alternativa 2.

**Anexo E**  
**INFORMACIÓN GENERADA EN EL MODELO *HEC RAS* PARA**  
**LA ALTERNATIVA TRES**

**Alternativa 3. Construcción de un canal aguas abajo del puente de la autopista, elevación del puente de la autopista y reconfigurar su sección.**

### **E.1 Período de retorno ( $tr$ ) de 5 años**

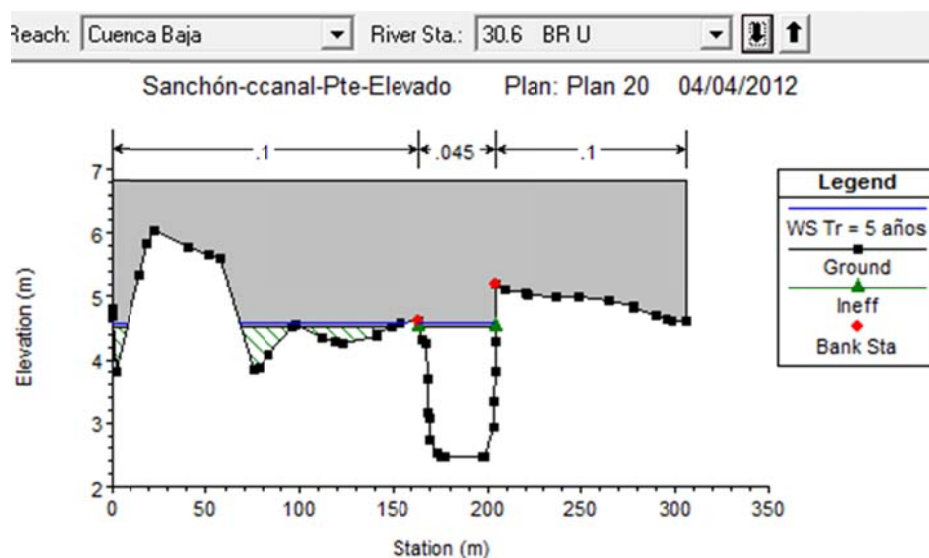
La Figura E.1, presentan el perfil hidráulico longitudinal del tramo en estudio del río Sanchón para la alternativa de Sobreelevación del puente de la autopista para el período de retorno de 5 años.



Fuente: Simulación hidrológica con *HEC-RAS*.

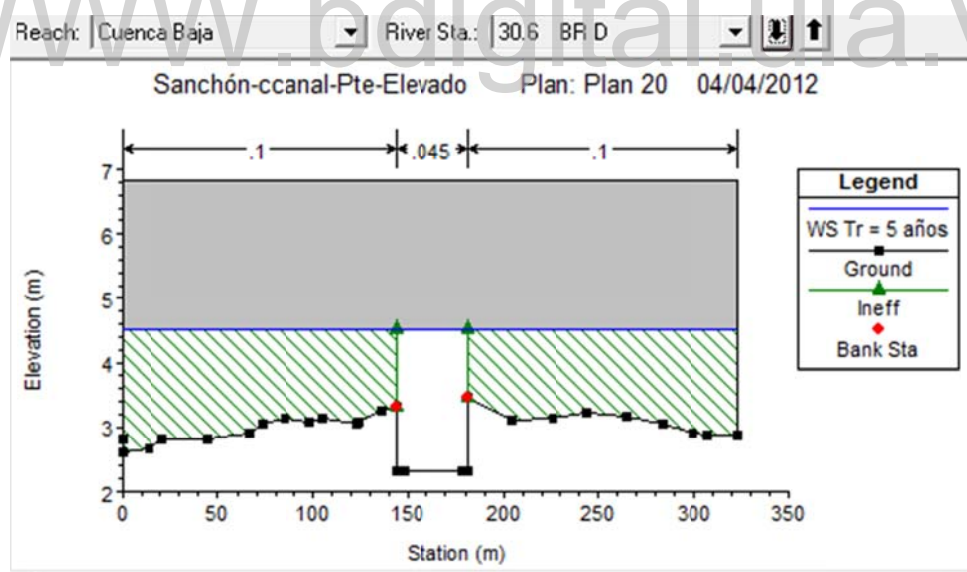
**Figura E. 1 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 5 años. Alternativa 3.**

En las Figuras E.2, E.3, E.4 y E.5, se muestran las secciones de los puentes para esta alternativa referente a los niveles alcanzados aguas arriba y aguas abajo de los puentes la autopista y puente vía férrea respectivamente.



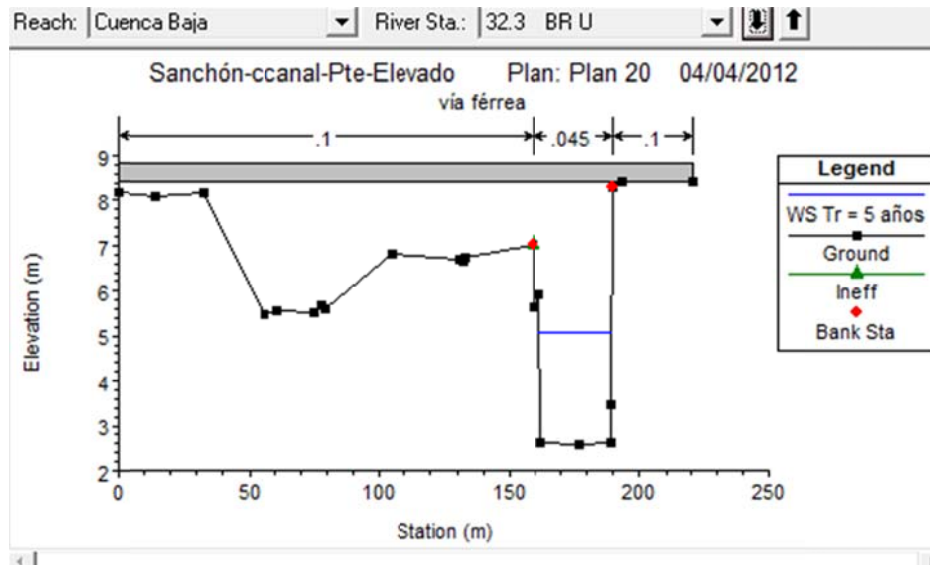
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 2 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años aguas arriba de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



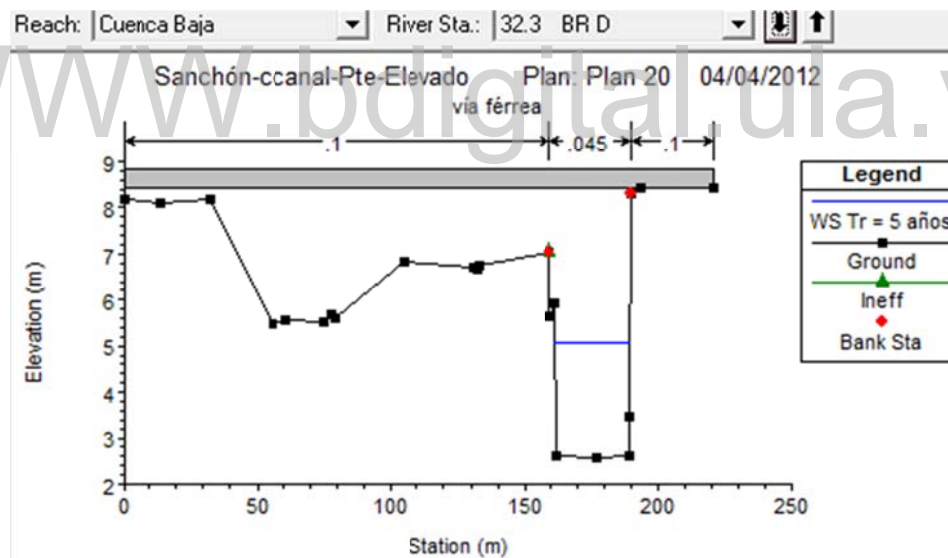
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 3 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años aguas abajo de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 4 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años aguas arriba en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**

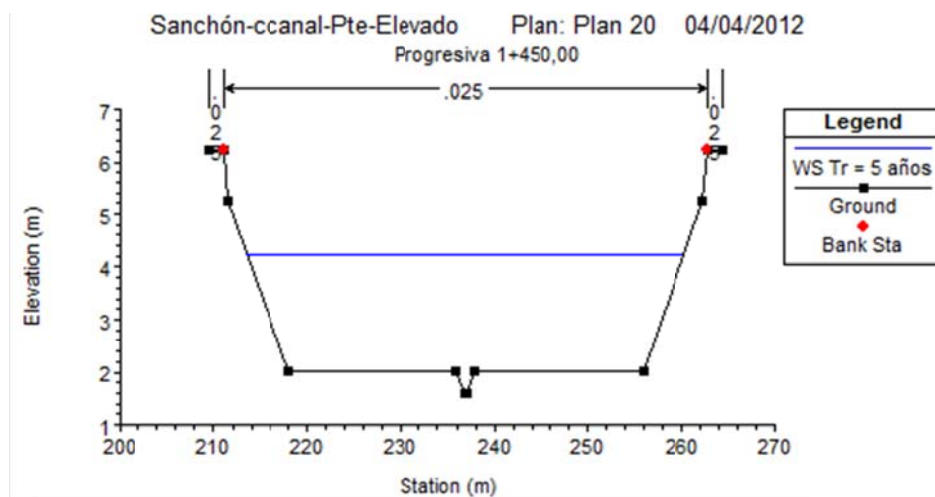


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 5 Nivel esperado para un  $tr$  de 5 años aguas abajo en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Se anexa el canal de concreto aguas debajo del puente de la autopista. La Figura 4.47, muestra el comportamiento hidráulico de la sección transversal del canal para este caso.

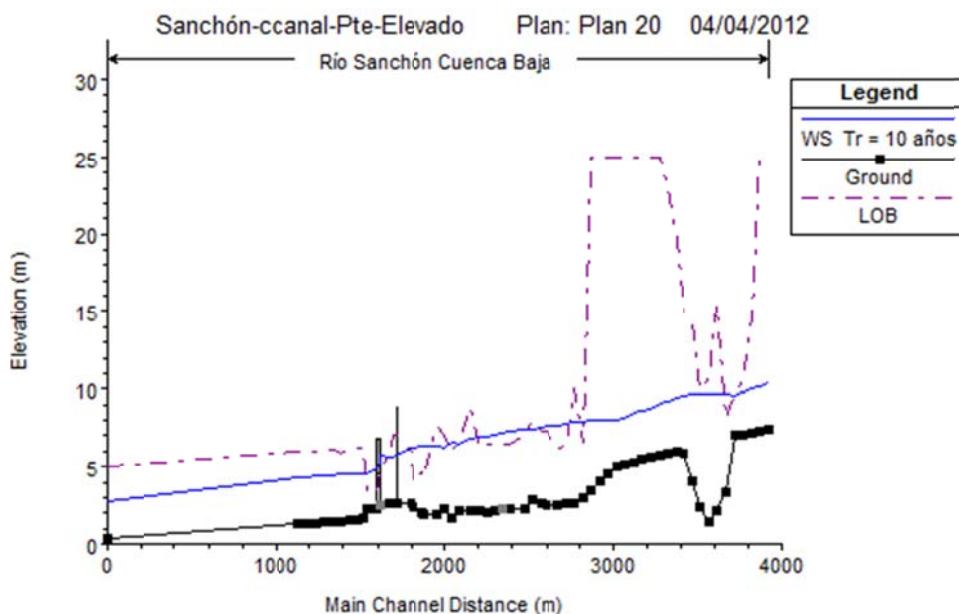


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura E. 6 Sección transversal del canal en la progresiva 1+450,00 para un  $tr$  de 5 años.

## E.2 Período de retorno ( $tr$ ) de 10 años

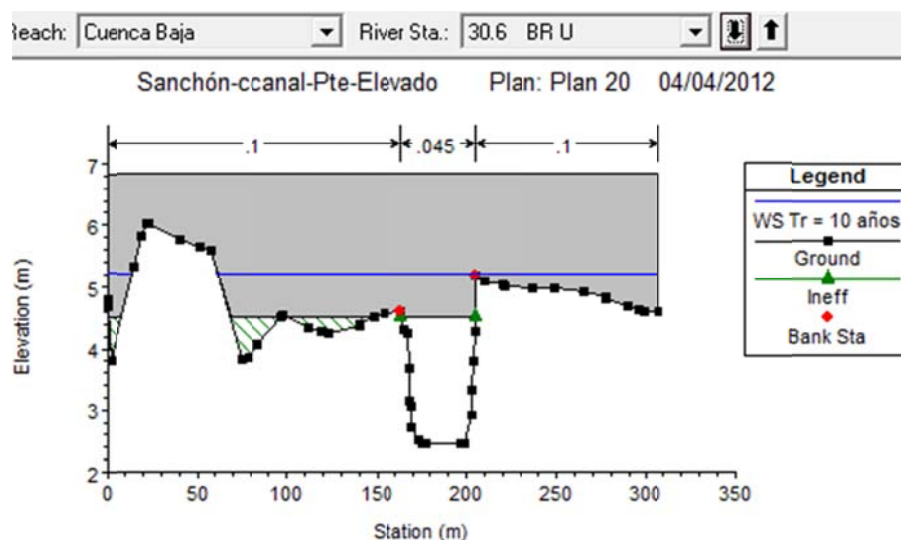
La Figura E.7, presentan el perfil hidráulico longitudinal del tramo en estudio del río Sanchón para la alternativa de Sobreelevación del puente de la autopista para el período de retorno de 5 años.



Fuente: Simulación hidrológica con HEC-RAS.

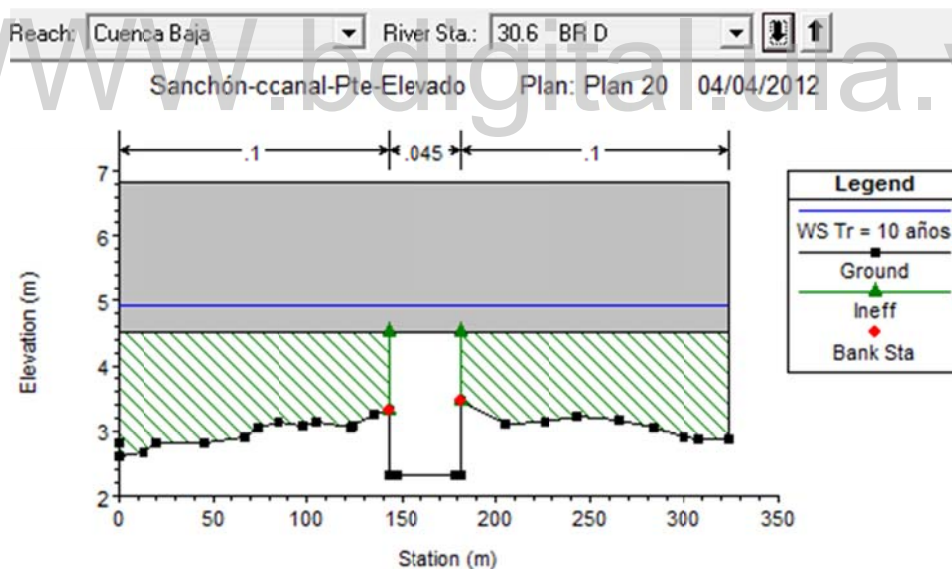
Figura E. 7 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 10 años. Alternativa 3.

En las Figuras E.8, E.9, E.10 y E.11, se muestran las secciones de los puentes para esta alternativa referente a los niveles alcanzados aguas arriba y aguas abajo de los puentes la autopista y puente vía férrea respectivamente.



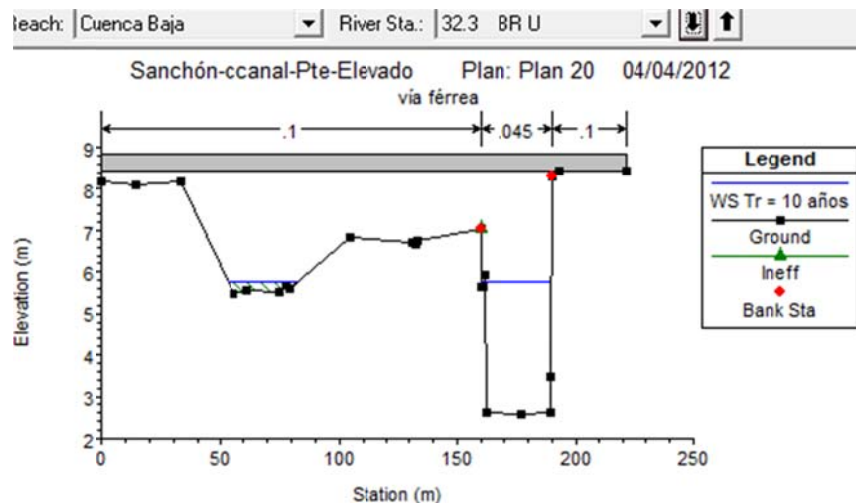
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 8 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años aguas arriba de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



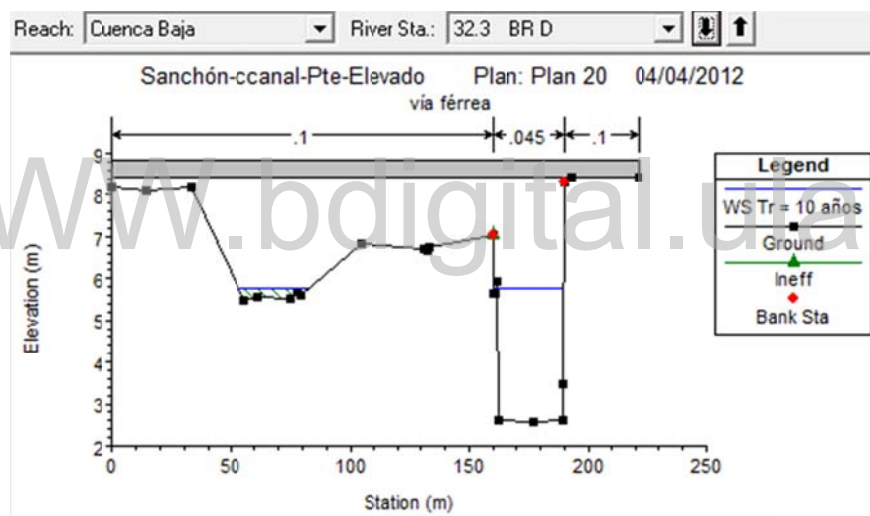
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 9 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años aguas abajo de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

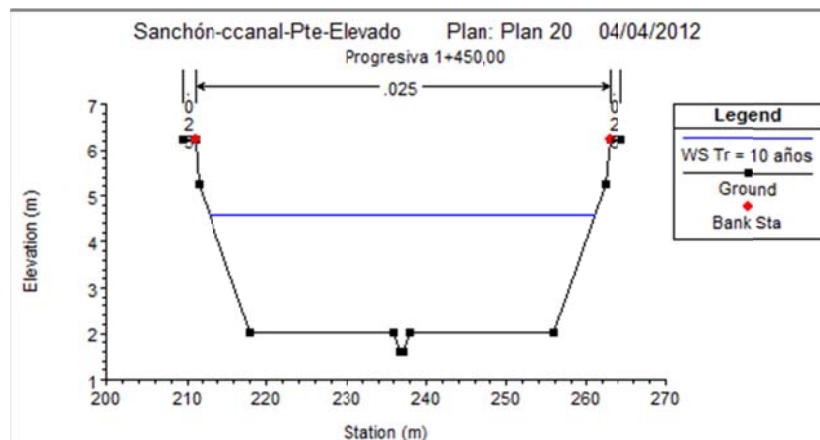
**Figura E. 10 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años aguas arriba en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 11 Nivel esperado para un  $tr$  de 10 años aguas abajo en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**

Se anexa el canal de concreto aguas debajo del puente de la autopista. La Figura E.12, muestra el comportamiento hidráulico de la sección transversal del canal para este caso.

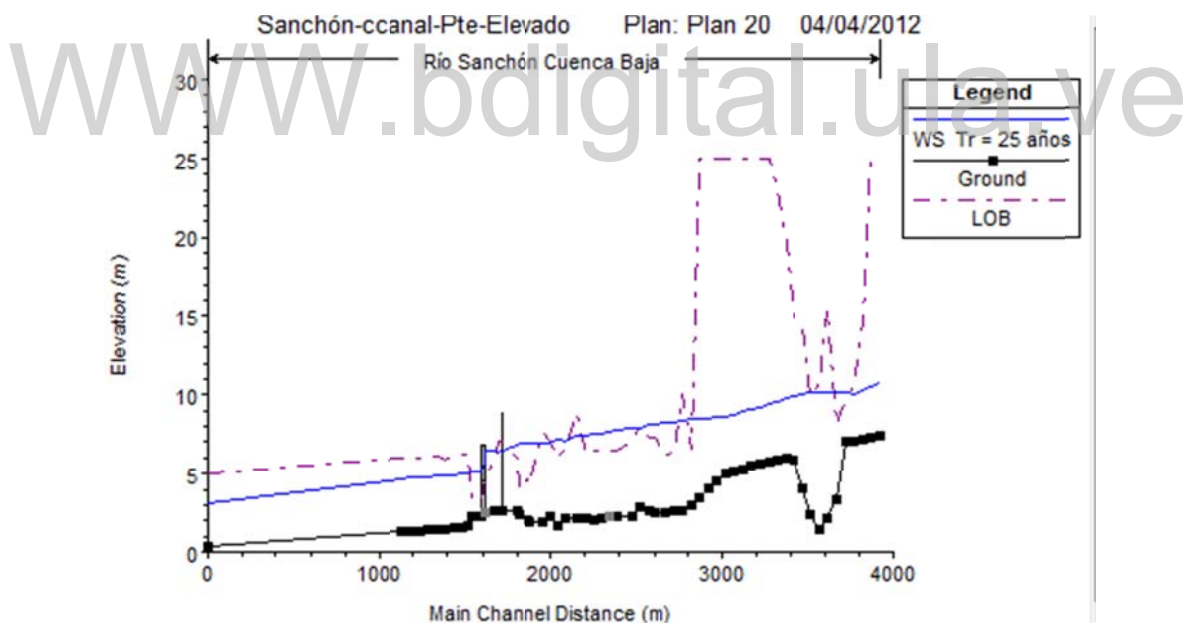


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 12** Sección transversal del canal en la progresiva 1+450,00 para un  $tr$  de 10 años.

### E.3 Período de retorno ( $tr$ ) de 25 años

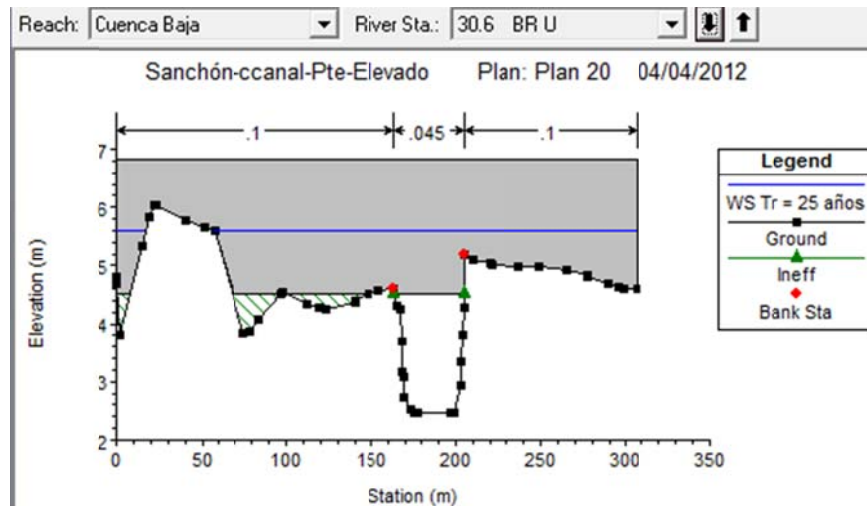
La Figura E.13, presentan el perfil hidráulico longitudinal del tramo en estudio del río Sanchón para la alternativa de Sobre elevación del puente de la autopista para el período de retorno de 5 años.



Fuente: Simulación hidrológica con HEC-RAS.

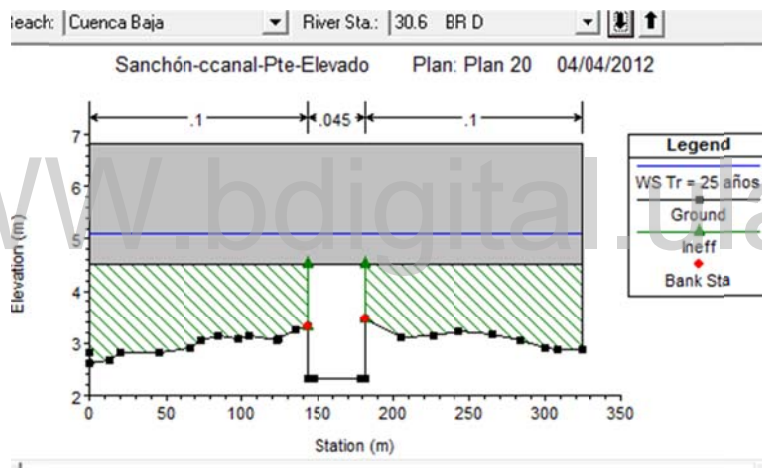
**Figura E. 13** Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 25 años. Alternativa 3.

En las Figuras E.14, E.15, E.16 y E.17, se muestran las secciones de los puentes para esta alternativa referente a los niveles alcanzados aguas arriba y aguas abajo de los puentes la autopista y puente vía férrea respectivamente.



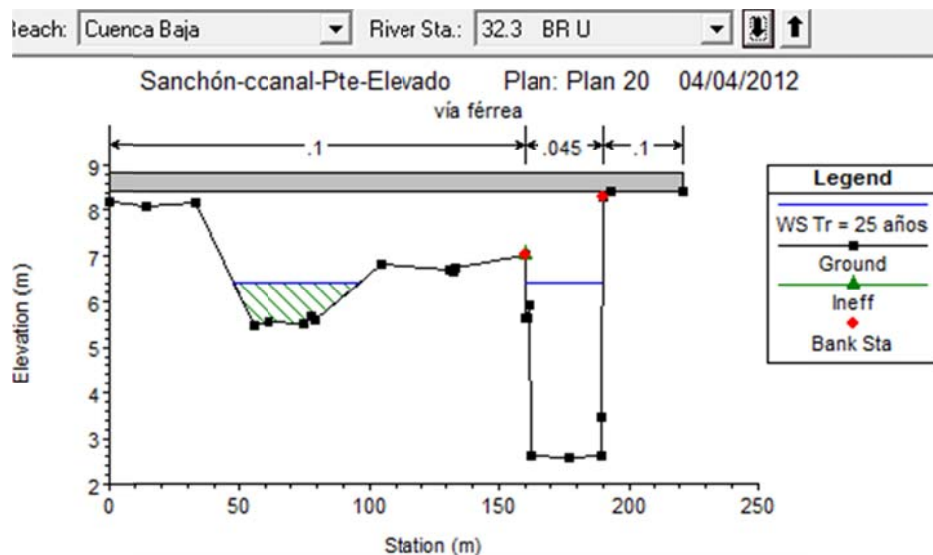
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 14 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años aguas arriba de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



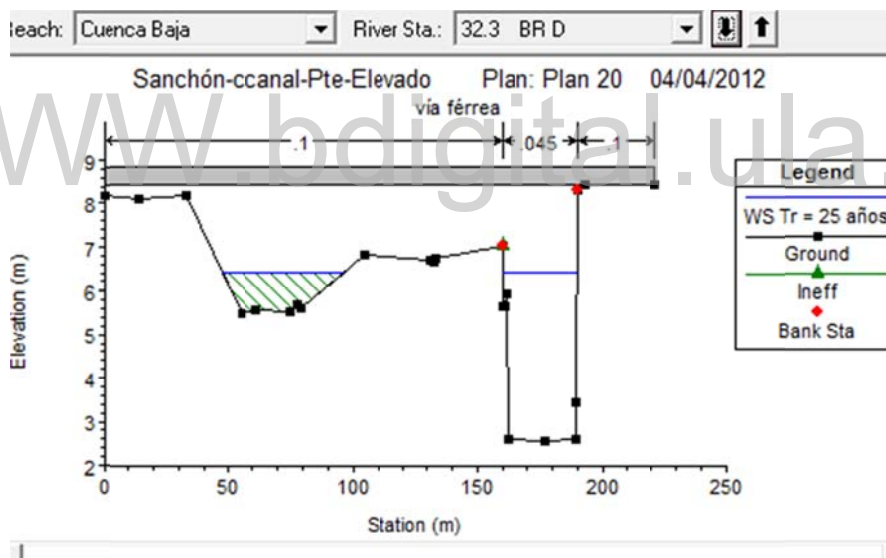
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 15 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años aguas abajo de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura E. 16 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años aguas arriba en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.

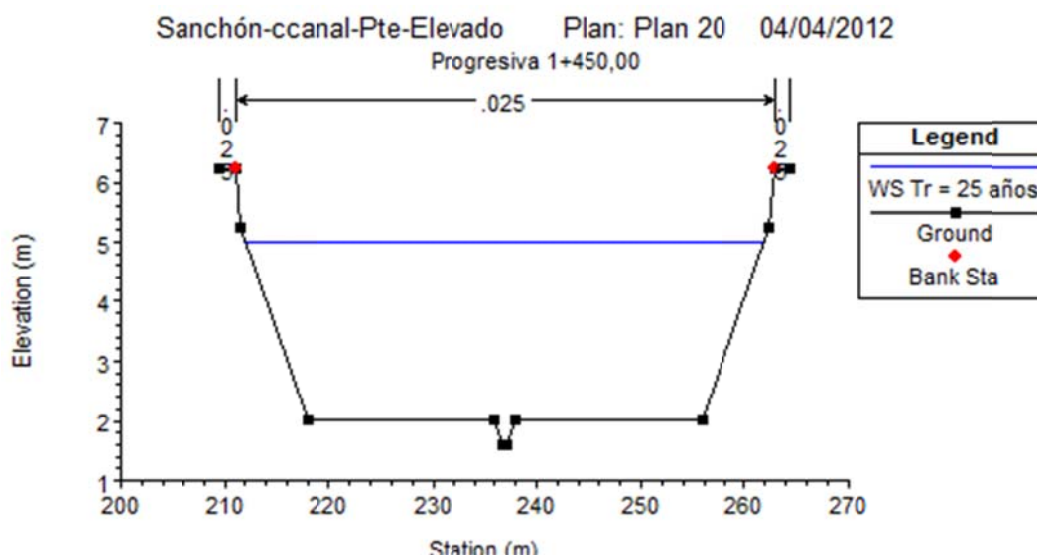


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura E. 17 Nivel esperado para un  $tr$  de 25 años aguas abajo en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.



Se anexa el canal de concreto aguas debajo del puente de la autopista. La Figura E.18, muestra el comportamiento hidráulico de la sección transversal del canal para este caso.

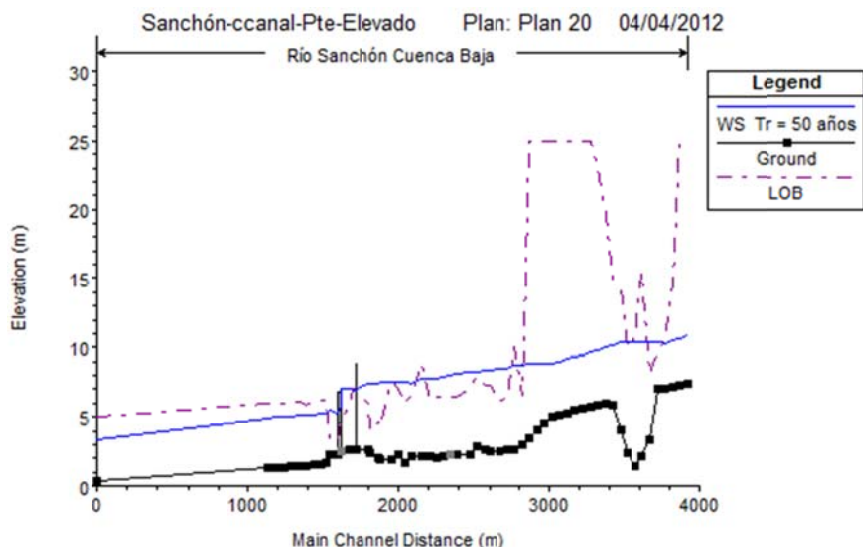


Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 18** Sección transversal del canal en la progresiva 1+450,00 para un  $tr$  de 25 años.

#### E.4 Período de retorno ( $tr$ ) de 50 años

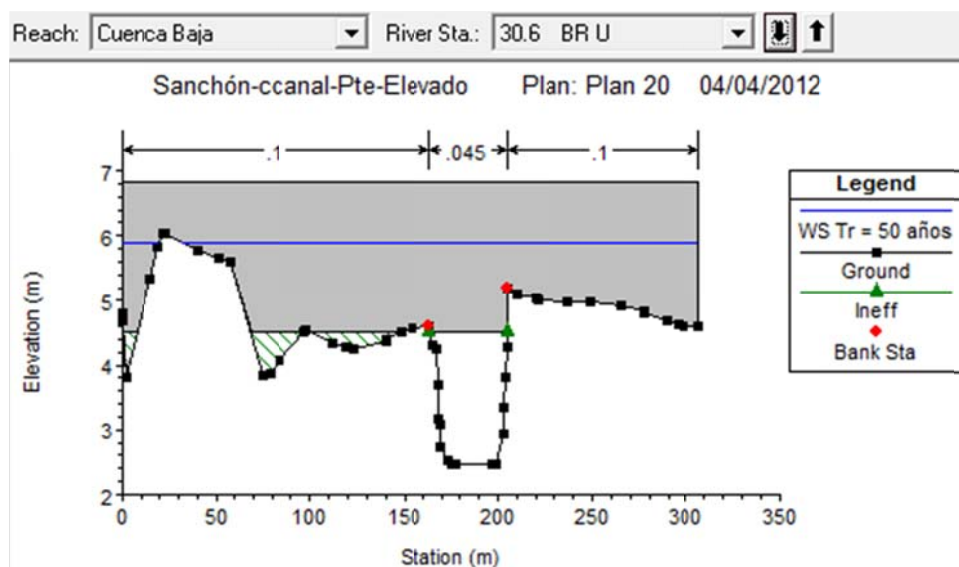
La Figura E.19, presentan el perfil hidráulico longitudinal del tramo en estudio del río Sanchón para la alternativa de Sobreelevación del puente de la autopista para el período de retorno de 5 años.



Fuente: Simulación hidrológica con HEC-RAS.

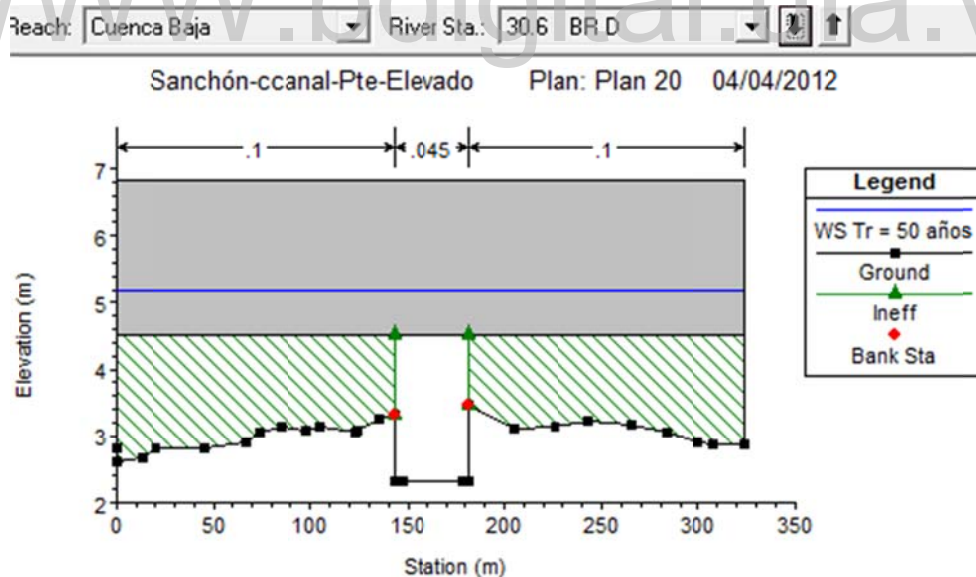
**Figura E. 19** Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 50 años. Alternativa 3.

En las Figuras E.20, E.21, E.22 y E.23, se muestran las secciones de los puentes para esta alternativa referente a los niveles alcanzados aguas arriba y aguas abajo de los puentes la autopista y puente vía férrea respectivamente.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

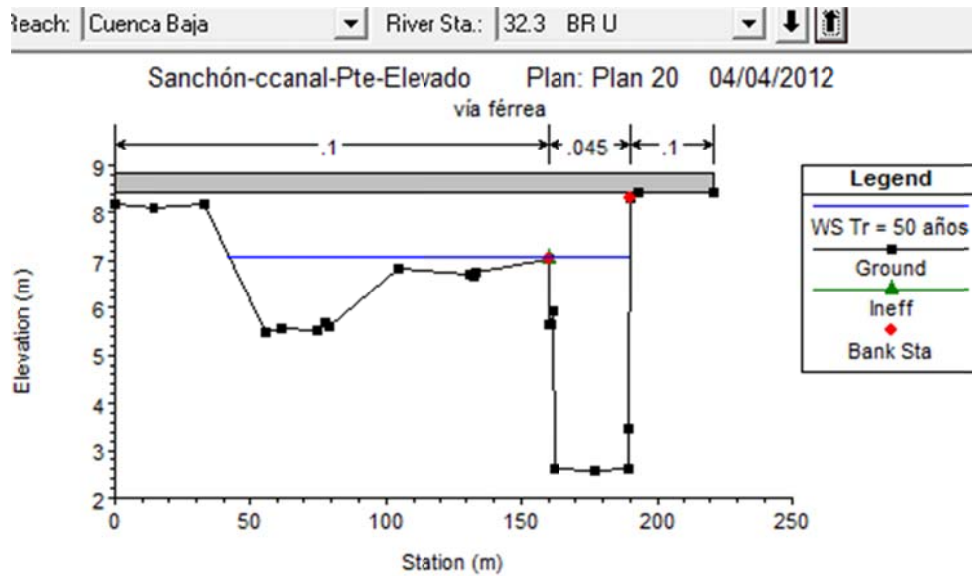
Figura E. 20 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años aguas arriba de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

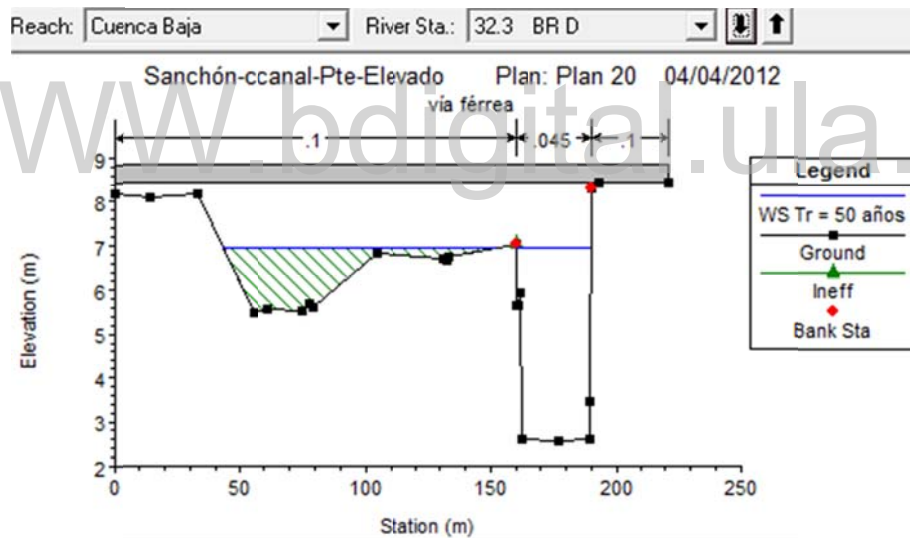
Figura E. 21 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años aguas abajo de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.





Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

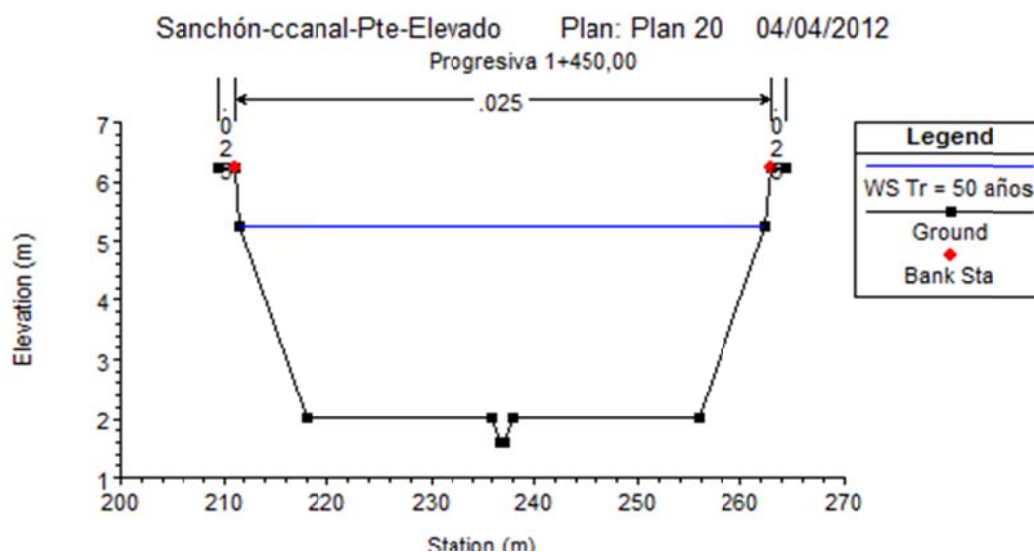
**Figura E. 22 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años aguas arriba en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 23 Nivel esperado para un  $tr$  de 50 años aguas abajo en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**

Se anexa el canal de concreto aguas debajo del puente de la autopista. La Figura E.24, muestra el comportamiento hidráulico de la sección transversal del canal para este caso.

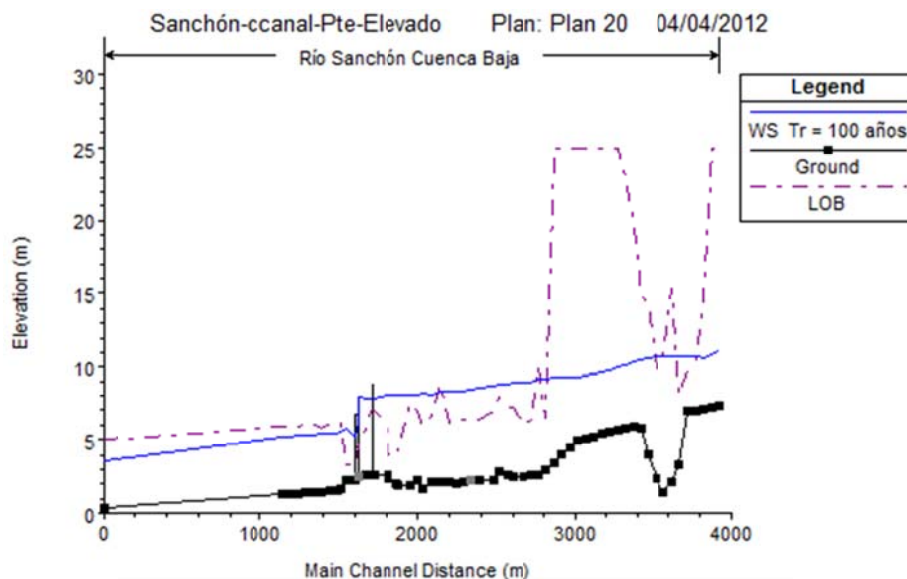


Fuente: Simulación hidráulica *HEC-RAS*.

Figura E. 24 Sección transversal del canal en la progresiva 1+450,00 para un  $tr$  de 50 años.

### E.5 Período de retorno ( $tr$ ) de 100 años

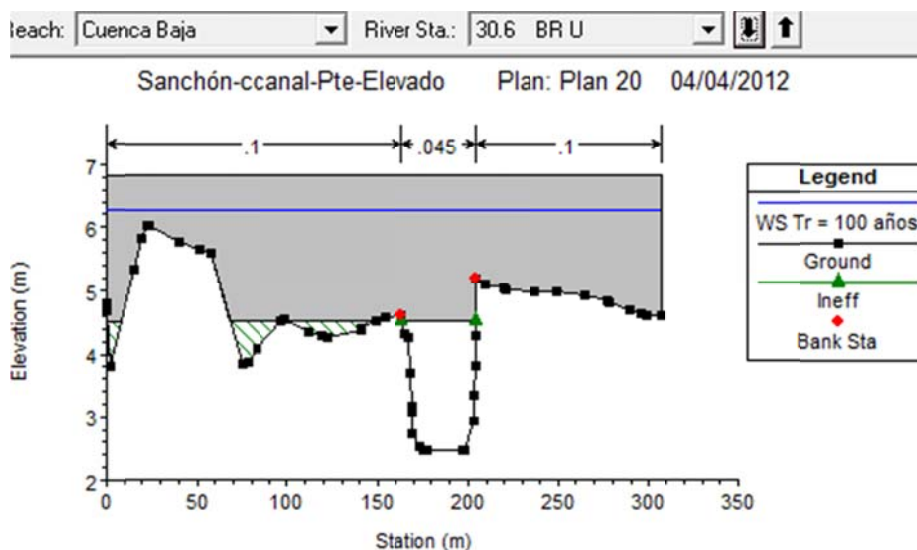
La Figura E.25, presentan el perfil hidráulico longitudinal del tramo en estudio del río Sanchón para la alternativa de Sobreelevación del puente de la autopista para el período de retorno de 5 años.



Fuente: Simulación hidrológica con *HEC-RAS*.

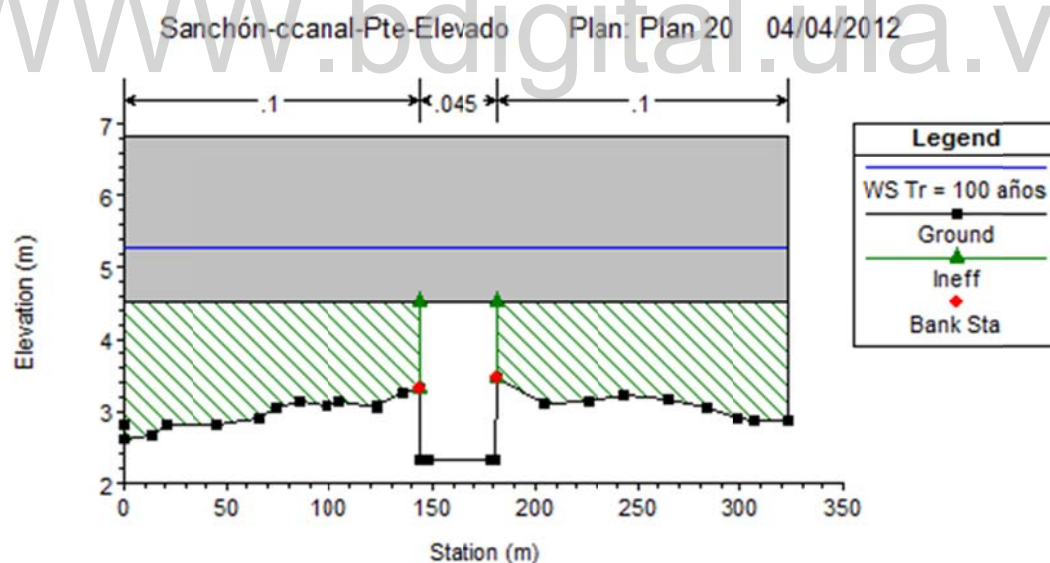
Figura E. 25 Perfil hidráulico longitudinal con el nivel de superficie del agua y posibles zonas de inundación para un período de retorno ( $tr$ ) de 100 años. Alternativa 3.

En las Figuras E.26, E.27, E.28 y E.29, se muestran las secciones de los puentes para esta alternativa referente a los niveles alcanzados aguas arriba y aguas abajo de los puentes la autopista y puente vía férrea respectivamente.



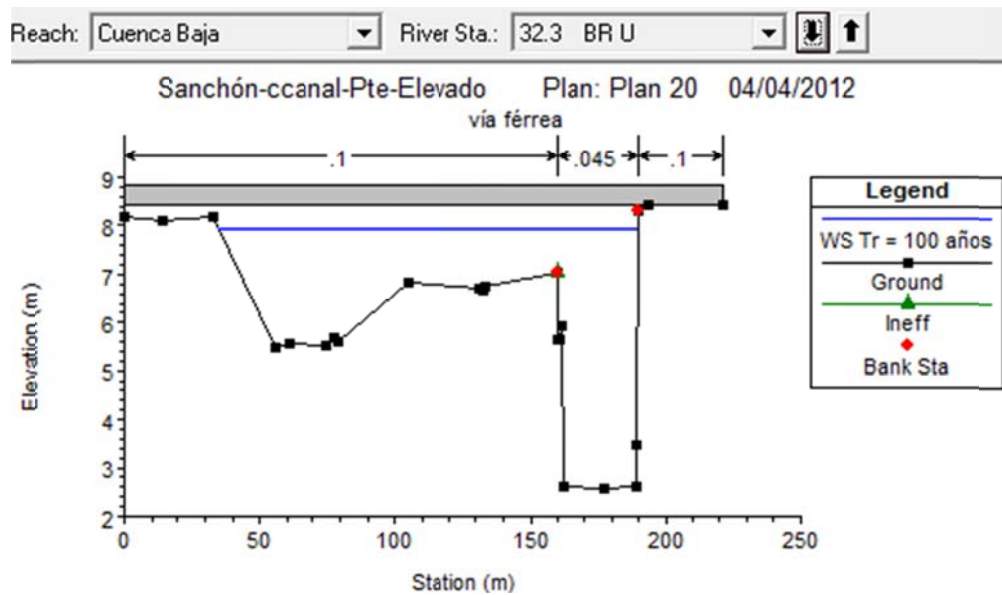
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura E. 26 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años aguas arriba de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.



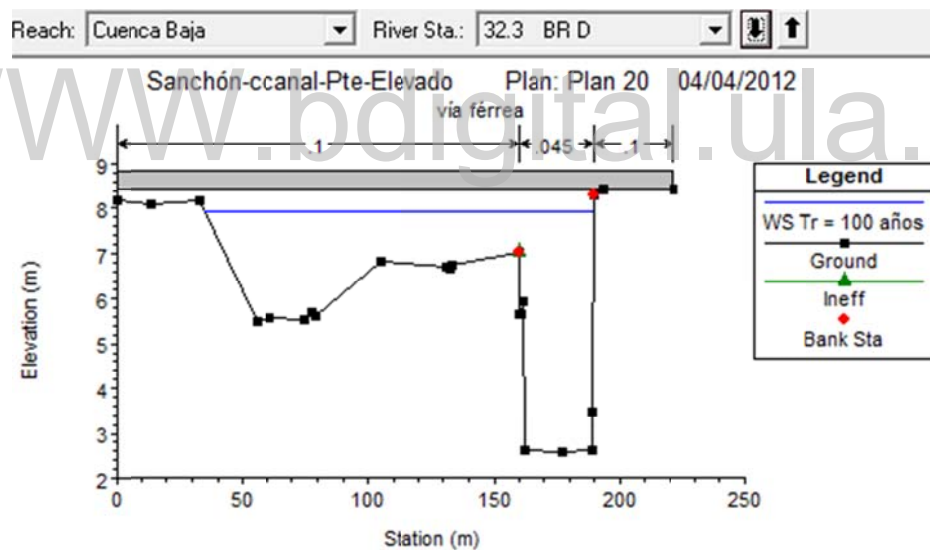
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

Figura E. 27 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años aguas abajo de la sección del puente de la autopista, una sobreelevación de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

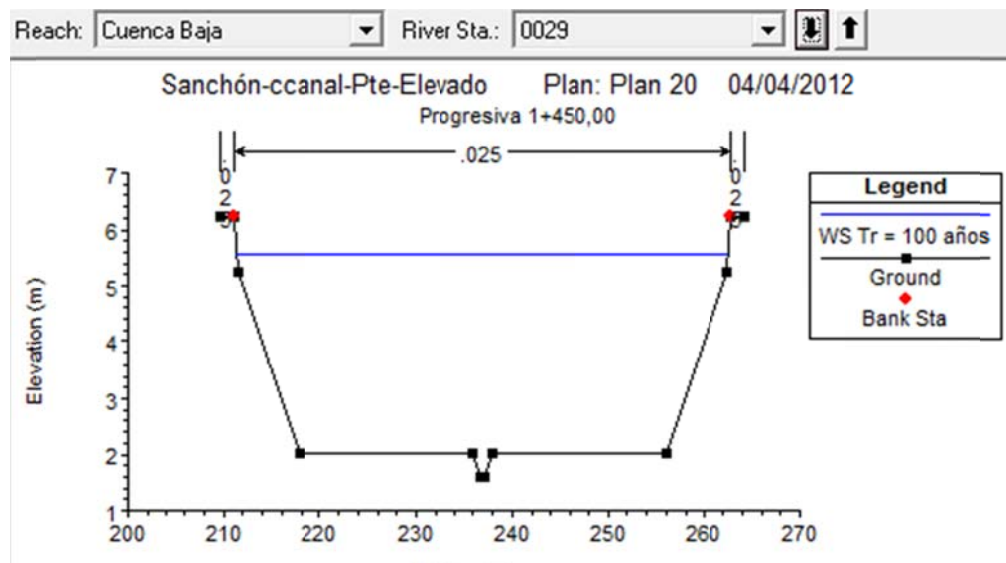
**Figura E. 28 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años aguas arriba en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**



Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 29 Nivel esperado para un  $tr$  de 100 años aguas abajo en la sección del puente de la vía férrea, una sobreelevación del puente de la autopista de 1.5 metros y conformando la sección de 40 metros a 100 metros. Alternativa 3.**

Se anexa el canal de concreto aguas debajo del puente de la autopista. La Figura E.30, muestra el comportamiento hidráulico de la sección transversal del canal para este caso.



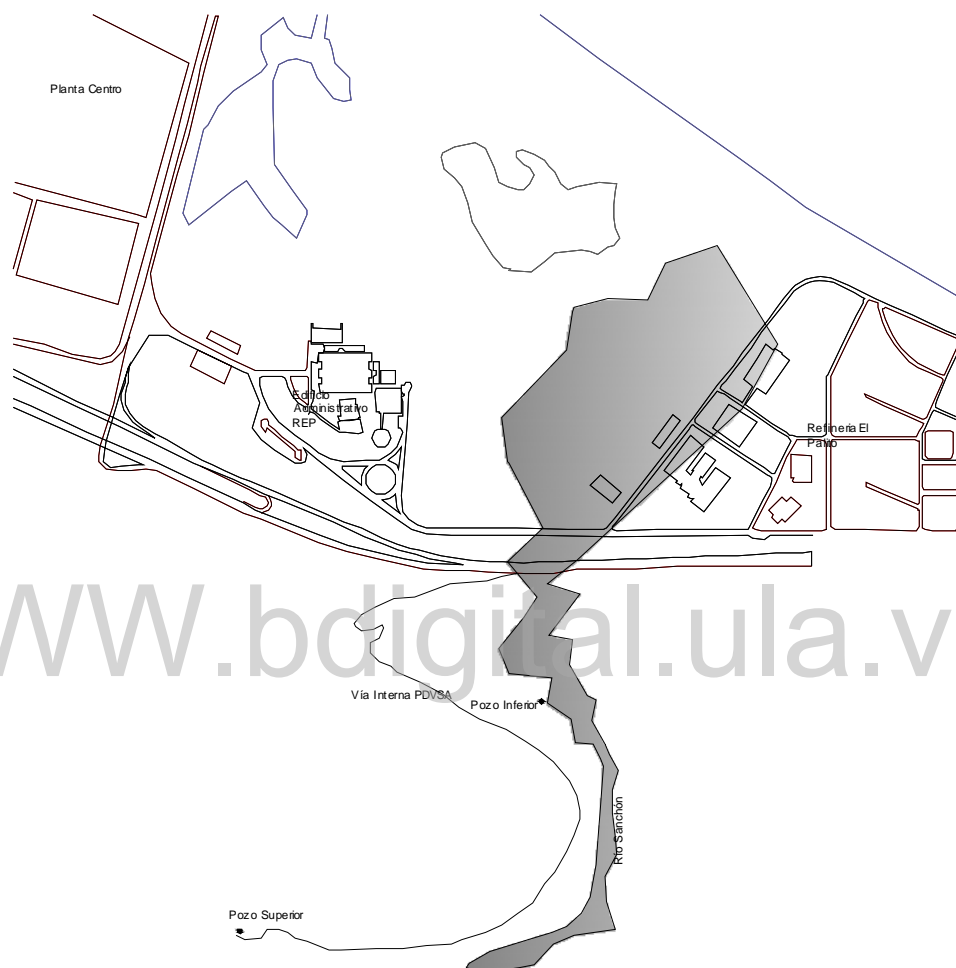
Fuente: Simulación hidráulica HEC-RAS.

**Figura E. 30 Sección transversal del canal en la progresiva 1+450,00 para un  $tr$  de 100 años.**

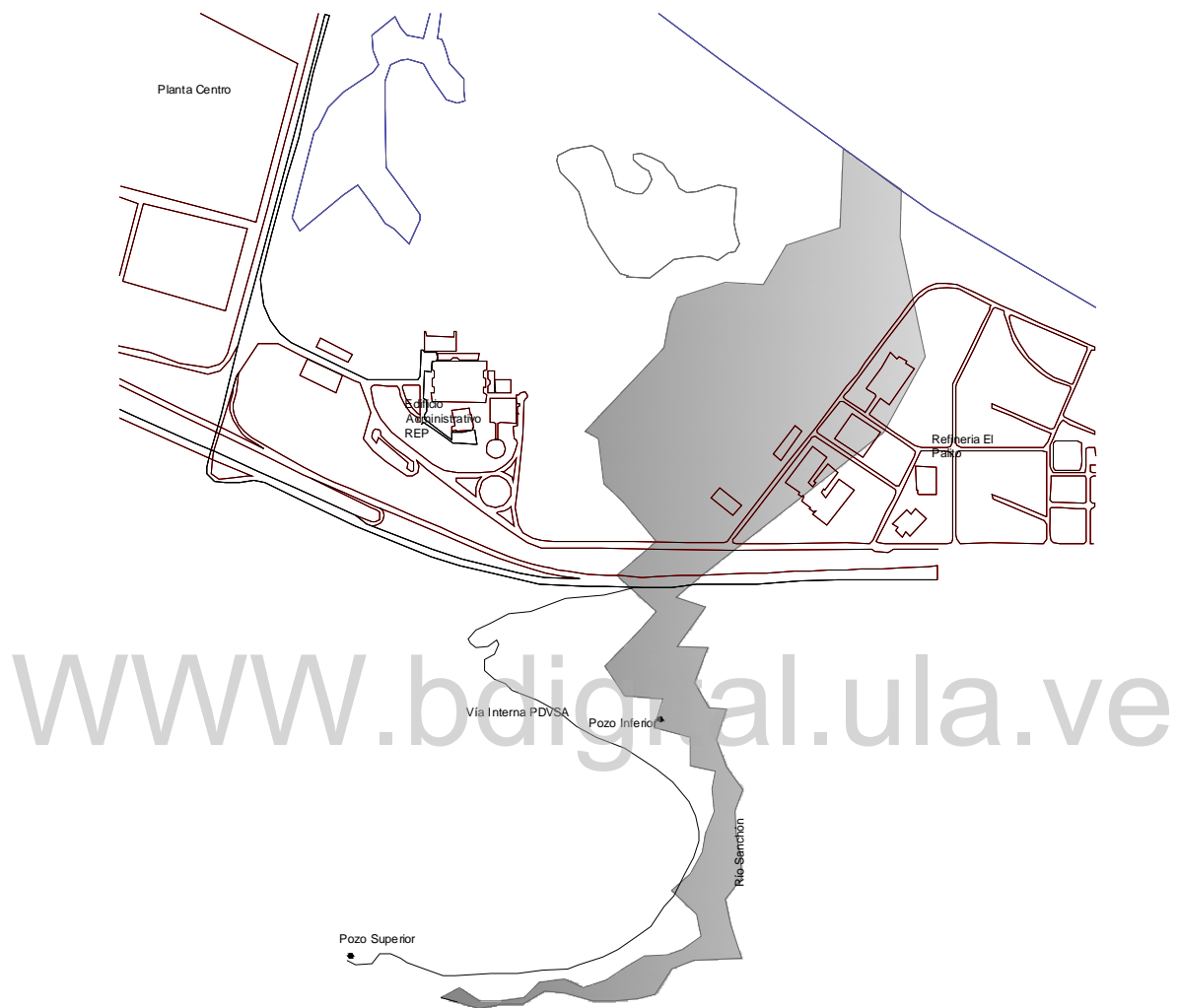
WWW.bdigital.ula.ve

**Anexo F**  
**ÁREAS DE INUNDACIÓN PARA LOS PERÍODOS DE RETORNO**  
**CONSIDERADOS**

## F.1 Áreas de inundación para período de retorno de 5 años

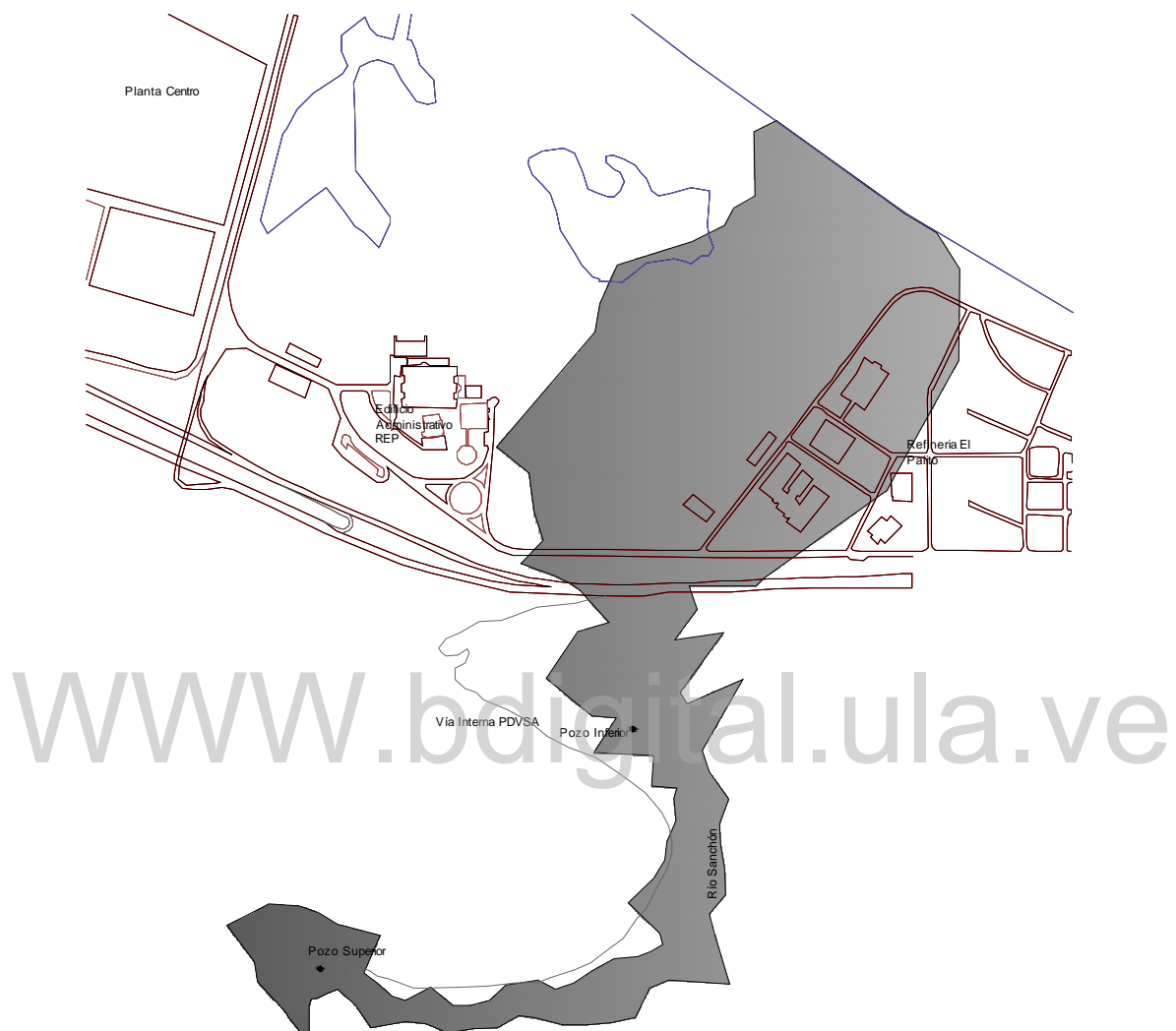


## F.2 Áreas de inundación para período de retorno de 10 años





### F.3 Áreas de inundación para período de retorno de 50 años



#### F.4 Áreas de inundación para período de retorno de 100 años

