

EFFECTO DE ACUMULACIÓN DE DESECHOS EN LOS PATRONES DE FLUJO EN EL ESTERO BELLAVISTA

M. González M.¹ mgonzalezm@ing.ucsc.cl - D. Caamaño A.² dcaamano@ucsc.cl - M. Villagrán V.³ mvillagran@ucsc.cl

RESUMEN

Esta investigación evalúa el efecto que tiene la acumulación de desechos en las cepas de los puentes. Se analiza el comportamiento de la cota del agua en los esteros Nachur y Bellavista, ubicados en la comuna de Tomé, Región del Biobío.

Se generan diferentes escenarios, que simulan la disminución de las áreas de escurrimiento producto de la acumulación de desechos en los pilares de los puentes. Se modela el flujo bidimensionalmente mediante una herramienta matemática de uso libre. Los resultados indican que las reducciones causan una disminución en el área efectiva de transporte, que se traduce en cambio de los patrones del flujo, aumentando i) la cota de la superficie aguas arriba de la obstrucción y ii) las velocidades aguas abajo. Ambas situaciones pueden generar una amenaza para habitantes o estructuras cercanas.

PALABRAS CLAVES: Desechos; inundación; modelo hidráulico.

ABSTRACT

This research evaluates the effect of debris accumulation in the strains of bridges. The behavior of the water level in the Nachur and Bellavista streams, located in the commune of Tomé, Biobío Region, is analyzed.

Different scenarios are generated to simulate the reduction of runoff areas due to the accumulation of debris on the bridge piers. The flow is modeled two-dimensionally using a free-use mathematical tool. The results indicate that the reductions cause a decrease in the effective conveyance area, which translates into changing flow patterns, increasing i) the surface elevation upstream of the obstruction and ii) downstream velocities. Both situations can generate a threat to nearby inhabitants or structures.

¹ **Estudiante**, Carrera Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE.

² **Profesor Guía**, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE.

³ **Profesor Informante**, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones fluviales son el riesgo natural con mayor recurrencia en el mundo (Rojas O, 2015), pudiendo ser de origen natural o antrópico, gatilladas por lluvias intensas, derretimiento de nieves, fallas de estructuras de retención (i.e. defensas fluviales o represas) que causan aumentos del nivel de la superficie del agua transportada por los cauces. Estos cambios en los patrones del flujo pueden variar para una condición de caudal dada en función de las características de las secciones de transporte, es decir, los diferentes escenarios que se pueden presentar en tramos del cauce producto de cambios en las condiciones de escurrimiento debido a la acumulación de desechos en la sección (Schalko I, 2019). Los desechos se pueden acumular en la planicie de inundación o directamente en el cauce aumentando las chances de obstaculizar el normal escurrimiento de las aguas (Farid M, 2020). Este estudio busca conocer como la disposición de desechos en el estero Bellavista tales como, material orgánico, plástico, metales, y diferentes utensilios domésticos (i.e. cocinas, sillas, sillones, colchones, etc.) abandonados en las cercanías de los cauces pueden acumularse en las cepas de los puentes bloqueando el escurrimiento y provocando cambios en los flujos. De esta manera se confecciona un modelo de inundación de la zona de estudio que permite representar diversos escenarios de acumulación en el fondo, en los cuales se obstruye la circulación del flujo en las cepas de los puentes.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Tomé es una comuna ubicada en la costa norte de la región del Biobío, en dicha ciudad se encuentra Bellavista, sector emplazado en la falda de los cerros precordilleranos que alberga principalmente conjuntos habitacionales, además de la icónica fábrica textil (Pérez L, 2014). Por este sector, cruzan 2 esteros llamados Bellavista y Nachur, los cuales, nacen en la parte alta de la cuenca, se unen cercano al centro del sector y desembocan en la playa de Tomé. La ciudad de Bellavista ha crecido en torno al estero (ver figura 1 y 2), y con ello aumentado la cantidad de material de desecho generado que potencialmente puede llegar al cauce del río, sumado al material transportado desde las laderas que rodean gran parte del trayecto fluvial pudiendo obstruir el cauce de alguno de los esteros, lo que en consecuencia, podría vulnerar la calidad de vida de quienes se albergan en las cercanías de los cauces, tal como ocurrió en el invierno del 2013, donde sufrieron graves daños por el ingreso del agua a sus hogares (El Sur, 2013).

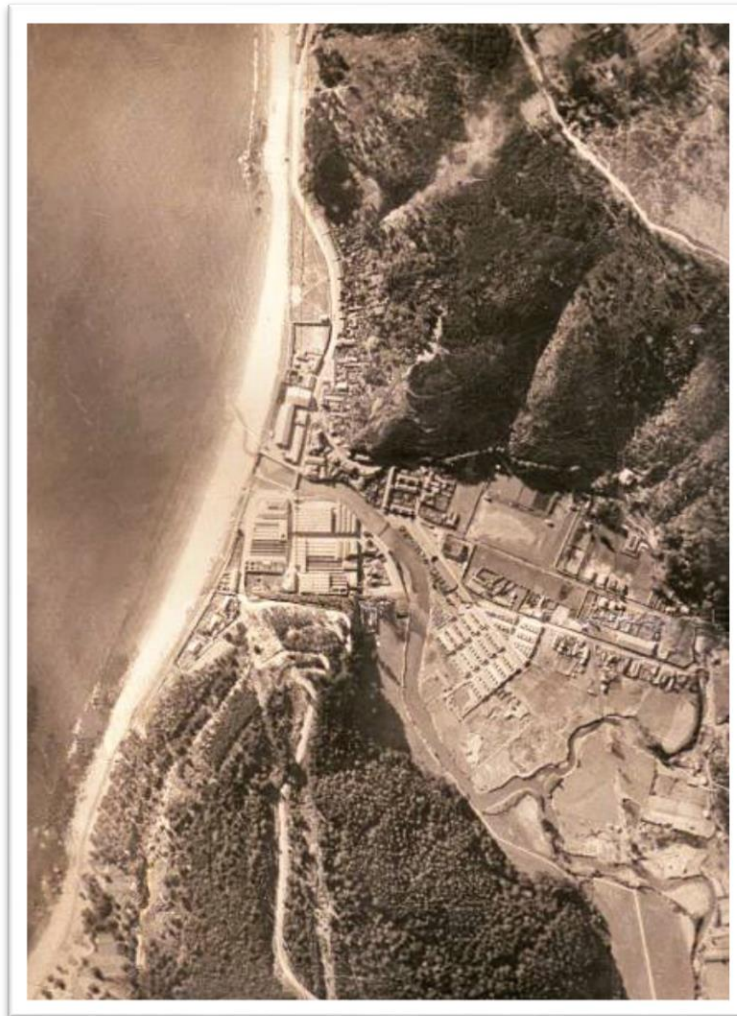


Figura 1: Vista aérea de Bellavista, Tomé. Registro fotográfico que data de 1943 aproximadamente.



Figura 2: Vista aérea de Bellavista, Tomé actualmente.

MÉTODO

Se utiliza como base los resultados de la investigación previa realizada en el sector, denominada “Caracterización de las inundaciones fluviales del sector Bellavista” (Alarcón S, 2019), en la cual, se presenta un modelo bidimensional estable y calibrado realizado con el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center y River Analysis System). Para esta investigación se modifica la batimetría de este modelo, incluyendo las cepas de los puentes y bulbos (Figura 3), con el fin de representar la acumulación de desechos. Dicha representación bidimensional permite estimar características hidráulicas de ambos esteros (i.e. cota de agua, velocidad, caudal, etc.) mediante la utilización de una malla, la cual estima celda a celda estas características.

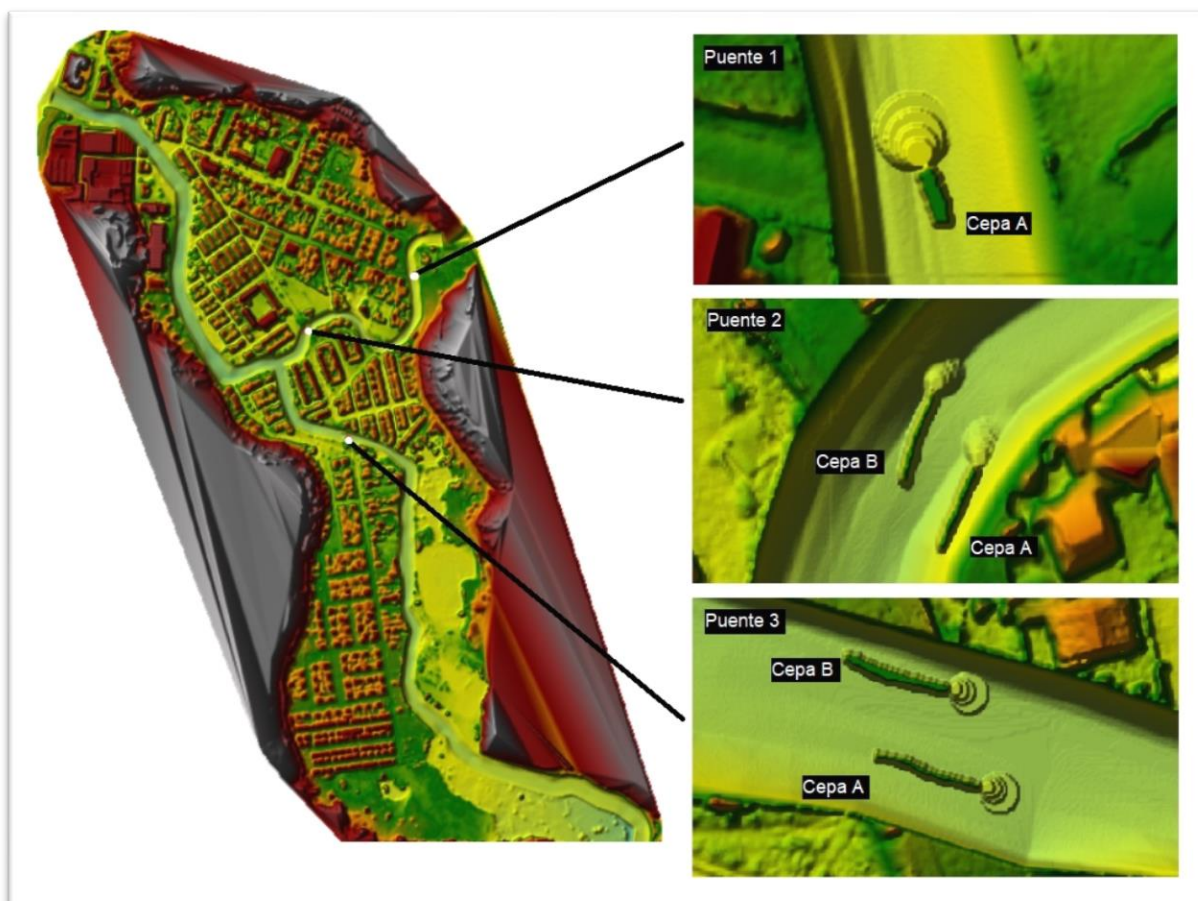


Figura 3: Modelo digital de terreno señalando ubicación de puentes y cepas.

Los bulbos (Figura 4) generados en las cepas de los puentes buscan representar la enorme variedad (i.e. neumáticos, ropas, basura, electrodomésticos, desechos leñosos, etc.) de desechos que puede albergar un estero con estas características y a su vez, se considera una representación que facilite la correcta lectura y posterior ejecución del software utilizado para la modelación. Por ello, se confecciona un bulbo similar a un cono apegado a la cepa, el cual está compuesto por niveles con distintos diámetros (Figura 5), siendo el mayor en su base y el menor en la parte más alta de esta.

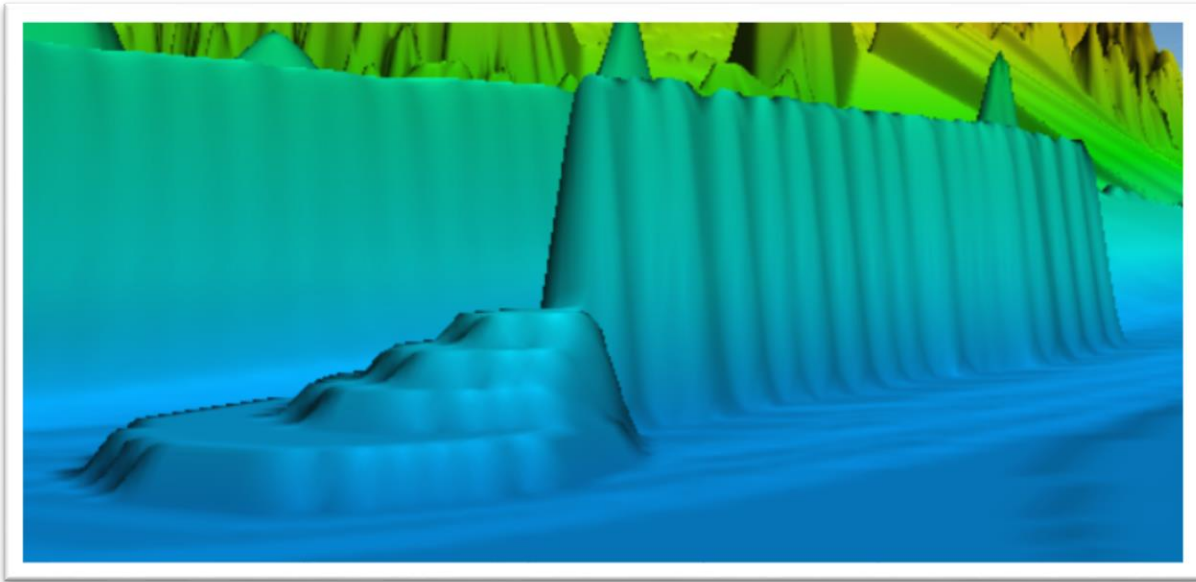


Figura 4: Representación en 3 dimensiones del bulbo junto a la cepa en puente 1.

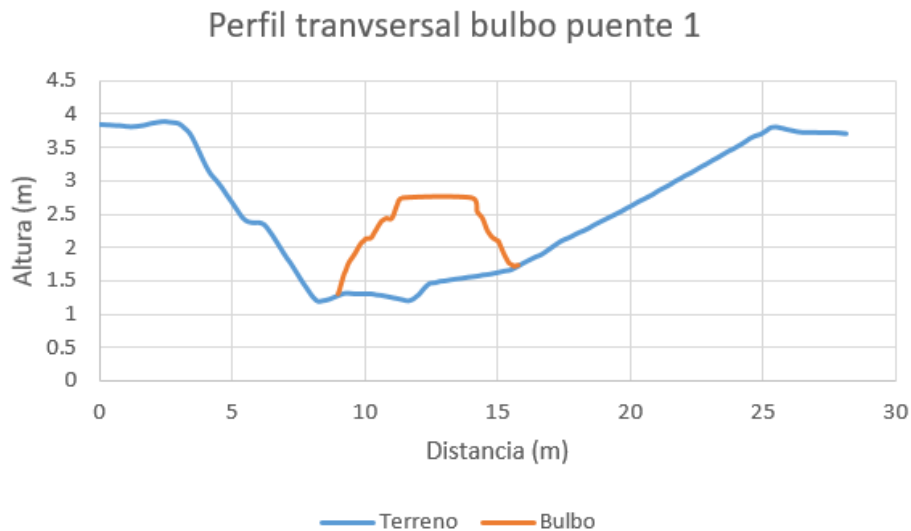


Figura 5: Corte transversal del bulbo en puente 1.

En esta investigación se contemplan dos escenarios (Figura 6), uno en donde no existe presencia de desechos acumulados en las cepas de los puentes, y un segundo modelo, en el cual, si existe presencia de desechos acumulados en las cepas, el cual para fines prácticos es modelado como bulbos junto a las cepas.

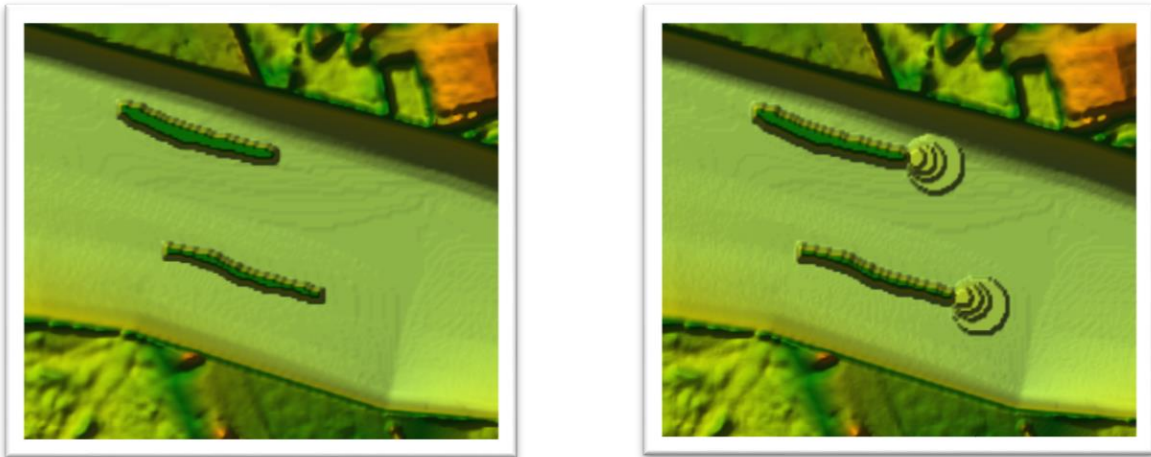


Figura 6: A la izquierda las cepas correspondientes al modelo sin bulbos y a la derecha las cepas correspondientes al modelo con bulbos.

A estos dos modelos representativos de la zona de estudio, se le aplican simulaciones de flujo que buscan representar el comportamiento de los esteros en situaciones de tormenta, para un periodo de retorno de 10, 50, 100 y 150 años.

CONFECCIÓN MODELO BIDIMENSIONAL

I. Condiciones de borde

Para la realización del modelo digital bidimensional en HEC-RAS se consideraron 3 condiciones de borde, las cuales están consideradas en: 1) la desembocadura del estero al océano (BC1), 2) aguas arriba del estero Nachur (BC2) y 3) aguas arriba del estero Bellavista (BC3).



Figura 7: Área de la malla y ubicación de cada condición de borde.



Figura 8: Delimitación de ambos esteros y condiciones de borde.

Tabla 1. Condiciones de borde.

Condición de borde	Nombre de condición de borde	Tipo de condición de borde	Ubicación
1	BC1	Hidrograma de alturas	Aguas abajo del estero Bellavista
2	BC2	Hidrograma de caudales	Aguas arriba del estero Nachur
3	BC3	Hidrograma de caudales	Aguas arriba del estero Bellavista

Dichas condiciones obedecen al comportamiento de alturas o caudal en función del tiempo, según se observa en los hidrogramas presentes a continuación.

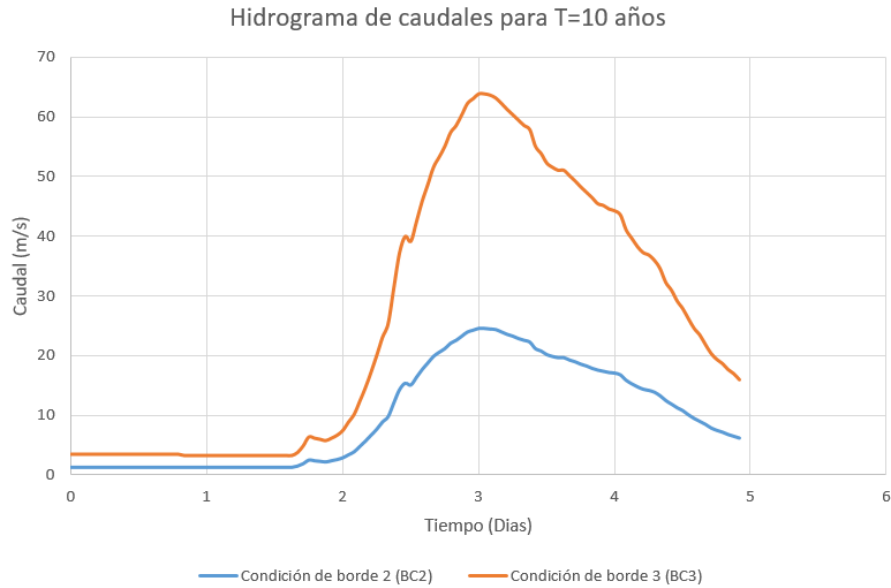


Figura 9: Hidrograma correspondiente a la condición de borde 2 (BC2) y 3 (BC3) para un periodo de retorno de 10 años.

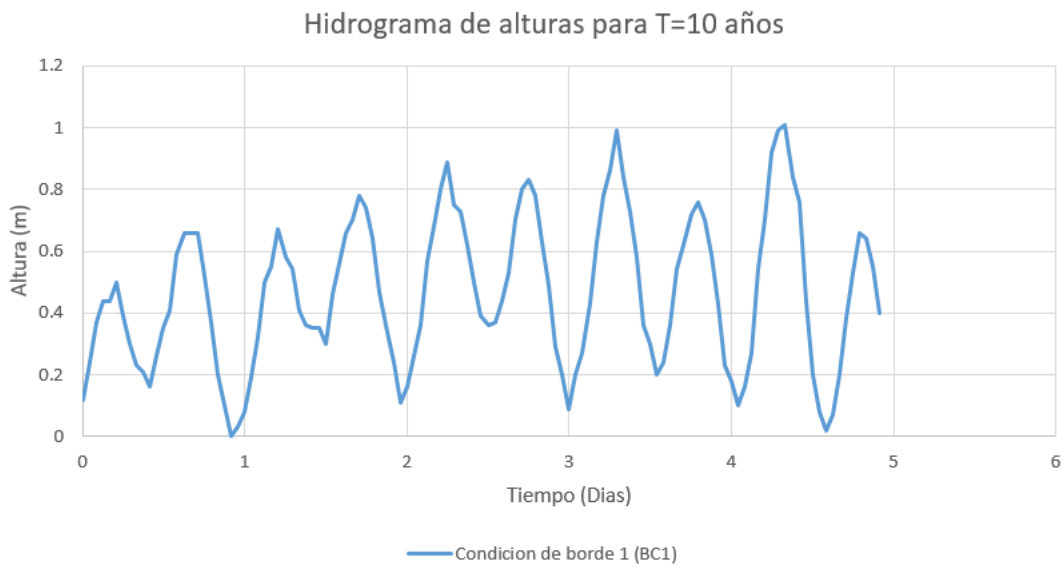


Figura 10: Hidrograma correspondiente a la condición de borde 1 (BC1) para un periodo de retorno de 10 años.

II. Malla

Se utilizó una malla general de 4 x 4 m, siendo refinada en las zonas donde se ubican las cepas con celdas de 2 x 2 m, además se incluyeron algunas break lines en los bordes de las cepas y bulbos, como también en las riberas del cauce. Cabe mencionar que para ambos modelos se utilizó exactamente la misma malla.

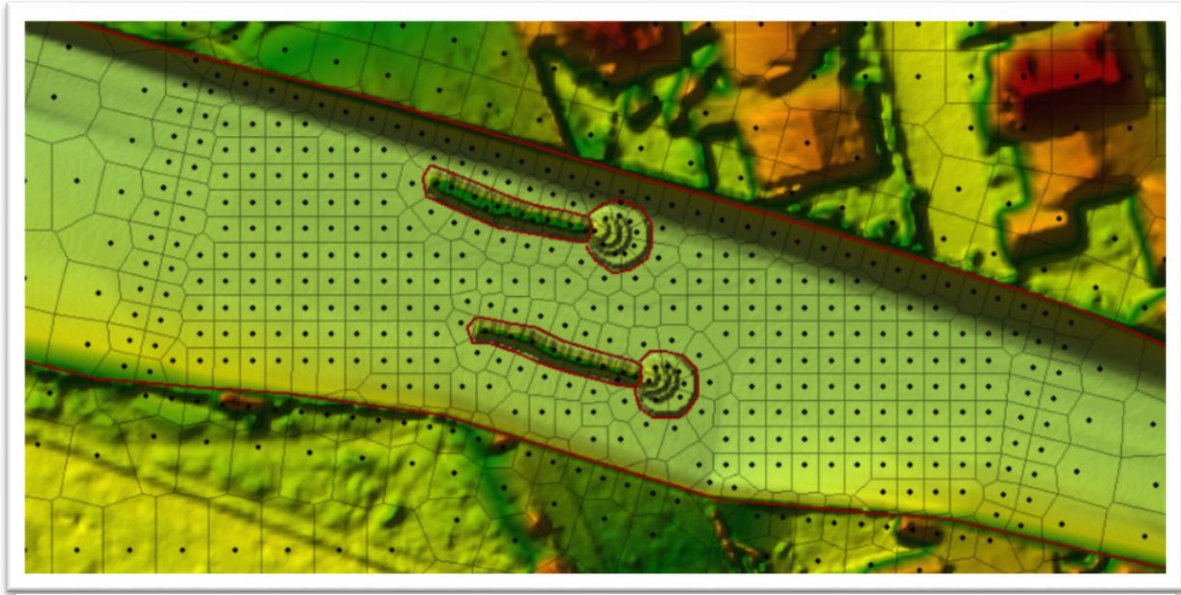


Figura 11: Detalle de distribución y tamaño de celdas en malla.

III. Rugosidad

Para ambos casos se estipula un valor de Manning general de 0.06 y dentro del cauce un valor que varía según el tramo, entre 0.033 y 0.035. Estos valores se obtienen usando como referencia la investigación de base “Caracterización de las inundaciones fluviales del sector Bellavista” (Alarcón S, 2019) y las tablas de valores de rugosidad n (Chow, 1959).

IV. Conjunto de ecuaciones

Para la ejecución de ambos modelos se aplica el conjunto de ecuaciones asociado a aguas poco profundas (SWE-ELM) o Full Momentum, el cual resuelve las ecuaciones de Saint Venant en 2 dimensiones, es decir, conservación de masa y conservación de momento. Puesto que la modelación contempla influencias de la marea, siguiendo las propias recomendaciones de los desarrolladores del programa, se opta por utilizar dicho conjunto para todas las simulaciones.

V. Estabilidad del modelo

Para validar la estabilidad de los modelos se creó una capa que indica el valor del número de Courant para cada una de las celdas. Según el manual, se indica que no debe superar el valor de 3 (figura 12). Las modelaciones fueron ejecutadas con un intervalo de computación de 1 segundo, ya que con este tiempo es posible obtener una solución estable que brinde resultados válidos.

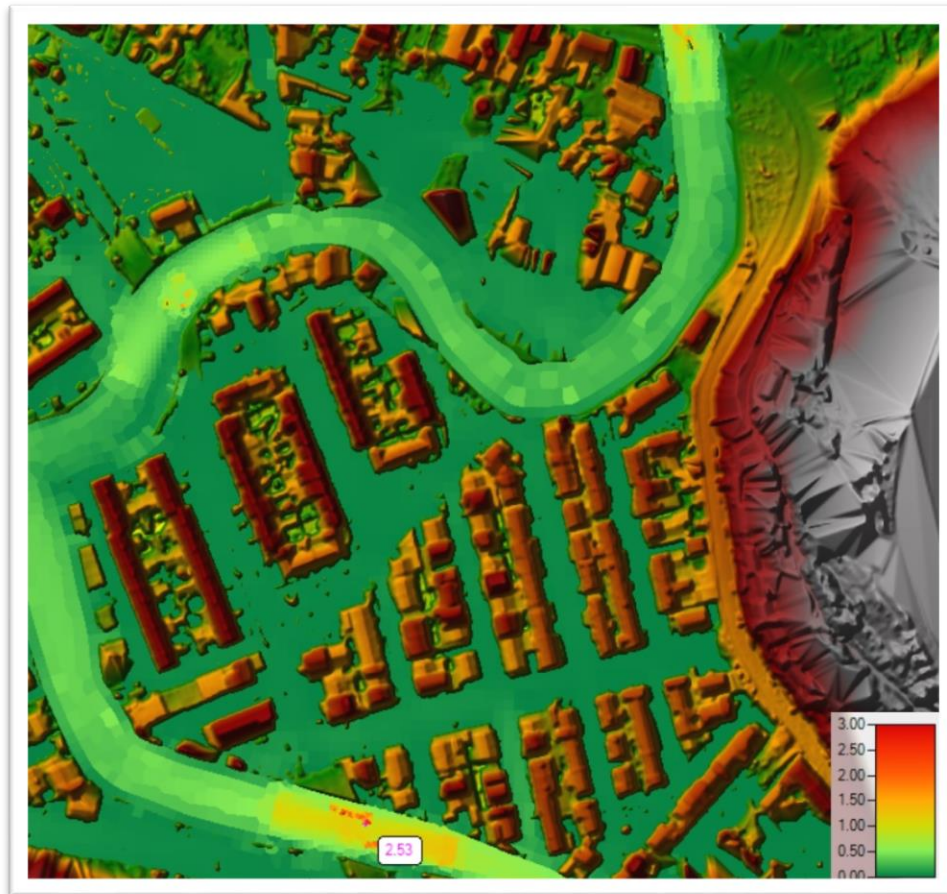


Figura 12: Visualización del valor de Courant en modelación.

RESULTADOS

Para observar los resultados del procedimiento antes mencionado, se ubican: a) perfiles longitudinales y b) puntos en las zonas críticas.

- a) Se trazan perfiles longitudinales en cada una de las cepas de los 3 puentes, identificando cota de agua y velocidades máximas en la tormenta.
- b) A su vez, se ubican más de 20 puntos en las cercanías de las cepas de los 3 puentes para ser evaluados, identificando variaciones de altura y velocidades en función del tiempo.

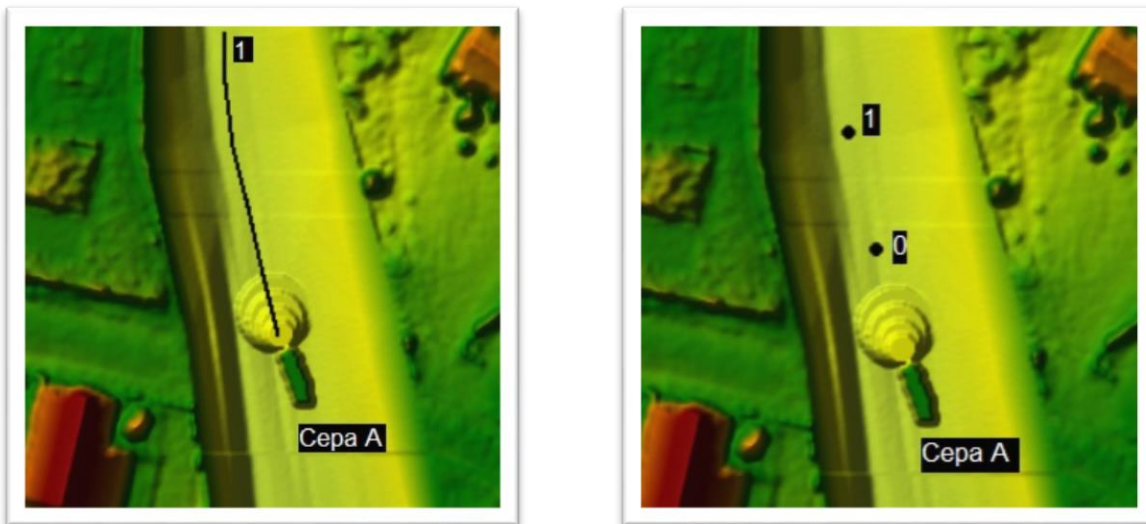


Figura 13: Distribución de perfiles longitudinales y puntos en puente 1.

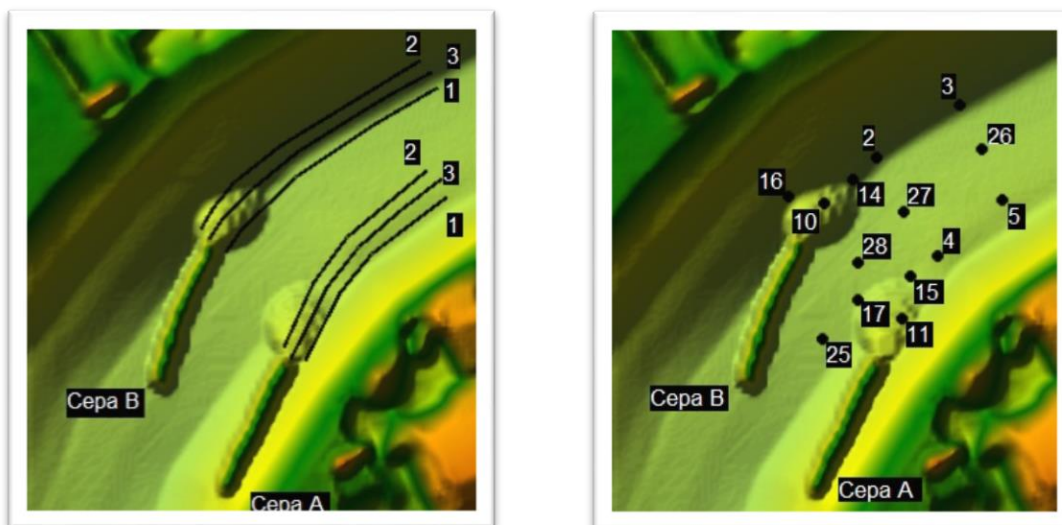


Figura 14: Distribución de perfiles longitudinales y puntos en el puente 2.

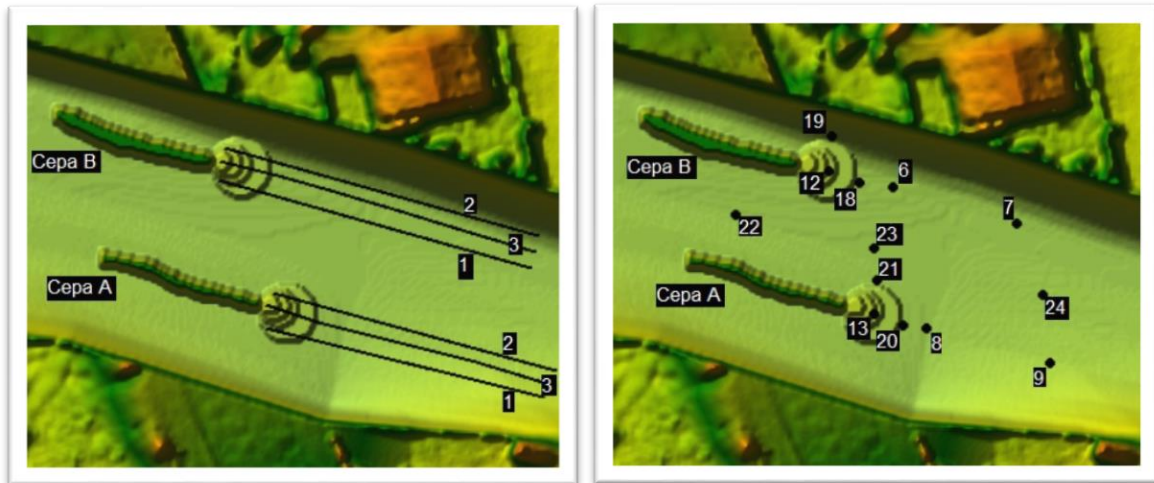


Figura 15: Distribución de perfiles y puntos en el puente 3.

Los resultados de cada perfil y punto sometido a los periodos de retorno 10, 50, 100 y 150 años, están disponibles en el anexo 1 adjuntado al escrito, a continuación, solo se expone un resumen de aquello.

Resultados perfiles longitudinales

En el perfil longitudinal que se detalla a continuación, podemos identificar en la base de la gráfica, la cota de terreno correspondiente al modelo con bulbo, en el centro, las velocidades máximas para el modelo con bulbo (Vel-CB) y las velocidades máximas para el modelo sin bulbo (Vel-SB), y en la parte superior las alturas correspondientes al modelo con bulbo (Altura-CB) y las alturas del modelo sin bulbo (Altura-SB). Como es posible observar, se aprecia una cota de agua superior para el modelo que presenta los bulbos en sus cepas y, por otra parte, se identifica que las velocidades son mayores para el modelo sin bulbo. Este patrón se repite para los 3 puentes, tanto para crecidas de 10, 50, 100 y 150 años de periodo de retorno.

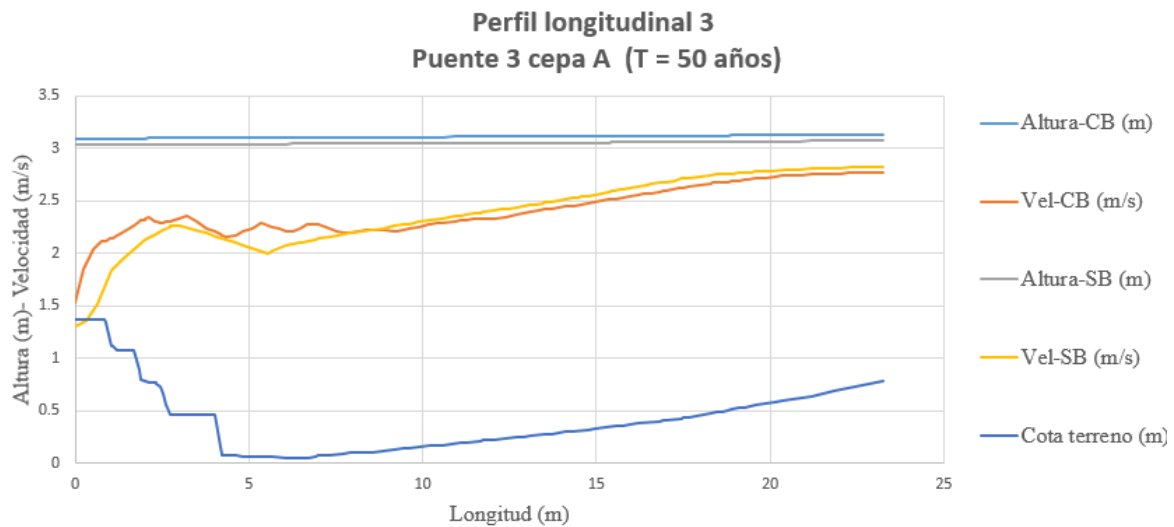


Figura 16: Perfil longitudinal que compara las velocidades y alturas máximas de los modelos con bulbo y sin bulbo para un periodo de retorno de 50 años.

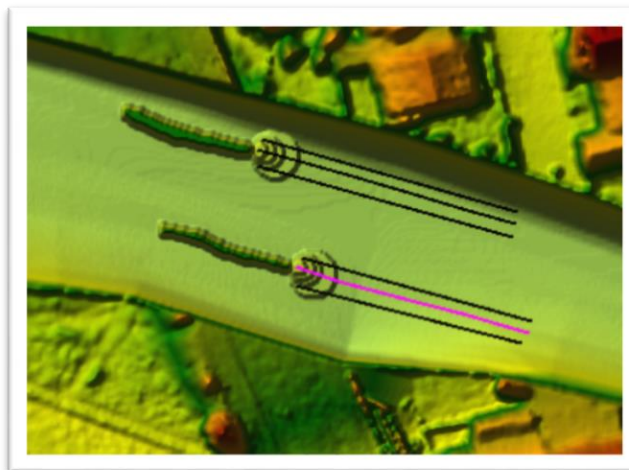


Figura 17: Ubicación del perfil mencionado en la figura 16.

Resultados puntos

En la gráfica que se presenta a continuación, en la parte inferior es posible identificar las velocidades con bulbo (Vel-CB) y las velocidades sin bulbo (Vel-SB) en función del tiempo, y en la parte superior de la gráfica, las alturas con bulbo (Altura-CB) y las alturas sin bulbo (Altura-SB) en función del tiempo. Al comparar las alturas en ambos modelos sometidos a la misma tormenta, se observa una cota de agua mayor para el modelo que tiene presencia de bulbos en sus cepas a lo largo de todo el evento. A su vez, las velocidades del modelo sin bulbo son mayores a lo largo de toda la tormenta. Esta comparativa se realiza para todos los puntos sometidos a un periodo de retorno de 10, 50, 100 y 150 años, dejando entre ver los mismos resultados en la mayoría de ellos.

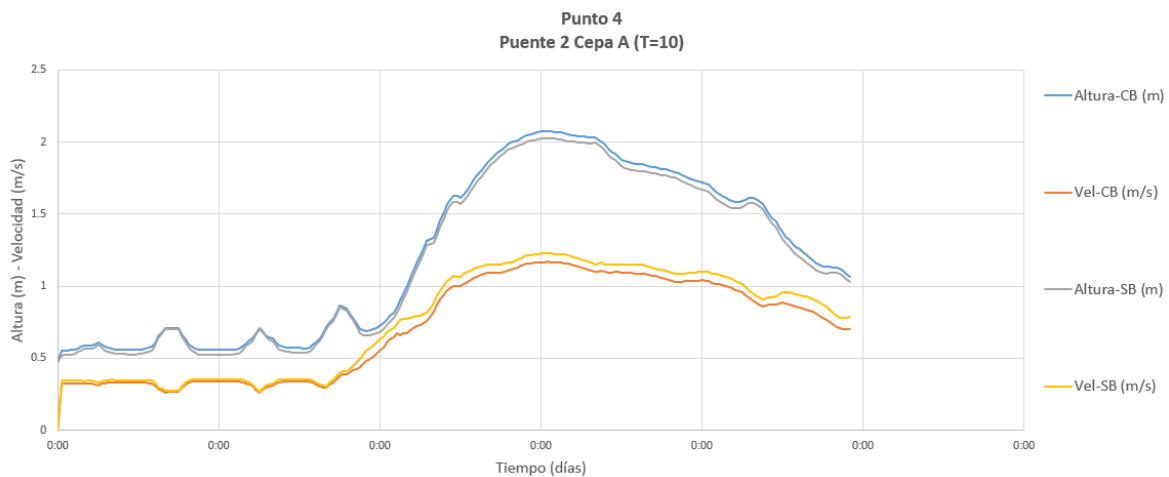


Figura 18: Punto de estudio en el que se compara altura y velocidad de modelo con bulbo y sin bulbo para un periodo de retorno de 10 años.

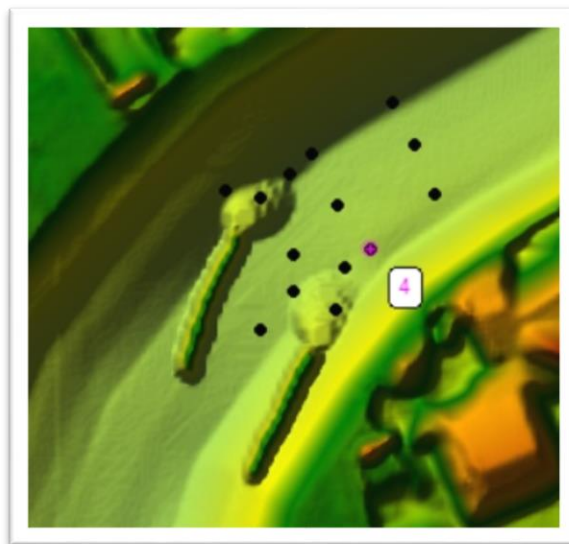


Figura 19: Ubicación del punto de estudio mencionado en la figura 18.

En la gráfica que se presenta a continuación, es posible identificar las velocidades con bulbo (Vel-CB) y las velocidades sin bulbo (Vel-SB) en función del tiempo, las alturas con bulbo (Altura-CB) y las alturas sin bulbo (Altura-SB) en función del tiempo. Al comparar las alturas en ambos modelos sometidos a la misma tormenta, se observa una cota de agua mayor para el modelo que tiene presencia de bulbos en sus cepas a lo largo de todo el evento. Por otra parte, al observar las velocidades, se aprecia que el modelo con bulbo presenta velocidades mayores que las registradas en el modelo sin bulbo, siendo una excepción a la tendencia observada anteriormente.

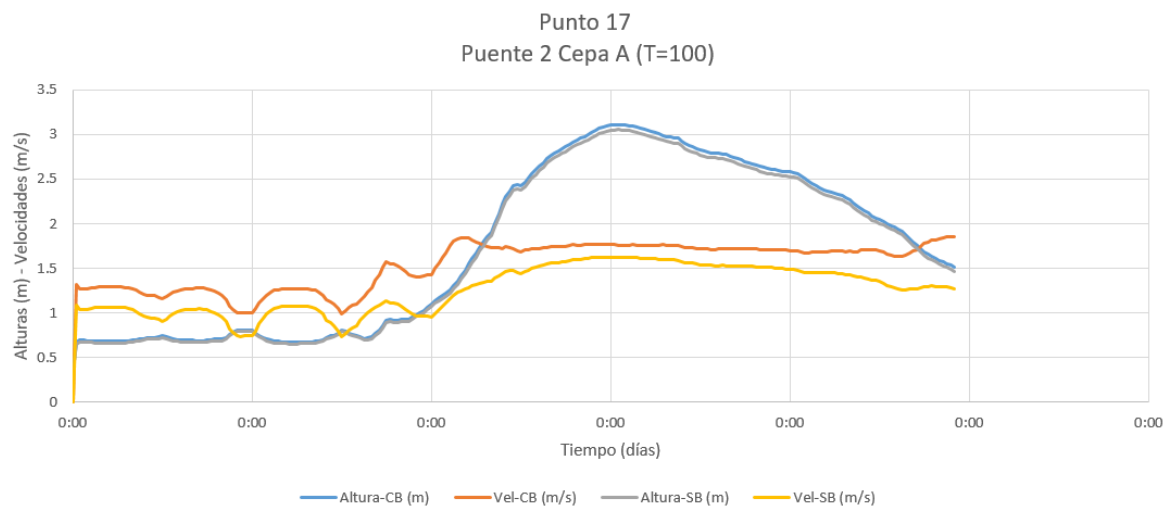


Figura 20: Perfil longitudinal que compara las velocidades y alturas máximas de los modelos con bulbo y sin bulbo para un periodo de retorno de 100 años.



Figura 21: Ubicación del punto de estudio mencionado en la figura 20.

CONCLUSIÓN

De la presente investigación es posible inferir lo siguiente:

- La presencia de desechos modelados como bulbos en las cepas de los puentes del estero Bellavista, representa una alteración en el pelo de agua aguas arriba de la obstrucción.
- En los periodos de retorno considerados en esta investigación, al existir la presencia de bulbos en las cepas, existe un aumento de hasta un 5 % en el pelo de agua aguas arriba de la ubicación de los bulbos, y a su vez, una disminución de hasta un 15 % en la velocidad del flujo.
- Al evaluar los puntos ubicados justo en los bordes de los bulbos, se puede apreciar un aumento de las velocidades de hasta un 30% para los modelos con bulbo, lo que hace inferir, que la presencia de estos además de generar un aumento en el pelo de agua, podrían provocar un arrastre de partículas del lecho o futuras socavaciones en su área colindante.

Con los puntos antes mencionados, se infiere que la acumulación de desechos en las cepas, es capaz de producir un aumento de la amenaza para quienes residen en las cercanías de ambos esteros, producto del aumento del pelo de agua, y en consecuencia del aumento de la planicie de inundación.

A su vez, dicha acumulación también podría poner en riesgo la seguridad de los puentes producto de posibles socavaciones producidas por la presencia de estas acumulaciones, considerando que existen 3 puentes a lo largo de ambos esteros y uno de ellos está confeccionado solo con madera.

REFERENCIAS

Alarcón, S., Caamaño, D., & Villagrán, M. (2019). “Caracterización de las inundaciones fluviales del sector Bellavista, comuna de Tomé”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Chow, V. (1982). *Hidráulica de canales abiertos*

El Sur. Periódico chileno publicado en la ciudad de Concepción (2013). www.elsur.cl

Farid Maricar, M., & Maricar, F. (2020). “Flume experiments on woody debris accumulation at the bridge pier during flood”.

Gschnitzer, T., Gems, B., Mazzorana, B., & Aufleger, M. (2016). “Towards a robust assessment of bridge clogging processes in flood risk management”.

Hydrologic Engineering Center y River Analysis System (HECRAS). www.hec.usace.army.mil

Perez, L., Lagos, K., (2014). Formación y evolución urbana del barrio industrial Bellavista, Tomé.

Rojas, O., Martínez, C., & Jaque, E., (2015). “Recurrencia histórica por inundación fluvial en el curso inferior del río Caranpangue, región del Bio-bio.”

Schalko, I., Schmocker, L., Weitbrecht, V., & M, R. Boes (2019). Laboratory study on wood accumulation probability at bridge piers.

Tálamo, A., Bermudez, R., Garibaldi L., & Chavez A. (2015). “Erosión y escorrentía en respuesta a lluvias simuladas e incendios en bosques secos de montaña”.