

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke**

**ZONAS AMENAZADAS POR INUNDACIÓN DEL  
ESTERO BELLAVISTA EN TOMÉ**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
Título de Ingeniero Civil

**MARÍA JOSÉ PUENTES BURGOS**

**Concepción, Diciembre 2014**

*Dedicado:*

*A mi abuelo Eduardo Burgos Sandoval,  
quien descansa en paz y sé que estaría  
orgulloso de su nieta, sin él no hubiera  
sido posible finalizar esta etapa.*

*Agradecimientos:*

*A mi madre Patricia Brugos por sus sabias palabras de ánimo en los momentos difíciles. Y A mi familia en general por apoyarme incondicionalmente en cada una de mis aventuras.*

*A mi profesor guía Álvaro Suazo por su guía y orientación, pues sin él no hubiera sido posible realizar este proyecto de título.*

*A mi compañero y amigo Nestor Gutiérrez por estar siempre conmigo, en las buenas y en las malas.*

*Y a todas las personas que participaron directamente o indirectamente en la realización de este proyecto.*

*A todos ellos, Muchas Gracias por su compañía, apoyo, compromiso, amor y amistad.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Justificación .....	3
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.3.2 <i>Objetivo Específicos</i> .....	4
2. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Identificación de la zona de estudio .....	5
2.2 Recopilación de información.....	6
2.2.1 <i>Fuente secundaria: Información periodística</i> .....	6
2.2.2 <i>Fuente primaria: Encuesta</i> .....	7
2.3 Cálculo de caudales de crecida.....	8
2.4 Trabajo en terreno.....	10
1.3.2 <i>Obtención de muestras</i> .....	10
1.3.2 <i>Levantamiento topográfico</i> .....	11
2.5 Calibración de modelo.....	12
2.6 Modelación hidráulica .....	13
2.7 Elaboración mapa de amenaza por inundación .....	14
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	16
4.1 Caudales de crecida .....	16
4.2 Características del lecho .....	16
4.3 Rugosidades calibradas.....	18

4.4 Áreas potencialmente afectadas por amenaza de inundación.....	18
4.5 Análisis de resultados .....	26
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	29
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS .....	33
ANEXO A: Información periodística de inundaciones y entrevista a pobladores.	
ANEXO B: Granulometría de la capa subsuperficial según NCh 165 Of.77.	
ANEXO C: Cálculos y antecedentes.	
ANEXO D: Resultados.	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio estero Bellavista .....	6
Figura 2: Estaciones pluviométricas existentes en el área de estudio y cuencas aportantes .....	9
Figura 3: Ubicación de perfiles transversales y zonas de muestreo .....	11
Figura 4: Zonas inundables estero Bellavista para T= 5 años .....	19
Figura 5: Zonas inundables tramo Bellavista bajo y Nachur para T= 10 años.....	20
Figura 6: Zonas inundables tramo Bellavista alto para T= 10 años .....	20
Figura 7: Zonas inundables tramo Bellavista bajo y Nachur para T= 25 años.....	21
Figura 8: Zonas inundables tramo Bellavista Alto y Nachur para T= 25 años .....	22
Figura 9: Zonas inundables tramo Bellavista bajo y Nachur para T= 100 años.....	23
Figura 10: Zonas inundables tramo Bellavista alto para T= 100 años .....	24
Figura 11: Zonas amenazadas por inundación tramo Bellavista bajo y Nachur .....	25
Figura 12: Zonas amenazadas por inundación tramo Bellavista alto .....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros morfológicos de las cuencas aportantes .....	10
Tabla 2: Clasificación de amenaza por inundación .....	14
Tabla 3: Significado del mapa de amenaza por inundación .....	15
Tabla 4: Caudales de crecida adoptados.....	16
Tabla 5: Clasificación de muestras de la capa superficial del lecho .....	17
Tabla 6: Contenido de materia orgánica.....	17
Tabla 7: Coeficiente de rugosidades calibradas .....	18

## ZONAS AMENAZADAS POR INUNDACIÓN DEL ESTERO BELLAVISTA EN TOMÉ

**Autora:** María José Puentes Burgos

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: [mariajosepuentesb@gmail.com](mailto:mariajosepuentesb@gmail.com)

**Profesor Patrocinante:** Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

### RESUMEN

Producto de las intensas precipitaciones ocurridas en la Región del Bío-Bío, se han registrado en los últimos años diversos desbordes del estero Bellavista en Tomé, trayendo consigo costosas pérdidas materiales para la población del sector. En este contexto, el objetivo del presente Proyecto de Título es determinar las áreas potencialmente amenazadas por el desborde del cauce, pudiendo ser de utilidad para la futura planificación urbana de la ciudad. Para llevar a cabo este estudio se realizó una modelación hidráulica del estero involucrado, el cual se caracterizó topográficamente con 13 perfiles transversales distribuidos en el sector de Bellavista. Para la validación de las simulaciones se realizó la calibración del modelo con las alturas de inundación recordadas por la población en el evento de Julio del 2006. Las áreas inundables obtenidas se clasificaron según su probabilidad de ocurrencia asignándoles distintos niveles de amenaza por inundación. Finalmente se elaboraron mapas de estas áreas, identificando que gran parte del sector de Bellavista se encuentra bajo una amenaza media de inundación, lo que requiere resolver el problema de capacidad hidráulica del estero de forma definitiva.

Palabras Claves: Inundación, mapas de amenaza, zona inundable.

5179 Palabras Texto + 12 Figuras/Tablas\*250 + 3 Figuras/Tablas\* 500 = 9679 Palabras Totales

## THREATENED ZONES BY FLOODING OF BELLAVISTA STREAM IN TOMÉ

**Author:** María José Puentes Burgos

Civil and Environmental Engineering Department, University of Bío-Bío

E-mail: [mariajosepuentesb@gmail.com](mailto:mariajosepuentesb@gmail.com)

**Advisor:** Álvaro Suazo Schwencke

Civil and Environmental Engineering Department, University of Bío-Bío

E-mail: [asuazo@ubiobio.cl](mailto:asuazo@ubiobio.cl)

### ABSTRACT

Product of intense rain occurred in the Region of Biobío, it has been registered in last years several overflows of Bellavista stream in Tomé, bringing with it costly material losses for population of the sector. In this context, the objective of work is to determine potentially threatened areas by the overflowing of the stream, which will be useful for future urban planning. To carry out this study it was made a hydraulic modeling of the stream involved, which was characterized topographically with 13 cross sections distributed in Bellavista's fields. For validation of the simulation it was performed a model calibration with inundation heights remembered by the population in July 2006 event. The obtained flooded areas were classified according to their probability of occurrence assigning different levels of inundation hazard. Finally, maps of these areas were developed, identifying that much of Bellavista's sector is under medium threat of inundation, which requires solving permanently the problem of hydraulic capacity of the stream.

Keywords: Inundation, hazard maps, flooding zone.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas, el crecimiento acelerado de los sectores urbanos ha provocado la falta de espacios aptos para la ocupación de viviendas que satisfagan el crecimiento de la población. Lo que ha facilitado la utilización de sectores cercanos a los cauces, que muchas veces no son idóneos para la construcción de viviendas y el asentamiento humano. Debido a que estos sectores presentan una amenaza latente de crecidas frecuentes y extremas que producen no sólo grandes inundaciones, sino que también problemas sanitarios, de anegamiento y problemas de salud debido a la mala calidad del agua.

A nivel mundial, las inundaciones son el desastre natural más frecuente. El número de inundaciones reportadas ha crecido significativamente, en especial en los últimos 20 años. Apenas en el año 2010, 178 millones de personas fueron afectadas por ellas, donde las pérdidas totales en años excepcionales, como 1998 y 2010, sobrepasaron los 40 mil millones de dólares. (Bloch, 2012).

Este escenario no es ajeno a Chile, siendo necesario abarcar el tema para sensibilizar a las personas, sobre el peligro que conlleva habitar los sectores inundables de los cauces. Por esta razón, el presente Proyecto de Título busca determinar las zonas inundables del tramo urbano del estero Bellavista, ubicado en la Región del Biobío. Allí se han registrado inundaciones importantes, afectando a gran parte de las poblaciones ribereñas en cuyos eventos se han lamentado elevados costos materiales para los habitantes.

De este modo, se pretende aportar en esta problemática actualizando la información existente, estableciendo áreas con diferente amenaza de inundación por el desborde del cauce, que permitan a las autoridades competentes tomar medidas de prevención y mitigación no solo en las zonas urbanas, sino que también en las potenciales áreas habitables.

### **1.1. Justificación**

Durante los últimos años el estero Bellavista ha sufrido varias crecidas de importancia. Como su régimen es pluvial, o sea depende directamente de las precipitaciones que caigan sobre su cuenca, tales crecidas fueron principalmente causadas por temporales ocurridos en la región.

Este es el caso de las inundaciones ocurridas en los años 2002, 2005 y 2006, donde gran parte del sector Bellavista sufrió daños por el desborde del estero. El evento más reciente fue el desborde del cauce en Junio 2013 donde se vieron afectados por el ingreso del agua a sus casas sectores como El Arrayán, Licarayén y La Vega alcanzando niveles de agua de hasta un metro de altura (EL SUR, 2013). Debido a esta realidad se hace necesaria una actualización constante de la información que existe del sector, generando mapas con diferente amenaza de inundación por desborde del cauce, que sirvan para apoyar el desarrollo y planificación urbana.

## **1.2. Antecedentes**

El Estero Bellavista se encuentra ubicado en la comuna de Tomé, Provincia de Concepción, Región del Biobío. Nace en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, de la unión de los esteros Primera Agua y Agua Amarilla. Presenta un recorrido de alrededor de 15 km antes de desembocar en el mar, en la bahía de Concepción.

El principal aporte en la zona media y baja es el estero Nachur, cuya confluencia se ubica a alrededor de 1 km aguas arriba de la descarga en el mar.

La cuenca aportante al estero Bellavista alcanza una superficie de alrededor de 119,7 km<sup>2</sup>. El cauce principal tiene una longitud de 32,7 km con una altura máxima de 400 m y mínima de 0 msnm y altura promedio de 262 m (MOP-DOH, 2008).

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### *1.3.1 Objetivo General*

- Determinar las áreas amenazadas por inundación en el sector Bellavista en Tomé, que podrían verse afectadas por el desborde del estero, mediante el uso de HEC-RAS.

### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- Recolectar antecedentes relacionados con inundaciones previas en el sector Bellavista.
- Desarrollar un modelo hidráulico del estero Bellavista para distintas condiciones de amenaza, mediante el apoyo de HEC-RAS.
- Elaborar un mapa de amenaza por inundación asociado a distintos períodos de retorno.

## **2. METODOLOGÍA**

Con el fin de cumplir con el objetivo, se estableció una metodología para definir las zonas inundables del sector Bellavista asociado a distintas crecidas. Ésta se basó mayormente en la elaboración de un modelo hidráulico mediante el software Hydrologic Engineering Center- River Analisis System (HEC-RAS, 2014). Este programa permite el cálculo del perfil de la lámina de agua en régimen permanente o impermanente por el método del paso estándar, cuya hipótesis principal en la que se basa el software es que el flujo simulado deber ser unidimensional, es decir la única componente relevante de la velocidad que se considera es la componente que va en dirección del movimiento. Las otras, dirección vertical y transversal al movimiento, se consideran despreciables (Blade et al., 2009).

Para la utilización del programa se necesitan datos geométricos (topografía), hidráulicos (caudales y rugosidad) y condiciones de borde del estero. Es por ello que se propuso la siguiente estructura para llevar a cabo la simulación.

1. Identificación de la zona de estudio.
2. Recopilación de Información.
3. Cálculo de caudales de crecida.
4. Trabajo en terreno.
5. Calibración del modelo hidráulico.
6. Modelación del cauce.
7. Elaboración mapa de amenaza por inundación.

Una vez planteada la estructura de la metodología se procede a detallar cada una de ellas con sus respectivos procedimientos.

### **2.1 Identificación de la zona de estudio**

El estudio de inundación contempla principalmente el tramo urbano del estero Bellavista, denominado sector Bellavista, el cual se extiende desde los alrededores de la población Los Tilos, ubicada a una distancia de 2,1 km hacia el interior del cauce, hasta la desembocadura del estero en la bahía de Concepción. Además se incluyó en el estudio su principal afluente el estero

Nachur, el que se consideró desde la confluencia con el estero Bellavista hasta una distancia de 0,5 km al interior del afluente. En la Figura 1 se muestra la zona en la cual se llevará a cabo la investigación.



**Figura 1. Área de estudio estero Bellavista (Fuente: Google Earth).**

## **2.2 Recopilación de la información**

La recopilación de la información sobre inundaciones previas se dividió en dos etapas, las cuales contemplan en primer lugar, la búsqueda de antecedentes a través de fuentes secundarias y en segundo lugar la utilización de fuentes primarias.

### *2.2.1 Fuente secundaria: Información periodística*

En la primera etapa se revisó la información de prensa del Diario “El Sur”, de los últimos 5 años (2008-2013). Para cada año se revisaron los meses de Junio, Julio y Agosto que estadísticamente presenta los eventos de lluvia más importantes. Los años previos a este período fueron

considerados en estudios anteriores realizados en el sector como el Plan Maestro de Aguas Lluvia Penco – Tomé (MOP-DOH, 2001), que contempla la recopilación de antecedentes en el período 1951-2001, y el Estudio de factibilidad y mejoramiento definitivo del estero Bellavista (MOP-DOH, 2008) que comprende los años 2002-2007.

Una vez obtenida la información se identificaron los sectores que se han visto afectados por desbordes del estero Bellavista, dentro de los cuales se encuentra el sector Los Tilos, Las Juntas, Los Aromos, Licarayén, La Florentina, El Arrayán, entre otros.

### *2.2.2 Fuente primaria: Encuestas*

La segunda etapa consistió en realizar una encuesta a los pobladores de los sectores identificados en la fase anterior, con el fin de conocer niveles de agua alcanzados en cada desborde y posibles modificaciones que haya sufrido el cauce.

Para la realización de la encuesta (ANEXO A) se utilizó la desarrollada por Manchileo (2012), en la cual se recogen datos como los siguientes:

#### a) Datos personales

Nombre (opcional): Para poder identificar a quien se le aplicó la encuesta y tener la certeza de que fue testigo de las crecidas del estero.

Dirección y esquinas de referencia: Con el fin de facilitar la ubicación de la casa en la eventualidad de necesitar recabar mayor información o en caso de tomar este punto en el levantamiento topográfico.

#### b) Datos de inundaciones históricas

En este ítem se consultó la magnitud de los daños que dejó una crecida en específico. Para describir la intensidad del evento en una determinada vivienda se identifican cuatro niveles, que son los siguientes:

- N/r (No recuerda): La persona encuestada no recuerda inundación consultada, ya sea porque aún no vivía en el sector, no se encontraba en la casa el día de la crecida o simplemente no recuerda la inundación.
- N/i (No Influye): En estos casos los desbordes no afectaron la vivienda.

- Leve: En donde los desbordes solo llegan al exterior de la casa consultada, provocándose leves infiltraciones que no afectaron mayormente.
- Moderada: En casos donde la vivienda alcanzo niveles de agua en su interior de 1 a 20 cm, sin causar mayores pérdidas.
- Grave: Donde sí se observaron pérdidas considerables en los artículos de la vivienda, alcanzado niveles de agua en el interior mayor a 20 cm, lo que hizo necesario deshabitar la casa.

Además se consultó a los pobladores, los niveles de agua alcanzados en el interior de la vivienda. Estos se hacen coincidir con otros encuestados del sector, otorgando mayor validez a la información recopilada, que luego será utilizada en la calibración del modelo.

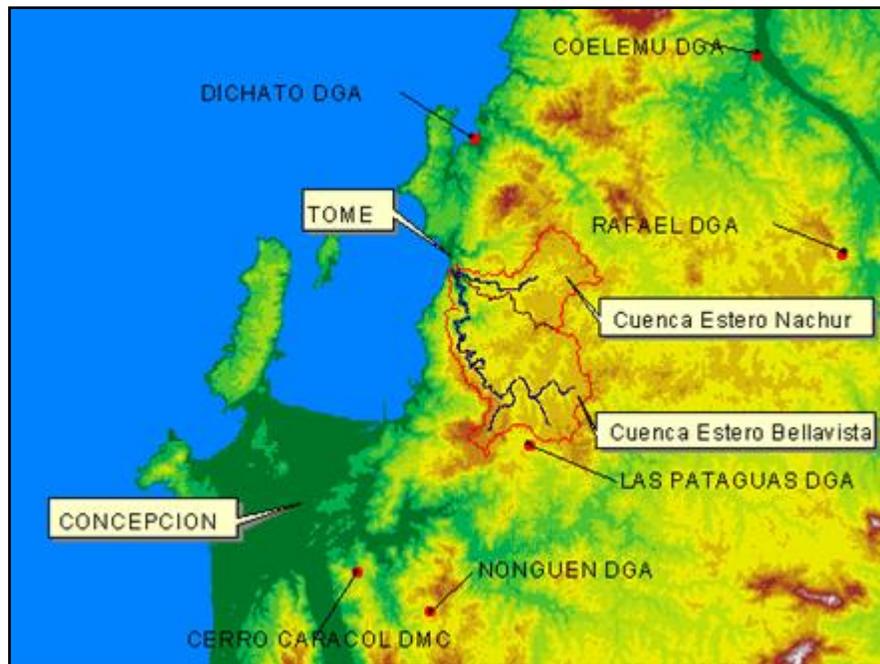
Se realizaron un total de 40 encuestas a una muestra seleccionada particularmente por la ubicación de los perfiles transversales, cuyo ancho dependerá del tamaño de la planicie de inundación.

### **2.3 Cálculo de los caudales de crecida**

La cuenca del estero Bellavista no posee información fluviométrica confiable, pues la estación fluviométrica estero Bellavista en Tomé código BNA:08210003-2 tiene solo 5 años de registro. Con ello no es posible realizar un análisis de frecuencia para determinar los caudales de crecida asociado a períodos de retorno mayor al tamaño de la serie. Es por esto que los caudales se estimaron en función de lo indicado por MOP-DGA (1995).

Para la aplicación de los métodos señalados en el manual fue necesario caracterizar las precipitaciones en la cuenca del estero, a partir de las estaciones pluviométricas cercanas.

En la zona existen varias estaciones pluviométricas, como se observa en la Figura 2, las cuales pertenecen a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) o a la Dirección General de Aguas (DGA). De ellas, las estaciones más cercanas a la cuenca del estero Bellavista son la Estación Las Pataguas, código BNA: 08220005-3, y la Estación Dichato, código BNA: 08210002-4. Debido a esto se utilizó el método de polígonos de Thiessen para determinar la influencia de estas dos estaciones sobre la cuenca del estero.



**Figura 2. Estaciones pluviométricas existentes en el área de estudio y cuencas aportantes (Fuente: Elaboración propia).**

Una vez caracterizadas las precipitaciones en la cuenca se procedió a actualizar la información pluviométrica existente para cada estación en cuestión, que fue facilitada por la DGA, aplicando en primer lugar el test de los datos dudosos (Santana, 2007) con el fin de eliminar los datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información. Luego se realizó un análisis de frecuencia a la serie de precipitaciones máximas en 24 horas con el objetivo de determinar las precipitaciones asociadas a distintos períodos de retorno para cada una de las estaciones elegidas. Para ello se utilizó las funciones de distribución como Gumbel, Normal, LogNormal, Gamma, Exponencial y se seleccionó la que presento un mejor ajuste.

Con la información calculada de las precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a un período de retorno de 10 años se aplicó los siguientes métodos:

- Método DGA-AC
- Método Verni King Modificado
- Método Racional Modificado

Los parámetros morfológicos utilizados para la aplicación de los métodos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Parámetros morfológicos de las cuencas aportantes****(Fuente: MOP-DOH, 2008)**

Estero	A (km <sup>2</sup> )	L (m)	S (%)	H (m)	LG (km)	Tc (hr)
Estero Bellavista en confluencia	85,15	32,1	7,18	403	26,3	5,18
Estero Nachur en confluencia	34,03	12,6	12,8	275	7,81	2,04

El criterio empleado para la elección del caudal de crecida adoptado en las simulaciones fue el promedio de los tres métodos aplicados.

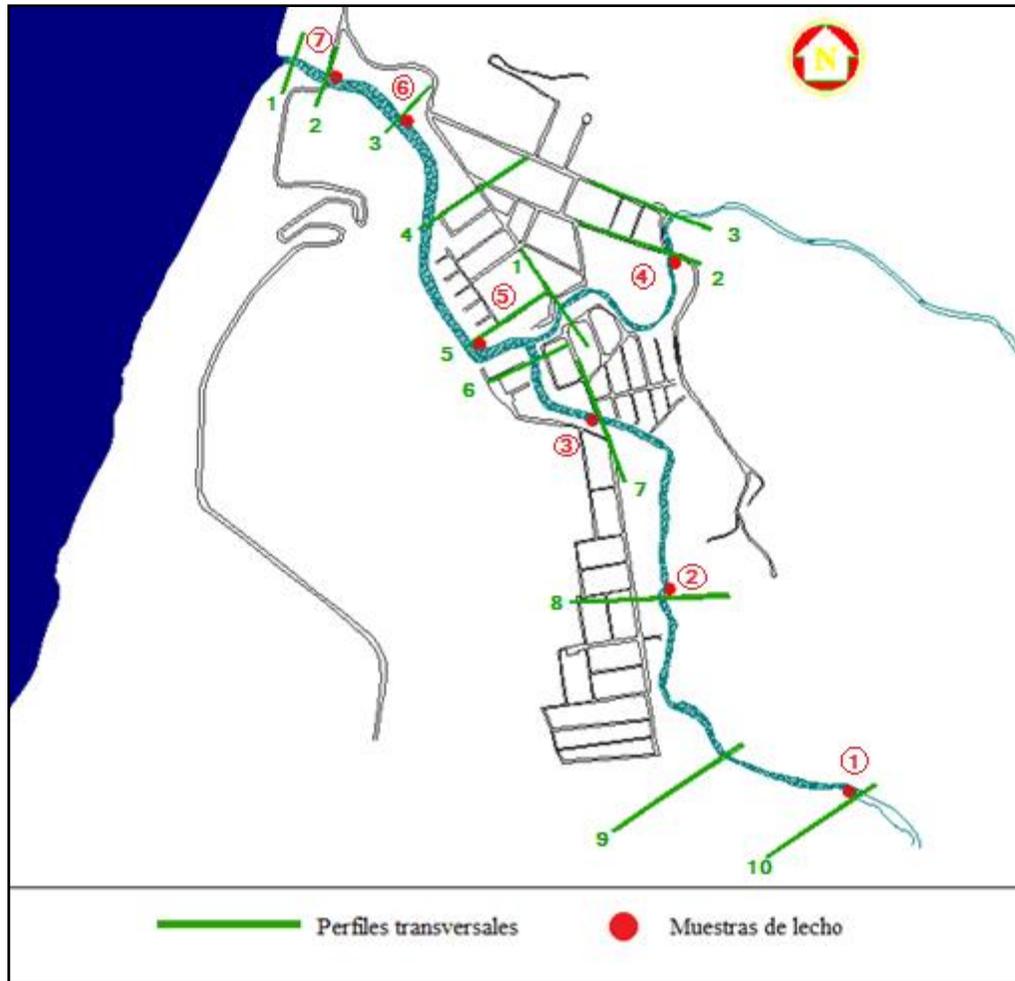
## 2.4 Trabajo en terreno

Con el fin de obtener información visual del cauce se hicieron siete visitas a terreno, en las cuales se identificaron tramos que presentaban similares características en relación al material de fondo del lecho. También se identificó la materialidad de sectores que se encontraban canalizados y se analizó los sectores que se consideraron en el levantamiento topográfico.

### 2.4.1 Obtención de muestras del lecho.

Para la toma de muestras del lecho, en primer lugar se identificaron sectores que fueran accesibles para realizar el muestreo por motivos de seguridad. Luego se observaron similitudes en los tramos del estero de tal modo de disminuir la cantidad de muestras extraídas. Estas se obtuvieron desde un punto del cauce ubicado aproximadamente a 2,1 km aguas arriba del estero Bellavista hasta la desembocadura en la bahía de Concepción. A las muestras extraídas se les realizó un análisis granulométrico, en donde se utilizó la metodología señalada en la norma NCh 165 of 1977, cuyos resultados se presentan en el ANEXO B.

En la Figura 3 se observa la distribución de los puntos de muestreo.



**Figura 3. Ubicación de perfiles transversales y zonas de muestreo**

**(Fuente: Elaboración Propia)**

#### 2.4.2 Levantamiento topográfico.

La topografía se realizó con un nivel topográfico, considerando cuatro criterios para la toma de puntos.

1. Ocupación posible del fluido en la longitud en estudio: estos puntos se identificaron con la recolección de información, en la cual se obtuvo niveles de agua alcanzados en inundaciones recientes cuyos puntos deben ser considerados en la geometría del terreno.
2. Forma del cauce.
3. Accesibilidad para la toma de información.

4. Infraestructura vial existente (Puentes o Pasarelas): Fueron los sectores donde se midió la mayoría de las secciones transversales del cauce por motivos de seguridad.

Al realizar la medición de las secciones transversales se intentó ser lo más perpendicular al cauce posible. En estas mediciones también se consideró la altura de agua, que fue útil en la calibración del modelo asociado a bajos niveles de escurrimiento. Su distribución se observa en la Figura 3. Además de las mediciones de los puntos anteriores, se tomaron cotas en diversas ubicaciones del sector Bellavista, para completar las secciones transversales por los costados del estero (fuera del cauce) y en diversas casas donde se conoce los niveles de inundación alcanzadas en desbordes anteriores.

De esta manera se obtuvo la geometría necesaria para poder realizar la simulación del modelo hidráulico.

## **2.5 Calibración del Modelo**

Los principales parámetros considerados en la calibración del modelo fueron los coeficientes de rugosidad de los cauces y de las planicies de inundación. Otro parámetro que se consideró, consistió básicamente en las características que presentaban las planicies de inundación del sector, siendo necesario ajustar el ancho de las áreas de flujo efectivo de dichas secciones.

El coeficiente de rugosidad de Manning se estimó utilizando información proporcionada por los lugareños sobre los niveles de agua alcanzados en la inundación de Julio 2006, en donde las precipitaciones caídas superaron los 150 mm en 24 hrs, según estadística de la estación DGA medida en estación de Concepción. De acuerdo a los antecedentes documentales de esos días, el estero Bellavista porteó un caudal de 220 m<sup>3</sup>/s en la confluencia de los esteros Bellavista y Nachur, lo que equivale a un período de retorno de 100 años.

Con el modelo, se procedió a simular dicha situación, variando los parámetros de calibración hasta que se obtuvo el valor de rugosidad que más aproximó la cota de agua en el modelo, a aquella cota conocida en cada perfil transversal.

Con el fin de comenzar la calibración con un valor de rugosidad lo más cercano posible al real del cauce, se calculó el coeficiente de Manning inicial con el método de Cowan (Chow, 1959).

Una vez calibrado el modelo fue posible simular las condiciones de flujo de diferentes crecidas, obteniendo niveles de escurrimiento y las potenciales áreas afectadas por el desborde del cauce.

## **2.6 Modelación hidráulica**

En esta etapa se procedió a la modelación propiamente tal del estero, realizada mediante el software HEC-RAS, en donde se trabajó el cauce en flujo permanente ya que básicamente lo que se busca en este proyecto es obtener la cota máxima de inundación, independiente del tiempo en que se alcance, siendo satisfactoria la suposición de régimen permanente para el objetivo de este estudio.

El propósito de la modelación fue determinar los límites de las áreas de inundación para distintas condiciones de amenaza. Por lo tanto, en las simulaciones se modificó la variable caudal para crecidas asociadas a períodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 100 años.

Desde el punto de vista de las capacidades de conducción de los esteros, los muros recientemente construidos, no se consideraron como restricción para los escurrimientos de los esteros, debido a las perforaciones que presentan en la actualidad. Su efectividad se enfocó básicamente en la disminución de la velocidad en caso de producirse algún desborde, reduciendo considerablemente la peligrosidad a la que se exponen los pobladores del sector.

En cuanto a las condiciones de borde, al tratarse de un flujo subcrítico, se debió introducir la cota de agua en el extremo aguas abajo. Cabe señalar, que el estero Bellavista se encuentra fuertemente influenciado por los niveles de las mareas en la desembocadura por lo cual se consideró como condición de borde los efectos de la marea astronómica más la sobreelevación por efectos meteorológicos que representa el caso más desfavorable. Adoptándose una altura de 1,07 m para efectos de la marea astronómica y una sobreelevación por efectos meteorológicos de 0,45 m. Por lo tanto, la cota de agua utilizada en la desembocadura fue 1,52 metros referidos al nivel medio del mar. En cuando al estero Nachur la condición de borde está dada por el nivel de escurrimiento del estero Bellavista en la confluencia de ambos cauces.

## 2.7 Elaboración del mapa de amenaza por inundación

Indudablemente los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Título representan un impacto social muy importante. Debido a ello se consideró necesario fijar de manera clara y precisa los lugares afectados por el desborde del estero, a través de la elaboración de mapas de amenaza por inundación.

El criterio utilizado para representar la amenaza por inundación se basó en la probabilidad de ocurrencia de una crecida. Es por esta razón que se construyeron planos de planta del estero Bellavista en donde se delimitaron las áreas afectadas por el desborde del cauce para los períodos de retorno de 5, 10, 25 y 100 años. Posteriormente éstos se clasificaron en tres categorías, de mayor a menor nivel de amenaza como se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Clasificación de la amenaza por inundación**

Nivel de amenaza	Período de retorno (T)
Alta	$T < 10$ Años
Media	$10 \leq T \leq 25$ Años
Baja	$T > 25$ Años

Para ello se utilizó como base el plano de planta del estero realizado por MOP-DOH (2008), donde fue necesario georreferenciar las secciones transversales medidas, para poder extraer la lámina de inundación correspondiente a cada simulación. Este proceso se realizó con el software Lámina (GITS, 2005).

Cabe señalar, que el conocimiento de las zonas con diferentes niveles de amenaza, es utilizado en los procesos de ordenamiento y planificación territorial para apoyar el desarrollo urbano. Por ello cada nivel debe representar el uso que se le puede dar al área y los potenciales daños a que ese uso estaría expuesto, como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3. Significado del mapa de amenaza por inundación**

**(Fuente: CONSUDE, 2005)**

Leyenda	Implicaciones para el Ordenamiento Territorial
<p style="text-align: center;"><b>Amenaza Alta</b></p>	<p>Zona de prohibición, no apta para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos. Áreas ya edificadas deben ser reubicadas a largo plazo, o protegidas con obras de protección, sistemas de alerta temprana y evacuación temporal.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Amenaza Media</b></p>	<p>Zona de reglamentación, en la cual se puede permitir la expansión y densificación de asentamientos humanos, siempre y cuando existan y se respeten las reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiados. Construcciones existentes que no cumplan con las reglas y normas deben ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Amenaza Baja</b></p>	<p>Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la existencia de amenazas moderadas y poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante éstas.</p>

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente Capítulo se muestran los resultados y análisis obtenidos mediante la metodología planteada en el Capítulo 3. Se exhiben las áreas inundables obtenidas en la modelación hidráulica para períodos de retorno de 5, 10, 25 y 100 años. Finalizando con la clasificación de amenaza por inundación de acuerdo a la Tabla 2.

##### 4.1 Caudales de crecida

Las funciones de distribución de probabilidades que mejor se ajustaron a la serie de precipitaciones máximas en 24 hrs utilizadas fue la función Gamma para la estación las Pataguas y la función Gumbel para la estación Dichato, cuyos resultados se presentan en el ANEXO C.

Una vez calculadas las precipitaciones máximas en 24 hrs asociadas a un período de retorno de 10 años, se aplicaron los tres métodos de estimación de caudales sin información fluviométrica mencionados anteriormente. Los caudales adoptados en las simulaciones se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Caudales de crecida adoptados (m<sup>3</sup>/s)**

T (Años)	Tramo		
	Estero Bellavista en confluencia	Estero Nachur en confluencia	Estero Bellavista sector urbano
2	47.10	20.27	67.74
5	73.55	30.26	104.30
10	89.91	36.36	126.85
25	112.78	44.98	158.49
100	145.31	57.42	203.68

##### 4.2 Características del lecho

De acuerdo a la toma de muestras realizadas en el estero Bellavista, se observa en la Tabla 5 la clasificación de la capa superficial del lecho.

**Tabla 5. Clasificación de muestras de la capa superficial del lecho**

Muestra	Clasificación según AASHTO		Clasificación según USCS		
	Clasificación	IG	Cu	Cc	Clasificación
1	A1-b	0	6,94	0,94	SP
2	A1-b	0	7,47	2,27	SW
3	A1-b	0	5,67	1,89	SP
4	A1-b	0	4,32	1,53	SP
5	A1-b	0	4,14	0,77	SP
6	A-4	0	4,14	0,77	SM
7	A-2-4	0	2,73	0,81	SP

La granulometría del lecho del estero Bellavista es uniforme. En la mayoría de la zona estudiada se encontró arenas pobremente graduadas acompañadas de una mínima porción de limos. El único tramo que presentó mayores diferencias fue el tramo ubicado a 260 m aguas arriba de la desembocadura, donde se encontraron arenas limosas y gran presencia de materia orgánica debido al desagüe de varias tuberías con desechos provenientes del sector las Juntas y la Vega.

Cabe señalar que se extrajeron 2 muestras adicionales en los sectores que presentaban visiblemente una capa subsuperficial distinta a la superficial, como es el caso de la muestra 3 y 4. Y se evaluó nuevamente la muestra 6 al presentar un mayor porcentaje de material fino. En estas muestras se midió el contenido de materia orgánica debido al mal olor que expelían de ellas. En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 6. Contenido de Materia Orgánica**

Muestra	Materia orgánica (%)
3*	2,2
4*	7,82
6	7,26

Para la muestra 3 se obtuvo un bajo porcentaje de materia orgánica, mientras que las dos restantes presentaron un contenido muy rico de esta (Tavera, 1895). Lo anterior se explica debido al alto porcentaje de finos que presentan las muestras, el cual tiene una mayor capacidad de adhesión o retención orgánica, nutrientes y agua (Tisdall, 1982).

### 4.3 Rugosidades calibradas

Luego de calibrado el modelo con las alturas de inundación registradas en el evento de Julio del 2006, Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 7. Coeficiente de rugosidades calibradas**

Tramo	Lecho	Planicie de inundación
Bellavista Bajo	0.0273 - 0.057	0.045 - 0.116
Bellavista Alto	0.041 - 0.069	0.06 - 0.144
Nachur	0.037 - 0.067	0.051 - 0.103

Las rugosidades de Manning en las planicies de inundación, no son un factor determinante en la obtención de las cotas de escurrimiento, debido a que un aumento del 20- 35 % de estos valores, no modifican mayormente la lámina de agua. Caso contrario es el que ocurre con las rugosidades del lecho que presentan una mayor sensibilidad en relación a las alturas de escurrimiento en el sector de Bellavista alto, pues al aumentar en 5-10 % su valor, la cota de agua variaba de 0,2- 0,3 m. Siendo esta una variación considerable que modificaría las áreas delimitadas por inundación.

### 4.4 Áreas potencialmente afectadas por amenaza de inundación

El caudal que genera desbordes en el estero Bellavista pertenece a un período de retorno de 5 años. La capacidad hidráulica del estero se encuentra limitada por los niveles de las riberas en las secciones ubicadas a 230 m aguas arriba de la confluencia con el estero Nachur, y en la zona inmediatamente aguas abajo de la unión de ambos esteros (Figura 4).

No obstante, para esta condición de desborde, las áreas amagadas no son extensas, afectando principalmente el sector de Las Juntas y La Vega. Cabe señalar que para crecidas de 2 años de período de retorno no se observaron desbordes en ninguno de los esteros estudiados.



**Figura 4. Zonas inundables estero Bellavista para T=5 años**

**(Fuente: Elaboración Propia)**

La capacidad de conducción, sin embargo, considera la necesaria mantención de los esteros, evitando la acumulación de sedimentos que en condiciones naturales se producen en la actualidad en el sector de la barra de la desembocadura. La condición de borde de esta sedimentación, provoca problemas para caudales bajos, en donde al no disponer de capacidad de limpieza, se generan peraltamientos de los niveles de agua, generando limitaciones en los sistemas de drenaje existentes.

Para crecidas asociadas a un período de retorno de 10 años se observan desbordes en el estero Nachur, a alrededor de 235 m aguas arriba de la unión con el estero Bellavista. Se afecta parte del sector Los Álamos y el parque emplazado entre Calles Avenida Central y 19 de Junio. En la Figura 5 es posible ver que el área inundada por el estero Bellavista aumenta en comparación a la crecida anterior abarcando áreas ubicadas a 100 m de la ribera derecha del estero.

También se observa en la Figura 6 desbordes en el estero Bellavista aguas arriba de la confluencia con el Nachur, afectando el sector Los Aromos y parte del sector Los Tilos. Si bien en este sector existen muros verticales de alrededor de 1 m de altura, su efectividad contra posibles desbordes resulta cuestionable, por la existencia de orificios que conectan la zona interior protegida, con la exterior expuesta a las crecidas de los esteros. Además el ingreso del

agua en estos sectores se ve favorecida por el sistema de aguas lluvias que descarga directamente al estero Bellavista.



**Figura 5. Zonas inundables tramo Bellavista Bajo y Nachur para T=10 años**  
(Fuente: Elaboración Propia)



**Figura 6. Zonas inundables tramo Bellavista alto para T=10 años**  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la Figura 7 es posible ver que para crecidas asociadas a período de retorno de 25 años, gran parte de la zona de conservación histórica del sector Bellavista se ve afectado por la inundación provocada por el estero del mismo nombre. La amenaza afecta los sectores La Florentina, Las Juntas, Los Álamos y parte de la Calle los Cerezos.



**Figura 7. Zonas inundables tramo Bellavista bajo y Nachur para T=25 años**

**(Fuente: Elaboración Propia)**

En la zona aguas arriba del estero Bellavista se observan desbordes generalizados, siendo el sector Los Áromos, el más afectado producto de los rebases tanto del estero Bellavista y Nachur (Figura 8). Además se presentan desbordes en Villa Licarayén y Sector Los Tilos.



**Figura 8. Zonas inundables tramo Bellavista alto y Nachur para T=25 años**  
**(Fuente: Elaboración Propia)**

En la Figura 9, se observa que gran parte de la zona baja del sector Bellavista es amenazada por posibles desbordes producidos por crecidas asociadas a 100 años de período de retorno. Se ve afectada un 74% de la superficie urbana de esta zona, lo que equivale a 11,9 hectáreas inundadas. Esto se debe en gran medida, a una mayor área inundada por parte del estero Nachur, en el cual se generan desbordes en prácticamente la totalidad de la longitud en estudio. Además los niveles de escurrimiento en los esteros, condicionan la evacuación de aguas lluvias provocando inundaciones producto del ingreso de estas crecidas por el sistema de drenaje.



**Figura 9. Zonas inundables tramo Bellavista bajo y Nachur para T=100 años**

**(Fuente: Elaboración Propia)**

En la Figura 10, se puede ver que tanto la Villa Licarayén, como el sector Los Áromos y Aguas Buenas son afectados por inundaciones asociadas a una crecida de 100 años de período de retorno, alcanzando niveles de escurrimiento mayores a 1 metro de altura. Estas áreas inundadas son limitadas por los cerros que bordean el valle. Además se observa que gran parte del sector Los Tilos se ve amenazado por desbordes del cauce, cuya condición no había sido observada para crecidas menores, en cuyos casos los escurrimientos eran limitados por la Avenida Los Tilos. También es posible ver amplias zonas de inundación en la ribera derecha del estero, que en la actualidad, se encuentra emplazada una cancha de fútbol pero que a futuro puede ser utilizada para la expansión de la zona urbana del sector Bellavista.

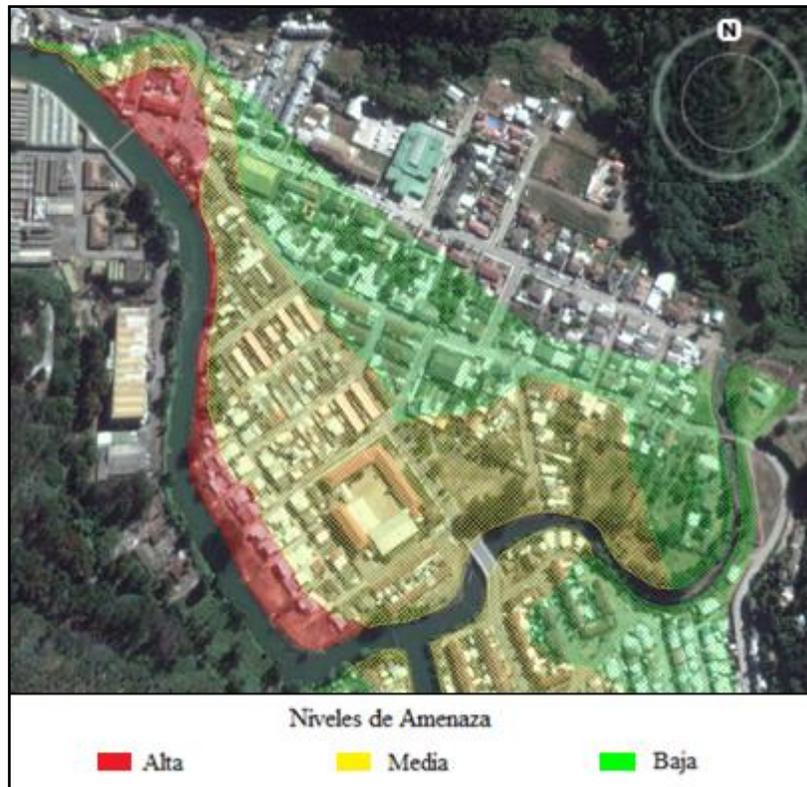


**Figura 10. Zonas inundables tramo Bellavista alto para T=100 años**

**(Fuente: Elaboración Propia).**

En la zona Sureste del sector Bellavista se observa el Parque Bellavista donde los rebases del estero se extienden hasta 100 metros desde la ribera izquierda. Esta superficie cobra gran importancia debido a las recientes obras de relleno de esta área, que podrían utilizarse para aumentar la superficie urbana del sector que se encuentra limitado por el valle para su expansión (Figura 10).

Finalmente, y luego de haber aplicado la clasificación de amenaza a las áreas inundables obtenidas es posible observar en la Figura 11, que gran parte del sector comprendido entre la desembocadura del estero Bellavista y su afluente, presenta una amenaza de inundación medio y bajo, abarcando un área muy extensa. Si bien en este sector también existe una amenaza alta, esta corresponde a una franja no muy extensa que afecta principalmente las viviendas del sector Las Juntas y La Vega que colindan con el cauce.



**Figura 11. Zonas amenazadas por inundación tramo Bellavista Bajo y Nachur**

**(Fuente: Elaboración Propia)**

Para el tramo inmediatamente aguas arriba de la confluencia de los esteros, se encuentra una zona con baja cota de terreno que se ve expuesta a un nivel de amenaza por inundación medio y bajo, siendo el sector Los Áromos el que presenta mayor probabilidad de inundación al sufrir los desbordes de ambos cauces.

La zona residencial situada al costado de la ribera occidental, presenta una situación de amenaza medio y baja al igual que parque Bellavista, cuya área inundable posee una extensión paralelo al estero de aproximadamente 1 km (Figura 12).



**Figura 12. Zonas amenazadas por inundación tramo Bellavista alto**  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### 4.5 Análisis de resultados

En términos generales, la superficie inundable total con una amenaza apreciable es de aproximadamente 32,28 hectáreas. De ésta, 25,52 hectáreas pertenecen a zona urbanas, que corresponden al 72,2% de las áreas consolidadas y de extensión urbana del sector Bellavista. Ello representa el gran impacto social que ocasionan los desbordes del estero Bellavista.

Luego de haber asociado los desbordes a tres niveles de amenaza en función de su probabilidad de ocurrencia, se encontró tres zonas con amenaza baja. La primera de ellas se encuentra al oriente de Bellavista bajo, delimitado por Avenida Central hasta calle Caracol. Las dos zonas restantes se localizan al sur del sector Bellavista, específicamente en Bellavista alto, en cuya ribera occidental se encuentra la villa Licarayén, gran parte del sector Los Tilos y el parque Bellavista, delimitado por Avenida Los Tilos hacia el Oeste; y por la ribera derecha parte del sector Los Aromos y Aguas Buenas. Si bien estos sectores pueden ser habitables, es necesario sensibilizar a la población enfatizando en la condición de amenaza natural de la zona, entregando recomendaciones en aspectos relativos a lugares y procedimientos de evacuación, desvíos de tránsito, servicios de emergencia y seguridad en el hogar.

En tanto, las zonas expuestas a una amenaza media son el sector Las Juntas, La Florentina, el sector los Álamos y el Arrayán, limitado por Avenida Central hacia la ribera derecha del tramo Bellavista bajo, y hacia el sur una pequeña franja de Villa Licarayén, el sector Los Tilos ubicado inmediatamente al costado de la ribera izquierda del estero y una gran parte del sector los Áromos. Además bajo esta condición de amenaza también se encuentra un sector no habitado que es utilizado para entretenimiento afectando a la cancha del fútbol del sector Bellavista y el parque del mismo nombre. En estas zonas se puede permitir la densificación urbana, si se respeta el uso del suelo y las normativas de construcción vigente; en tanto, para los asentamientos actuales es necesario reforzar y proteger estas edificaciones con obras estructurales, debido a que la reubicación de éstas resulta complejo por la cantidad de viviendas involucradas.

Para los sectores con amenaza alta, no es posible la densificación urbana de ellos, debiendo reasentarse las viviendas afectadas a mediano o largo plazo, o emplazarse obras de protección. A corto plazo se podría implementar un sistema de pronóstico y alerta temprana, cuya finalidad sea anticiparse a la ocurrencia de inundaciones. Estos sectores son la Vega y el sector La Juntas localizado en la ribera derecha del tramo desembocadura.

Conforme a los resultados obtenidos, se considera la necesidad de implementar un plan a largo plazo destinado a la delimitación de las zonas de riesgo por inundación asociadas a los desbordes de los cauces, que permita a las entidades encargadas mejorar la gestión tanto en la prevención como en la atención de emergencias, además de controlar la edificación en zonas de riesgo, a fin de limitar a futuro la densificación en zonas vulnerables frente a riesgos asociados a eventos fluviales.

Además es necesario resolver los problemas de desborde de los esteros Bellavista y Nachur, siendo altamente recomendable la canalización en todo el tramo analizado, de modo que presenten una capacidad de conducción hidráulica acorde a los caudales que transportan, tanto desde la cuenca superior como desde la zona urbana. Como una forma de complementar lo antes señalado, se propone evaluar el efecto amortiguador que tendrían dos lagunas de retención, que servirían para evacuar las aguas lluvia del sector urbano, en condiciones de crecida del estero.

Como complemento a lo anterior deben considerarse las labores de mantención del lecho de modo de eliminar los sedimentos embancados, que reducen la capacidad hidráulica de los esteros, regularizando la pendiente longitudinal de fondo de ambos.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la realización de la investigación, siguiendo la metodología propuesta y obteniendo las potenciales áreas amenazadas por inundación, se puede concluir lo siguiente:

- Las alturas de escurrimiento en la zona baja del estero Bellavista, se encuentra fuertemente influenciada por los niveles de la marea en la desembocadura. En consecuencia los sectores ribereños son afectados por inundaciones asociados a crecidas ordinarias, viéndose expuesta a una alta amenaza. Esta situación, cobra gran importancia ya que el sector amagado presenta una alta vulnerabilidad debido al tipo de construcción presente en la zona.
- En la actualidad, las zonas más afectadas se encuentran aguas arriba de la confluencia con el estero Nachur, en cuyos sectores los niveles y cotas de desborde alcanzan alturas cercanas al metro, disminuyendo aguas arriba.
- El sector comprendido entre el tramo de la desembocadura y el estero Nachur, presenta la mayor extensión de inundación, debido las características que tiene el terreno, cuya topografía tiende a ser plana. Esto se ve favorecido con los rebases del estero Nachur que inunda las áreas más altas del sector bajo de Bellavista.
- La calibración de los parámetros del modelo se realizó con el evento ocurrido en Junio del 2006, que representa el escenario más desfavorable de los últimos años. Es por ello que fue necesario realizar un análisis de sensibilidad de estos parámetros de tal forma de no sobreestimar los desbordes del cauce. Se concluyó, que la rugosidad de Manning en la planicie de inundación, no es un factor determinante para la obtención de áreas y niveles de escurrimiento, alcanzando variaciones máximas de 0,1 m de altura, que no es suficiente para modificar las áreas amenazadas por inundación obtenidas.
- Cabe señalar que los resultados del modelo corresponden a una aproximación del fenómeno en estudio, los cuales están directamente relacionados con la calidad de la información utilizada. Debido a ello se desprenden las siguientes recomendaciones:

- Mejorar la información topográfica del sector, de tal forma de representar más detalladamente las irregularidades del cauce, las cotas de riberas y zonas de inundación.
- Realizar la modelación hidráulica considerando los efectos que ocasionarían los puentes presentes en el sector ante un evento de crecida importante. Debido a que en el presente estudio estos no fueron analizados, pues se observó que su presencia no modifica mayormente el cauce.
- Utilizar métodos más complejos en la estimación de las rugosidades del lecho, como por ejemplo, medir caudales para diferentes niveles de agua en el cauce (aforos), que permitan obtener resultados lo más cercano a la realidad posible.

**REFERENCIAS**

1. Araya, I. (2000). Vulnerabilidad de la zona urbana de Concepción aledaña al río Andalién, en relación al riesgo por inundación [En Libro]. Proyecto de Título. Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío, Chile.
2. Blade,E., Sánchez,M.,Sánchez,J.H. y Gómez,D.N,(2009). “*Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable*”, Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible desde: <https://es.scribd.com/doc/225625426/BLAD-Modelacion-Numerica-en-Rios-en-Regimen-Permanente-y-Variable-Blade-Et-Al>. Acceso en Octubre de 2014.
3. Bloch, R. (2012). “*Ciudades e Inundaciones*”, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. Disponible desde: [https://www.gfdr.org/sites/gfdr.org/files/urbanfloods/pdf/World%20Bank\\_Ciudades%20e%20Inundaciones.pdf](https://www.gfdr.org/sites/gfdr.org/files/urbanfloods/pdf/World%20Bank_Ciudades%20e%20Inundaciones.pdf) . Acceso Septiembre 2014.
4. Chow, V. (1959). “*Open Channel Hydraulics*”. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
5. CONSUDE (2005). “*Inundaciones Fluviales y mapas de amenaza*”, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Disponible desde: <http://wegeofisica.ineter.gob.ni/proyectos/metalarn/inundaciones.pdf>. Acceso Septiembre 2014.
6. DGA (2014). “*Precipitaciones máximas anuales en 24 horas*”. Dirección General de Aguas. [En Línea] <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes> . Acceso Agosto 2014.
7. El Sur (2013). “*Desborde de estero enfrenta otra vez a municipio y Serviu*”. Disponible desde: <http://www.elsur.cl/impresa/2013/06/02/papel/#4>. Acceso Agosto 2014.
8. GITS (2005). “*Lamina*” (Programa informático). Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. Disponible en: <http://www.gits.ws/index.php?seccion=soft> . Acceso Noviembre 2014.

9. HEC-RAS (2014). [Programa informático]. Disponible en: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/downloads.aspx>. Acceso Septiembre 2014.
10. Manchileo, C. (2012). *“Integración de información histórica reciente de inundaciones asociadas al estero Nonguén”*. Proyecto de título Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío, Chile.
11. MOP-DGA (1995), *“Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica”*. Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, Chile.
12. MOP-DOH (2001). *“Plan Maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvia Penco-Tomé”*, Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, Chile.
13. MOP-DOH (2008). *“Estudio de factibilidad y diseño definitivo mejoramiento estero Bellavista, comuna Tomé”*, Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, Chile.
14. NCh 165 (1977). *“Árido para Morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría”*. Instituto Nacional de Normalización, Chile.
15. Santana, L. (2007). *“Hidrología”*, Dirección de Pregrado. Universidad de Bío-Bío.
16. SHOA (2013). *“Tablas de marea de la costa de Chile 2014”*. Servicio hidrográfico y oceanográfico de la Armada de Chile. Disponible en: [http://www.comitesdemanejo.cl/images/Comite/difusion\\_pdf/SHOA\\_PUB.\\_3009.pdf](http://www.comitesdemanejo.cl/images/Comite/difusion_pdf/SHOA_PUB._3009.pdf). Acceso Octubre 2014.
17. Tavera, G. (1985). *“Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes del laboratorio para las áreas de asistencia técnica”*. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación La Laguna, Matamoros-Coahuila, México.
18. Tisdall, J. M and Oades, J.M. (1982). *“Organic matter and water-stable aggregates in soils”*. Journal of Soil Science.

# **ANEXOS**

**ANEXO A:**  
**INFORMACIÓN PERIODÍSTICA DE INUNDACIONES Y ENCUESTA A**  
**POBLADORES**

## A.1 Recopilación periodística de inundaciones anteriores

- **25 de Agosto 2002, Fuente: El Sur**

La crecida del estero Nachur de Tomé destruyó 40 metros de la aducción que alimenta el principal estanque de agua potable de la comuna de Tomé.

Los trabajos de reparación no se realizaron hasta que baje el caudal y mejoren las condiciones climáticas.

- **3 de Julio 2005, Fuente: El Sur**

Debido a las precipitaciones de más de 80 mm caídos en las últimas de 24 horas en la región, 300 viviendas fueron afectadas por la inundaciones acaecidas en la zona producto del desborde del estero Bellavista resultando afectadas las poblaciones Valle los Aromos y Los Tilos.

- **Inundaciones 10, 11 y 12 Julio del 2006, Fuente: DOH-MOP**

Las precipitaciones caídas en estos días superaron los 150 mm en 24 hrs, ocasionando que el estero Bellavista porteara en su peak un caudal de 220 m<sup>3</sup>/s en la confluencia de los esteros Bellavista y Nachur, lo cual equivale a un período de retorno de 100 años.

De acuerdo a la información recopilada en el Departamento de Emergencia de la Municipalidad de Tomé, en dicha oportunidad se vieron afectadas 920 viviendas y 3.528 personas en el sector de Bellavista, siendo Los Aromos y Aguas Buenas las áreas más afectadas por la inundación.

- **2 de Junio 2013, Fuente: El Sur**

La Municipalidad de Tomé informó la tarde de este sábado que producto del desborde del estero Bellavista y de la inundación del barrio del mismo nombre, resultaron damnificadas 142 familias, que representan a un total de 496 personas. Según lo señalado por la alcaldesa Ivonne Rivas, el desborde se produjo debido a que no se tomaron los resguardos en la construcción del nuevo puente que se empezará en el sector, obstruyendo la desembocadura del estero con escombros.

## A.2 Encuesta a Pobladores



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

### DESBORDES HISTÓRICOS DEL ESTERO BELLAVISTA

Encuesta a Vecinos

¿SU HOGAR SE HA INUNDADO POR EL ESTERO?

SI  NO

NOMBRE: \_\_\_\_\_

CALLE: \_\_\_\_\_ Nº \_\_\_\_\_

ESQUINAS DE REFERENCIA: \_\_\_\_\_

POBLACIÓN: \_\_\_\_\_

AÑO QUE LLEGA: AL SECTOR  A LA VIVIENDA

**PRINCIPALES INUNDACIONES: Marque con una X y en caso de inundación, agregue la altura y tiempo que alcanzó el agua en su propiedad**

AÑO	N/r	N/i	Lev	Mod	Gra	Tiempo (min)	Altura (cm)	Nivel Referencia Desde donde se mide
2006	<input type="checkbox"/>	_____	_____	_____				
2005	<input type="checkbox"/>	_____	_____	_____				
2002	<input type="checkbox"/>	_____	_____	_____				
_____	<input type="checkbox"/>	_____	_____	_____				
_____	<input type="checkbox"/>	_____	_____	_____				

Modificaciones de Piso u Otras: SI  NO  \_\_\_\_\_  
(Especifique la modificación)

**COMENTARIOS:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- N/r *No recuerda crecida ese año*
- N/i: *El desborde del estero no influyó mayormente a la vivienda*
- Leve: *El desborde del estero sólo humedeció el perímetro exterior de la vivienda y hubo filtraciones poco considerables*
- Moderada: *El agua entró a la vivienda pero no causó pérdidas considerables*
- Grave: *Hubo pérdidas de muebles y fue necesario deshabitar la vivienda*

### A.3 Ejemplo de encuesta completada



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

#### DESBORDES HISTORICOS DEL ESTERO BELLAVISTA

Encuesta a Vecinos

¿SU HOGAR SE HA INUNDADO POR EL ESTERO? SI  NO

NOMBRE: ROSA MELLA SANHUEZA

CALLE: PASAJE RAYÉN N° 47

ESQUINAS DE REFERENCIA: ESQUINA PASAJE MILLARAY

POBLACION: POBLACIÓN LICARRAYÉN

ANO QUE LLEGA: AL SECTOR  A LA VIVIENDA

**PRINCIPALES INUNDACIONES: Marque con una X y en caso de inundación, agregue la altura y tiempo que alcanzó el agua en su propiedad**

ANO	N/r	N/i	Lev	Mod	Gra	Tiempo (min)	Altura (cm)	Nivel Referencia <small>Desde donde se mide</small>
2006	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NR	120	PIE DE LA REJA
2005	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NR	50	PIE DE LA REJA
2002	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<u>2010</u>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<u>2013</u>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Modificaciones de Piso u Otras: SI  NO  Cambio de madera a cerámico

(Especifique la modificación)

COMENTARIOS: 2006: El agua entró con fuerza, abrió la puerta. El nivel de la casa era el mismo del estero

2005: El agua le llegó hasta el tobillo ( se colocaron sacos de arena)

2010 y 2013: Sólo calles inundadas, perímetro de la casa (10-20 cm)

- N/r: No recuerda crecida ese año
- N/i: El desborde del estero no influyó mayormente a la vivienda
- Leve: El desborde del estero sólo humedeció el perímetro exterior de la vivienda y hubo filtraciones poco considerables
- Moderada: El agua entró a la vivienda pero no causó pérdidas considerables
- Grave: Hubo pérdidas de muebles y fue necesario deshabitar la vivienda

## RESUMEN DE ENCUESTAS

	NOMBRE	CALLE	NUM	SECTOR	OCUPACIÓN (AÑO)	SECCIÓN	km	INUNDACIÓN	CATEGORIA	ALTURA (m)	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	Katherine	La Vega	81	La Vega	1964	3	0+250	2006	grave	0.6	esquina casa	Esquina pasaje la vega
2	Jose	La vega	74	La vega	1964	3	0+250	2006	grave	0.6	Poste 2	Mitad pasajela Vega
3	Rosa	Av.Central	14	Bellavista	1964	4	0+350	2006	grave	0.5	Poste 5	
4	María	Pasaje Lingue	s/n	La Florentina	1974	4	0+450	2006	grave	0.6	Poste 8	Mitad pasaje Lingue
5	Barbara	Pasaje Maitén	s/n	La Florentina	1971	4	0+550	2006	grave	0.5	Esquina Pasaje	Interseccion Av. Central
6	Silvia	Pasaje Arrayán	1078	Las Juntas	1975	5	0+670	2006	grave	0.6	Poste 3	
7	Pablo	Pasaje Arrayán	1074	Las Juntas	1990	5	0+670	2006	grave	0.7	Poste 4	
8	Rita	Pasaje Millaray	56	Licarayén	2004	6	0+820	2006	grave	0.4	Esquina Pasaje	Intersección Sendero
9	Jessi	Pasaje Millaray	98	Licarayén	2004	6	0+820	2006	grave	0.8	Poste plazoleta	
10	Angelica	Pasaje Rayén	10	Licarayén	2005	6	0+820	2006	grave	1.2	Poste 3	Reja burdeo
11	Teresa	Pasaje Rayén	29	Licarayén	2004	6	0+820	2006	grave	1.2	Poste 5	
12	Rosa	Pasaje 3	47	Licarayén	2004	6	0+820	2006	grave	1.2	Esquina	Intersección Psje Rayén
13	Albertina	Pasaje 2	35	Licarayén	2004	6	0+820	2006	grave	1		
14	Nancy	Pasaje 1	89	Los Álamos	2005	6	0+820	2006	grave	1.1	Poste Blanco	Interscción Av.Central
15	Aurora	Sendero	1090	Los Tilos	1997	7	1+100	2006	grave	1	Reja negra	Frente Plazoleta
16	Juana	Los Tilos	1106	Los Tilos	1982	7	1+100	2006	grave	1	Poste 3	Reja blanca y Ploma
17	Palmira	Huertos	1081	Los Tilos	1976	7	1+100	2006	grave	1	Esquina pasaje	Intersección Psje Vertiente
18	Dora	Huertos	1082	Los Tilos	1974	7	1+100	2006	grave	0.6	poste 6	
19	María	El Rebaño	1081	Los Tilos	1976	8	1+660	2006	grave	0.6	Esquina	Intersección Av.Los Tilos
20	Nancy	El Rebaño	1099	Los Tilos	1984	8	1+660	2006	Grave	0.4	poste 10	Interscción psje Vertiente
21	Ana	Los Tilos	1173	Los Tilos	2000	8	1+660	2006	grave	0.8	Esquina	Intersección Psj Arboleda
22	María	Praderas	1209	Los Tilos	2004	8	1+660	2006	no influye	0	Mitad psje	
23	Pedro	Llanura	1189	Los Tilos	1985	8	1+660	2006	leve	0.2	poste	
24	Rosa	Las Araucarias	1091	Los Áromos	1992	7	1+140	2006	grave	1	poste	Costado Estero Bellavista
25	Mauricio	Las Araucarias	1084	Los Áromos	1985	7	1+140	2006	grave	0.7	poste	
26	Juanita	Las Araucarias	1073	Los Áromos	1985	1 Nch	0+200	2006	grave	0.7	poste	
27	Fernando	Bombero Espinoza	1122	Los Áromos	1994	1 Nch	0+200	2006	grave	0.8	poste	Costado Estero Nachur
28	Carmen	Las Carabelas	1060	Los Áromos	1995	1 Nch	0+260	2006	grave	1	poste	
29	Rosa	Las Carabelas	1062	Los Áromos	1995	1 Nch	0+260	2006	grave	1	poste	
30	Glemendina	Las Carabelas	1078	Los Áromos	2004	1 Nch	0+300	2006	grave	1.3	poste	
31	Ruben	El Castaño	1081	Los Áromos	1993	1 Nch	0+300	2006	grave	0.5	poste	Borde Cerro
32	Macarena	El Castaño	1056	Los Áromos	1992	1 Nch	0+300	2006	grave	1	poste	Costado Estero Nachur
33	Silvio	El Castaño	1089	Los Áromos	1992	1 Nch	0+300	2006	grave	0.9		
34	Carolina	Los Alamos	1123	Los Áromos	2004	7	1+200	2006	grave	0.9	poste	Costado Estero Bellavista
35	Luz	Los Alceres	1096	Los Áromos	1992	7	1+200	2006	grave	1.3	poste	Costado Estero Bellavista
36	Victor	Sindicato	1341	Bellavista	1985	2 Nch	0+430	2006	moderada	0.3	esquina	Intersección Calle Caracol
37	Sandra	Pasaje	1072	Bellavista	1986	2 Nch	0+430	2006	grave	0.4	vereda	Esquina Calle Caracol
38	Valentin	Los Cerezos	32	Bellavista	1998	3	0+250	2006	leve	0.2	vereda	Inicio Calle
39	Alvaro	senda 2	651	Bellavista	1995	2 Nch	0+430	2006	moderada	0.2	vereda	Mitad pasaje
40	Magdalena	Caracol	1305	Bellavista	1991	2 Nch	0+430	2006	leve	0.2	vereda	

**ANEXO B:**  
**GRANULOMETRÍA DE LA CAPA SUBSUPERFICIAL**  
**SEGÚN NCH 165 OF.77.**

**Tabla B.1. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 1 – 2,15 Km**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	0	0.00	100.0
N°4	4.760	0	0.00	100.0
N°10	2	1.2	0.21	99.8
N°20	0.9	21.2	3.63	96.2
N°40	0.5	316.2	54.11	42.1
N°60	0.3	171.3	29.31	12.7
N°200	0.08	56.3	9.63	3.1
Residuo		0.6		
Material Fino Lavado		17.6		
Masa Total	584.4			

**Tabla B.2. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 2 – 1,58 Km**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	0	0.0	100.0
N°4	4.760	0.2	0.0	100.0
N°10	2	2.6	0.5	99.4
N°20	0.9	35.7	7.1	92.4
N°40	0.5	318.6	63.0	29.4
N°60	0.3	99.5	19.7	9.8
N°200	0.08	28.5	5.6	4.1
Residuo		0.8		
Material Fino Lavado		20.1		
Masa Total	506			

**Tabla B.3. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 3 – 1,02 Km**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	0	0.0	100.0
N°4	4.760	1.4	0.2	99.8
N°10	2	28.8	4.7	95.1
N°20	0.9	181	29.3	65.9
N°40	0.5	288	46.6	19.3
N°60	0.3	88.8	14.4	4.9
N°200	0.08	17.8	2.9	2.1
Residuo		0.1		
Material Fino Lavado		12.7		
Masa Total	618.6			

**Tabla B.4. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 4 – 0,42 Km desde Confluencia**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	0	0.0	100.0
N°4	4.760	0.7	0.2	99.8
N°10	2	19.2	4.9	94.9
N°20	0.9	96.8	24.7	70.3
N°40	0.5	217.6	55.5	14.8
N°60	0.3	40.2	10.2	4.6
N°200	0.08	10.5	2.7	1.9
Residuo		0.2		
Material Fino Lavado		7.2		
Masa Total	392.4			

**Tabla B.5. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 5 – 0,73 Km**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	6.6	1.0	99.0
N°4	4.760	73.2	11.0	88.0
N°10	2	255.1	38.2	49.8
N°20	0.9	143	21.4	28.4
N°40	0.5	103.4	15.5	12.9
N°60	0.3	52.5	7.9	5.0
N°200	0.08	16.1	2.4	2.6
Residuo		0.7		
Material Fino Lavado		16.9		
Masa Total	667.5			

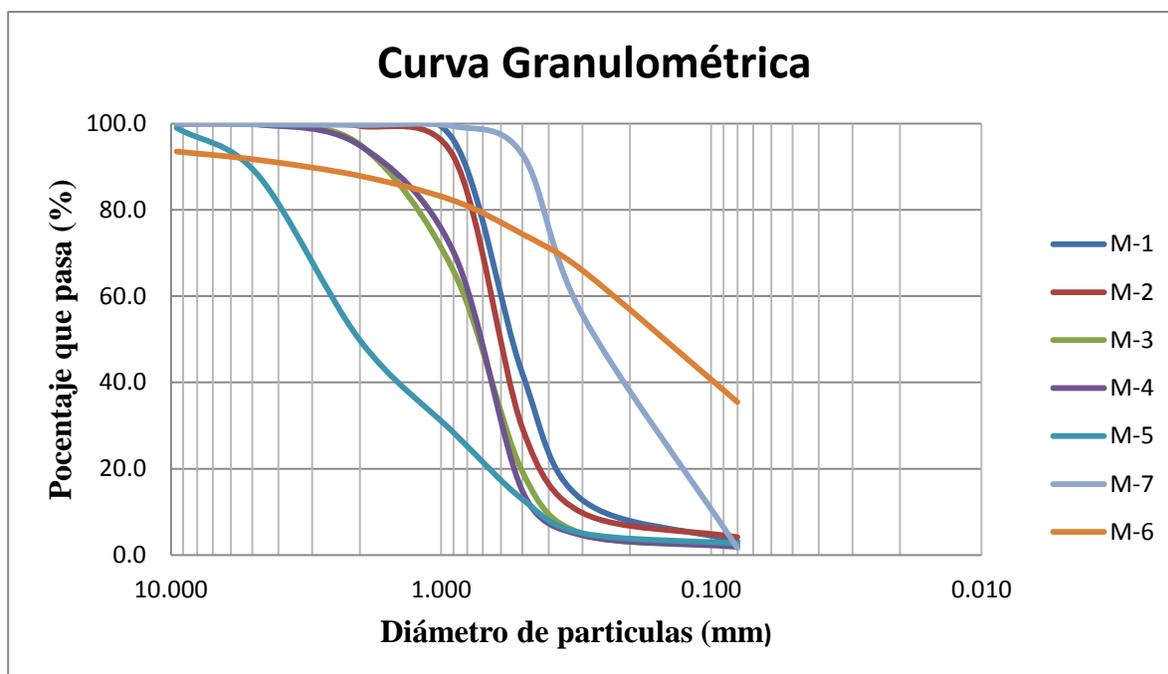
**Tabla B.6. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 6 - 0,26 Km**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	15.8	6.5	93.5
N°4	4.760	4.7	1.9	91.6
N°10	2	9	3.7	87.9
N°20	0.9	13.9	5.7	82.1
N°40	0.5	18.9	7.8	74.4
N°60	0.3	20.4	8.4	66.0
N°200	0.08	74.2	30.5	35.5
Residuo		0.4		
Material Fino Lavado		85.8		
Masa Total	243.1			

**Tabla B.7. Granulometría Capa subsuperficial Muestra 7 – 0.05 Km**

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado
	(mm)	(gr)	(%)	que pasa (%)
3/8"	9.525	0	0.0	100.0
N°4	4.760	1.4	0.2	99.8
N°10	2	0.7	0.1	99.7
N°20	0.9	2	0.3	99.4
N°40	0.5	41.9	6.5	92.8
N°60	0.3	238.5	37.1	55.7
N°200	0.08	347.5	54.1	1.6
Residuo		0.8		
Material Fino Lavado		9.7		
Masa Total	642.5			

En la Figura B.1 se muestra la curva granulométrica que caracteriza el lecho del estero bellavista y Nachur.



**Figura B.1 Curva Granulométrica estero Bellavista.**

(Fuente: Elaboración propia)

**ANEXO C:**  
**CÁLCULOS Y ANTECEDENTES**

### C.1 Análisis de Frecuencia Precipitaciones

a) Datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas

**Tabla C.8. Datos estación Las Pataguas**

AÑO	FECHA	PP MÁXIMA ANUAL EN 24 HRS (mm)
1993	04/06	128.00
1994	21/07	56.00
1995	11/08	56.00
1996	13/06	49.00
1997	19/06	115.00
1998	06/05	50.30
1999	20/06	50.00
2000	10/06	60.00
2001	25/05	67.50
2002	23/08	132.20
2003	19/05	65.00
2004	11/04	48.00
2005	26/06	167.00
2006	18/04	70.00
2007	16/07	55.00
2008	01/09	75.00
2009	04/08	141.00
2010	06/02	50.00
2011	28/06	63.60
2012	26/05	50.00
2013	02/05	47.00

En la serie de precipitaciones de la estación Las Pataguas no se encontraron datos dudosos, Por lo cual se utilizaron todos los valores en el análisis de frecuencia.

**Tabla C.9. Datos estación Dichato**

AÑO	FECHA	PP MÁXIMA ANUAL EN 24 HRS (mm)
1980	15/06	69.00
1981	04/05	60.00
1982	07/05	61.00
1983	16/06	91.00
1984	02/05	79.00
1985	26/10	53.00
1986	25/11	105.90
1987	10/07	65.00
1988	27/07	92.50
1989	22/08	42.50
1990	28/03	55.30
1991	07/07	48.50
1992	09/06	62.50
1993	18/07	58.00
1994	17/09	49.50
1995	11/08	46.00
1996	11/06	46.50
1997	22/04	166.00
1998	10/09	46.00
1999	02/05	52.00
2000	26/06	54.00
2001	20/05	50.20
2002	23/08	57.50
2003	04/06	55.00
2004	20/05	50.00
2005	26/06	150.00
2006	10/07	100.00
2007	21/06	53.00
2008	30/07	43.00
2009	17/06	53.00
2010	21/06	63.00
2011	13/07	50.00
2012	08/11	50.00
2013	10/05	44.00

El año 1997 resulta como dato dudoso alto, por lo cual se verifico la veracidad de éste revisando las máximas precipitaciones anuales registradas en el año en cuestión de estaciones vecinas, Encontrando que esta máxima no es un dato registrado por las demás estaciones. Por lo tanto se decidió eliminar el dato de la serie al resultar poco real.

b) Parámetros funciones de densidad de probabilidad

**Tabla C.10. Parámetros para las FDP duración 24 horas estación Las Pataguas**

Parámetros Funciones de Densidad de Probabilidad					
Funciones	Normal	LogNormal	Gamma	Gumbel	Exponencial
Promedio	75.98	4.24	75.98	75.98	75.98
Desv.Estandar	36.61	0.41	36.61	36.61	36.61
Alfa			4.31	0.035	0.01
Beta			17.64	59.50	

**Tabla C.11. Parámetros para las FDP duración 24 horas estación Dichato**

Parámetros Funciones de Densidad de Probabilidad					
Funciones	Normal	LogNormal	Gamma	Gumbel	Exponencial
Promedio	62.30	4.08	62.30	62.30	62.30
Desv.Estandar	22.71	0.29	22.71	22.71	22.71
Alfa			7.53	0.056	0.02
Beta			8.28	52.08	

c) Precipitaciones máximas por función de densidad de probabilidad

**Tabla C.12. Precipitaciones según FDP durante 24 horas Estación Las Pataguas**

T (AÑOS)	P exc	P noexc	Precipitaciones máximas anuales (mm)				
			Normal	LogNormal	Gamma	Gumbel	Exponencial
2	0.500	0.500	75.98	69.52	70.19	69.97	52.67
5	0.200	0.800	106.80	98.05	103.87	102.33	122.29
10	0.100	0.900	122.90	117.36	125.04	123.75	174.95
20	0.050	0.950	136.21	136.14	144.46	144.30	227.62
25	0.040	0.960	140.08	142.16	150.46	150.82	244.57
50	0.020	0.980	151.18	160.90	168.48	170.90	297.24
100	0.010	0.990	161.16	179.86	185.79	190.83	349.91

**Tabla C.13. Precipitaciones según FDP durante 24 horas Estación Dichato**

T (AÑOS)	P exc	P noexc	Precipitaciones máximas anuales (mm)				
			Normal	LogNormal	Gamma	Gumbel	Exponencial
2	0.500	0.500	62.30	59.41	59.56	58.57	43.18
5	0.200	0.800	81.41	75.96	80.17	78.64	100.27
10	0.100	0.900	91.40	86.37	92.59	91.93	143.45
20	0.050	0.950	99.65	96.04	103.74	104.67	186.63
25	0.040	0.960	102.05	99.05	107.14	108.71	200.54
50	0.020	0.980	108.94	108.22	117.26	121.17	243.72
100	0.010	0.990	115.13	117.18	126.86	133.53	286.90

d) Resumen Test  $\chi^2$ , Kolmogorov-Smirnov y elección de función de densidad de probabilidad

**Tabla C.14. Test de bondad de ajuste y elección FDP estación Las Pataguas**

	Gumbel	Normal	LogNormal	Gamma	Exponencial
$\chi^2$	5.318	7.126	7.303	4.805	3.782
Rechaza si >	5.991	5.991	5.991	5.991	7.815
K-S	0.181	0.265	0.175	0.184	0.416
Rechaza si >	0.2892	0.328	0.328	0.328	0.328
					Funcion rechazada

FUNCION DE MEJOR AJUSTE	Gamma
-------------------------	-------

**Tabla C.15. Test de bondad de ajuste y elección FDP estación Dichato**

	Gumbel	Normal	LogNormal	Gamma	Exponencial
$\chi^2$	6.575	54.185	23.179	39.687	13.554
Rechaza si >	7.815	7.815	7.815	7.815	9.488
K-S	0.152	0.223	0.156	0.175	0.465
Rechaza si >	0.252	0.252	0.252	0.252	0.252
					Funcion rechazada

FUNCION DE MEJOR AJUSTE	Gumbel
-------------------------	--------

## C.2 Estimación Caudales Máximos Instantáneos

Cabe señalar, que para estimar la precipitación diaria máxima de T=10 años ( $P_{24}^{10}$ ), utilizada en los métodos de estimación de caudales sin información fluviométrica, fue necesario determinar la influencia que presenta tanto la estación Las pataguas como la estación Dichato en la cuenca del estero Bellavista y Nachur. Para ello se utilizó el método de polígonos de Thiessen (Tabla C.16).

**Tabla C.16. Influencia de estaciones pluviométricas en las cuencas estudiadas**

	Cuenca E.Nachur	Cuenca E. Bellavista
Estación Las Pataguas	24%	94.50%
Estación Dichato	76%	5.50%

En el caso de las precipitaciones que caracterizan a la cuenca del estero Bellavista, solo se utilizó las precipitaciones registradas en la estación Las Pataguas. De esta forma los resultados de caudales obtenidos son los siguientes:

**Tabla C.17. Resultado Caudales de crecida, Estero Nachur en confluencia**

T (Años)	Método			Caudal Adoptado ( $m^3/s$ )
	Regional (DGA-AC)	Verni y King Modificado	Racional Modificado	
2	16.38	16.32	28.10	20.27
5	22.10	26.48	42.20	30.26
10	26.00	32.81	50.27	36.36
20	30.94	39.14	58.06	42.72
25	32.51	41.48	60.95	44.98
50	37.45	47.53	68.03	51.00
100	42.39	54.16	75.73	57.42

**Tabla C.18. Resultado Caudales de crecida, Estero Bellavista en confluencia**

T (Años)	Método			Caudal Adoptado ( $m^3/s$ )
	Regional (DGA-AC)	Verni y King Modificado	Racional Modificado	
2	52.64	43.21	45.45	47.10
5	71.03	76.43	73.18	73.55
10	83.56	97.17	88.99	89.91
20	99.44	117.38	103.84	106.88
25	104.45	124.67	109.22	112.78
50	120.32	143.45	122.30	128.69
100	136.20	163.53	136.19	145.31

**Tabla C.19. Caudales de Crecidas Adoptados**

Caudales de crecidas ( $m^3/s$ )			
T (Años)	Tramo		
	Estero Bellavista en confluencia	Estero Nachur en confluencia	Estero Bellavista sector urbano
2	47.10	20.27	67.74
5	73.55	30.26	104.30
10	89.91	36.36	126.85
20	106.88	42.72	150.30
25	112.78	44.98	158.49
50	128.69	51.00	180.53
100	145.31	57.42	203.68

### C.3 Calibración de modelo

En primera instancia, el cálculo de las rugosidades del lecho se determinó utilizando el método de Cowan (1959), en donde el valor base del cauce se estimó con la ecuación de Strickler. Para las planicies de inundación se utilizó un coeficiente de rugosidad inicial de  $0.06 m^{1/3}/s$

**Tabla C.20. Coeficiente de rugosidad según Cowan**

Tramo	Lecho
Bellavista Bajo	0.0147 - 0.039
Bellavista Alto	0.027 - 0.056
Nachur	0.046

Una vez calibrado el modelo con las alturas de inundación registradas en la inundación de Julio del 2006, Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla C.21. Coeficiente de rugosidades calibradas**

Tramo	Lecho	Planicie de inundación
Bellavista Bajo	0.0273 - 0.057	0.045 - 0.116
Bellavista Alto	0.041 - 0.069	0.06 - 0.144
Nachur	0.037 - 0.067	0.051 - 0.103

### C.4 Condiciones de borde

#### a) Marea Astronómica

Los niveles de las mareas en la desembocadura del estero Bellavista, se determinaron a partir de los pronósticos disponibles para la caleta Lirquén, ubicada en la bahía de Concepción y a 9 km al sur de la desembocadura, considerándose ambos sectores equivalentes desde el punto de vista del comportamiento del mar.

De acuerdo a las recomendaciones del SHOA, la Caleta Lirquén es un puerto secundario, pudiendo determinarse las mareas con base al puerto patrón de Valparaíso.

Conforme a los datos consignados en la Tabla de Mareas de las Costa de Chile (SHOA, 2013), sobre los niveles del mar para el puerto patrón y la diferencia de alturas de mareas de ésta con Caleta Lirquén de +0.15 m, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla C.22.

#### b) Marea Meteorológica

En el informe del Plan Maestro de las localidades de Penco y Tomé, se estimó que durante temporales extremos la sobre elevación de los niveles del mar debido al viento es de aproximadamente + 0,2 m y que las variaciones de presión atmosférica asociadas a tormentas de invierno, generan sobre elevaciones del orden de +0.25 m. Conforme a lo señalado y para efectos del presente estudio se consideró válida la información señalada en el PM-21 adoptando dicha cifra.

**Tabla C.22. Niveles de marea para condición de borde en la desembocadura**

	Referida al Nivel Reducción de Sondas (mNRS)		Referida al Nivel Medio del Mar (Mnmm)	
	A	A+ M	A	A+M
Pleamar Máxima	2.05	2.5	1.07	1.52

A = M. astronómica

A+ M = M.astronómica + meteorologica

## **ANEXO D: RESULTADOS**

### D.1 Ejes hidráulicos

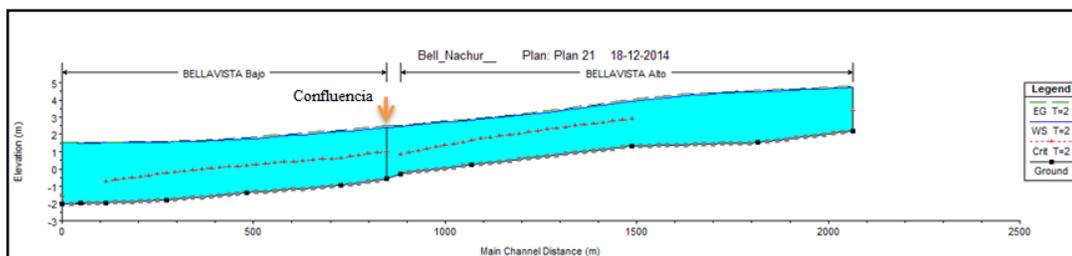


Figura D.2. Eje hidráulico estero Bellavista,  $T_r=2$  años.

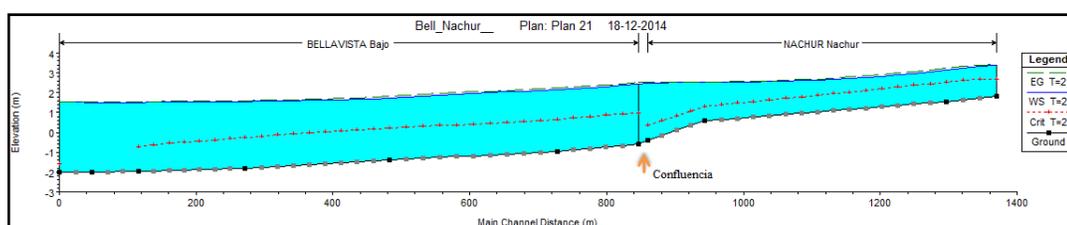


Figura D.3. Eje hidráulico estero Bellavista y Nachur,  $T_r=2$  años.

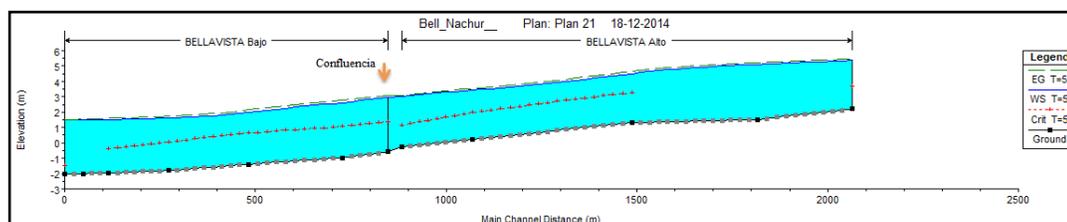


Figura D.4. Eje hidráulico estero Bellavista,  $T_r=5$  años.

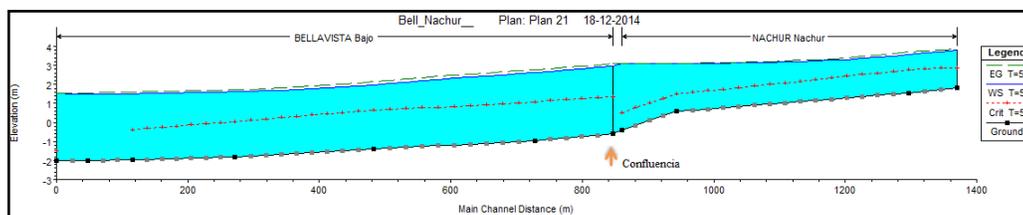
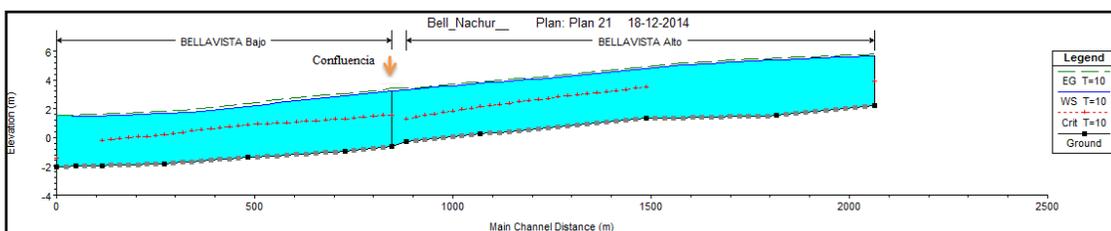
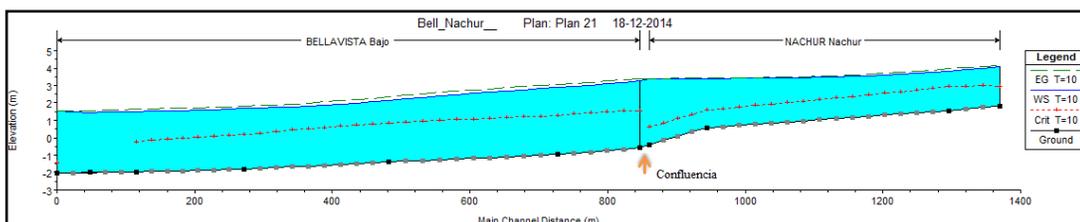


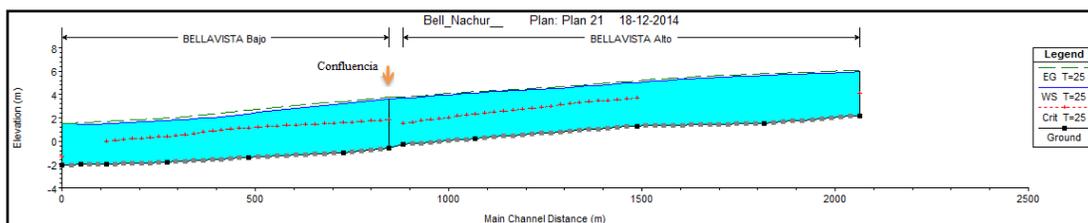
Figura D.5. Eje hidráulico estero Bellavista y Nachur,  $T_r=5$  años.



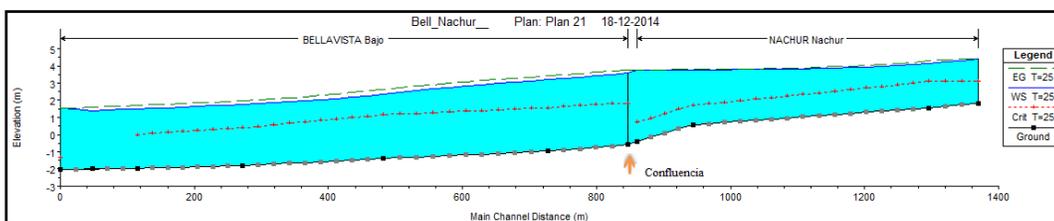
**Figura D.6. Eje hidráulico estero Bellavista, Tr= 10 años.**



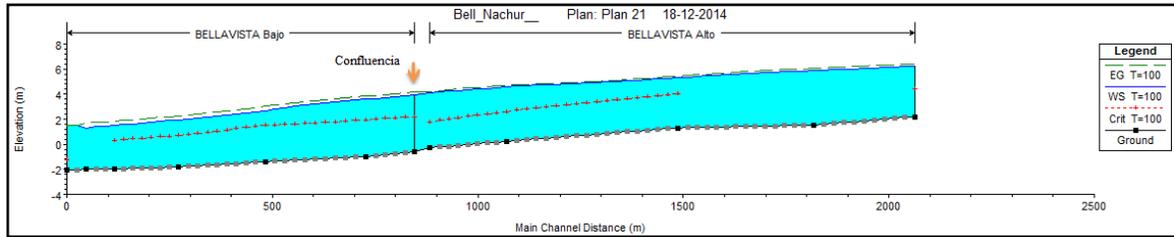
**Figura D.7. Eje hidráulico estero Bellavista y Nachur, Tr= 10 años.**



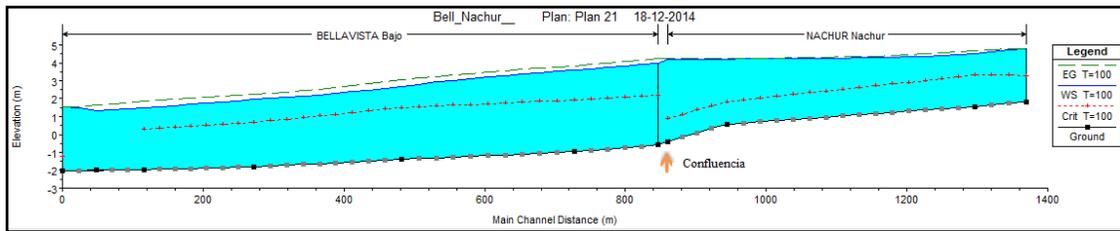
**Figura D.8. Eje hidráulico estero Bellavista, Tr= 25 años.**



**Figura D.9. Eje hidráulico estero Bellavista y Nachur, Tr= 25 años.**



**Figura D.10. Eje hidráulico estero Bellavista, Tr= 100 años.**



**Figura D.11. Eje hidráulico estero Bellavista y Nachur, Tr= 100 años.**

