

## **CARACTERIZACIÓN DE LAS INUNDACIONES FLUVIALES DEL SECTOR BELLAVISTA, COMUNA DE TOMÉ**

*S. Alarcón Valenzuela*<sup>1</sup> *D. Caamaño Avendaño*<sup>2</sup> *M. Villagrán Valenzuela*<sup>3</sup>

### **RESUMEN:**

Las cuencas costeras del país presentan frecuentemente inundaciones de carácter fluvial, correspondiendo a eventos de alto riesgo que resultan en el desborde de cauces. Estas cuencas se ubican al oeste de la cordillera de la costa, se caracterizan por cubrir áreas generalmente pequeñas, presencia de zonas impermeables, y un gradiente topográfico significativo entre la cordillera y el mar. Además, las zonas urbanas tienen bajos perfiles topográficos cuyos ríos están generalmente afectados por las mareas, agregando otra variable a considerar para el estudio de inundaciones.

En la comuna de Tomé, región del Bío Bío, se encuentra el estero Bellavista que se ubica en el sector del mismo nombre. Este estero es drenado por 2 subcuencas, subcuenca Nachur y subcuenca Bellavista. Históricamente el estero bellavista ha sufrido varios desbordes en las últimas décadas, y se hace necesario la cuantificación de las alturas de agua y velocidades del flujo para escenarios de inundación.

Este estudio levanta información topográfica, batimétrica del estero, y dispone de una serie de sensores de presión y mediciones de caudal que permiten caracterizar eventos de variación de caudal con fines de calibrar y validar un modelo hidráulico. Por lo tanto, mediante la herramienta HEC-RAS se representa matemáticamente el escurrimiento en términos bidimensionales, y se analizan los caudales con periodos de retorno 50, 100 y 150 años. Los resultados muestran las zonas de inundación para cada uno de los escenarios considerados con sus respectivas velocidades y alturas, identificándose las zonas más susceptibles a ser inundadas.

**PALABRAS CLAVES: Inundaciones Fluviales, HEC-RAS 2D, Cuencas Costeras, Estero Bellavista.**

### **ABSTRACT:**

The country's coastal basins frequently present river floods, which correspond to high-risk events that result in the overflow of the fluvial system. These basins are located west of the coastal mountain range, characterized by small watershapes areas, mostly impermeable and with significant topographic gradient between the mountain range and the sea. In addition, urban areas have low topographic profiles, therefore these rivers are generally affected by tides.

The study area corresponds to the Bellavista river system, located in the region of Bio Bio region, at the commune of Tome. This river is drained by 2basins, the Nachur basin and the Bellavista basin. Historically, the Bellavista system has suffered several floods in recent decades, and thus it is necessary to quantify water heights and flow rates for high discharge scenarios.

This work contains topographic and bathymetric information of the study area, and has a series of pressure sensors data and flow measurements that allow the characterization of flow variation events, calibration and validation of a hydraulic model. Therefore, using the HEC-RAS tool, the river is represented mathematically in two-dimensional terms. Flows with 50, 100 and 150 year return periods are analyzed. The results show the flood zones for each of the scenarios considered with their respective speeds and heights, identifying the areas most susceptible to flooding.

**KEYWORDS: River Floods, Coastal Basins, Bellavista River, HEC-RAS 2D.**

---

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [salarcon@ing.ucsc.cl](mailto:salarcon@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [dcaamano@ucsc.cl](mailto:dcaamano@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [mwillagran@ucsc.cl](mailto:mwillagran@ucsc.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

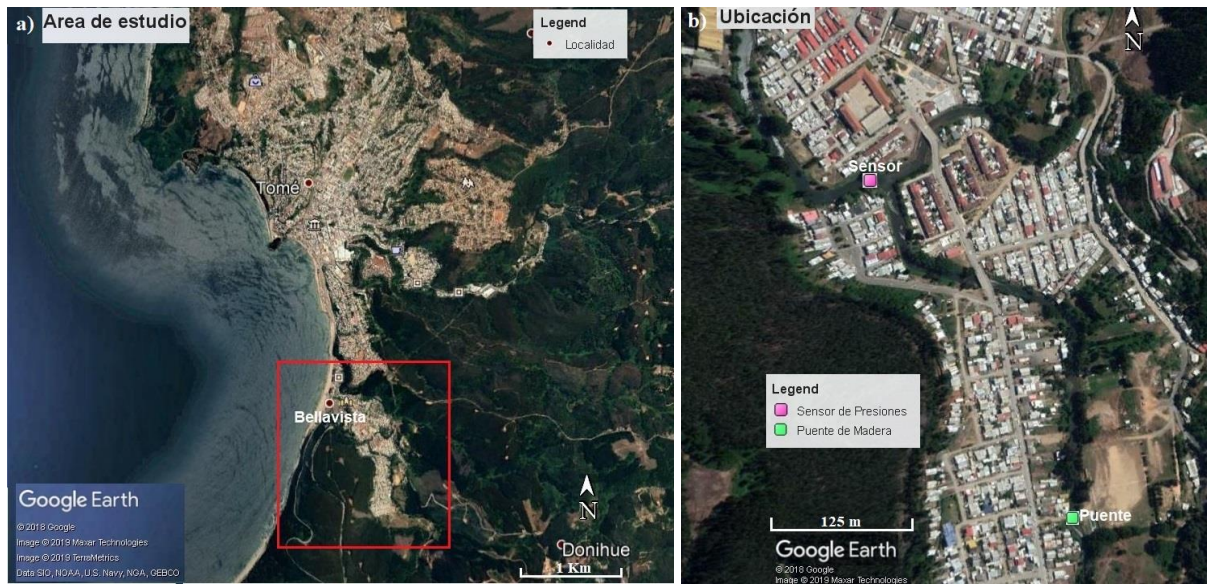
Las inundaciones fluviales en cuencas costeras corresponden a un suceso frecuente en el país (La Tercera, 27 de marzo 2018). Lo anterior debido a una combinación de factores en los que destacan i) la rápida respuesta de las cuencas a eventos de precipitaciones extremas, ii) La influencia de las mareas, iii) los bajos niveles topográficos, y iv) el cambio del uso de suelo (e.g. las urbanizaciones crecientes en las partes altas y bajas de las cuencas).

Las inundaciones generan una amenaza, que en zonas urbanas se transforma en un riesgo necesario de cuantificar para efectos de planificación territorial, permitiendo generar medidas de mitigación de impactos y planes de emergencia. En la actualidad existen herramientas digitales que nos permiten realizar una modelación y predicción del comportamiento fluvial de ríos y esteros.

En Chile existen diversas cuencas costeras de régimen pluvial y una de ellas es el sector Bellavista perteneciente a la comuna de Tomé, en la región del Biobío y que corresponde a la zona de interés de este estudio que se presenta en la Figura 1. Esta área es de importancia regional debido a sus características patrimoniales ligadas fuertemente al ámbito textil histórico de la Región del Biobío. En la actualidad se encuentran allí: jardines infantiles, colegios, un cuerpo de bomberos, Cesfam, diversos clubes deportivos y juntas de vecinos. El sector ha experimentado múltiples eventos de inundación en los últimos años, siendo los más extremos los ocurridos en los años 2006 y 2013 (Radio Biobío, sábado 1 de junio de 2013). En el año 2013 ciento cuarenta y dos familias se vieron afectadas debido al desborde del estero Bellavista, en aquella oportunidad el agua alcanzó niveles de hasta 1 metro de altura, generando costosas pérdidas materiales para las familias afectadas (Radio Biobío, Sábado 1 de junio de 2013).

El sistema fluvial está compuesto por dos subcuencas que drenan al sector de Bellavista, la subcuenca norte de 32km<sup>2</sup> y la subcuenca sur de 83km<sup>2</sup> (Leiva C., 2019). Cada una con esteros denominados Nachur y Bellavista, respectivamente. Lo esteros confluyen y recorren una distancia de 0.9 km antes de llegar al océano Pacífico, tomando el nombre de Estero Bellavista. El sistema es de régimen pluvial, y por lo tanto, las inundaciones se deben a escenarios asociados a precipitaciones. El proceso de escorrentía transporta el agua al cauce, y luego al mar. Las condiciones de inundación pueden verse aumentadas dependiendo de la situación de las mareas, y el bloqueo del cauce debido a desechos leñosos arrastrados por el flujo.

Dados estos antecedentes, es necesario informar a la comunidad acerca de las posibles zonas afectadas, y caracterizar diferentes escenarios forzantes que podrían generar distintos patrones de inundación. Por lo tanto, este estudio propone, identificar las zonas de inundación asociadas a diferentes eventos de caudales y de marea. Lo anterior con el fin de entregar información para una futura definición de rutas de evacuación, zonas de seguridad, y planes de emergencia.



**Figura 1:** Área de Estudio. a) Sector Bellavista, comuna de Tomé. b) Ubicación sensor de presión y puente de madera.

## 2. METODOS

### Levantamiento de Información

Se realizaron 4 campañas de levantamiento de información en terreno con el objetivo de representar la zona de interés. Se utilizaron equipos GPS RTK complementados con aerofotogrametría (fotografías aéreas por medio de dron) para conocer la batimetría y topografía, respectivamente. El cauce fue representado con perfiles transversales cada 20 metros, mientras que las imágenes captadas con el dron sirvieron para representar la geometría de las áreas de inundación. El procesamiento de la información levantada se llevó a cabo con los softwares AutoCAD y Global Mapper, logrando reproducir muros, calles, puentes, y casas. Para caracterizar los flujos, y con fines de calibración del modelo hidráulico, se instaló un sensor de presión en el sector de la confluencia de ambos esteros (UTM Norte: 5.943.326 m, UTM Este: 683.093 m, Datum WGS84 18 Sur).

El sensor registró datos cada 5 minutos desde el 10 de mayo de 2019 hasta el 24 de julio de 2019, capturando la crecida ocurrida el 27 de junio. Además, durante la crecida se registraron videos e imágenes en la sección del puente de madera en el estero Bellavista correspondiente al sector de las canchas (Figura 2). Cabe notar que no se pudo acceder al río, y obtener mediciones directas, por razones de seguridad. Estos registros se llevaron a cabo el día 28 de junio de 2019 a las 9:00 am, y se logró estimar la velocidad y caudal sobre la base de la información batimétrica. Los caudales instantáneos máximos se obtuvieron con el método indirecto de Verni-King (DGA, 1995), obteniendo valores para  $T=50$ ,  $T=100$  y  $T=150$  años. Los datos de caudal registrados por la estación de la DGA en bellavista (Código: 08210003-2) fueron sujetos a corrección dado que presentan influencia de la marea, y utilizados para calibración.

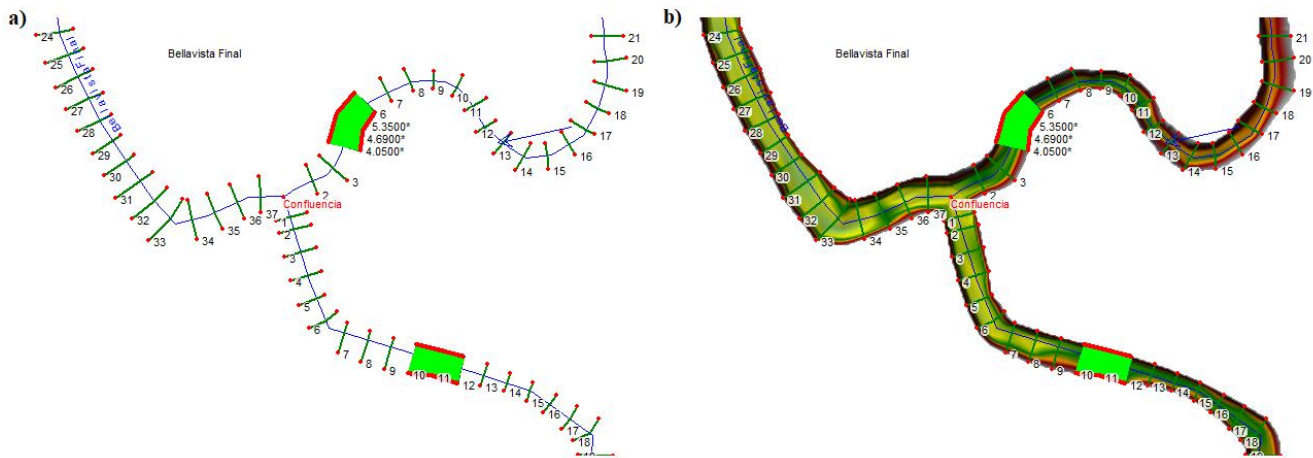
El método de hidrograma unitario sintético se basa en un hidrograma adimensional que posee como máximo valor los caudales asociados a cada periodo de retorno, en este estudio se adimensionaliza el hidrograma registrado por la estación Bellavista y condicionan los caudales máximos según lo estimados para los diferentes periodos de retorno.

### Creación de Geometría

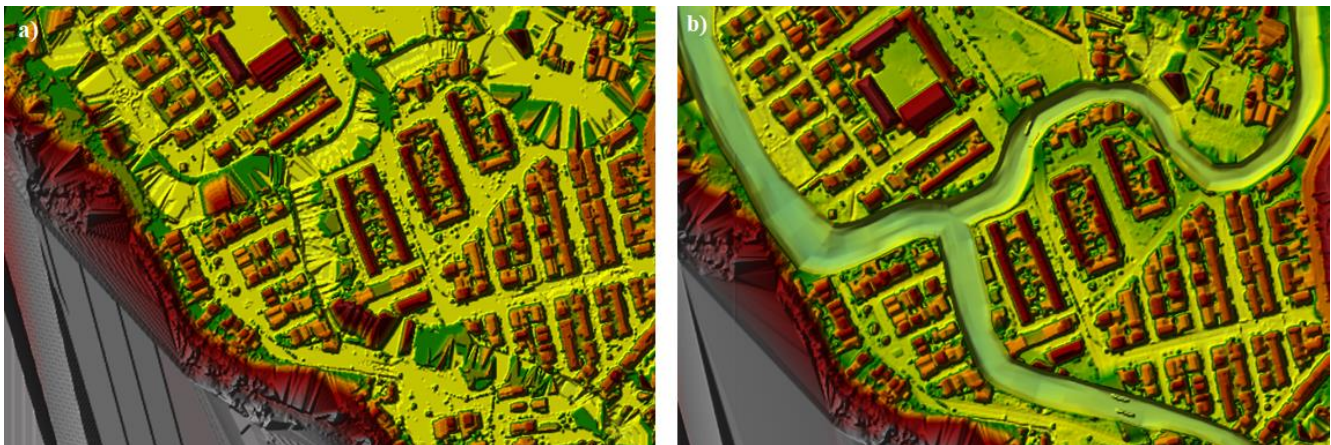
La geometría fue construida por etapas, en primera instancia se creó la superficie correspondiente al cauce en AutoCAD Civil 3D, en esta etapa se trabajó con datos medidos en terreno con GPS RTK y curvas de nivel entregadas por la Ilustre Municipalidad de Tomé. Se construyeron perfiles transversales cada 20 metros lo cuales fueron exportados a HEC-RAS, donde fue creada la superficie de los cauces (Figura 2).

Los datos capturados por la aerofotogrametría fueron procesados en el software Global Mapper, donde se eliminaron los puntos asociados a vegetación, dado que al crear la superficie, el terreno proyectado bajo la vegetación adopta las cotas de vegetación, generando una superficie no representativa (Figura 3a).

Una vez con la superficie del cauce y de las zonas de inundación construidas, se combinan ambas en RASMapper obteniendo la superficie final (Figura 3b).



**Figura 2:** Confluencia de ambos esteros. a) Secciones transversales. b) Superficie del cauce.



**Figura 3:** Superficie cercana a confluencia. a) Superficie áreas de inundación. b) Superficie combinada.

### Herramienta de cálculo

Para el cálculo hidráulico se utilizó HEC-RAS 2D que corresponde a un software creado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers) disponible gratuitamente en el sitio del USACE. La herramienta posee una interfaz amigable para el usuario con módulos de geometría, flujo estacionario, no estacionario, mixto, transporte de sedimentos, calidad de agua, RAS Mapper y módulos para visualizar resultados (tablas y gráficos) (Manual HEC-RAS 5.0 2D, USACE 2016).

El software permite simulación hidráulica 1D, 1D-2D y 2D, resolviendo las ecuaciones de Conservación de masa (1) y Conservación de cantidad de movimiento (2) (3) mediante el método de los Volúmenes Finitos Implícitos.

HEC-RAS ofrece dos sets de ecuaciones para la resolución del flujo bidimensional, el primero es Full Momentum el cual resuelve las ecuaciones de Saint Venant en 2 Dimensiones. Es decir, las ecuaciones de conservación de masa y conservación de momento, esta última considera aceleración local, aceleración convectiva, presión hidrostática, viscosidad, fricción en el fondo y efecto de coriolis. El segundo sets de ecuaciones corresponde al mismo sistema de ecuaciones, considerando en la ecuación de conservación de cantidad de movimiento solo los componentes gravitacionales y la rugosidad.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \quad (3)$$

Donde:

$u$ : Velocidad en el eje x.

$v$ : Velocidad en el eje y.

$H$ : Altura de presiones.

$g$ : Gravedad.

$c_f$ : Coeficiente de fricción.

$v_t$ : Coeficiente de viscosidad.

$f_v$ : Parámetro de coriolis.

En ciertos casos cuando la pendiente de la superficie del agua esta equilibrada por fuerzas gravitacionales y friccionales es posible ignorar los términos correspondientes a la aceleración local, aceleración convectiva, viscosidad y coeficiente de coriolis de la ecuación de conservación de momento, obteniendo el segundo sets de ecuaciones denominado ecuaciones de onda difusa. Sin embargo, este set de ecuaciones no es recomendable para simulaciones en que el sistema fluvial tiene influencia de la marea tal como es el caso en el Estero bellavista.

### Condiciones de Borde

La marea fue utilizada como condición de borde aguas abajo. Se utilizaron valores medidos en la fecha de interés ajustados al sistema de referencia (nivel medio del mar). Los datos se obtienen en la estación de Quiriquina code: quir2 descargados del sitio [www.ioc-sealevelmonitoring.org](http://www.ioc-sealevelmonitoring.org), estos datos de marea fueron ajustados al uso horario utilizado en los sensores de presión.

Las condiciones de borde aguas arriba en ambos esteros fueron hidrogramas de caudales. Se estimó el caudal máximo instantaneo para el estero bellavista y luego dadas las características similares de ambas cuencas mediante transposición de áreas (ecuación 4) se estima el caudal en el estero Nachur.

$$\frac{A_{Bellavista}}{A_{Nachur}} = \frac{Q_{Bellavista}}{Q_{Nachur}} \quad (4)$$

### Condiciones Iniciales

Las condiciones iniciales son el punto de partida que permite al software avanzar en el tiempo con sus cálculos. HEC-RAS tiene 2 tipos de arranque, el primero es con información de condiciones iniciales, ya sea velocidad o altura de agua en cada una de las celdas que componen la malla, o bien comenzar sus cálculos sin información inicial (seco). Aquí se considerará un inicio seco.

### Calibración y Validación

El proceso de calibración considera el ajuste del parámetro de rugosidad de Manning con fines de mejorar la precisión de los resultados del modelo con respecto a la información medida en terreno para la crecida de junio del 2019. Particularmente se utilizan los datos de altura de aguas en la junta para calibrar las rugosidades. Para la primera iteración se considera el método de Cowan, que emplea la formula (5):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * n_5 \quad (5)$$

Donde:

$n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning.

$n_0$  = Rugosidad asociada al material del lecho.

$n_1$  = Rugosidad asociada al grado de irregularidad.

$n_2$  = Rugosidad asociada a la variación de la sección transversal a lo largo del cauce.

$n_3$  = Rugosidad asociada a la presencia de obstáculos en el cauce.

$n_4$  = Rugosidad asociada a la presencia de vegetación.

$n_5$  = Factor asociado al grado de sinuosidad del cauce.

La validación del modelo se lleva a cabo para el mismo escenario de crecidas pero considera el valor de altura de aguas y velocidades del flujo en una sección aguas arriba, fuera de la zona de influencia de mareas, localizada en el sector de las canchas e inmediatamente aguas arriba al puente de madera que allí se ubica (Figura 4). El registro se llevó a cabo un par de horas pasado el peak de la crecida y cerca de las 9:00 am de aquel día.



**Figura 4:** Terreno viernes 28 de junio 2019 a las 09:00 AM. a) Puente de madera. b) Estero bellavista aguas arriba del Puente de madera.

### 3. RESULTADOS

#### Definición Área de Modelación

La zona de estudio fue cubierta por 144.797 celdas creadas en HECRAS las que conforman una malla no estructurada. Se verificó que ninguna celda mantuviera contacto simultáneo con el cauce y planicies de inundación, además de representar cuidadosamente los muros existentes que previenen inundaciones fluviales a lo largo del cauce. Se delimitaron los bordes del estero mediante breaklines para asegurar lo anterior.

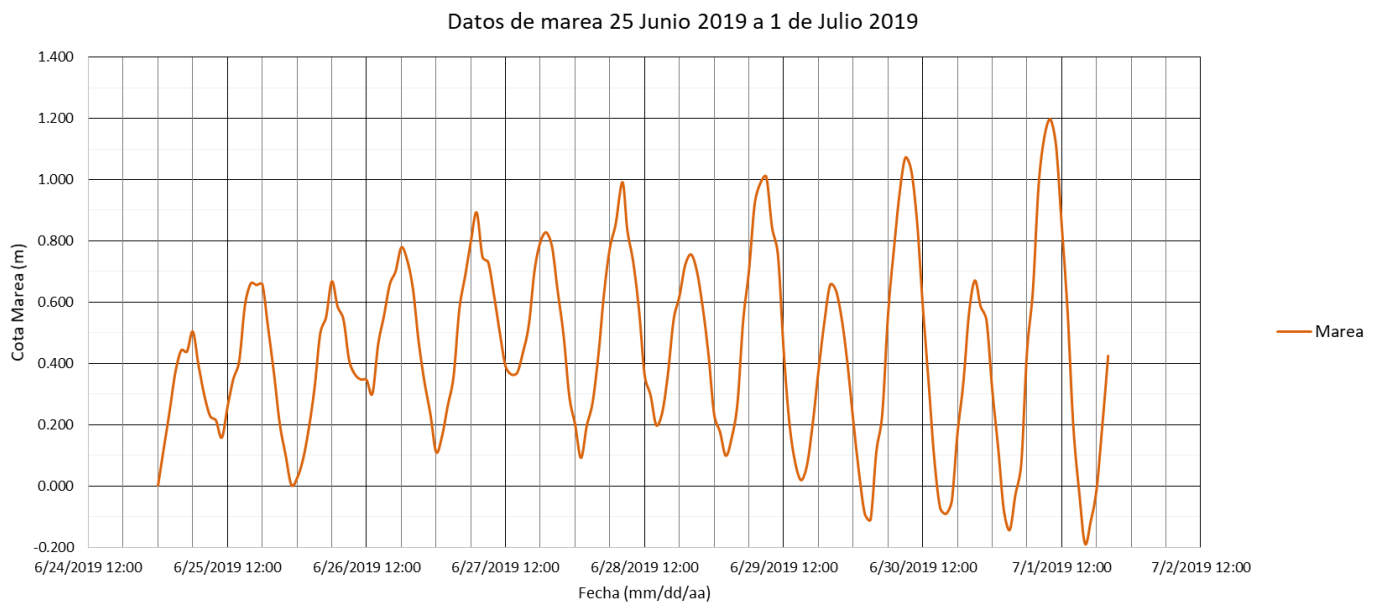


**Figura 5:** Área de estudio abarcada por la malla en la modelación.

### Condiciones de borde

La marea fue considerada como la condición de borde aguas abajo, y corresponden a datos medidos en la estación isla Quiriquina, que es la más cercana a la zona de estudio (Figura 6). La marea utilizada posee una amplitud promedio de 0.76 m, la amplitud máxima (1,38m) ocurrió después de la tormenta mientras que la amplitud mínima (0.35 m) antes de la tormenta, nos encontramos con una marea mixta. Los datos de marea poseen un periodo promedio correspondiente a 12.3 horas.

El día 2 de julio de 2019 se presentó luna nueva (Calendario Lunar, 2019), el aumento en la amplitud de mareas en la serie de datos está asociado a la cercanía con el episodio de luna nueva.



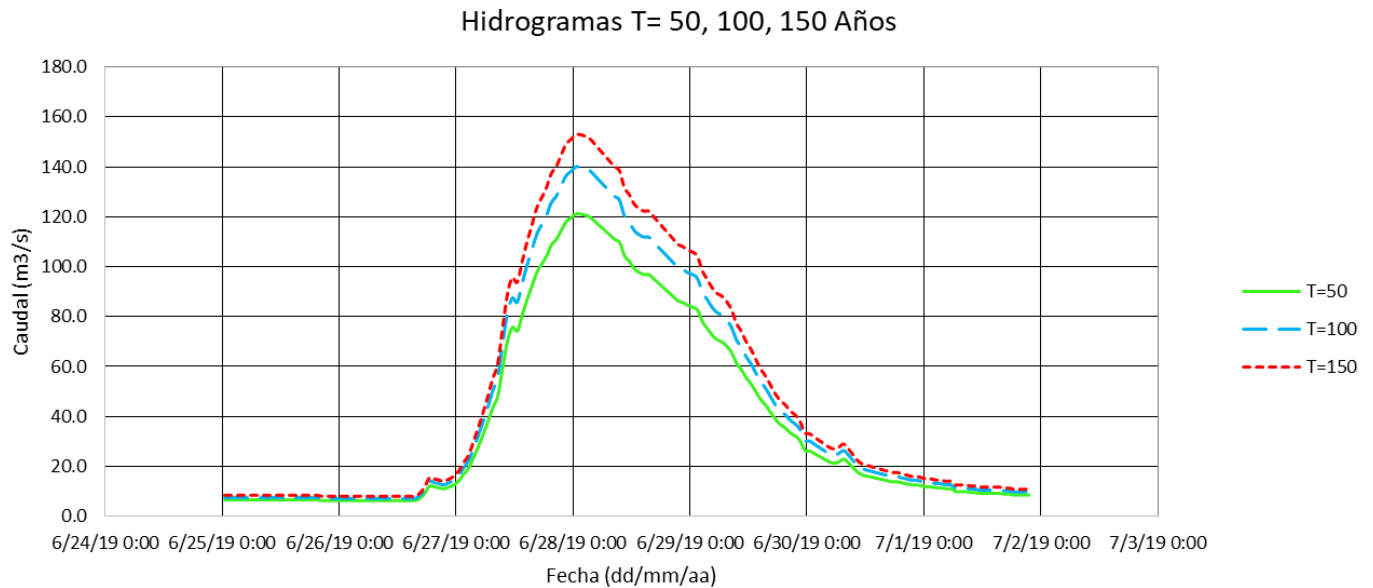
**Figura 6:** Datos de marea del 25 de junio de 2019 al 1 de julio de 2019

La Tabla 1 indica los resultados obtenidos para las condiciones de borde de caudal correspondientes a las secciones aguas arriba del estero.

**Tabla 1:** Caudales máximos instantáneos para distintos periodos de retorno.

T (Años)	Q Bellavista (m <sup>3</sup> /s)	Coefficiente	Q Nachur (m <sup>3</sup> /s)	Q Total (m <sup>3</sup> /s)
5	61.5	0.3855	23.7	85.2
10	83.8	0.3855	32.3	116.1
50	121.2	0.3855	46.7	167.9
100	139.8	0.3855	53.9	193.7
150	153.3	0.3855	59.1	212.4

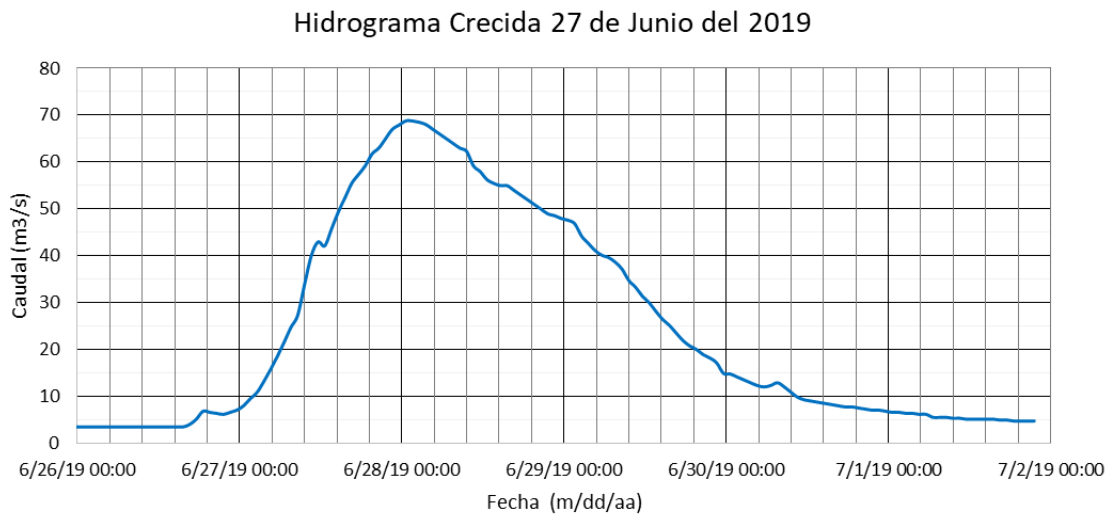
Los hidrogramas modelados fueron los que se presentan en la Figura 7, para T=50, 100 y 150 años.



**Figura 7:** Hidrogramas de T= 50, 100, 150 años en estero Bellavista.

### Calibración y validación del modelo

En la Figura 8 se presenta el hidrograma correspondiente a la crecida del 27 de Julio de 2019 que representa el escenario de calibración.



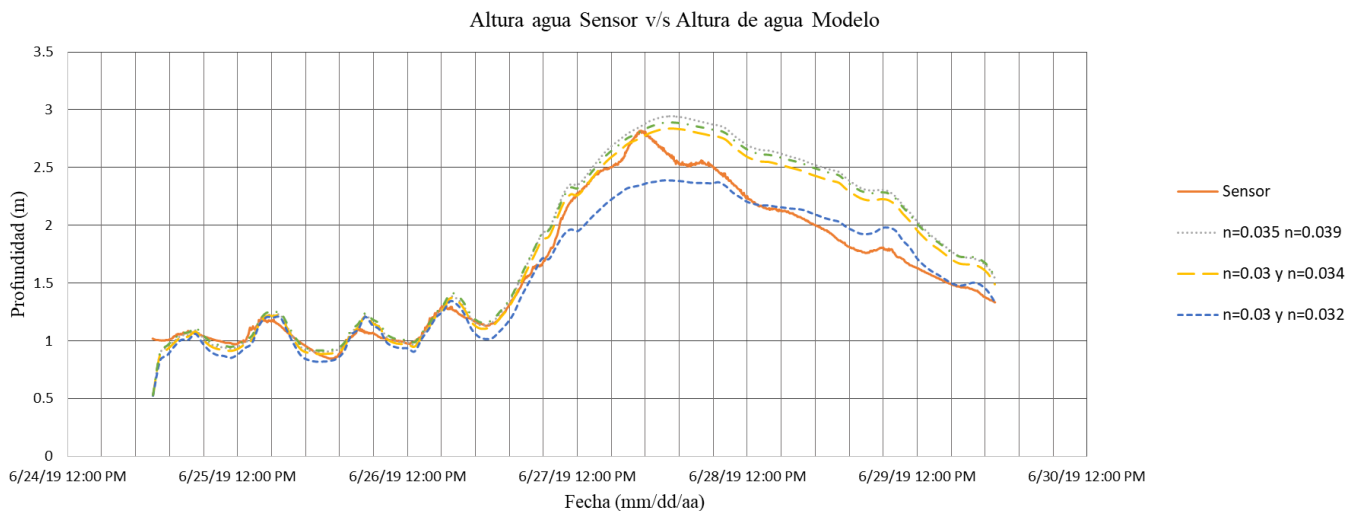
**Figura 8:** Hidrograma crecida 27 de Julio del 2019

El lecho se divide según el sustrato identificado en terreno, y consecuentemente, se presentan dos valores iniciales para el parámetro de rugosidad correspondientes a grava y arena, respectivamente. La tabla 2 resume los valores iniciales considerados para ambos parámetros.

**Tabla 2:** Valores observados para los coeficientes de Manning.

	Condiciones del canal	Lecho de arena		Lecho de grava	
		Observado	Valor	Observado	Valor
$n_0$	Material	Tierra	0.020	Grava	0.024
$n_1$	Grado de irregularidad	Menor	0.005	Menor	0.005
$n_2$	Variaciones en la sección transversal	Gradual	0	Gradual	0
$n_3$	Efecto relativo de Obstáculos	Despreciable	0	Despreciable	0
$n_4$	Vegetación	Media	0.01	Media	0.01
$n_5$	Grado de sinuosidad	Menor	1	Menor	1
		<b><math>n_{arena}</math></b>	<b>0.035</b>	<b><math>n_{grava}</math></b>	<b>0.039</b>

La Figura 9 muestra los resultados del proceso de calibración cuyo escenario corresponde a la crecida del 25 al 29 de junio de 2019. De este proceso en conjunto con la correlación de datos de la Figura 10 se resuelve que las magnitudes de los parámetros de rugosidad corresponden a  $n_{arena} = 0.03$ , y  $n_{grava} = 0.034$ . Los resultados de la verificación de la calibración se indican en la Tabla 3.



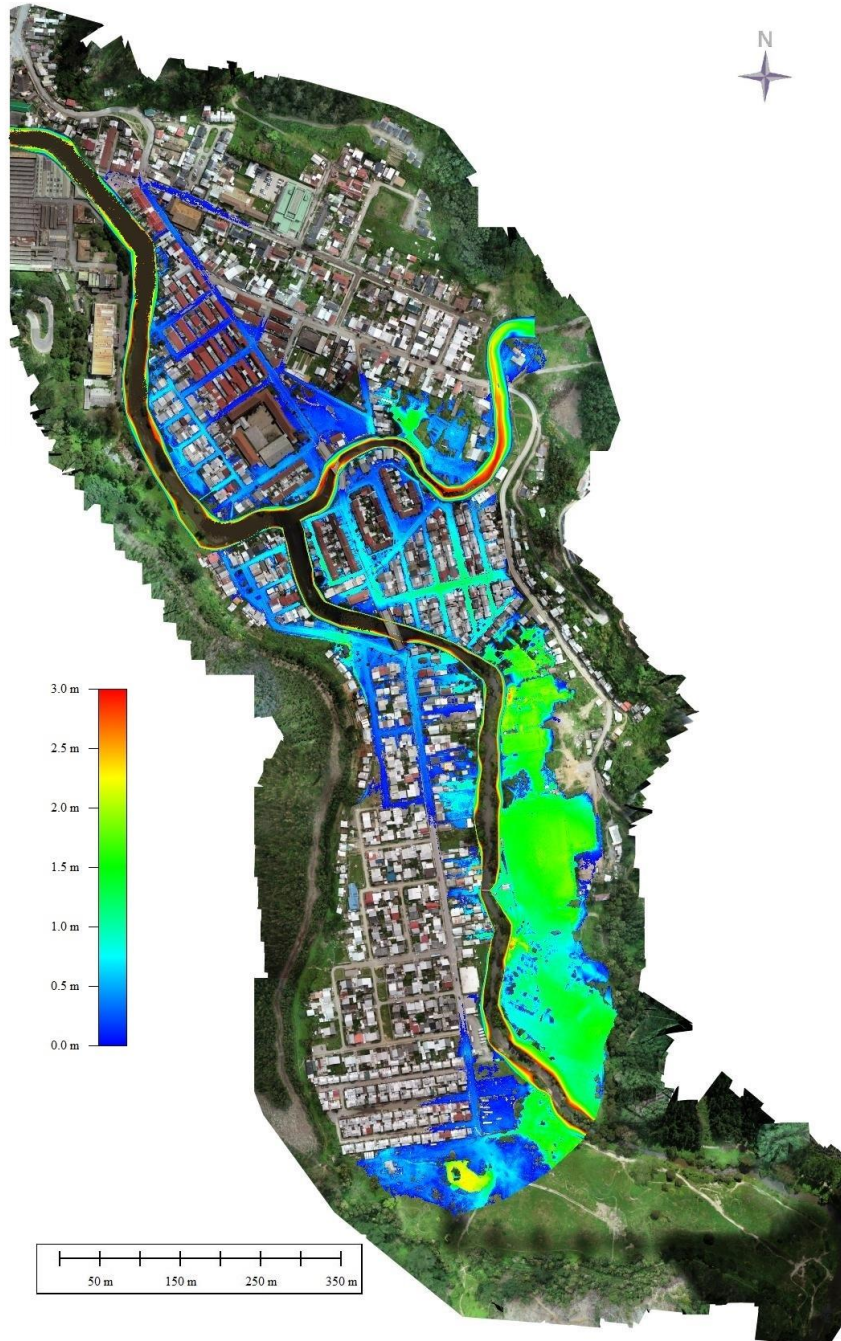
**Figura 9:** Altura de agua Sensor versus Altura de agua en modelación.

**Tabla 3:** Verificación de variables hidráulicas en la sección del puente de madera en el estero Bellavista.

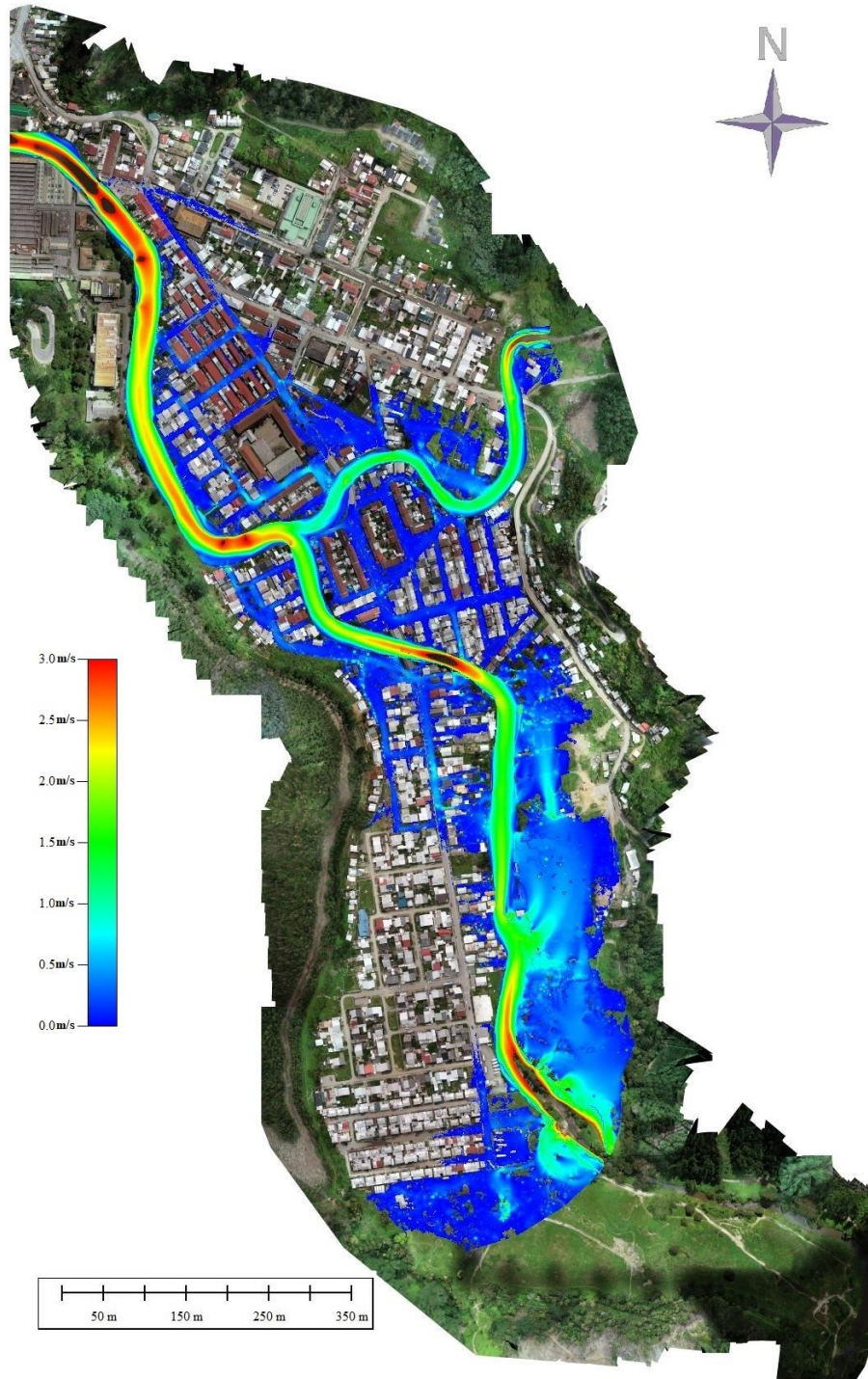
Parámetro	Medido	Modelado	% Error
Velocidad (m/s)	1.9	1.88	2%
Cota agua(m)	2.7	2.92	8%

### Mapas de inundación

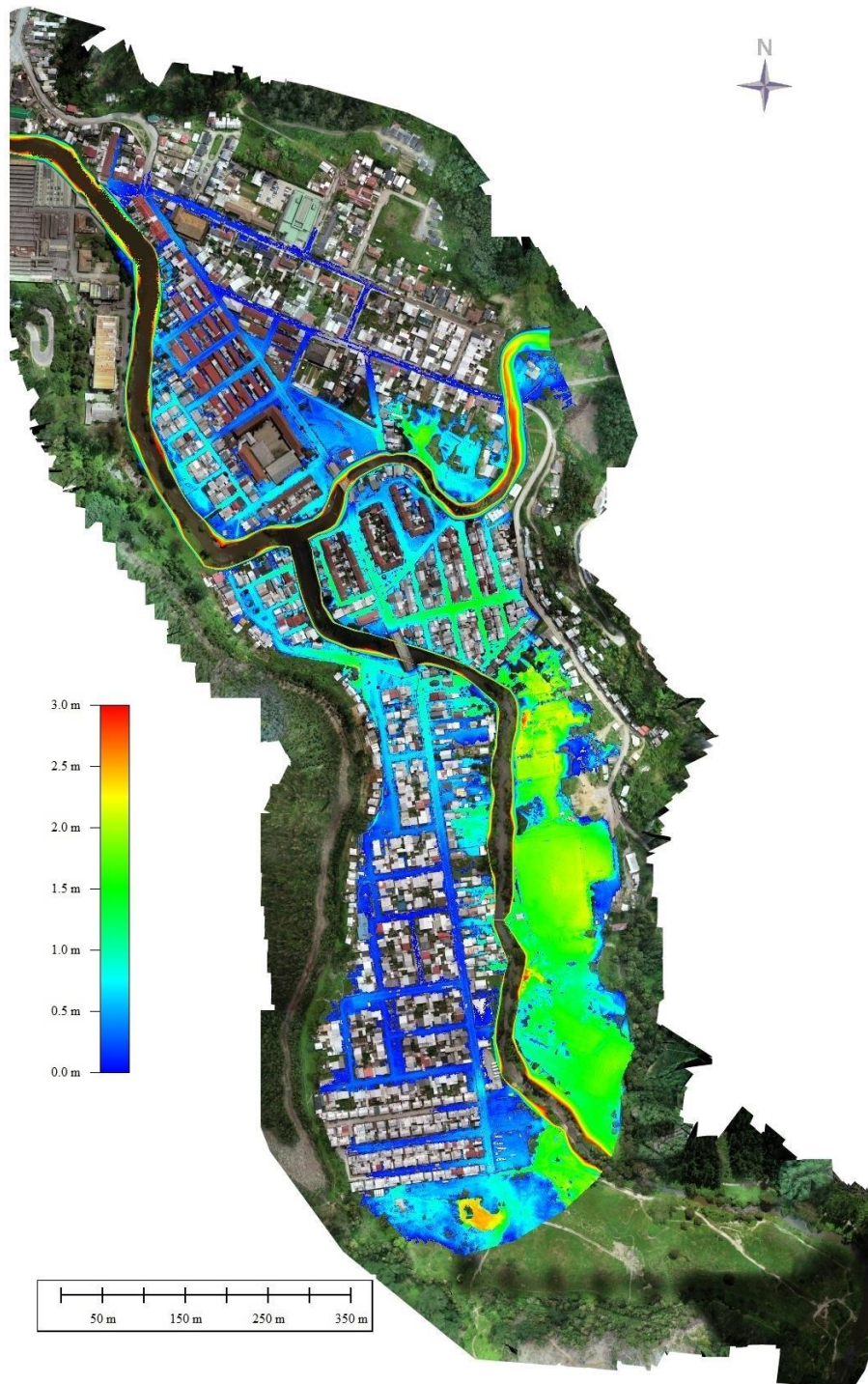
Utilizando los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 150 años se obtuvieron los mapas de altura máxima y velocidad del flujo máxima que se indican en las Figuras 10 a la 15.



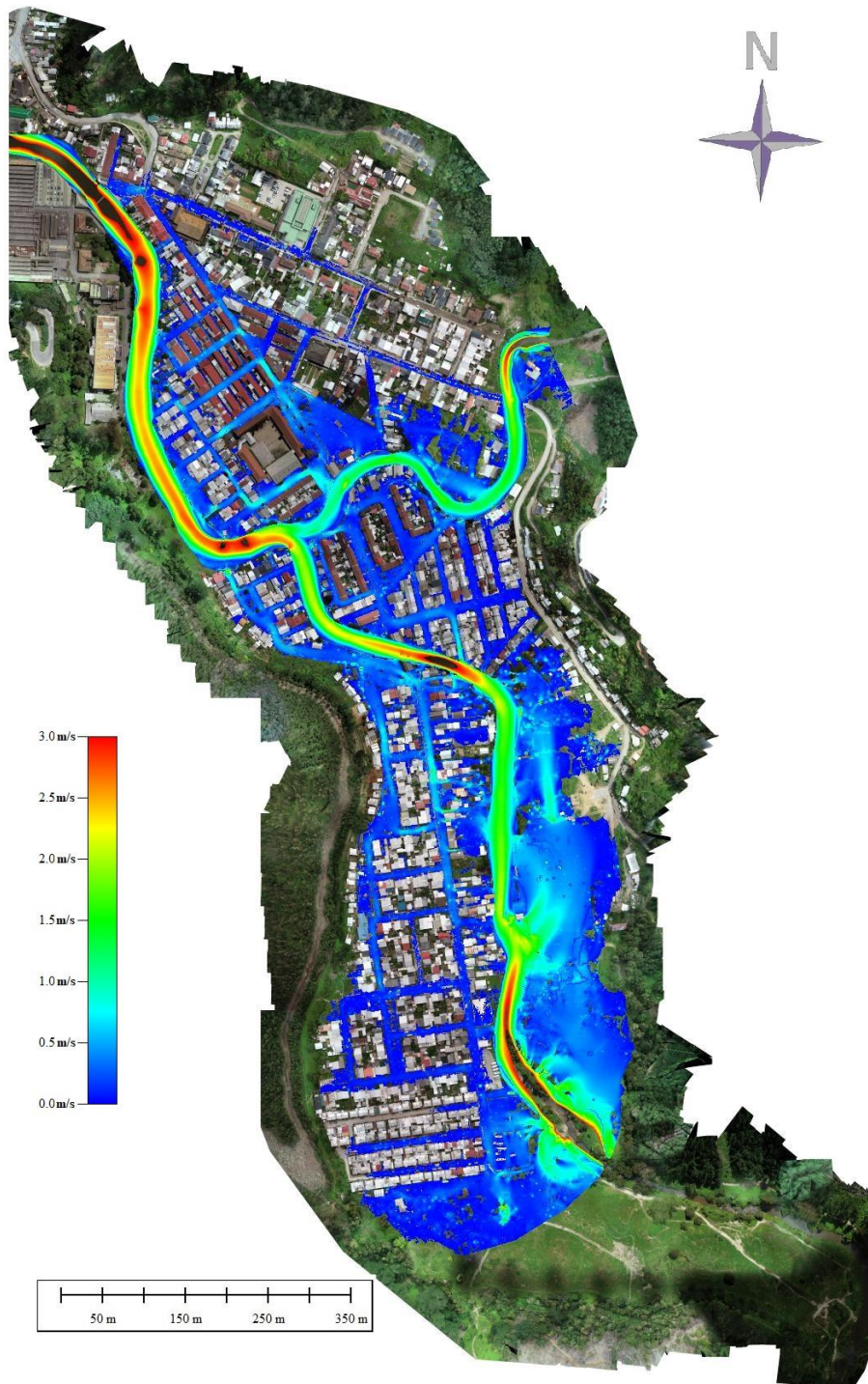
**Figura 10:** Profundidades máximas en zonas de inundación T=50 años.



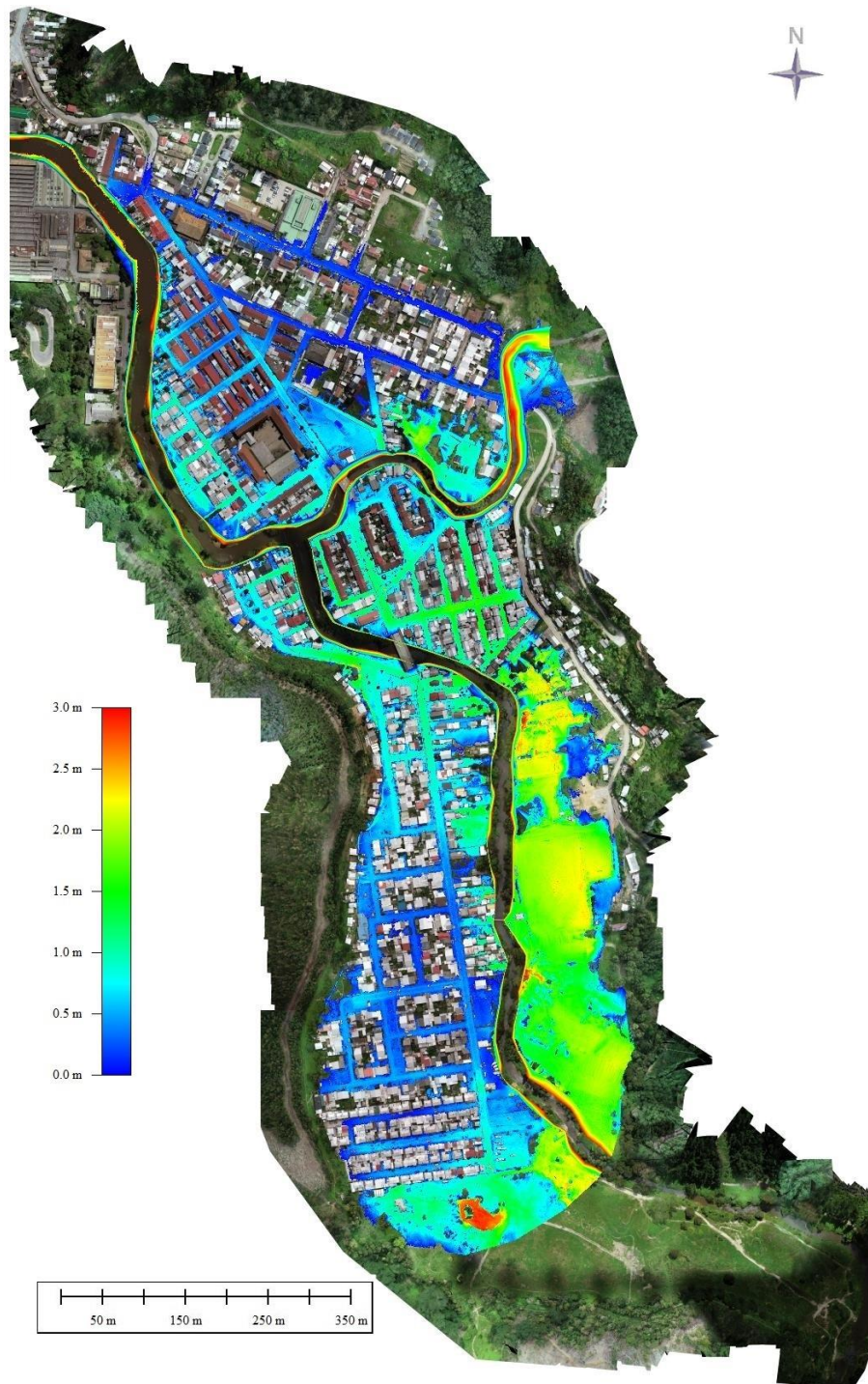
**Figura 11:** Velocidad Máxima T=50 años.



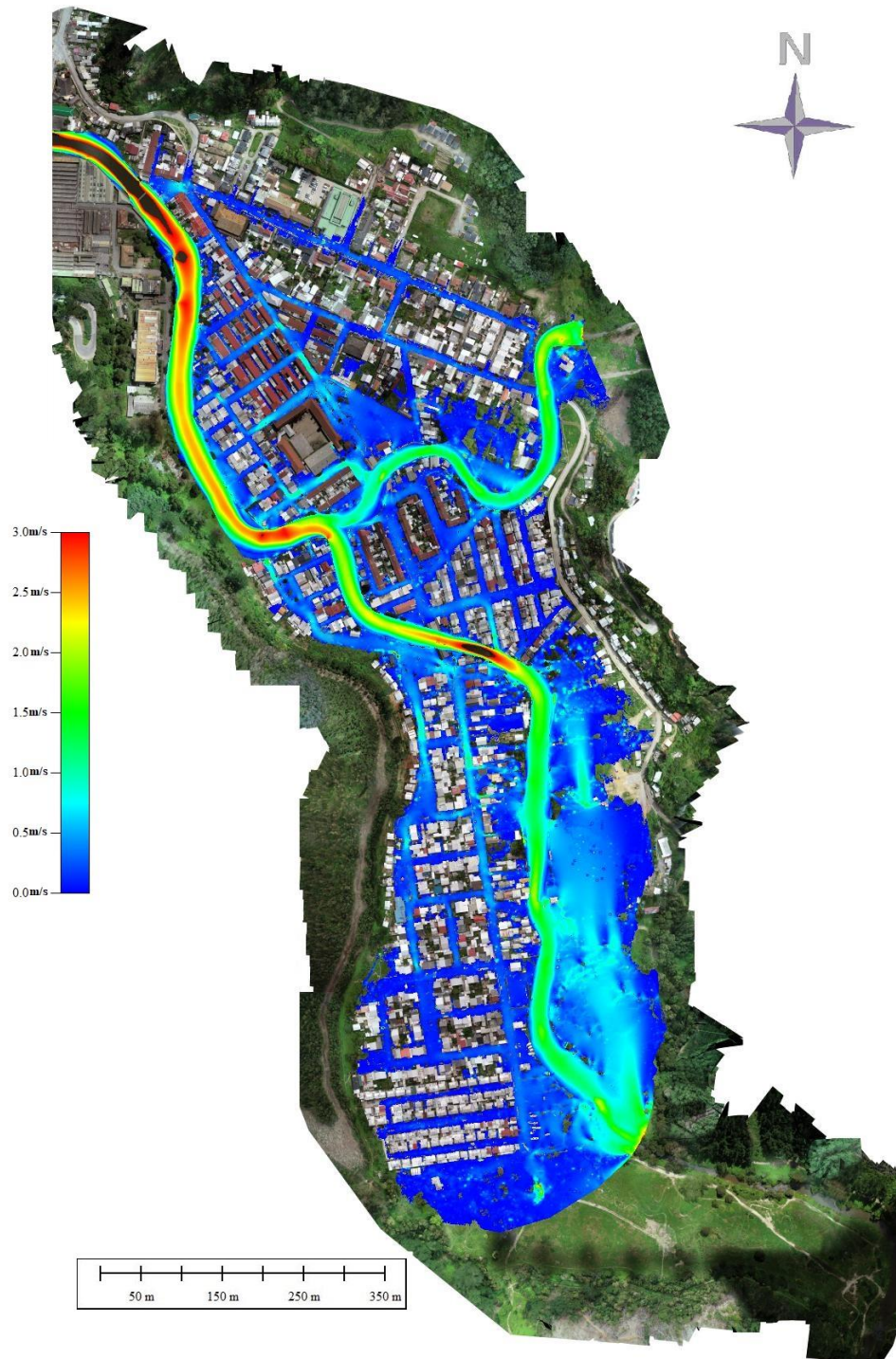
**Figura 12** Profundidades máximas en zonas de inundación T=100 años



**Figura 13:** Velocidad Máxima T=100 años.



**Figura 14:** Profundidades máximas en zonas de inundación=150 años.



**Figura 15:** Velocidad Máxima T=150 años.

#### 4. CONCLUSIONES

El modelo se ajusta a las mediciones para el escenario de calibración. Los valores iniciales para el parámetro de rugosidad obtenido a través del modelo de Cowan resultan cercanos a los valores finales obtenidos en la calibración, indicando que dicha metodología ofrece una buena alternativa como condición inicial.

Los resultados finales resultan sensibles al parámetro de rugosidad, variando las alturas y velocidades calculadas con cambios en la tercera cifra significativa del parámetro. Por lo que se recomienda realizar una limpieza de los esteros al menos 2 veces al año donde se retiren desechos leñosos, escombros y objetos que aumenten la rugosidad en ambos cauces.

Levantar datos en cantidad y calidad en terreno resulta fundamental para culminar satisfactoriamente el proceso de modelación. La batimetría y los datos de alturas de agua tienen un rol importante y un buen procesamiento de los éstos facilita significativamente la calibración del modelo.

El efecto de las mareas es significativo en el sector de la junta, extendiéndose 350 m aguas por el estero Nachur y 500 m aguas por el estero Bellavista (de menor pendiente).

La diferencia de cotas de agua entre lo medido y modelado en la sección del puente de madera, puede estar asociada a la socavación producto de la crecida, dado que la topografía fue realizada antes de la crecida y la medición después de esta.

Los resultados describen las alturas de agua descritas por la población en inundaciones anteriores, se observa que el sector que primero se inunda corresponde al sector de las canchas de fútbol que consecuentemente actúa como buffer para las crecidas aguas abajo. Esto sugiere que dicho lugar podría ser considerado en el futuro para alguna obra de retención de agua no invasiva, por ejemplo, un parque de una forma tal que pueda almacenar los excedentes del flujo.

La calle ubicada al sur de la escuela presenta velocidades del orden de los 0.7 m/s con una profundidad de 50 cm para el escenario de  $T=50$  años, mientras que para los escenarios de  $T=100$  y  $T=150$  años estas velocidades superan 1 m/s llegando hasta los 1.5 m/s con profundidades de 1 m. Estas velocidades son capaces de derribar a una persona, por lo que se declara zona potencialmente peligrosa.

Para caudales con periodos de retorno mayores a 50 años la marea deja de ser un parámetro relevante a considerar en el análisis, dado que la variación de altura de agua no es significativa y el flujo se comporta de igual forma para pleamar y bajamar.

Si se desea urbanizar la zona de las canchas de fútbol, es recomendable construcciones tipo palafito dado que son las zonas más expuestas a inundaciones.

Los resultados de alturas y velocidades pueden ser utilizados para definir zonas seguras y las respectivas rutas de evacuación.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a Dios por darme la capacidad e inteligencia para enfrentar los problemas que se me presentaron durante estos 6 años.

Agradecer a mis padres Alexis y Cecilia por darme la oportunidad de estudiar entregándome las herramientas necesarias, por formarme con reglas y libertades, entregarme contención, cariño, y demostrarme que nada es fácil en la vida pero que con esfuerzo y sacrificio se pueden lograr muchas cosas. Sin su apoyo incondicional nada de esto hubiese sido posible, estoy seguro que ustedes en mi lugar y con mis oportunidades hubiesen logrado lo mismo que yo, gracias Papá y Mamá. Además a mi hermana y familiares por sus palabras de aliento, durante estos años.

A todos los docentes que fueron parte de mi formación profesional, en especial al profesor Diego Caamaño por entregar su conocimiento y guiarme en esta investigación siempre con buena disponibilidad y paciencia.

A mis compañeros y amigos que fueron parte de este proceso universitario formando grupos y compartiendo buenos momentos: Oscar Álvarez, Claudio Salazar, Matías Urrea, Diego Molina y Nicolás Mardones.

Por último y no menos importante, a los amigos de la vida que conocí en la universidad: Milton Cartes, Sergio Mardones, Wladimir Oñate, Celia Domínguez, Nicolás Briones y en especial a Nicolás Mardones sin ustedes este proceso no hubiese sido el mismo, pasamos altos y bajos, penas y alegrías, pero siempre estuvieron ahí entregando su amistad incondicional sin esperar nada a cambio. Soy un agradecido de haberlos conocido y de todos los momentos vividos, momentos de complicidad que solo viven en nuestras memorias y que reviviremos siempre que nos juntemos ya sea a compartir un asado, un cumpleaños o simplemente una conversación.

## 6. REFERENCIAS

**Leiva, C. (2019).** Modelación Hidrológica de crecidas desde subcuencas aportantes al estero Bellavista.

**Brunner, G. (2016).** HEC-RAS River Analysis System 2D Modeling User's Manual Version 5.0; USACE HEC: Davis, CA, USA; pp. 3–26.

**Quiroga, V.M.; Kure, S.; Udo, K.; Mano, A. (2016).** Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. RIBAGUA 2016, 3, 25–33.

**La Tercera (Marzo, 2018).** Inundaciones son el principal evento extremo en Chile producido por el agua. (<https://www.latercera.com/tendencias/noticia/inundaciones-principal-evento-extremo-chile-producido-agua/113471/>)

**Radio Bio Bio (Junio, 2013).** Cerca de 400 afectados deja inundación por desborde de estero Bellavista en Tomé. (<https://www.biobiochile.cl/noticias/2013/06/01/inundaciones-por-desborde-de-ri-o-en-tome-esta-afectando-a-vecinos-del-sector-de-bellavista.shtml>)

**DGA (2015).** Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica.