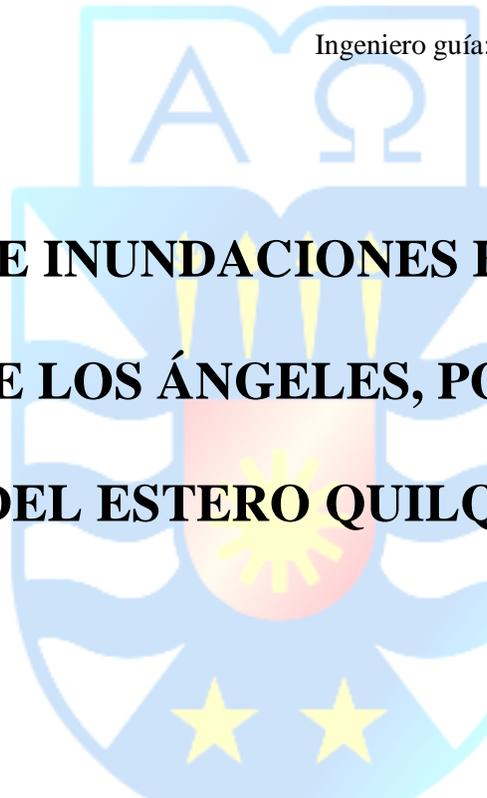


**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

Profesor Patrocinante: Ing. Luis Santana Oyarzo.

Ingeniero guía: Rafael Pérez Rodríguez.



**ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN EL CENTRO  
URBANO DE LOS ÁNGELES, POR DESBORDE  
DEL ESTERO QUILQUE.**

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

**DANIEL ANTONIO IRAIRA GUZMAN**

Concepción, Marzo 2016.

*Este proyecto de título está dedicado a mi familia, mis padres Daniel y Gloria, hermanos Diego, Nicolás, Robinson y a una persona muy especial Elia Guzmán Reyes, mi tía.*

### ***Agradecimientos.***

*Agradezco a mi familia por acompañarme en todos los momentos importantes de mi vida.*

*A mis padres Daniel y Gloria, por su cariño y apoyo incondicional, por creer en mí y alentarme siempre, por enseñarme a enfrentar la vida con optimismo y perseverancia para lograr mis objetivos.*

*A mis hermanos Diego, Nicolás y Robinson por su apoyo y compañía.*

*A mi tía Elia Guzmán quien ha sido y es una persona muy especial para mí, por su incondicional apoyo.*

*Agradezco a unos amigos muy especiales que durante este proceso me brindaron su ánimo y apoyo en todo momento; Pablo Barra, Karen Pedreros y Mauricio Bernal.*

*A mi profesor Guía Luis Santana Oyarzo, por brindarme su apoyo y sus conocimientos, y a Rafael Pérez que ha sido el gestor de este proyecto de título.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN-----  | 1  |
| ABSTRACT -----  | 2  |
| CAPITULO I. INTRODUCCIÓN-----   | 3  |
| 1.1 Inundación en el centro urbano de Los Ángeles -----                 | 3  |
| 1.2 Cuenca del estero Quilque-----                                      | 4  |
| 1.3 Zona de estudio-----  | 6  |
| 1.4 Información hidrológica disponible -----                            | 7  |
| 1.5 Objetivos del proyecto-----   | 8  |
| 1.5.1 <i>Objetivo general.</i> -----                                    | 8  |
| 1.5.2 <i>Objetivos específicos.</i> -----                               | 8  |
| CAPITULO II. METODOLOGÍA -----  | 9  |
| 2.1 Inundaciones históricas-----  | 9  |
| 2.1.1 <i>Umbrales de precipitación.</i> -----                           | 9  |
| 2.1.2 <i>Periodo de retorno</i> -----                                   | 12 |
| 2.2 Capacidad de porteo -----   | 12 |
| 2.2.1 <i>Secciones geométricas</i> -----                                | 12 |
| 2.2.2 <i>Rugosidades</i> -----  | 13 |
| 2.2.3 <i>Condiciones de contorno</i> -----                              | 13 |
| 2.2.4 <i>Alturas de escurrimiento</i> -----                             | 14 |
| 2.3 Peligrosidad de las inundaciones -----                              | 15 |
| 2.4 Riesgo de inundación -----  | 16 |
| CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS -----                              | 19 |
| 3.1 Análisis de resultados de inundaciones históricas -----             | 19 |
| 3.2 Análisis de resultados de la capacidad de porteo -----              | 21 |
| 3.3 Análisis de resultados de la peligrosidad de las inundaciones.----- | 26 |
| 3.4 Análisis de resultados del riesgo de inundación -----               | 29 |
| IV CONCLUSIONES -----   | 31 |

|   |    |
|---|----|
| V RECOMENDACIONES.-----                               | 31 |
| VI BIBLIOGRAFIA. -----                                | 33 |
| ANEXOS -----  | 35 |
| ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO -----                   | 36 |
| 1. Registro fotográfico zona de estudio-----          | 36 |
| 2. Registro fotográfico de eventos de inundación----- | 41 |
| ANEXO B. TABLAS Y GRAFICOS-----                       | 42 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Precipitaciones diarias elegidas según tormentas de características semejantes para una misma fecha, estación Las Achiras y Estación Quilque Los Ángeles. .... | 10 |
| Tabla 2: Rugosidades adoptadas.....   | 13 |
| Tabla 3: Caudales de crecida en el estero Quilque. ....   | 17 |
| Tabla 4. Clasificación del riesgo por inundación. ....  | 17 |
| Tabla 5: Caracterización de los eventos de inundación en el centro urbano de Los ángeles. ....  | 19 |
| Tabla 6: Alerta azul del umbral de precipitaciones de la cuenca del estero Quilque y cuenca del Bío Bío. ....   | 21 |
| Tabla 7: Caudales de alerta, para el sistema de alerta temprana del estero Quilque Los Ángeles. 26  | 26 |
| Tabla 8: Porcentaje de riesgo de inundación asociada a la zona de estudio para los escenarios I, II y III.....  | 29 |
| Tabla 9: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, Estación Las Achiras y estación Quilque Los Ángeles.....  | 42 |
| Tabla 10: Test de datos dudosos según Vente Chow (1994) .....   | 44 |
| Tabla 11: Tabla comparativa Parámetros FDP.....   | 45 |
| Tabla 12: Resultados de precipitaciones máximas en 24 horas según las FDP .....   | 45 |
| Tabla 13: Test de Bondad de ajuste Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov.....   | 45 |
| Tabla 14: Caracterización de inundaciones y anegamientos en ciudad de Los Ángeles, años 1965-1988.....  | 46 |
| Tabla 15: Caracterización de inundaciones y anegamientos en ciudad de Los Ángeles, años 1992-2013.....  | 47 |
| Tabla 16: Ejes hidráulicos y caudales para la zona de estudio.....  | 53 |
| Tabla 17: Caudales, niveles de inundación, velocidades y el producto de niveles de inundación y velocidades .....   | 54 |
| Tabla 18: Caudales, niveles de inundación, velocidades y el producto de niveles de inundación y velocidades. ....   | 55 |
| Tabla 19: Peligrosidad de inundaciones para las secciones de estudio.....   | 56 |
| Tabla 20: Peligrosidad de inundaciones para las secciones de estudio.....   | 57 |

Tabla 21: Riesgo de inundación para escenarios I, II y III ..... 58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Caracterización de la cuenca del estero Quilque a la altura de la ruta 5 sur ..... 5

Figura 2: Zona de estudio, zonificación urbana del centro de Los Ángeles y cantidad de inundaciones acontecidas entre los años 1965-2013.. ..... 6

Figura 3: Alturas para borde inferior de puentes, altura máxima y distintas alturas de inundación. .... 14

Figura 4: Condiciones de altura de escurrimiento (y) y velocidad (v) peligrosas para las personas (izquierda) y para vehículos y edificaciones (derecha)..... 16

Figura 5: Umbrales de precipitación en el centro urbano de Los Ángeles. .... 20

Figura 6: Capacidad de porteo en el centro urbano de Los Ángeles para escenarios I, II y III, contiene caudales máximos ..... 22

Figura 7: Capacidad de porteo bajo distintas alturas de escurrimiento en calle Villagrán, escenario I y II..... 24

Figura 8: Capacidad de porteo bajo distintas alturas de escurrimiento en calle Villagrán, escenario III. .... 24

Figura 9: Inundaciones peligrosas para personas, vehículos y alturas de inundación. .... 27

Figura 10: Inundaciones peligrosas para estructuras de madera, estructuras de ladrillo y alturas de inundación..... 28

Figura 11: Ubicación en Volcán Yelcho, inicio de zona de estudio. .... 36

Figura 12: Ubicación en Volcán Calbuco. .... 36

Figura 13: Ubicación en Volcán Calbuco ..... 36

Figura 14: Ubicación entre calles Volcán Calbuco y José Manso de Velasco. .... 37

Figura 15: Ubicación entre calles Volcán Calbuco y José Manso de Velasco. .... 37

Figura 16: Ubicación entre calle José Manso de Velasco y Villagrán ..... 37

Figura 17: Ubicación aguas arriba de calle Villagrán..... 38

Figura 18: Ubicación entre calle Villagrán y Almagro, aguas abajo puente Villagrán. .... 38

Figura 19: Ubicación aguas arriba de calle Almagro..... 38

Figura 20: Ubicación, Paseo peatonal Ronald Ramm Delpin, aguas abajo calle Almagro ..... 39

Figura 21: Ubicación en calle Valdivia..... 39

Figura 22: Ubicación en calle Mendoza..... 39

Figura 23: Ubicación en calle Ercilla..... 40

Figura 24: Ubicación en calle Prat..... 40

Figura 25: Ubicación, aguas arriba de calle Urenda ..... 40

Figura 26: Inundación del 5 mayo de 1992 , ubicación en paseo peatonal Ronald Ramm Delpin 41

Figura 27: Inundación del 10 de julio de 2006 , ubicación en calle Almagro..... 41

Figura 28: Correlación de precipitaciones diarias entre estación Las Achiras y Estación Quilque  
 Los Ángeles. .... 43

Figura 29. Escenario I, cotas de terreno y ejes hidráulicos para distintos caudales. .... 50

Figura 30. Escenario II, cotas de terreno y ejes hidráulicos para distintos caudales. .... 51

Figura 31. Escenario III, cotas de terreno y ejes hidráulicos para distintos caudales. .... 52

## NOMENCLATURA

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>MOP</b>                | : Ministerio de Obras Públicas.                              |
| <b>DGA</b>                | : Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas). |
| <b>DOH</b>                | : Dirección de Obras Hidráulicas.                            |
| <b>PRCLA</b>              | : Plan Regulador Comunal de Los Ángeles.                     |
| <b>HEC-RAS</b>            | : Hydrologic Engineering Center River Analysis System        |
| <b>FDP</b>                | : Función de distribución de probabilidad.                   |
| <b>PP<sub>24HRS</sub></b> | : Precipitación en 24 horas o diaria.                        |
| <b>T</b>                  | : Periodo de Retorno   |

## ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN EL CENTRO URBANO DE LOS ÁNGELES, POR DESBORDE DEL ESTERO QUILQUE.

**Autor: Daniel Antonio Iraira Guzmán.**

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

Correo Electrónico: [diraira@alumnos.ubiobio.cl](mailto:diraira@alumnos.ubiobio.cl)

**Profesor Patrocinante: Ing. Luis Santana Oyarzo.**

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

Correo Electrónico: [lsantana@ubiobio.cl](mailto:lsantana@ubiobio.cl)

### RESUMEN

El centro urbano de Los Ángeles ha sido afectado históricamente por inundaciones, la inundación del pasado 10 de julio del 2006, causó daños materiales y problemas sanitarios tanto a la propiedad pública como privada, involucrando la totalidad del centro urbano. Ante los reiterados problemas de inundación la Dirección General de Aguas (DGA) el año 2008, implemento un sistema predictivo de alerta temprana en tiempo real perteneciente a la estación fluviométrica Quilque Los Ángeles, y actualmente no tiene los umbrales de precipitación y caudal definidos.

Bajo este contexto el proyecto de título se orientó hacia el análisis de inundaciones del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles mediante la estimación de la capacidad de porteo y su relación con la mejora predictiva del sistema de alerta temprana. El análisis de inundaciones abarca desde la caracterización de inundaciones registradas históricamente, hasta la estimación del riesgo de inundación. Los principales resultados obtenidos indicaron que la capacidad de porteo del estero Quilque se encuentra restringida por la sección geométrica de puentes ubicada en calle Villagrán, cuya capacidad de porteo corresponde a 5.2 m<sup>3</sup>/s, además se pudo determinar que un 58.3% de los terrenos aledaños al estero Quilque en el centro urbano de los Ángeles son zonas inundables. Se estableció de forma estimada un umbral de precipitaciones de alerta azul de 35 mm (con duración igual o inferior a 24 horas) y un umbral de caudal de alerta azul de 2.2 m<sup>3</sup>/s para el sistema de alerta temprana. La capacidad de porteo del estero Quilque ha resultado ser baja al ser excedida por caudales de crecida con periodos de retorno T<5 años.

**Palabras Claves:** Inundación| desborde| capacidad de porteo| precipitaciones diarias| riesgo de inundación.

**7.706 palabras de texto + 18 Figuras/Tablas \* 250 = 12.206 palabras totales.**

## **ABSTRACT**

The center of Los Angeles has historically been affected by flooding, flood last July 10, 2006, it caused material damage and health problems both public and private property, involving the entire city center. Faced with repeated flooding problems the General Water Directorate (DGA) 2008, implemented a predictive early warning system in real time belonging to the station fluviométrica Quilque Los Angeles, and currently has no thresholds defined precipitation and flow. In this context the project title was oriented towards the analysis of the estuary Quilque flooding in downtown Los Angeles by estimating the ability of portage and its relation to the improvement of predictive early warning system. Flood water analysis ranging from the characterization of floods historically to estimate flood risk. The main results obtained indicated that the ability to portage the estuary Quilque is restricted by the geometric section of bridges located in street Villagrán, whose ability to portage corresponds to 5.2 m<sup>3</sup> / s, in addition it was determined that 58.3% of the surrounding land the estuary Quilque in downtown Los Angeles are flooded areas. It was established on an estimated basis threshold rainfall alert blue 35 mm (with a duration exceeding 24 hours) and a threshold of flow blue alert 2.2 m<sup>3</sup> / s to the early warning system. The ability to portage the estuary Quilque has proven to be low to be exceeded by flood flows with return periods  $T < 5$  years.

**Keywords:** Flood | overflow | portage capacity| daily rainfall | risk of flooding.

7.706 Textwords+18 figures/draws \* 250 =12.206 total word

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Inundación en el centro urbano de Los Ángeles**

La inundación del pasado 10 de julio del 2006, afectó al centro urbano de la ciudad de Los Ángeles causando daños materiales tanto a la propiedad pública como privada específicamente en viviendas, comercio e infraestructura pública, generando pérdidas económicas, materiales y problemas sanitarios (Diario la Tribuna, 2006). Esta no ha sido la única inundación que ha afectado al centro urbano de Los Ángeles, se tiene registro de constantes inundaciones que lo han afectado provocadas por el desborde del estero Quilque, donde históricamente la mayor cantidad de inundaciones han acontecido en calle Villagrán (Diario La Tribuna, 1965-2013). La figura 2 indica la cantidad de veces que han acontecido inundaciones en el centro urbano de Los Ángeles entre los años 1965-2013 según los registros del diario La Tribuna.

El cauce del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles se encuentra limitado a una sección de escurrimiento menor, con viviendas y construcciones en sus bordes, llegando al abovedamiento bajo algunas viviendas y locales comerciales (MOP-DOH, 2008). Por esta razón las crecidas del estero Quilque ocasionan serios problemas de inundaciones en el centro urbano de Los Ángeles, específicamente en el cruce con calle Villagrán básicamente por el angostamiento de su cauce (MOP-DOH, 2003).

Ante los reiterados episodios de inundación en el centro urbano de Los Ángeles, el año 2008 la DGA implemento un sistema de alerta temprana en tiempo real asociado a la estación fluviométrica Quique Los Ángeles ubicada en Avenida Las Industrias, donde los umbrales de precipitación y caudal no se encuentran definidos, debido a que desde la implementación de la estación a la fecha no han acontecido inundaciones. Para mejorar este sistema se requiere conocer la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles y determinar el incremento de caudal por acción de las precipitaciones entre Avenida las industrias y el centro urbano de Los Ángeles.

El proyecto de título tiene por objetivo analizar las inundaciones por el desborde del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles mediante la estimación de la capacidad de porteo dentro del contexto de la incorporación de mejoras para el sistema de alerta temprana.

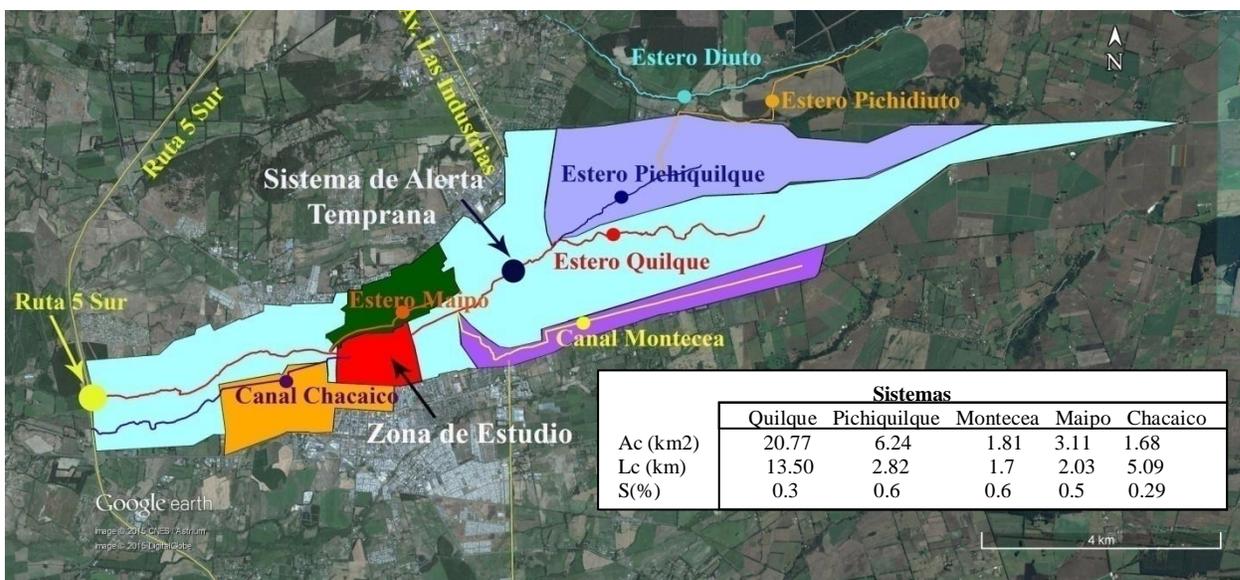
La metodología adoptada para analizar las inundaciones se divide en dos partes; la primera corresponde a la caracterización de inundaciones históricas, que está orientada a la búsqueda de inundaciones en los registros de prensa del diario La Tribuna y su relación con la información hidrológica de la misma fecha, la segunda parte corresponde a la determinación de la capacidad de porteo, y está orientada a la elaboración de un modelo hidráulico mediante el software HECRAS 4.0.1, empleado para determinar la capacidad máxima de cada sección de la zona de estudio y las capacidades bajo distintas alturas de inundación en la zona de estudio, según los criterios de inundaciones peligrosas (Vide, 2002), los resultados de la modelación hidráulica (caudales, velocidades y alturas de escurrimiento) permitieron caracterizar la peligrosidad de las inundaciones y fueron empleados para la determinación del riesgo de inundación.

El centro urbano de Los Ángeles se encuentra ubicado dentro de la cuenca del estero Quilque, el estero Quilque cumple las funciones de transportar agua de riego vertida por la asociación de canalistas del Laja y actúa como receptor de aguas lluvias de gran parte de la ciudad, la ubicación de la zona de estudio y el comportamiento de la cuenca son explicados con más detalles posteriormente.

La DGA ha facilitado el Plan Maestro de aguas Lluvias (MOP-DOH, 2003), este estudio entregó los siguientes antecedentes relevantes para el proyecto de título: Rugosidades del estero Quilque, imágenes de inundaciones en el centro urbano de Los Ángeles, características del funcionamiento de la cuenca del estero Quilque y sistemas que constituyen la cuenca del estero Quilque. El Estudio de Factibilidad y Mejoramiento del Estero Quilque y Paillihue (MOP-DOH, 2008), ha entregado los siguientes antecedentes relevantes para el proyecto de título: Topografía del estero Quilque. caudales de crecida de la modelación hidráulica. Estos antecedentes son fundamentales para desarrollar el proyecto de título "Análisis de inundaciones en el centro urbano de Los Ángeles por desborde del estero Quilque".

## **1.2 Cuenca del estero Quilque**

La figura 1 representa la cuenca del estero Quilque, en ella se indica la zona de estudio, la ubicación de la estación fluviométrica Quilque Los Ángeles, los parámetros morfológicos principales, entre otros sectores relevantes para el estudio.



**Figura 1:** Caracterización de la cuenca del estero Quilque a la altura de la ruta 5 sur (Fuente: Adaptado de MOP-DOH, 2003).

La cuenca del estero Quilque nace a unos 4 km al oriente de Avenida Las Industrias, atravesando la ciudad de Los Ángeles por el centro urbano en sentido este a oeste, y desemboca en el río Guaqui al oeste de la Ruta 5 sur, el cauce principal de la cuenca tiene una longitud de 13.5 km, la superficie de la cuenca es de 31.9 km<sup>2</sup>, con una pendiente media de 0.3 %, desde la cabecera hasta la ruta 5 sur (MOP-DOH, 2003). La cuenca del estero Quilque está constituida por 5 sistemas con el mismo nombre de sus cauces principales, estos son; Quilque, Pichiquilque, Montecceca, Maipo y Chacaico.

El estero Quilque, cumple la función de drenar las aguas lluvias de gran parte de la ciudad de Los Ángeles y durante las temporadas primavera-verano-otoño (meses de octubre a mayo aproximadamente, estos meses no son fijos debido a que dependen de la existencia de eventos de precipitaciones, las decisiones del inicio del periodo de riego son determinadas por la asociación de canalistas del Laja) actuando como canal de riego cuyos aportes de agua provienen de la asociación de canalistas del Laja, que provee de agua a sus regantes, este trasvase se realiza desde la captación del río Laja donde distribuye mediante una extensa red de canales de regadío a la zona. El agua de riego llega a la cuenca del estero Quilque por el estero Diuto que tributa al estero Pichidiuto finalmente tributario del estero Pichiquilque.

### 1.3 Zona de estudio

La figura 2 representa la zona de estudio, la zonificación de los sectores aledaños al cauce según el Plan regulador comunal de Los Ángeles PRCLA (Municipalidad de Los Ángeles, 2005) y el número de veces que el centro urbano de Los Ángeles se ha inundado según registros del diario La Tribuna (Diario La Tribuna, 1965-2013).



Figura 2: Zona de estudio, zonificación urbana del centro de Los Ángeles y cantidad de inundaciones acontecidas entre los años 1965-2013. (Fuente: Adaptado de PRCLA, 2003).

La zona de estudio comprende un tramo entre Volcán Yelcho y Prat-Urenda en este tramo se estudiaron 12 secciones geométricas, el anexo A, contiene un registro fotográfico detallado de las secciones estudiadas.

La zonificación urbana de los terrenos aledaños al cauce en este tramo son definidos por el PRCLA, como zonas mixtas (ZM) y zonas habitacionales consolidadas (ZH), definidas como:

- Zonas mixtas (ZM): Zona de uso predominante de equipamiento, algunas con actividades productivas e infraestructura con uso residencial complementario.
- Zonas habitacionales consolidadas (ZH): Zonas predominante de uso residencial, con equipamiento complementario.

Referente a las zonas inundables el PRCLA (Municipalidad de Los Ángeles, 2005) solo grafica las áreas más representativas, las zonas de riesgo de inundación por cauces naturales (ZR1) y las

zonas de riesgo de inundación de cauces artificiales (ZR2), lo que no obsta a que todos los cauces naturales queden sujeto a ser definidos como zonas inundables o potencialmente inundables por las crecidas de los cuerpos de aguas superficiales, se exceptúa de lo anterior el tramo correspondiente al paseo peatonal estero Quilque. En estas zonas se prohíbe todo tipo de edificación hasta 10 m medidos desde la cota más alta de inundación.

Según el recuadro de la figura 2 la zona de estudio está constituida por áreas urbanas de tipo centro, barrio centro y tipo residencial (ZH-3).

#### **1.4 Información hidrológica disponible**

La información hidrológica empleada, es de pertenencia de las estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA). Se empleo información de precipitaciones diarias de la estación pluviométrica y fluviométrica Quilque Los Ángeles (Código BNA: 8366002-3) que tiene implementado el sistema predictivo de alerta temprana ubicada en avenida Las Industrias, en operación desde el año 2008 y actualmente en vigencia (año 2016), debido a que esta estación tiene pocos años de registro y durante el periodo en operación no hay existencia de inundaciones, la información de caudales y precipitaciones no fue empleada de forma directa para la obtención de resultados. Además se empleo información de precipitaciones diarias de la estación pluviométrica Las Achiras (Código BNA: 8364001-4) en operación desde el año 1964 y actualmente en vigencia (año 2016), debido al extenso registro de precipitaciones y considerando que esta estación se encuentra alejada a 9 km del centro urbano de la ciudad de Los Ángeles se evaluó el grado de correlación de esta estación con la estación Quilque Los Ángeles, para validar la información de precipitaciones diarias proporcionada por la estación Las Achiras.

## **1.5 Objetivos del proyecto**

### *1.5.1 Objetivo general.*

- Analizar las inundaciones del estero Quilque, en el centro urbano de la ciudad de Los Ángeles, a través de la capacidad de porteo, bajo condiciones geométricas actuales del cauce.

### *1.5.2 Objetivos específicos.*

- Caracterizar las inundaciones históricas, ocurridas en el centro urbano de la ciudad de Los Ángeles, mediante su relación con las precipitaciones diarias.
- Analizar la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles bajo diferentes alturas de escurrimiento, mediante la aplicación del modelo hidráulico en HECRAS 4.1.0.
- Determinar la peligrosidad de las inundaciones en el centro urbano de Los Ángeles a partir de los resultados de la modelación hidráulica.
- Evaluar las inundaciones del estero Quilque a partir del análisis de resultados obtenidos de la modelación hidráulica.

## CAPITULO II. METODOLOGÍA

El presente capítulo expone la metodología adoptada para cumplir el objetivo del proyecto de título, que fue desarrollada mediante los siguientes pasos:

- Caracterización de inundaciones históricas.
- Determinación de la capacidad de porteo.
- Caracterización de la peligrosidad de las inundaciones.
- Evaluación del riesgo de inundación en el centro urbano de Los Ángeles.

### 2.1 Inundaciones históricas

La caracterización de los eventos históricos de inundación, se basó en la información de prensa del diario la tribuna entre los años 1965 hasta el año 2013 e información de precipitaciones diarias de la estación pluviométrica las Achiras registradas el día del evento de inundación. La búsqueda de información se orientó a aquellos registros noticiosos que hicieron mención a eventos de anegamiento, inundación y desborde en el centro urbano de los Ángeles. La caracterización de las inundaciones se focalizó en la determinación de un umbral de precipitación de alerta roja<sup>(1)</sup>, un umbral de precipitación de alerta azul<sup>(2)</sup> y la determinación de los periodos de retorno en base a la precipitación del evento.

Umbral de precipitaciones de alerta roja (1): El nivel de alerta roja se encuentra asociado a la presencia de inundaciones (MOP-DGA, 2010).

Umbral de precipitaciones de alerta Azul (2): El valor de la precipitación en determinadas estaciones es el elemento inicial de alerta, pues a partir de una precipitación acumulada en una cierta cantidad de días, es posible pronosticar los caudales en algunas estaciones. De hecho, en general los caudales pronosticados se encuentran en estrecha relación con las precipitaciones antecedentes (MOP-DGA, 2010).

#### 2.1.1 Umbrales de precipitación.

El umbral de precipitaciones de alerta roja se obtuvo de la siguiente forma:

- a) Correlación de precipitaciones diarias estación Quilque Los Ángeles y estación Las Achiras.
- b) Determinación de precipitaciones diarias para los registros de eventos de inundación y anegamientos.
- c) Separación de eventos de inundación y anegamiento.

## d) Determinación del umbral de precipitación de alerta azul.

## a) Correlación de precipitaciones diarias estación Quilque los Ángeles y estación Las Achiras.

La serie de precipitaciones diarias de la estación pluviométrica Las Achiras se validó midiendo el grado de correlación con la estación Quilque Los Ángeles, para ello se eligieron precipitaciones de iguales características, luego se registró la precipitación de ambas estaciones para una misma fecha, la tabla 1 muestra las precipitaciones diarias adoptadas y sus respectivas fechas.

**Tabla 1:** Precipitaciones diarias elegidas según tormentas de características semejantes para una misma fecha, estación Las Achiras y Estación Quilque Los Ángeles. (Fuente: DGA).

| Fecha evento | PP24hrs (mm)     |                      |
|--------------|------------------|----------------------|
|              | Estación Quilque | Estacion Las Achiras |
| 14/08/2008   | 38.8             | 41                   |
| 25/08/2008   | 31.5             | 36                   |
| 18/08/2008   | 19.9             | 17.5                 |
| 23/08/2009   | 15.9             | 18.5                 |
| 04/09/2009   | 45.5             | 36.5                 |
| 04/07/2010   | 44.9             | 38                   |
| 16/08/2010   | 46.3             | 39.5                 |
| 15/07/2011   | 11               | 12                   |
| 24/07/2011   | 21.1             | 15.5                 |
| 09/08/2011   | 19.7             | 8.5                  |
| 11/06/2012   | 37.3             | 38.5                 |
| 20/06/2012   | 8.8              | 6.5                  |
| 19/09/2012   | 15.2             | 9.5                  |
| 27/06/2013   | 19.9             | 14.5                 |
| 31/10/2013   | 6.4              | 9.5                  |

La correlación existente es  $R = 0.88$ , este resultado es mostrado en la figura 28 del anexo B y permite validar el empleo de la serie de precipitaciones de la estación pluviométrica Las Achiras.

## b) Determinación de precipitaciones diarias para los registros noticiosos de anegamiento, inundación y desbordes

Las fechas de los registros noticiosos fueron relacionadas con las fechas de los registros de precipitaciones diarias de la estación Las Achiras, se consideraron válidas las precipitaciones diarias que difirieron de hasta 3 días antes del registro noticioso. La superposición de los tres sucesos explicados a continuación permiten llegar a tener un desfase de hasta tres días:

- La información del evento de inundación se difunde al día siguiente.

- La información de registro de la estación es tomada de 08:00 AM- 08:00 AM y un evento se pudo producir en la madrugada de este.
- El diario no se publica los días domingos y feriados.

c) Separación de eventos de inundación y anegamientos.

La información entregada por los registros noticiosos emplean tres conceptos: anegamiento<sup>(3)</sup>, inundación<sup>(4)</sup> y desborde. Para fines del proyecto de título se planteó un procedimiento que permitió determinar si la información de prensa corresponde a inundación o anegamiento, para ello se adoptaron los siguientes criterios:

- Todos los registros noticiosos que indican "Desborde del estero Quilque" son considerados como eventos de inundación.
- Los registros noticiosos que indican "anegamiento" e "inundación" cuya precipitaciones vinculadas sean iguales o superiores a las indicadas en los registros que indican "Desborde del estero", son considerados como eventos de inundación del estero y aquellos eventos que no cumplan este criterio son considerados como eventos de anegamiento.

d) Determinación del umbral de precipitación de alerta azul.

Este corresponde al 50% del umbral de alerta roja.

Anegamiento (3): Un anegamiento es la acumulación de un volumen de agua/luvia sobre la superficie del suelo. Este proceso obedece a una serie de factores naturales y antrópicos entre los que destacan: las características pluviométricas (intensidad de lluvia diaria), las características físicas del suelo y subsuelo (presencia de sedimentos impermeables que limitan la capacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de la lluvia y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas). Gran importancia se atribuye también a las intervenciones antrópicas tales como: rellenos artificiales y construcciones que obstruyan el drenaje natural o artificial (Vidal, 2001).

Inundación (4): Se define como la invasión del territorio por el escurrimiento descontrolado de un curso de agua debido a una crecida. Las aguas desbordan de su cauce habitual, invaden el lecho mayor del río o la llanura de inundación y terrazas inferiores y/o cauces abandonados. (Santana Oyarzo & Vargas Baecheler, 2000).

### 2.1.2 Periodo de retorno

El periodo de retorno se determino para las precipitaciones diarias de los eventos de inundación contenidas en las tablas 14 y 15 del anexo B. Las Funciones de distribución de probabilidad FDP, se obtuvieron según la serie de precipitaciones máximas diarias contenidas en la tabla 9 del anexo B. El procedimiento para la obtención del periodo de retorno se describe a continuación:

- El periodo de retorno se obtiene mediante la siguiente formula  $F(X) = 1 - \frac{1}{T}$ . Vente Chow, (1994).

donde:

$F(X)$ : Probabilidad de no excedencia, según la FDP seleccionada.

$X$ : Valor de precipitación diaria.

$T$ : Periodo de retorno.

- Se aplico test de datos dudosos según el procedimiento propuesto por Vente Chow (1994), los resultados del test de datos dudosos se muestran en la tabla 10 del anexo B.
- Asignación de probabilidad de excedencia para la serie de datos, para las FDP según; Gumbel, Normal, Log Normal, Exponencial. Mediante procedimiento propuesto por (Santana y Vargas 2008), ver tabla 12 anexo B.
- Los Test de bondad de ajuste según Kolmogorov Smirnov y Chi cuadrado permitieron determinar la FDP, ver tabla 13 anexo B.

## 2.2 Capacidad de porteo

La estimación de la capacidad de porteo<sup>(5)</sup> se realizo bajo tres escenarios (con distintas rugosidades) mediante una modelación hidráulica empleando el software HECRAS 4.1.0, la información necesaria para realizar la modelación hidráulica se detalla a continuación:

Capacidad de porteo (5): Valores aproximados de caudales que escurren por canales y cauces. (MOP-DGA, 2009).

### 2.2.1 Secciones geométricas

Las secciones geométricas fueron obtenidas de los planos de "Secciones geométricas del estudio de factibilidad y mejoramiento estero Quilque y Paillihue", planos 22 al 44 (MOP-DOH, 2008) las secciones geométricas del modelo hidráulico generado están distanciadas a 20 m y en zonas

de atraveso de caminos y puentes están a menos distanciamiento. Las secciones geométricas (transversales) de los planos tienen hasta 50 m de longitud considerados desde el eje del estero hasta el extremo derecho e izquierdo de cada ribera, hasta las coordenada más alejadas del eje del estero, se extendió desde el borde de la sección transversal indicada en el plano, hasta un punto cuya coordenada fue creada en base a un 0.3 % de pendiente, con 500 m de longitud para cada borde.

Las secciones geométricas estudiadas se ubican en: calle Volcán Yelcho, Volcán Calbuco (existencia de puente), Villagrán (existencia de puente), entre Villagrán y Almagro, Almagro (existencia de puente), Colón (existencia de puente), Valdivia (existencia de puente), Mendoza (existencia de puente), entre Mendoza y Ercilla, Ercilla (existencia de puente), entre Arturo Prat y Urenda, el anexo A contiene un registro fotográfico de las secciones de estudio.

### 2.2.2 Rugosidades

Los valores de rugosidades adoptadas corresponden aquellas sugeridas por el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Los Ángeles (MOP-DOH, 2003), este estudio determino los resultados mediante el promedio del método de Cowan y Harry Barnes. Se adoptaron tres valores de rugosidades, representados por los escenarios I, II y III.

**Tabla 2:** Rugosidades adoptadas. (Fuente: Elaboración propia).

| Escenarios | Adoptado<br>Cauce Principal | Ribera<br>Izquierda | Ribera<br>Derecha |
|------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| I          | 0.027                       | 0.08                | 0.08              |
| II         | 0.035                       | 0.08                | 0.08              |
| III        | 0.054                       | 0.08                | 0.08              |

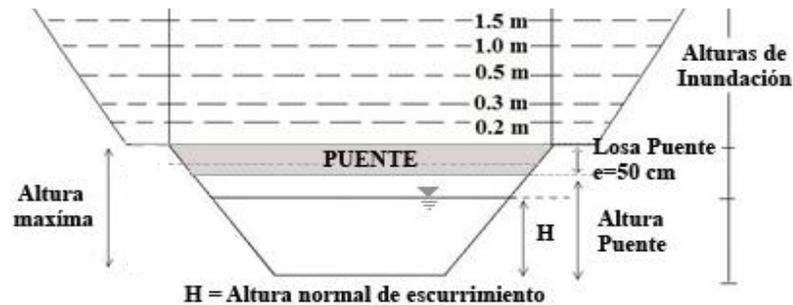
El valor para el escenario I obedece a una condición de rugosidad proyectada (se incorporan mejoras, para concreto lanzado sección ondulada según tabla Vente Chow, (1994)), el escenario II representa la condición con mantenimiento del estero (condiciones actuales) y el escenario III representa la condición sin mantenimiento del estero.

### 2.2.3 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno adoptadas aguas arriba fueron de altura normal con una pendiente  $S = 0.00549$  y aguas abajo altura crítica para los escenarios I, II y III.

### 2.2.4 Alturas de escurrimiento

La figura 3 muestra las alturas de escurrimiento determinadas en la modelación hidráulica, las alturas corresponden a la altura en el borde inferior en puentes, altura máxima y distintas alturas de inundación para inundaciones peligrosas según los criterios (Vide, 2002).



**Figura 3:** Alturas para borde inferior de puentes, altura máxima y distintas alturas de inundación. (Fuente: Elaboración propia).

La capacidad de porteo del estero fue considerada bajo dos enfoques según las alturas de escurrimiento, estos son:

- Determinación de la capacidad de cada sección de estudio, se empleó la altura en el borde inferior de puentes en caso de existir o la altura máxima, según se indica en la figura 3, estos resultados permiten obtener la sección que restringe al estero en la zona de estudio. A partir de la capacidad más limitada de la zona de estudio, se puede estimar mediante una relación de caudales para cuencas con semejanza hidráulica según Verni & King, los caudales de; Alerta roja<sup>(6)</sup> alerta amarilla<sup>(7)</sup>, alerta azul<sup>(8)</sup>, para establecer preliminarmente umbrales<sup>(9)</sup> de caudal para el sistema de alerta temprana (solo fueron definidos los caudales de la alerta).
- Determinación de la capacidad de porteo bajo distintas alturas de inundación en calle Villagrán, según se indica en la figura 3. Cada caudal genera un eje hidráulico, las cotas de escurrimiento del agua son comparadas con las cotas de desborde<sup>(10)</sup> en la sección de la zona de estudio para identificar la existencia de inundaciones y determinar la altura de inundación.

Una vez introducidas las características de secciones geométricas, rugosidades y condiciones de borde se ingresan valores de caudal al modelo iterando hasta encontrar los caudales que cumplen las alturas según cada enfoque, las iteraciones se realizan para los tres escenarios en la modelación hidráulica.

Caudal de alerta roja (6): El menor de todos los caudales que ha generado inundación, es el que corresponde a la alerta roja (MOP-DGA, 2010). En el presente proyecto de título este caudal corresponde a la estimación del caudal máximo de las secciones estudiadas.

Caudal de alerta amarilla (7): Corresponde a un caudal igual a  $0,8 * Q_{rojo}$  (MOP-DGA, 2010).

Caudal de alerta azul (8): Corresponde a un caudal de  $0,5 * Q_{rojo}$  (MOP-DGA, 2010).

Umbrales de caudal (9): Es una altura limnimétrica que resulta de la curva de descarga, al introducir los caudales de alerta; azul, amarilla, y roja (MOP-DGA, 2010).

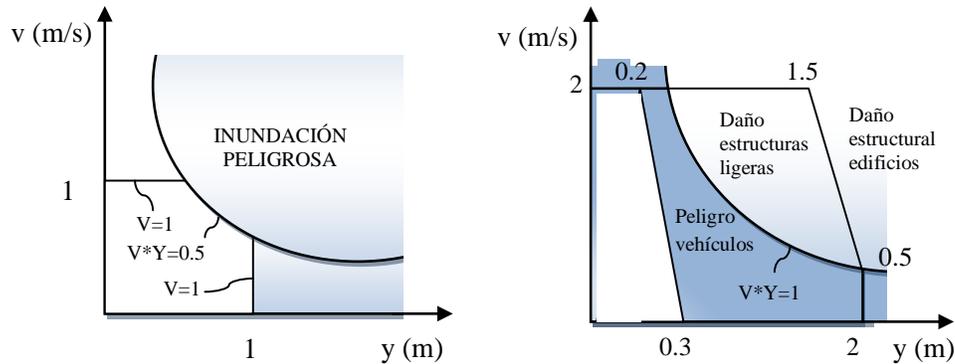
Cotas de desborde (10): Las cotas de desborde se obtienen considerando el nivel más bajo del terreno que pudiera ser afectado por un desborde de las aguas hacia los terrenos aledaños (Santana Oyarzo & Vargas Baecheler, 2000).

### 2.3 Peligrosidad de las inundaciones

Las inundaciones pueden ser consideradas como peligrosas al afectar a personas, vehículos, estructuras de madera y estructuras de ladrillo según los valores de velocidad y alturas de inundación (Vide, 2002). Bajo este concepto la caracterización de la peligrosidad de las inundaciones se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- Se emplearon los resultados de la modelación hidráulica (velocidades y alturas de inundación), generados a partir de distintas alturas de escurrimiento evaluadas en calle Villagrán y fueron empleados como información de entrada a los criterios definidos en la figura 4.
- La figura 4, define los valores límites de velocidad y alturas de inundación según el tipo de peligrosidad de inundación (personas, vehículos, daños a estructuras ligeras, daños a estructuras de ladrillo), definidos a continuación:
  - Personas: Cuando las condiciones de velocidad  $v > 1 \text{ m/s}$ , y altura de inundación  $y > 1 \text{ m}$ , o el producto de ambas  $v * y > 0,5$ .
  - Vehículos: Cuando las condiciones de velocidad  $v > 2 \text{ m/s}$ , la altura de inundación  $y > 0,3 \text{ m}$  o cuando un valor de  $y$  o  $v$  sean superiores a los valores de  $v = 6 - 20 * y$ .

- Daños a estructuras ligeras: Cuando las condiciones de velocidad  $v > 2$  (m/s), y altura de inundación  $y > 2$  (m), o el producto de ambas  $v * y > 1$ .
- Daños a estructuras de ladrillo: Cuando las condiciones de velocidad  $v > 2$ , y altura de inundación  $y > 2$ , o cuando



**Figura 4:** Condiciones de altura de escurrimiento ( $y$ ) y velocidad ( $v$ ) peligrosas para las personas (izquierda) y para vehículos y edificaciones (derecha). (Fuente: Vide, 2002).

La caracterización de la peligrosidad de las inundaciones se expreso como se indica a continuación:

- Sin inundación: No hay presencia de inundación, esto ocurre cuando la cota de escurrimiento del agua es inferior que la cota de desborde.
- Inundación no peligrosa: Hay presencia de inundación pero esta es considerada como no peligrosa para las personas, vehículos y estructuras (madera y ladrillo).
- Inundación peligrosa: Hay presencia de inundación peligrosa para las personas, vehículos y estructuras (madera y ladrillo), se indican en color rojo.

## 2.4 Riesgo de inundación

El riesgo de inundación<sup>(11)</sup> se obtiene a partir de la interrelación de la clasificación del riesgo de inundación y la vulnerabilidad<sup>(12)</sup> de la zona afectada por inundación, a continuación se describe el procedimiento adoptado para determinar el riesgo de inundación:

Clasificación del riesgo de inundación: Se emplearon los resultados de la modelación hidráulica generados a partir de las capacidades de porteo en cada sección de estudio, estos resultados fueron comparados con los caudales de crecida mostrados en la tabla 3, para identificar el rango

del periodo de retorno al que pertenecen las capacidades de porteo, una vez identificado el rango del periodo de retorno se ingresa a la tabla 4 de clasificación del riesgo de inundación, para obtener la clasificación del riesgo de inundación.

**Tabla 3:** Caudales de crecida en el estero Quilque. (Fuente: Adaptado de Estudio de Factibilidad y Mejoramiento del Estero Quilque MOP-DOH, 2007).

| T(Año) | Caudales (m3/s)<br>Avenida Marconi |
|--------|------------------------------------|
| 2      | 15.8                               |
| 5      | 20.5                               |
| 10     | 25.2                               |
| 25     | 33.4                               |
| 50     | 39.5                               |
| 100    | 52.7                               |
| 200    | 63.0                               |

**Tabla 4.** Clasificación del riesgo por inundación. (Fuente: Santana y Vargas, 2000).

| Inundaciones frecuentes<br>(Crecidas periodicas) | T < 5 Años       |
|--|------------------|
| Riesgo Alto                                      | 5 ≤ T ≤ 10 Años  |
| Riesgo Medio                                     | 10 ≤ T ≤ 50 Años |
| Riesgo Bajo                                      | T ≥ 50 Años      |

Clasificación de la vulnerabilidad por inundación: La zona de estudio corresponde a un centro urbano y sectores residenciales como se definió en el capítulo 1.3, por esta razón la zona de estudio tiene una alta vulnerabilidad por inundación<sup>(13)</sup>, Labell (2000). Al existir una alta vulnerabilidad por inundación, el resultado de la clasificación del riesgo de inundación representa de forma directa el riesgo de inundación de la zona de estudio.

Riesgo de inundación (11): Es una medida de la incompatibilidad entre los niveles de inundabilidad y vulnerabilidad en un determinado punto. Luego estarán expuestos al riesgo de inundación todas las áreas ribereñas, cuya altitud es inferior al espejo de agua del río en periodo de crecidas, que afectara el uso dado a las planicies de inundación para eventos extremos, que dependerá de factores de tipo local como la morfología fluvial y morfometría de pendientes, características del suelo y de la vegetación de la cuenca de drenaje, y de factores externos como la meteorología, hidrología y la influencia antrópica (Santana Oyarzo & Vargas Baecheler, 2000).

Vulnerabilidad (12): Representa la sensibilidad de la zona inundada ante el fenómeno de una crecida y, en consecuencia, dependerá de la utilización del suelo y de la percepción social de los daños producidos, siendo evidentemente distinta de un área a otra e incluso para una misma área en función del tiempo (Santana Oyarzo & Vargas Baecheler, 2000).

Vulnerabilidad alta por inundación (13): Concentración y centralización bajo modalidades de alta densidad significan una vulnerabilidad de altas proporciones en lo que se refiere a los peligros de daños extensos a la economía y población en el caso de desastre. La densidad de población, economía e infraestructuras concentrados en espacios limitados, garantizan elevadas pérdidas en caso de impactos de grandes proporciones. En la medida en que un centro urbano particular centraliza las funciones económicas, sociales y políticas de una región, zona, país o internacionalmente, la vulnerabilidad se ve acentuada ante tal concentración, por el impacto que la destrucción o daño sufrido podría tener para el espacio mayor en su conjunto (Lavell, 2000).

## CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de la metodología propuesta en el capítulo II. El análisis de resultados se muestra de la siguiente manera:

- Inundaciones históricas.
- Capacidad de porteo.
- Peligrosidad de las inundaciones.
- Riesgo de inundación.

### 3.1 Análisis de resultados de inundaciones históricas

La tabla 5 contiene los resultados de la caracterización de los eventos de inundación en el centro urbano de Los Ángeles, comprendidos entre los años 1965 y 2013. En ella se indica; fecha, descripción del registro noticioso, precipitaciones diarias (PP<sub>24hrs</sub>), y periodos de retornos (T).

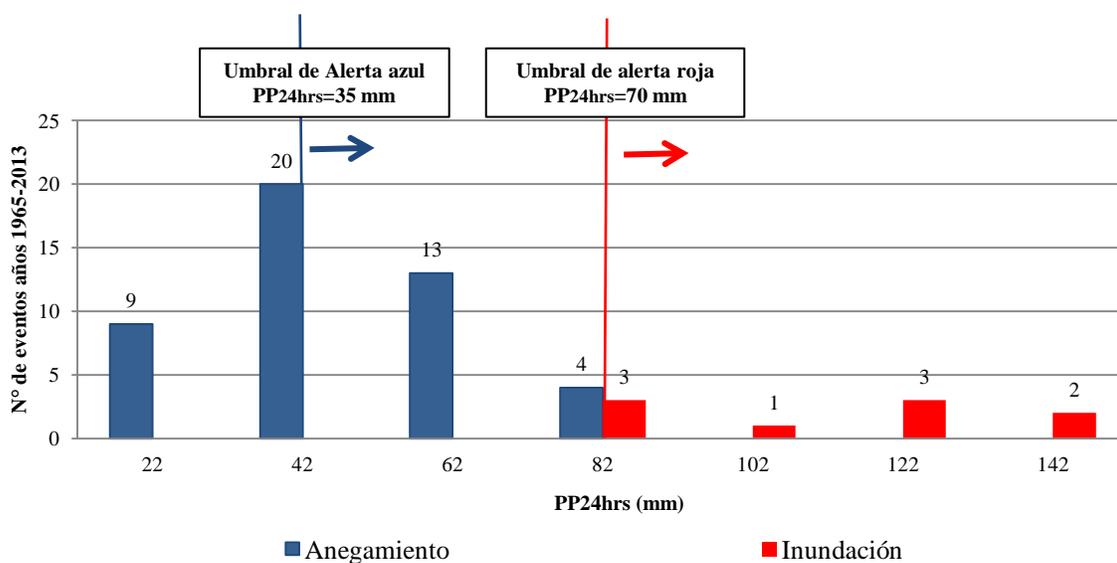
**Tabla 5:** Caracterización de los eventos de inundación en el centro urbano de Los ángeles. (Fuente: Elaboración propia).

| Fecha      | Evento  | PP24hrs (mm) | T (Años) |
|------------|---|--------------|----------|
| 09/06/1969 | Desborde de rios y anegamientos de calle centricas.   | 70           | 2.6      |
| 05/05/1977 | Desborde Estero Quilque, inundaciones afecta sector entre calle Urenda y Prat.  | 75           | 3.2      |
| 14/07/1978 | Desborde estero Quilque sector la vega, en Calle Villagran. Desborde en poblacion Sodimac, desborde en calle Urenda.                            | 80.5         | 4.2      |
| 08/05/1981 | Desborde del estero Quilque afectando sector la Vega, calle Almagro, ademas calles centricas.   | 132          | 66.15    |
| 05/05/1992 | Desborde estero Quilque, mayoritariamente afecta calle Villagran con Rengo, Almagro, Colon y paseo peatonal, Población Domingo Contreras Gomez. | 80           | 4.3      |
| 24/04/1997 | Desborde estero Quilque Quilque provoca inundacion en calle Villagran y Almagro.  | 112          | 21.9     |
| 26/08/2002 | Desborde estero Quilque sector Vega y calle Villagran.  | 108.5        | 18.11    |
| 10/07/2006 | Desborde estero Quilque sector centrico ciudad de Los Angeles   | 124          | 42.4     |

El evento del 09/06/1969 presentó los T y PP<sub>24hrs</sub> más bajos, al aumentar los T y PP<sub>24hrs</sub> de cada evento no se observa un incremento de los sectores afectados, de esta forma la información de prensa es aleatoria respecto a la magnitud de T y PP<sub>24hrs</sub> y los sectores afectados, sin embargo se puede observar que los sectores más afectados según la cantidad de veces que son mencionados por los registros de prensa son: Villagrán, Almagro y La Vega.

Las inundaciones acontecidas se deben a que precipitaciones diarias, iguales o superiores a 70 (mm) han generado un caudal de crecida que supera la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles, la mayor reiteración de inundaciones históricas ha acontecido en Villagrán, Almagro y la Vega y se debe principalmente a que ante una crecida la contracción existente en calle Villagrán que se prolonga hasta calle Almagro, genera un incremento de la altura de escurrimiento que supera las cotas de desborde aguas arriba de calle Villagrán afectando al sector la Vega.

La figura 5 contiene el umbral de precipitación de alerta roja y el umbral de precipitación de alerta azul, ante inundaciones en centro urbano de Los Ángeles, además se muestra la precipitación diaria asociada a los eventos de inundación y anegamiento acontecidos durante los años 1965-2013, el desglose completo de eventos de inundación y anegamiento con  $PP_{24hrs}$  y T asociados se muestran en la tabla 14 y 15 del anexo B.



**Figura 5:** Umbrales de precipitación en el centro urbano de Los Ángeles. (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados indican que hasta el intervalo de  $PP_{24hrs}=82$  mm, hay eventos de anegamientos y sobre el intervalo de  $PP_{24hrs}=82$  mm hay eventos de inundación, se debe considerar que el intervalo  $PP_{24hrs}$  [62-82 mm] contiene 4 eventos de anegamientos con un valor máximo de  $PP_{24hrs}$  de 68,5 mm, además este intervalo contiene 3 eventos de inundaciones con un valor mínimo de  $PP_{24hrs}$  de 70 mm y se considera este valor como el umbral de precipitaciones de alerta roja en el centro urbano de los Ángeles. La alerta azul del sistema de alerta temprana de la cuenca del

estero Quilque se activa cuando se observan precipitaciones diarias o de menor duración iguales a 35 mm.

Para  $PP_{24hrs} < 70$  mm hay solo presencia de anegamientos, esto se debe a la incapacidad de evacuar las aguas lluvias, por falta de mantenimiento de los sumideros de aguas lluvias y problemas topográficos de algunos sectores.

La tabla 6 presenta una comparación de los resultados del umbral de precipitaciones de alerta azul del sistema de alerta temprana Quilque Los Ángeles del presente proyecto de título con el umbral de precipitaciones de la cuenca del Bio Bio (Fuente: Determinación de los umbrales de alerta de caudales, lluvias y temperaturas del sistema de transmisión de datos de la DGA, MOP-DGA, 2010).

**Tabla 6:** Alerta azul del umbral de precipitaciones de la cuenca del estero Quilque y cuenca del Bío Bío.

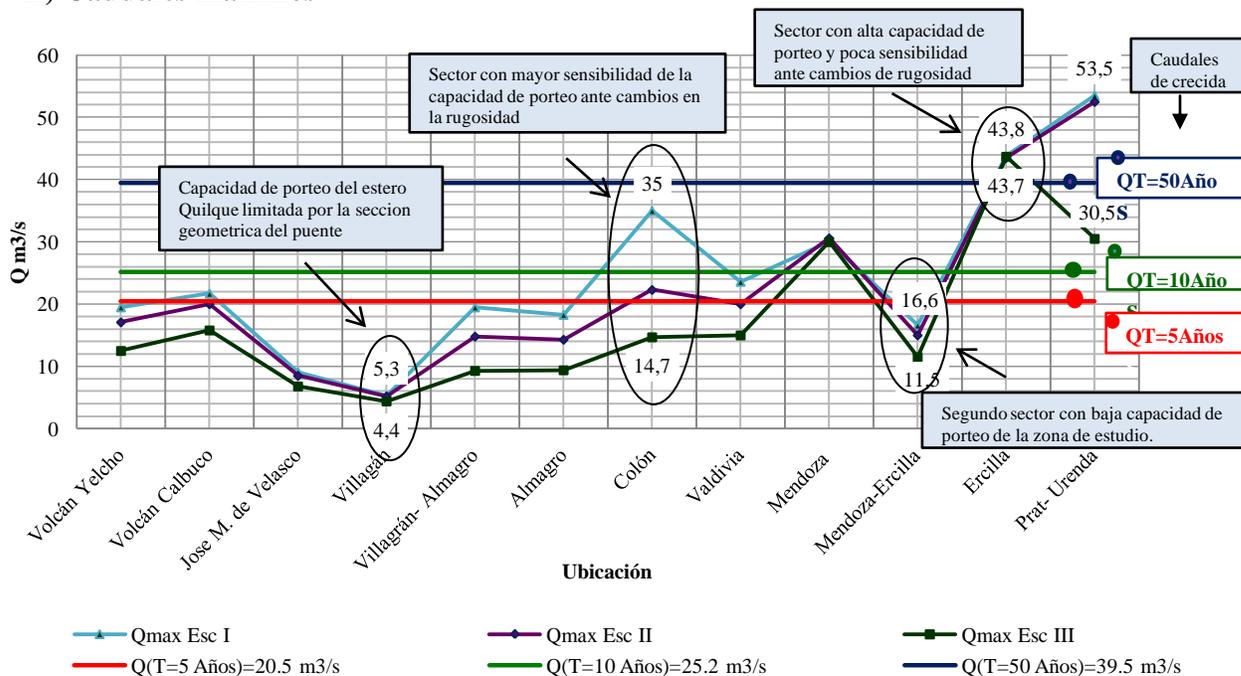
| Umbral de precipitaciones (mm) alerta azul |                                       |
|--|---------------------------------------|
| Proyecto de título                         | MOP-DGA, 2010                         |
| Cuenca del estero Quilque, duración 24 hrs | Cuenca del Bío Bío, duración tormenta |
| 35   | 40                                    |

La alerta azul de la cuenca del estero Quilque se activa antes que la alerta de la cuenca del Bío Bío para una tormenta de 24 hrs de duración o un tiempo inferior. Los umbrales de alerta azul deducidos del proyecto de título solo difieren en un 12.5% con los de la cuenca del Bío Bío, por ello se puede validar el resultado obtenido.

### 3.2 Análisis de resultados de la capacidad de porteo

La figura 6 contiene los resultados de la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles, en ella se muestran las capacidades máximas de las secciones de estudio para los escenarios I, II y III. Dentro de los resultados se indican los caudales de crecida del estudio de factibilidad y mejoramiento del estero Quilque y Paillihue (MOP-DOH, 2008). Los caudales de la capacidad de porteo están contenidos en la tabla 16 del anexo B y los ejes hidráulicos para los escenarios I, II y III se muestran en las tablas 29, 30, 31 del anexo B.

**B) Caudales maximos**

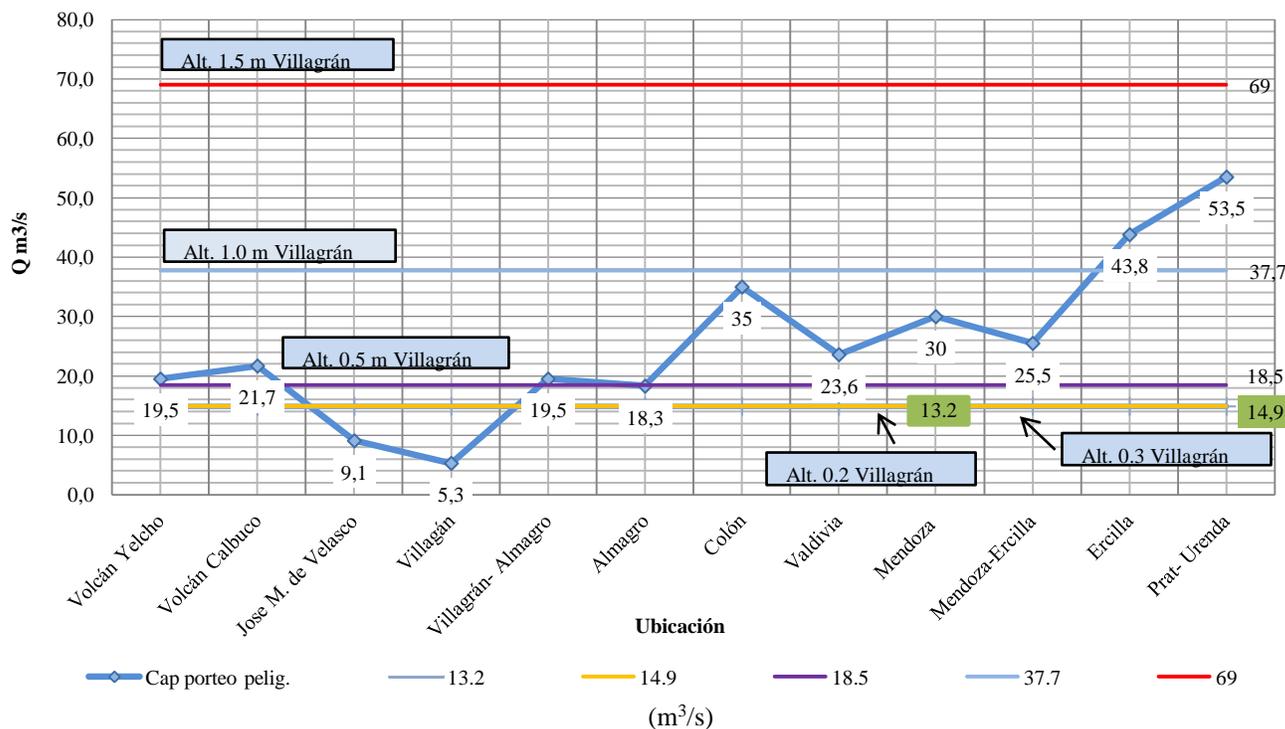


**Figura 6: Capacidad de porteo en el centro urbano de Los Ángeles para escenarios I, II y III, contiene caudales máximos (Fuente: Elaboración propia).**

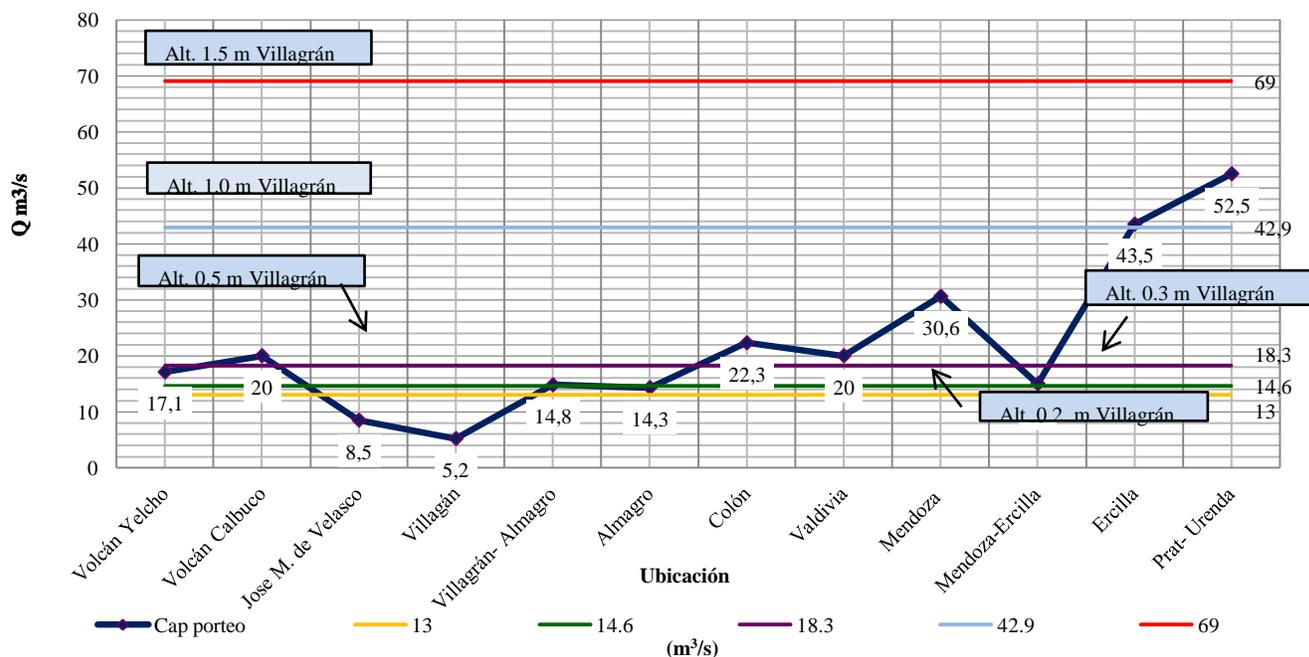
Los resultados indican que la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles se encuentra restringida por la sección geométrica del puente ubicado en calle Villagrán, esto se debe a la limitada sección geométrica del puente y la contracción existente aguas abajo de calle Villagrán que se prolonga hasta Almagro, en este sector la incorporación de mejoras en la rugosidad solo permitió obtener un incremento de la capacidad de porteo hasta de un 17 %, el bajo incremento de la capacidad de porteo ante la disminución de la rugosidad se debe a que esta sección se encuentra en un tramo de canal no prismático por la existencia de la contracción aguas abajo del puente en calle Villagrán. La sección ubicada en calle Colón presentó un incremento de la capacidad de porteo hasta de un 138% ante la disminución de la rugosidad, esto se debe a que esta sección se encuentra ubicada en un tramo de canal prismático. Otro sector que presentó baja capacidad de porteo se encuentra ubicado en el tramo Mendoza-Ercilla donde la capacidad de porteo presentó un 44% de incremento ante la disminución de la rugosidad, la baja capacidad de porteo en este sector se debe a la reducida profundidad del estero con respecto a la ribera más baja (1.4 m). La sección de estudio que presentó mayor capacidad de porteo se encuentra en Ercilla, este sector presentó baja sensibilidad de la capacidad de porteo al disminuir la rugosidad. Los resultados de la capacidad de porteo bajo distintas alturas de escurrimiento en calle Villagrán

se muestran en las figuras 7 y 8, (para ver más detalle, ver tabla 16 del anexo B) estas contienen la capacidad de porteo bajo los escenarios I, II y III, y se indican los caudales para las distintas alturas de inundación asociadas a Villagrán, los resultados de velocidades y alturas de inundación se muestran en la tablas 17 y 18 del anexo B.

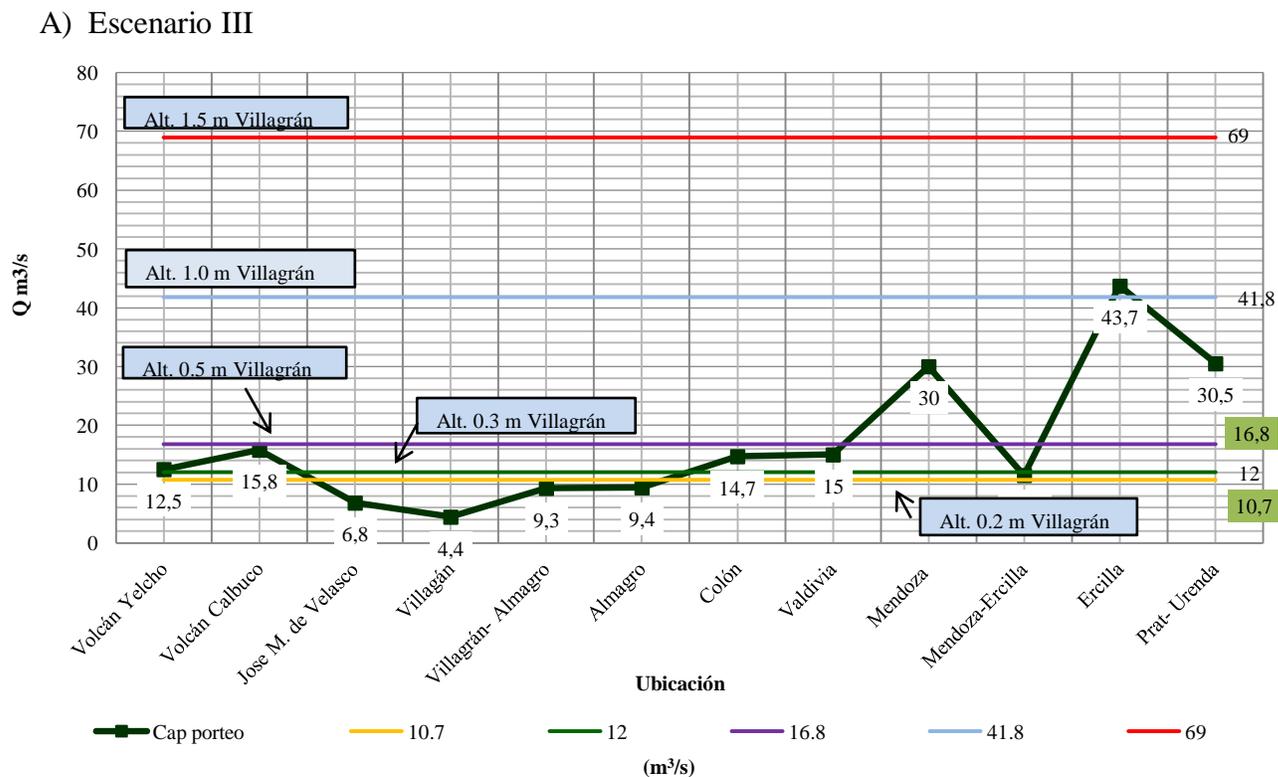
A) Escenario I



B) Escenario II



**Figura 7:** Capacidad de porteo bajo distintas alturas de escurrimiento en calle Villagrán, escenario I y II. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 8:** Capacidad de porteo bajo distintas alturas de escurrimiento en calle Villagrán, escenario III. (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados obtenidos permitieron conocer el orden en el que se producen las inundaciones en el centro de urbano de Los Ángeles para los escenarios I, II y III de acuerdo a la capacidad de porteo, este orden es el siguiente: (1) Villagrán, (2) Jose Manso de Velasco, (3) Villagrán-Almagro, (4) Mendoza-Ercilla, (5) Volcán Yelcho, (6) Colón, (7) Valdivia, (8) Volcán Calbuco, Mendoza, (9) Prat- Urenda, (10) Ercilla. Las primeras tres secciones de estudio presentan este comportamiento debido a la contracción existente en calle Villagrán y reducción del ancho del estero en el tramo entre Villagrán y Almagro.

Al comparar los resultados de la capacidad de porteo obtenidos con los registros de prensa del diario La Tribuna (1965-2013) se corrobora que Calle Villagrán constituye la sección geométrica que limita la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles.

Al comparar los resultados de la capacidad de porteo obtenidos, con los caudales de crecidas en del estudio de factibilidad y mejoramiento estero Quilque y Paillihue (MOP-DOH, 2008), se observa que un 86.1 % de la zona de estudio es afectada por inundaciones ante caudales de

crecidas con periodos de retorno de 50 años, un 72.2 % de la zona de estudio es afectada por inundaciones ante caudales de crecidas con periodos de retorno de 10 años y un 63.9 % de la zona de estudio se ve afectada ante caudales de crecida con periodos de retorno de 5 años. Al comparar los resultados de la capacidad de porteo con los resultados de la caracterización de eventos de inundaciones históricas del presente proyecto, que indican la existencia de inundaciones asociadas a periodos de retorno de 2.6 años, y las comparaciones indicadas anteriormente se puede establecer que la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles ha resultado ser baja en casi la totalidad del centro urbano de Los Ángeles.

La forma de plantearse soluciones al problema de las inundaciones debido a la baja capacidad de porteo del estero Quilque se puede entender mediante la incorporación de soluciones estructurales<sup>(14)</sup> ante el problema de las inundaciones.

Soluciones estructurales (14): Dimensionar de acuerdo a la solicitud hidráulica, interviniendo la capacidad de encauzamiento o el volumen de un embalse de laminación. (Vide, 2002).

Medidas no estructurales (15): Se consideran los siguientes aspectos constituyentes de estas medidas, los códigos de construcción para reducir el impacto de una inundación (si es leve), una política de seguros sobre los terrenos y bienes en zona inundables, los sistemas de previsión y alarmas de inundación para la evacuación de personas (Vide, 2002).

Referente a las medidas estructurales, los resultados indicaron que las modificaciones de la rugosidad no influyen significativamente en el incremento de la capacidad de porteo del estero, es por ello que la solución para mejorar la capacidad de porteo obedece a un conjunto de variables hidráulicas como son la profundización (altura, h), aumento de la pendiente (pendiente, i) y ensanche (ancho superficial, T), incorporando la intervención completa de la zona de estudio, para caudales de crecida con  $T \geq 50$  años. Esta medida fue adoptada en el estudio de factibilidad y mejoramiento estero Quilque y Paillihue (MOP-DOH, 2008) funcionando en conjunto con una laguna de acumulación aguas arriba de avenida Las Industrias.

Referente a una medida no estructurales<sup>(15)</sup>, a partir de los resultados de la estimación de la capacidad de porteo se estiman de forma preliminar los caudales de alerta roja, alerta amarilla y alerta azul, mostrados en la tabla 7.

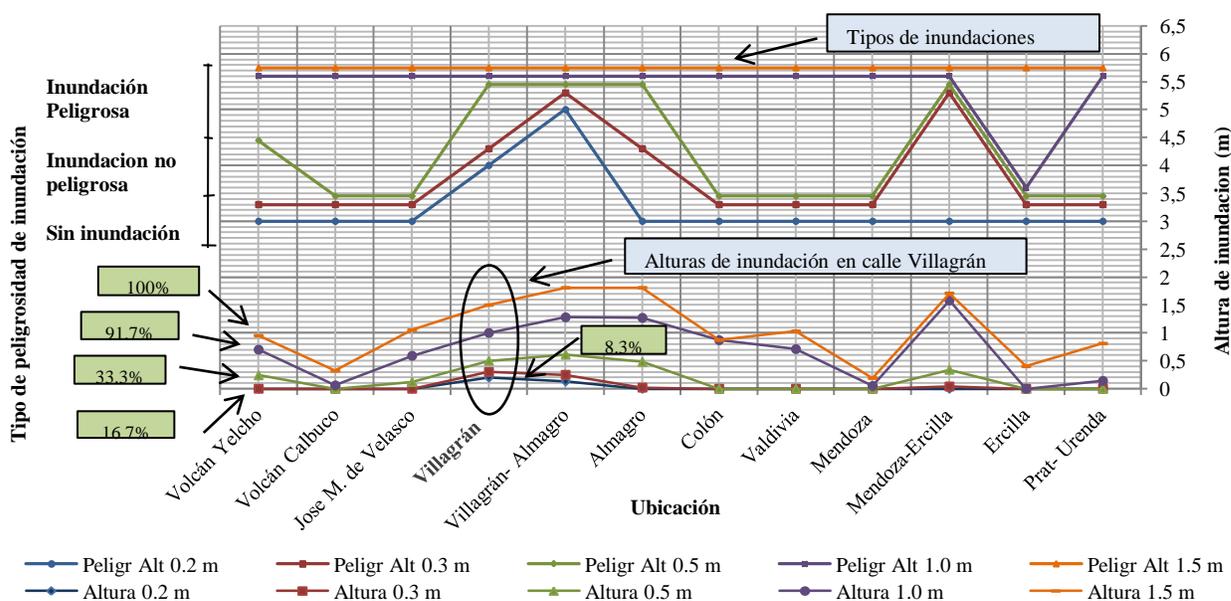
**Tabla 7: Caudales de alerta, para el sistema de alerta temprana del estero Quilque Los Ángeles. (Fuente: Elaboración propia).**

|                 | Area de drenaje<br>km <sup>2</sup> | Caudales de alerta m <sup>3</sup> /s |     |     |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|
|                 |                                    |                                      |     |     |
| Estación DGA    | 21.4                               | 4.6                                  | 3.7 | 2.3 |
| Calle Villagrán | 24.4                               | 5.2                                  | 4.2 | 2.6 |

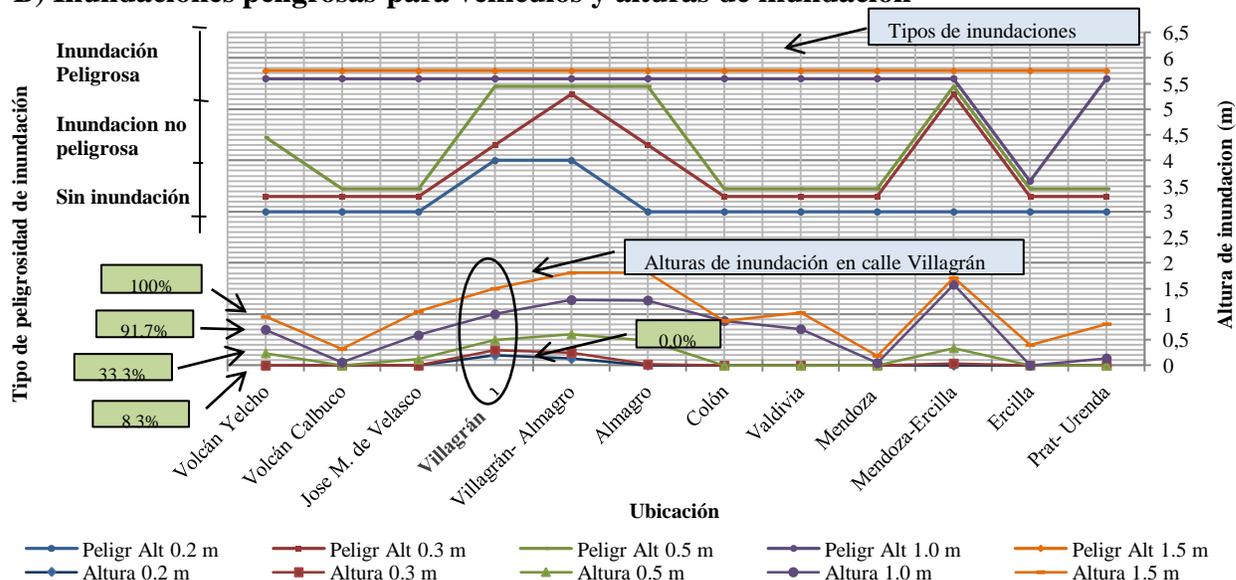
### 3.3 Análisis de resultados de la peligrosidad de las inundaciones

La figura 9 muestra los resultados de la caracterización de la peligrosidad de las inundaciones que afectan a personas y vehículos en cada sección de la zona de estudio, en ella se indican las alturas de inundación, el tipo de inundación existente y el porcentaje de zonas afectadas por inundaciones peligrosas ante dicha altura de inundación.

#### A) Inundaciones peligrosas para personas y alturas de inundacion



### B) Inundaciones peligrosas para vehiculos y alturas de inundación



**Figura 9:** Inundaciones peligrosas para personas, vehículos y alturas de inundación. (Fuente: Elaboración propia) De los resultados obtenidos, se puede observar un incremento de las alturas de inundación desde Volcán Calbuco hasta Almagro teniendo un peak entre el tramo Villagrán y Almagro, el tramo entre Mendoza y Ercilla constituye otro sector con un segundo peak de altura de inundación, este comportamiento se debe a que estos tramos tienen baja capacidad de porteo según los resultados obtenidos de la modelación hidráulica.

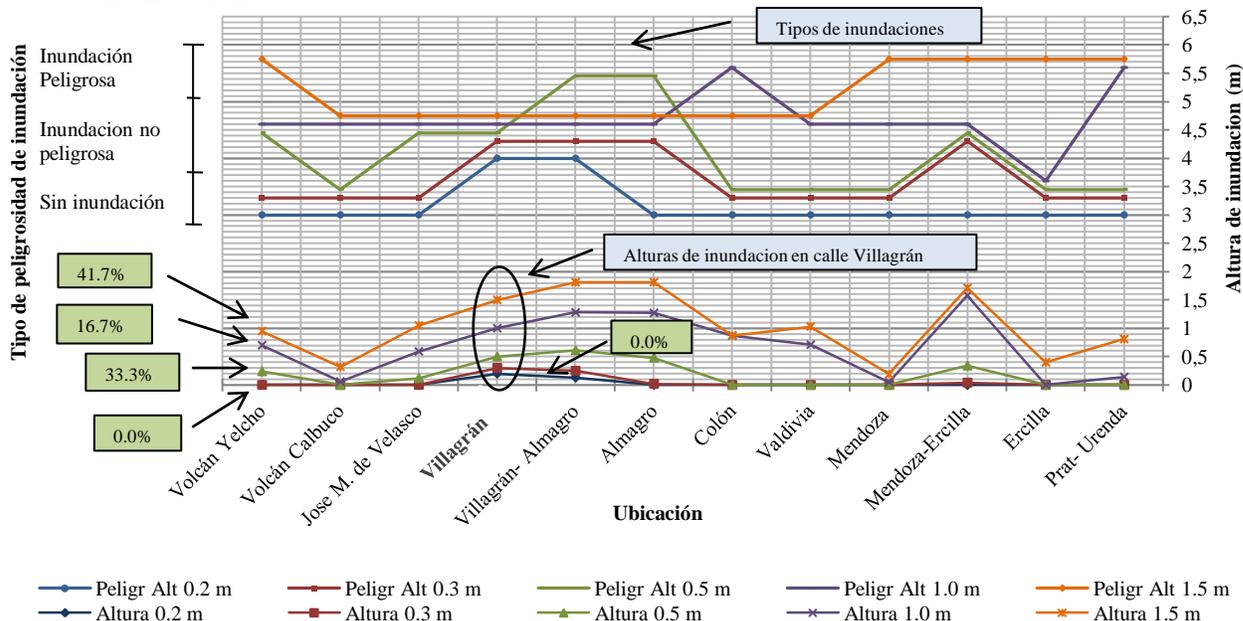
De los resultados de inundaciones peligrosas para personas (A), se puede observar que a una altura de inundación de 0.2 m en calle Villagrán comienza la aparición de inundaciones peligrosas, afectando a un 8.3% de la zona de estudio, para alturas de inundación de 1 m se ve afectado hasta un 91.7% de la zona de estudio. De los resultados de inundaciones peligrosas para vehículos (B), se puede observar que una altura de inundación de 0.3 m en calle Villagrán comienzan la aparición de inundaciones peligrosas, afectando a un 8.3% de la zona de estudio, para alturas de inundación de 1 m se ve afectado hasta un 91.7% de la zona de estudio.

Al aumentar la altura de inundación en Villagrán hay un incremento de las zonas afectadas por inundaciones peligrosas que afectan a personas y vehículos en la zona de estudio, esto se debe a que estos tipos de inundaciones son controlados por la altura de inundación más que la magnitud de la velocidad del flujo de agua, considerando velocidades inferiores a 1 m/s.

Los resultados de la caracterización de la peligrosidad de las inundaciones de la zona de estudio que afectan a estructuras ligeras y estructuras de ladrillo se muestran en la tabla 10, para cada

sección estudiada se indica el tipo de inundación existente, las alturas de inundación y el porcentaje de zonas afectadas por dicha altura de inundación.

**C) Inundaciones peligrosas para estructuras ligeras, de ladrillo y alturas de inundación**



**Figura 10:** Inundaciones peligrosas para estructuras de madera, estructuras de ladrillo y alturas de inundación. (Fuente: Elaboración propia).

De los resultados de inundaciones peligrosas estructuras ligeras y de ladrillos (C), se puede observar que a una altura de inundación de 0.5 m en calle Villagrán comienza la aparición de inundaciones peligrosas, afectando a un 33.3% de la zona de estudio, para alturas de inundación de 1 m se ve afectado hasta un 16.7% de la zona de estudio, para alturas de 1.5 m se ve afectado un 41.7% de la zona de estudio, este comportamiento se debe a que al incrementar el caudal los terrenos aledaños al estero son inundados, y estos poseen una rugosidad superior y por consiguiente disminuyen la velocidad del flujo, luego al seguir incrementando el caudal la altura de inundación y velocidad controla el daño producido en las estructuras.

La peligrosidad de las estructuras de madera y ladrillos es mayormente sensible a la velocidad del flujo de agua que a la altura de inundación.

De acuerdo a la información disponible de la inundación del 10 de julio del 2006, la altura de inundación fluctuó entre los 100-150 cm, donde el nivel de agua cubría a los vehículos en el sector céntrico de la ciudad de Los ángeles (ver figura 27, del anexo B) (MOP-DOH, 2008), estas alturas de inundación permiten establecer que esta inundación fue peligrosa para personas,

vehículos, estructuras de madera y estructuras de ladrillo, sin embargo de la información obtenida solo se puede verificar que hubo inundaciones peligrosas para vehículos.

### 3.4 Análisis de resultados del riesgo de inundación

Los resultados del riesgo de inundación fueron expresados en términos del porcentaje de zonas con un determinado riesgo de inundación bajo los escenarios I, II y III, mostrados en la tabla 8. La tabla 22 del anexo B, contiene el detalle completo del riesgo de inundación de cada sección de estudio, en ella se indica la vulnerabilidad y riesgo de inundación de riberas izquierda y derecha bajo los escenarios I, II y III.

**Tabla 8:** Porcentaje de riesgo de inundación asociada a la zona de estudio para los escenarios I, II y III. (Fuente: Elaboración propia).

| Riesgo de inundacion | Escenario |       |       |
|----------------------|-----------|-------|-------|
|                      | I         | II    | III   |
| Zona inundable       | 37.5%     | 58.3% | 70.8% |
| Riesgo alto          | 25.0%     | 25.0% | 16.7% |
| Riesgo medio         | 20.8%     | 0.0%  | 0.0%  |
| Riesgo bajo          | 16.7%     | 16.7% | 12.5% |

Se puede observar la sensibilidad de las zonas inundables entre el escenario I y III, con una diferencia de hasta un 33.3%, sin embargo estas zonas dejan de ser inundables a ser terrenos con un riesgo de inundación alto. Las zonas con riesgo alto de inundación presentaron una diferencia hasta de un 8,3%. Las zonas con riesgo medio dejan de tener un riesgo medio para tener un riesgo bajo de inundación, es por ello que en el escenario I presentaron un 20.8% y después no se observan zonas con riesgo medio de inundación en el escenario III. Las zonas con bajo riesgo de inundación presentaron una diferencia hasta de un 5.2%, donde las condiciones más favorables permitieron obtener un 16.7%. Las pocas zonas con riesgo bajo de inundación se deben a la baja capacidad de porteo del estero Quilque, según los resultados indicados en el capítulo 3.2.

El riesgo de inundación actual de la zona de estudio resulto ser bajo, con un 58.3 % de zonas inundables y solo un 16.7 % de zonas con riesgo bajo de inundación, esto se debe a que la zona de estudio posee alta vulnerabilidad y la capacidad de porteo del estero se ve excedida por caudales de crecidas con periodos de retornos inferiores a 5 años ( $T < 5$  años).

El alto porcentaje de zonas inundables indica los problemas de inundación en el estero Quilque, donde se requiere un diseño para caudales de crecida con periodos de retorno asociados a 50 años, para que la zona de estudio quede expuesta a un riesgo bajo de inundación.

## IV CONCLUSIONES

1. La metodología propuesta para caracterizar las inundaciones históricas del centro urbano de Los Ángeles permitió estimar un umbral de precipitaciones de alerta roja de 70 mm (con duración hasta de 24 horas) asociado a un tiempo de recurrencia de 2.6 años.
2. La metodología propuesta para determinar la capacidad de porteo del estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles permitió obtener actualmente un caudal de porteo de 5.2 m<sup>3</sup>/s restringidos por la sección geométrica de los puentes en calle Villagrán.
3. La capacidad de porteo de un 63.9 % de la zona de estudio resultó ser excedida ante caudales de crecidas con periodos de retorno  $T < 5$  años.
4. Los resultados de la capacidad de porteo permitieron estimar caudales para el sistema de alerta temprana Quilque Los Ángeles, quedando definido un caudal de alerta roja de 4.6 m<sup>3</sup>/s, alerta amarilla de 3.7 m<sup>3</sup>/s y alerta azul de 2.3 m<sup>3</sup>/s.
5. Un 8.3 % de la zona de estudio resultó ser afectada por inundaciones peligrosas para personas, cuando en Villagrán exista una altura de inundación de 0.2 m.
6. Un 8.3 % de la zona de estudio resultó ser afectada por inundaciones peligrosas para vehículos, cuando en Villagrán exista una altura de inundación de 0.3 m.
7. Un 33.3 % de la zona de estudio resultó ser afectada por inundaciones peligrosas para estructuras ligeras y de ladrillo, cuando en Villagrán exista una altura de inundación de 0.5 m.
8. Las inundaciones peligrosas para personas y vehículos resultaron ser más sensibles a la altura de inundación que a la velocidad del flujo, mientras que las inundaciones con daño a estructuras ligeras y de ladrillo resultaron ser más afectadas por la velocidad del flujo de agua que la altura de inundación, hasta alturas de 1 m.
9. La metodología propuesta para determinar el riesgo de inundación ha permitido establecer que un 58.3% de los terrenos aledaños al estero Quilque en el centro urbano de Los Ángeles constituyen zonas inundables, y las mejoras incorporadas por medio de la rugosidad al modelo hidráulico permitieron una reducción de un 33.3% de zonas inundables, y una reducción de un 4.2 % de zonas con bajo riesgo de inundación.
10. La capacidad de porteo del estero Quilque ha resultado ser baja al ser excedida por caudales de crecida con periodos de retorno  $T < 5$  años, existiendo un 58.3% de zonas inundables, donde las mejoras incorporadas por medio de la rugosidad han resultado ser poco suficientes para que la zona de estudio quede expuesta a un riesgo bajo de inundación.

## **V RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda la construcción del diseño realizado por el Estudio de factibilidad y mejoramiento estero Quilque y Paillihue (MOP-DOH, 2007) en el estero Quilque ya que incorpora un diseño con riesgo bajo de inundación.
2. Se recomienda emplear un umbral de precipitaciones de 35 mm de alerta azul en el sistema de alerta temprana de la estación Quilque Los Ángeles y adoptar la metodología propuesta para establecer los umbrales de precipitaciones de los sistemas de alerta temprana sin umbrales definidos, utilizando información pluviométrica de la cuenca estudiada o con información hidrológica disponible de cuencas homogéneas.
3. Se recomienda emplear un umbral de caudal de alerta azul de 2.3 m<sup>3</sup>/s, alerta amarilla de 3.7 m<sup>3</sup>/s, de alerta roja de 4.6 m<sup>3</sup>/s en el sistema de alerta temprana de la estación Quilque Los Ángeles, y adoptar la metodología propuesta del presente estudio para establecer los umbrales de caudales de los sistemas de alerta temprana sin umbrales definidos.

## VI BIBLIOGRAFIA.

1. Ayala Riquelme, L., Cabrera Fajardo, G., González González, D., Isensee Martínez, P., Lagos Rehfeld, J., Pérez Soto, F., y otros. (1995). *Manual de Calculo de Crecidas y Caudales Minimos en Cuencas sin Informacion Fluviometrica*. Santiago: Dirección General de aguas, Ministerio de Obras Públicas.
2. Chow, V. (1959). *Open Channel Hydraulics*. New York: Mc Graw Hill.
3. Diario La Tribuna. (1965-2013). Inundaciones en el centro de Los Ángeles.
4. Fuica, M. A. (2010). *Analisis de precipitaciones maximas en 24, 48 y 72 hrs en la región del Bío Bío*. Concepción.
5. Google Maps. (10 de 07 de 2006). [www.panoramio.com/photo/7667826](http://www.panoramio.com/photo/7667826). Recuperado el 02 de 03 de 2015, de Panoramio.
6. Lavell, A. (2000). *Desastres urbanos: Unavisión global*. Guatemala: Woodrom Wilson center and ASIES Guatemala publicación.
7. MOP-DGA. (2010). *Determinacion de los umbrales de alerta de caudales, lluvias y temperaturas del sistema de transmisión de datos de la DGA*. Santiago.
8. MOP-DGA. (2009). *Guia de reconocimiento de obras tipo y de procedimientos, informe final*. Santiago .
9. MOP-DOH. (2008). *Estudio de factibilidad y mejoramiento estero Quilque y Paillihue*. Santiago.
10. MOP-DOH. (2003). *Plan maestro de aguas lluvias de Los Ángeles*. Santiago.
11. Municipalidad de Los Ángeles. (2005). *PRCLA*. Los Ángeles.
12. Nanía, L. S., & Molero, E. (2007). *Manual Básico de HEC - RAS 3.1.3 y HEC - GeoRAS 3.1.1*. Granada: Área de Ingeniería Hidráulica, Área de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada.
13. Oyarzo, S. (2007). *Apunte de hidrología*. Concepción.

14. Sáenza, G. M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. México: Alfaomega.
15. Santana Oyarzo, L., & Vargas Baecheler, J. (2000). XIX Congreso Latinoamericano de Hidraulica Cordoba 2000. En *Vulnerabilidad de Zona Urbana al Riesgo de Inundación. Aplicación al rio Andalien Chile*. (págs. 269- 278). Concepción.
16. Te Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá : Nomos.
17. Vidal, M. M. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfologico: Un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *Eure (Vol. XXVII, N°81)* .
18. Vide, M. (2002). *Ingenieria de rios*. Barcelona, España: Alfaomega grupo editor.

# ANEXOS

## ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO

### 1. Registro fotográfico zona de estudio

A continuación se muestran imágenes de las secciones estudiadas del estero Quilque en el centro urbano de la ciudad de Los Ángeles.



**Figura 11:** Ubicación en Volcán Yelcho, inicio de zona de estudio. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 12:** Ubicación en Volcán Calbuco. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 13:** Ubicación en Volcán Calbuco (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 14:** Ubicación entre calles Volcán Calbuco y José Manso de Velasco. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 15:** Ubicación entre calles Volcán Calbuco y José Manso de Velasco. (Fuente: Elaboración propia).



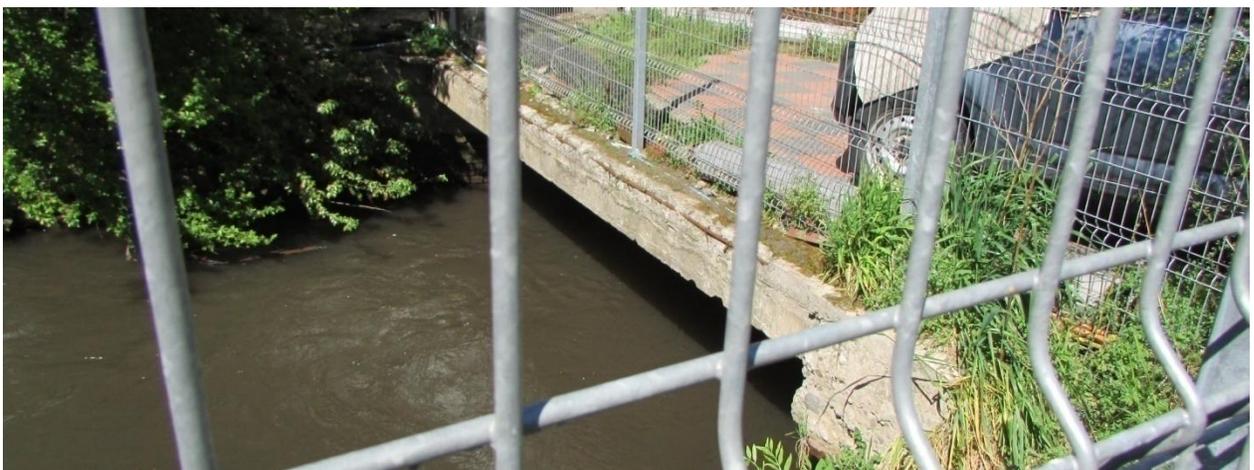
**Figura 16:** Ubicación entre calle José Manso de Velasco y Villagrán (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 17:** Ubicación aguas arriba de calle Villagrán (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 18:** Ubicación entre calle Villagrán y Almagro, aguas abajo puente Villagrán (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 19:** Ubicación aguas arriba de calle Almagro (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 20:** Ubicación, Paseo peatonal Ronald Ramm Delpin, aguas abajo calle Almagro (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 21:** Ubicación en calle Valdivia (Fuente: Google Earth).



**Figura 22:** Ubicación en calle Mendoza. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 23:** Ubicación en calle Ercilla. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 24:** Ubicación en calle Prat (Fuente: Google Earth).



**Figura 25:** Ubicación, aguas arriba de calle Urenda (Fuente: Elaboración propia).

## 2. Registro fotográfico de eventos de inundación



**Figura 26:** Inundación del 5 mayo de 1992 , ubicación en paseo peatonal Ronald Ramm Delpin (Fuente: MOP-DOH, 2003).



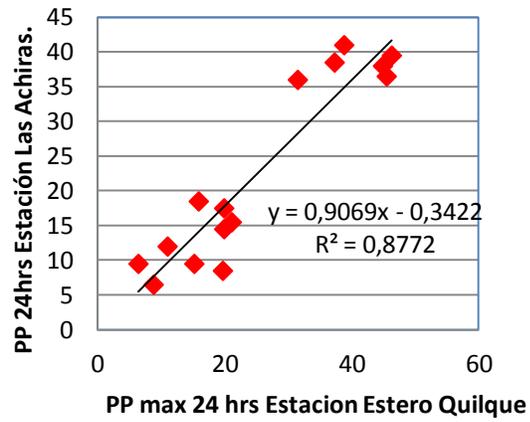
**Figura 27:** Inundación del 10 de julio de 2006 , ubicación en calle Almagro (Fuente: (Google Maps, 2006))

## ANEXO B. TABLAS Y GRAFICOS

### 1. Caracterización de los registros históricos de eventos de inundación y anegamientos ocurridos en la ciudad de los ángeles.

**Tabla 9:** Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, Estación Las Achiras y estación Quilque Los Ángeles (Fuente: DGA).

| Precipitaciones maximas anuales PP24hrs (mm) |                     |                              |
|--|---------------------|------------------------------|
| Año  | EstacionLas Achiras | Estacion Quilque Los Angeles |
| 1964   | 47                  |                              |
| 1965   | 78.5                |                              |
| 1966   | 65                  |                              |
| 1967   | 56                  |                              |
| 1968   | 60                  |                              |
| 1969   | 75                  |                              |
| 1970   | 68                  |                              |
| 1971   | 46.5                |                              |
| 1972   | 56                  |                              |
| 1973   | 50                  |                              |
| 1974   | 74                  |                              |
| 1975   | 74                  |                              |
| 1976   | 41                  |                              |
| 1977   | 75                  |                              |
| 1978   | 80.5                |                              |
| 1979   | 76                  |                              |
| 1980   | 99.5                |                              |
| 1981   | 132                 |                              |
| 1982   | 70                  |                              |
| 1983   | 60                  |                              |
| 1984   | 70                  |                              |
| 1985   | 61                  |                              |
| 1986   | 110                 |                              |
| 1987   | 82                  |                              |
| 1988   | 87                  |                              |
| 1989   | 66                  |                              |
| 1990   | 75                  |                              |
| 1991   | 65                  |                              |
| 1992   | 98                  |                              |
| 1993   | 57                  |                              |
| 1994   | 50                  |                              |
| 1995   | 35                  |                              |
| 1996   | 65.5                |                              |
| 1997   | 112                 |                              |
| 1998   | 46                  |                              |
| 1999   | 56.5                |                              |
| 2000   | 43.5                |                              |
| 2001   | 38.5                |                              |
| 2002   | 108.5               |                              |
| 2003   | 51.5                |                              |
| 2004   | 46.5                |                              |
| 2005   | 94.5                |                              |
| 2006   | 124                 |                              |
| 2007   | 48.5                |                              |
| 2008   | 63                  | 38.8                         |
| 2009   | 64.5                | 45.5                         |
| 2010   | 40                  | 56.8                         |
| 2011   | 42.5                | 67.4                         |
| 2012   | 55                  | 44.7                         |
| 2013   | 40.5                | 35                           |



**Figura 28:** Correlación de precipitaciones diarias entre estación Las Achiras y Estación Quilque Los Ángeles.  
(Fuente: Elaboración propia).

**Tabla 10:** Test de datos dudosos según Vente Chow (1994) (Fuente: Elaboración propia).

| N° de Orden                   | PP (mm) | PP (mm)<br>(Ordenadas) | Log(PP) |
|-------------------------------|---------|------------------------|---------|
| 1                             | 47      | 132                    | 2.12    |
| 2                             | 78.5    | 124                    | 2.09    |
| 3                             | 65      | 112                    | 2.05    |
| 4                             | 56      | 110                    | 2.04    |
| 5                             | 60      | 108.5                  | 2.04    |
| 6                             | 75      | 99.5                   | 2.00    |
| 7                             | 68      | 98                     | 1.99    |
| 8                             | 46.5    | 94.5                   | 1.98    |
| 9                             | 56      | 87                     | 1.94    |
| 10                            | 50      | 82                     | 1.91    |
| 11                            | 74      | 80.5                   | 1.91    |
| 12                            | 74      | 78.5                   | 1.89    |
| 13                            | 41      | 76                     | 1.88    |
| 14                            | 75      | 75                     | 1.88    |
| 15                            | 80.5    | 75                     | 1.88    |
| 16                            | 76      | 75                     | 1.88    |
| 17                            | 99.5    | 74                     | 1.87    |
| 18                            | 132     | 74                     | 1.87    |
| 19                            | 70      | 70                     | 1.85    |
| 20                            | 60      | 70                     | 1.85    |
| 21                            | 70      | 68                     | 1.83    |
| 22                            | 61      | 66                     | 1.82    |
| 23                            | 110     | 65.5                   | 1.82    |
| 24                            | 82      | 65                     | 1.81    |
| 25                            | 87      | 65                     | 1.81    |
| 26                            | 66      | 64.5                   | 1.81    |
| 27                            | 75      | 63                     | 1.80    |
| 28                            | 65      | 61                     | 1.79    |
| 29                            | 98      | 60                     | 1.78    |
| 30                            | 57      | 60                     | 1.78    |
| 31                            | 50      | 57                     | 1.76    |
| 32                            | 35      | 56.5                   | 1.75    |
| 33                            | 65.5    | 56                     | 1.75    |
| 34                            | 112     | 56                     | 1.75    |
| 35                            | 46      | 55                     | 1.74    |
| 36                            | 56.5    | 51.5                   | 1.71    |
| 37                            | 43.5    | 50                     | 1.70    |
| 38                            | 38.5    | 50                     | 1.70    |
| 39                            | 108.5   | 48.5                   | 1.69    |
| 40                            | 51.5    | 47                     | 1.67    |
| 41                            | 46.5    | 46.5                   | 1.67    |
| 42                            | 94.5    | 46.5                   | 1.67    |
| 43                            | 124     | 46                     | 1.66    |
| 44                            | 48.5    | 43.5                   | 1.64    |
| 45                            | 63      | 42.5                   | 1.63    |
| 46                            | 64.5    | 41                     | 1.61    |
| 47                            | 40      | 40.5                   | 1.61    |
| 48                            | 42.5    | 40                     | 1.60    |
| 49                            | 55      | 38.5                   | 1.59    |
| 50                            | 40.5    | 35                     | 1.54    |
| N°Datos                       |         | 50                     | 50      |
| Maximo                        |         | 132.00                 | 2.12    |
| Minimo                        |         | 35.00                  | 1.54    |
| Promedio                      |         | 67.62                  | 1.81    |
| Varianza                      |         | 527.67                 | 0.02    |
| Desv. Est                     |         | 22.97                  | 0.14    |
| Coef. Asim.                   |         | 0.97                   | 0.28    |
| Prueba de dato dudoso con Log |         |                        |         |
| Kn                            |         | 2.768                  |         |
| Lim. Superior                 |         | 156.92                 |         |
| Lim. Inferior                 |         | 26.24                  |         |
| Elim. Dato. Sup               |         | 132.00                 | No      |
| Elim. Dato. Inf               |         | 35.00                  | No      |
| OK                            |         |                        |         |

**Tabla 11:** Tabla comparativa Parámetros FDP (Fuente: Iraira 2016, Castro 2010).

| <b>Parametros Funciones de Densidad de Probabilidad (Iraira, 2016)</b> |        |            |       |        |             |
|--|--------|------------|-------|--------|-------------|
| Funciones  | Normal | Log Normal | Gamma | Gumbel | Exponencial |
| Promedio   | 67.62  | 4.16       | 67.62 | 67.62  | 67.62       |
| Desv. Estandar   | 22.97  | 0.32       | 22.97 | 22.97  | 22.97       |
| Alfa   |        |            | 8.67  | 0.056  | 0.01        |
| Beta   |        |            | 7.8   | 57.28  |             |
| <b>Parametros Funciones de Densidad de Probabilidad (Castro, 2010)</b> |        |            |       |        |             |
| Funciones  | Normal | Log Normal | Gamma | Gumbel | Exponencial |
| Promedio   | 69.74  | 4.19       | 69.74 | 69.74  | 69.74       |
| Desv. Estandar   | 23.04  | 0.32       | 23.04 | 23.04  | 23.04       |
| Alfa   |        |            | 9.16  | 0.06   | 0.01        |
| Beta   |        |            | 7.61  | 59.38  |             |

**Tabla 12:** Resultados de precipitaciones máximas en 24 horas según las FDP (Fuente: Elaboración propia).

| T (AÑOS) | P exc | P noexc | Precipitaciones Máximas Anuales (mm) |           |        |        |             |
|----------|-------|---------|--------------------------------------|-----------|--------|--------|-------------|
|          |       |         | Normal                               | LogNormal | Gamma  | Gumbel | Exponencial |
| 2        | 0.500 | 0.500   | 67.62                                | 64.17     | 65.04  | 63.85  | 46.87       |
| 5        | 0.200 | 0.800   | 86.95                                | 84.22     | 85.81  | 84.15  | 108.83      |
| 10       | 0.100 | 0.900   | 97.06                                | 97.08     | 98.22  | 97.59  | 155.70      |
| 20       | 0.050 | 0.950   | 105.40                               | 109.17    | 109.30 | 110.48 | 202.57      |
| 25       | 0.040 | 0.960   | 107.84                               | 112.97    | 112.67 | 114.57 | 217.66      |
| 50       | 0.020 | 0.980   | 114.80                               | 124.59    | 122.68 | 127.17 | 264.53      |
| 100      | 0.010 | 0.990   | 121.06                               | 136.06    | 132.16 | 139.68 | 311.40      |
| 200      | 0.005 | 0.995   | 126.79                               | 147.48    | 141.23 | 152.14 | 358.27      |
| 300      | 0.003 | 0.997   | 129.94                               | 154.16    | 146.37 | 159.41 | 385.69      |

**Tabla 13:** Test de Bondad de ajuste Chi cuadrado y Kolmogorov Smirnov (Fuente: Elaboración propia).

|              | Estacion Las Achiras |        |           |                   |             |
|--------------|----------------------|--------|-----------|-------------------|-------------|
|              | Gumbel               | Normal | LogNormal | Gamma             | Exponencial |
| $\chi$       | 3.172                | 16.269 | 13.193    | 4.036             | 62.341      |
| Rechaza si > | 9.488                | 9.488  | 9.488     | 9.488             | 11.070      |
| K-S          | 0.052                | 0.103  | 0.240     | 0.067             | 0.395       |
| Rechaza si > | 0.1923               | 0.1923 | 0.1923    | 0.1923            | 0.1923      |
|              |                      |        |           | Funcion rechazada |             |

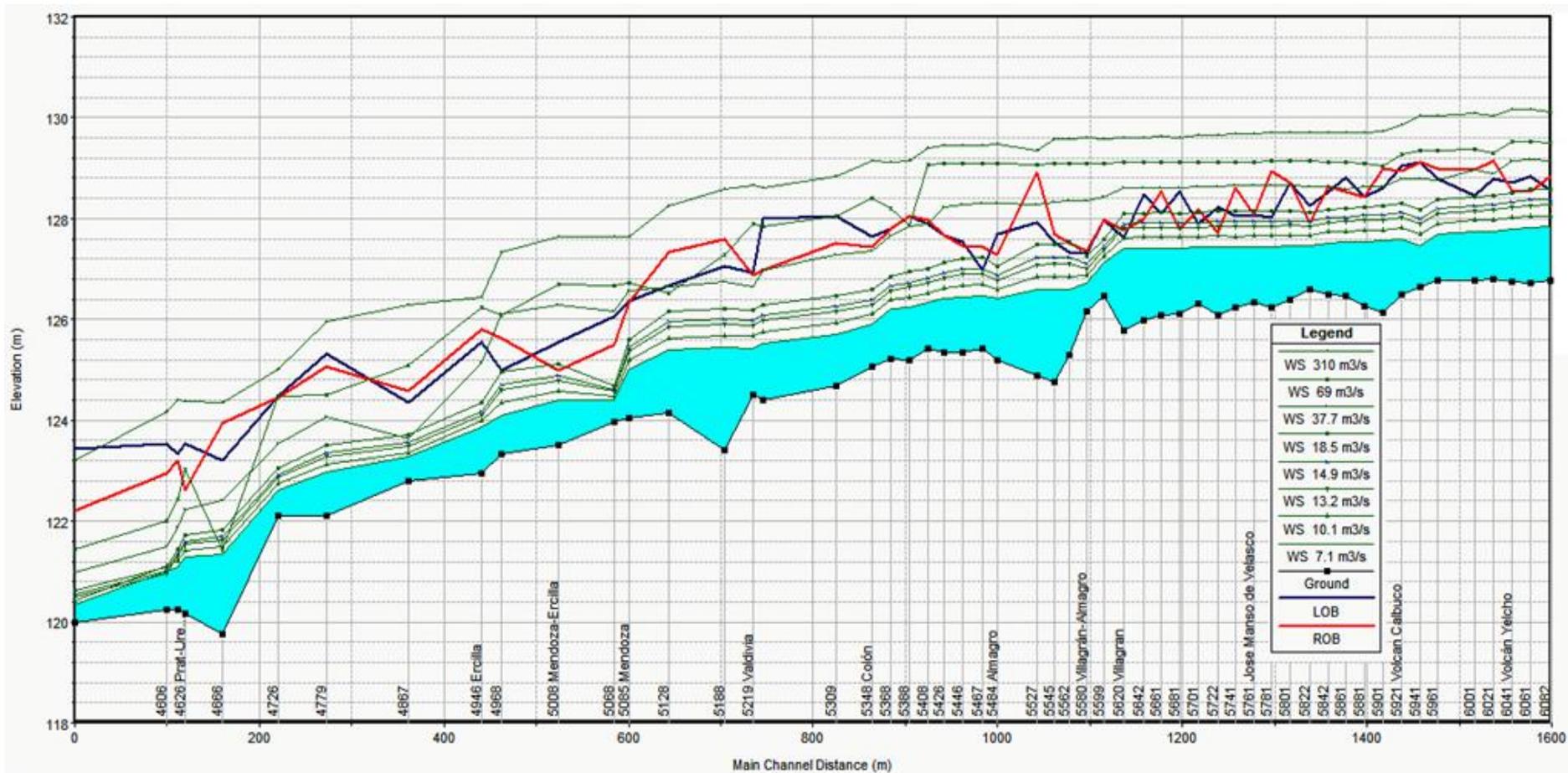
|                         |        |
|-------------------------|--------|
| FUNCION DE MEJOR AJUSTE | Gumbel |
|-------------------------|--------|

**Tabla 14:** Caracterización de inundaciones y anegamientos en ciudad de Los Ángeles, años 1965-1988. (Fuente: Elaboración propia).

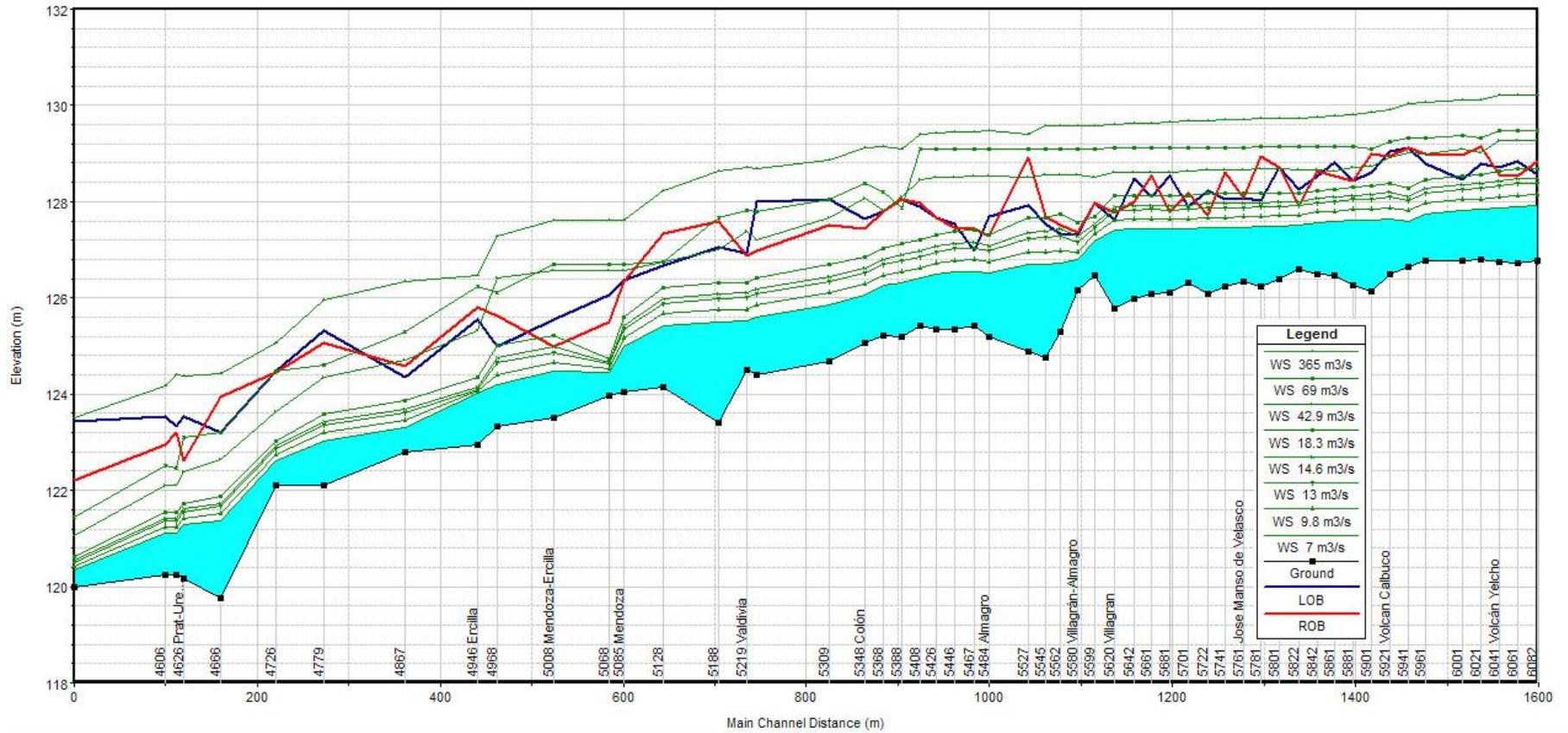
| Fecha      | Evento   | PP24hrs (mm) | Desfase evento (días) | T Años |
|------------|--|--------------|-----------------------|--------|
| 23/07/1965 | Problemas de inundación en población la Feria, Nueva Victoria y Feut.  | 62.5         | 1                     | 1.9    |
| 16/08/1965 | Evacuación a raíz de inundación de población Baquedano.  | 46           | 2                     | 1.8    |
| 15/07/1967 | Inundación de viviendas en calle Camilo Henríquez.   | 41           | 1                     | 1.1    |
| 17/07/1967 | Inundación calle Camilo Henríquez  | 18           | 1                     | 1      |
| 09/06/1969 | Desborde de rios y anegamientos de calle centricas.  | 70           | 1                     | 2.6    |
| 29/05/1970 | Inundación en población "2 de Septiembre" y corte de comunicaciones en la ciudad   | 34           | 1                     | 1      |
| 11/06/1970 | Anegamiento calles céntricas de la ciudad e inundaciones en población "2 de Septiembre".   | 31.5         | 2                     | 1      |
| 12/06/1970 | Inundación en población Feut / Anegamiento de calles en Población 2 de Septiembre.   | 39           | 2                     | 1.1    |
| 14/08/1970 | Deficiencia en sistema de escurrimiento de aguas lluvias causa problemas a peatones  | 13           | 1                     | 1      |
| 29/05/1975 | Inundación lado sur línea férrea y al final de Avda. R. Vicuña Gran cantidad de agua sector poniente Pob. Kennedy.   | 28           | 1                     | 1      |
| 05/05/1977 | Desborde Estero Quilque, inundaciones afecta sector entre calle Urenda y Prat.   | 75           | 2                     | 3.2    |
| 24/07/1977 | Urenda y Prat Inundaciones Avda. Ercilla pasado Estero Quilque y calles Almagro Almagro entre Rengo y Colo Colo y sector Las Quintas                           | 36           | 4                     | 1      |
| 30/07/1977 | Sector Las Quintas ensanchamiento desagie calle San Martín, inundaciones sector poniente de calle A. Pratt, e inundacion calle Alcazar esquina Patricio Lynch. | 52           | 3                     | 1.4    |
| 14/07/1978 | Desborde estero Quilque sector la vega, en Calle Villagran. Desborde en poblacion Sodimac, desborde en calle Urenda.   | 80.5         | 1                     | 4.2    |
| 17/05/1979 | Inundación de calles céntricas, calle Rengo entre Colón y Almagro.   | 34           | 1                     | 1      |
| 30/12/1980 | Inundación calles Angelinas, calle Estados Unidos esquina Villagrán.   | 99.5         | 1                     | 13     |
| 08/05/1981 | Desborde del estero Quilque afectando sector la Vega, calle Almagro, ademas calles centricas.  | 132          | 2                     | 66.15  |
| 18/05/1981 | Esquina de Avda. Ercilla y calle Lientur, totalmente inundada, otra calle anegada fue Villagrán.   | 18.5         | 1                     | 1      |
| 21/04/1986 | Caída de árboles en Plaza de Armas por temporal de viento y lluvia. Inundación en viviendas al final de Avda. Ricardo Vicuña.                                  | 57           | 1                     | 1.6    |
| 22/04/1986 | Campamento "En Tránsito" más afectado, sectores El Triángulo, Pob. Paillihue y Clara de Godoy quedaron aislados.   | 50           | 1                     | 1.3    |
| 04/06/1986 | Anegamiento de calle Luis Cruz Martínez, y Julio Montt en Pob. Ignacio Carrera Pinto.  | 50           | 2                     | 1.3    |
| 26/11/1986 | Inundacion en calle Mendoza cuadra siete.  | 110          | 1                     | 19.7   |
| 16/07/1987 | Anegamiento en sector "El Triángulo"   | 47           | 5                     | 1.2    |
| 29/07/1988 | Inundacion sector poblacional "El Triangulo" y calzada de calle Colon esquina Colo Colo.   | 87           | 2                     | 5.8    |

**Tabla 15:** Caracterización de inundaciones y anegamientos en ciudad de Los Ángeles, años 1992-2013. (Fuente: Elaboración propia).

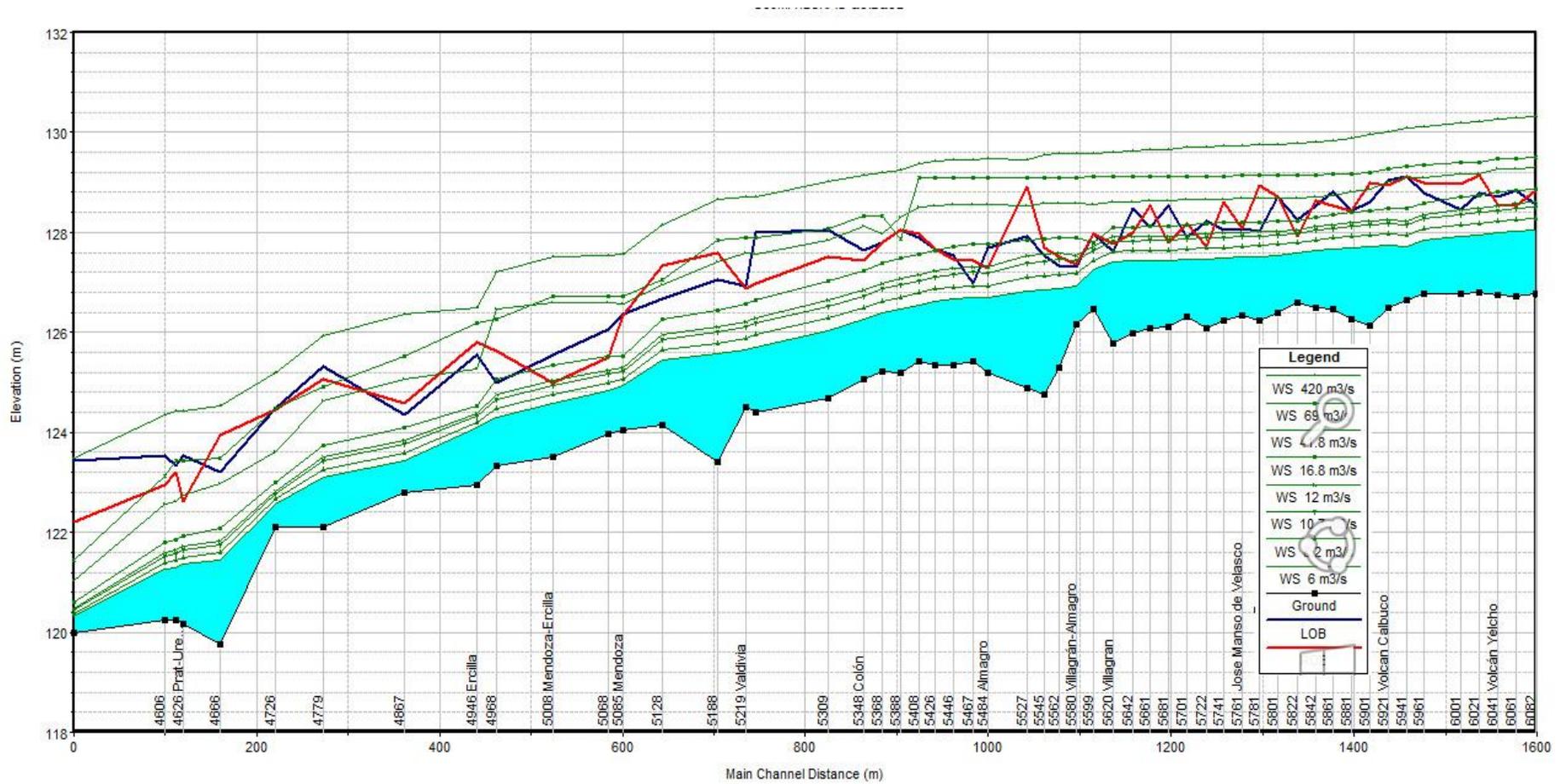
| Fecha      | Evento  | PP24hrs (mm) | Desfase evento (días) | T (Años) |
|------------|---|--------------|-----------------------|----------|
| 05/05/1992 | Desborde estero Quilque, mayoritariamente afecta calle Villagran con Rengo, Almagro, Colon y paseo peatonal, Población Domingo Contreras Gomez.                   | 80           | 1                     | 4.3      |
| 05/06/1993 | Inundación calles céntricas de la ciudad.   | 57           | 1                     | 1.6      |
| 19/07/1994 | Anegamiento Avda. Ercilla esquina Lientur   | 20           | 1                     | 1        |
| 20/07/1994 | Aumento de caudal estero Quilque en paseo peatonal no desbordó.   | 21           | 1                     | 1        |
| 06/06/1995 | Inundación en calle Colo Colo con Valdivia  | 15           | 1                     | 1        |
| 13/06/1996 | Inundación en Avda. Gabriela Mistral  | 65.5         | 2                     | 2.1      |
| 13/08/1996 | Inundación en calles céntricas de la ciudad   | 43.5         | 1                     | 1.3      |
| 24/08/1996 | Inundación en Villa Italia, vecinos piden muro de contención  | 28           | 1                     | 1        |
| 24/04/1997 | Desborde estero Quilque Quilque provoca inundacion en calle Villagran y Almagro.  | 112          | 2                     | 21.9     |
| 13/06/1997 | Lluvias provocan inundaciones en barrios marginales de la línea férrea, Costanera estero Paillihue, Población El Tránsito y El Triángulo.                         | 12           | 1                     | 1        |
| 23/06/1997 | Inundaciones en un sector de población 21 de Mayo por desborde estero Paillihue.  | 29           | 3                     | 1        |
| 24/06/1997 | Anegamiento en sector de Avda. Alemania altura Pob. Bajo Monte Cea. Colapso de canales provocaron socavón de veredas y calzadas en calles de la ciudad.           | 38           | 3                     | 1        |
| 18/06/1999 | Anegamiento en Avda. Francisco Encina junto a Villa Las Américas del sector Paillihue.  | 19           | 1                     | 1        |
| 03/06/2000 | Inundación Avda. Francisco Encina sector Paillihue, calle Villarrica Población Lagos de Chile.  | 28.5         | 1                     | 1        |
| 05/06/2000 | Anegamiento de Avda. Francisco Encina sector Paillihue por falta de evacuación de las aguas lluvias.  | 22.5         | 1                     | 1        |
| 14/06/2000 | Desborde de canales en población Real Victoria y camino al Cementerio, anegamiento Avda. Francisco Encina. Crecida de estero Paillihue inundó colegio San Damián. | 38           | 3                     | 1        |
| 22/05/2001 | Anegamiento calle Francisco Encina, calle Alcázar y Villagrán a la altura de cuadra ocho  | 29.5         | 1                     | 1        |
| 14/06/2001 | Calles anegadas en diversas poblaciones.  | 34.5         | 2                     | 1        |
| 21/07/2001 | Problemas de tránsito vehicular y peatonal, debido al lodo en inicio de Avda. Oriente, fondo Terminal interprovincial.  | 38.5         | 5                     | 1.1      |
| 29/08/2001 | Caída de árboles por temporal de viento y lluvia, en sectores céntricos de la ciudad.   | 13.5         | 1                     | 1        |
| 26/08/2002 | Desborde estero Quilque sector Vega y calle Villagran.  | 108.5        | 3                     | 18.11    |
| 10/07/2006 | Desborde estero Quilque sector centrico ciudad de Los Angeles   | 124          | 1                     | 42.4     |
| 03/05/2007 | Evento de precipitacion sin registro noticioso, no genero desborde  | 30.5         | 1                     | 1        |
| 16/07/2007 | Precipitacion sin evento noticioso, no genero desborde  | 48.5         | 1                     | 1.2      |
| 18/05/2008 | Precipitacion sin evento noticioso, no genero desborde  | 63           | 1                     | 1.9      |
| 24/05/2008 | Fuertes lluvias causaron daños en liceo industrial  | 60.5         | 1                     | 1.8      |
| 17/06/2009 | Precipitacion sin evento noticioso, no genero desborde  | 58.5         | 1                     | 1.6      |
| 19/06/2009 | Daños leves deja frente de mal tiempo en Bío Bío  | 64.5         | 1                     | 2.1      |
| 19/07/2010 | Precipitacion sin evento noticioso, no genero desborde  | 40           | 1                     | 1.1      |
| 16/08/2010 | Precipitacion sin evento noticioso, no genero desborde  | 39.5         | 1                     | 1.1      |
| 28/08/2011 | Precipitacion sin evento noticioso, no genero desborde  | 42.5         | 1                     | 1.1      |
| 07/08/2013 | Lluvia causa seguidilla de accidentes en Los Angeles  | 40.5         | 1                     | 1.1      |



**Figura 29.** Escenario I, cotas de terreno y ejes hidráulicos para distintos caudales.  
(Fuente: Elaboración propia).



**Figura 30.** Escenario II, cotas de terreno y ejes hidráulicos para distintos caudales.  
(Fuente: Elaboración propia).



**Figura 31.** Escenario III, cotas de terreno y ejes hidráulicos para distintos caudales.  
(Fuente: Elaboración propia).

**Tabla 16:** Ejes hidráulicos y caudales para la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).

|                 |                    |        |        |        | Caudales m3/s |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Q <sub>dis</sub> | Q <sub>max</sub> | Q <sub>puente</sub> |      |      |     |
|-----------------|--------------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------|------|------|-----|
|                 | <b>n = 0.027</b>   | Km     | CF     | C.R.I  | C.R.D         | 7.1    | 10.1   | 13.2   | 14.9   | 18.5   | 37.7   | 69     | 310    |        |        |        |                  |                  |                     |      |      |     |
| Escenario I     | Volcán Yelcho      | 6041   | 126.74 | 128.88 | 128.57        | 127.80 | 128.02 | 128.22 | 128.32 | 128.52 | 129.15 | id     | 129.52 | id     | 130.17 | id     | 15.8             | 19.5             | -                   |      |      |     |
|                 | Volcán Calbuco     | 5921   | 126.49 | 129.03 | 128.95        | 127.59 | 127.82 | 128.02 | 128.12 | 128.31 | 128.79 | id     | 129.27 | id     | 129.86 | id     | 35.3             | 48.8             | 21.7                |      |      |     |
|                 | Jose M. de Velasco | 5761   | 126.33 | 128.08 | 128.08        | 127.45 | 127.66 | 127.85 | 127.95 | 128.15 | id     | 128.65 | id     | 129.13 | id     | 129.69 | id               | 13.6             | 17.2                | 9.1  |      |     |
|                 | Villagán           | 5620   | 125.79 | 127.61 | 127.77        | 127.41 | 127.61 | 127.81 | id     | 127.91 | id     | 128.11 | id     | 128.61 | id     | 129.11 | id               | 129.61           | id                  | 7.1  | 10.1 | 5.3 |
|                 | Villagrán- Almagro | 5580   | 126.24 | 127.3  | 127.35        | 126.73 | 126.87 | 127.61 | 127.61 | 127.09 | 127.25 | 128.36 | id     | 129.10 | id     | 129.59 | id               | 15.1             | 19.5                | -    |      |     |
|                 | Almagro            | 5484   | 125.19 | 127.55 | 127.28        | 126.41 | 126.60 | 126.78 | 126.88 | 127.06 | 128.30 | id     | 129.09 | id     | 129.47 | id     | 18.8             | 23.0             | 18.3                |      |      |     |
|                 | Colón              | 5348   | 125.06 | 127.53 | 127.58        | 125.92 | 126.10 | 126.30 | 126.40 | 126.60 | 127.37 | id     | 128.40 | id     | 129.14 | id     | 37.9             | 38.8             | 35                  |      |      |     |
|                 | Valdivia           | 5219   | 124.51 | 126.93 | 126.87        | 125.42 | 125.66 | 125.88 | 125.98 | 126.18 | 126.66 | id     | 127.89 | id     | 128.66 | id     | 37.7             | 48.5             | 23.6                |      |      |     |
|                 | Mendoza            | 5085   | 124.05 | 126.53 | 126.53        | 125.01 | 125.19 | 125.36 | 125.44 | 125.60 | 126.58 | id     | 126.72 | id     | 127.63 | id     | 36.5             | 36.9             | 30                  |      |      |     |
|                 | Mendoza-Ercilla    | 5008   | 123.61 | 125.56 | 125           | 124.39 | 124.57 | 124.78 | 124.89 | 125.12 | d      | 126.28 | id     | 126.69 | id     | 127.64 | id               | 13.5             | 16.6                | -    |      |     |
|                 | Ercilla            | 4946   | 122.94 | 125.84 | 125.84        | 123.88 | 124.00 | 124.09 | 124.17 | 124.35 | 125.13 | 126.24 | id     | 126.45 | id     | 129.61 | id               | 49.9             | 49.9                | 43.8 |      |     |
| Prat- Urenda    | 4626               | 120.18 | 123.53 | 122.61 | 121.28        | 121.42 | 121.54 | 121.59 | 121.71 | 122.23 | 123.02 | d      | 124.37 | id     | 129.61 | id     | 45.5             | 53.5             | -                   |      |      |     |
| Escenario II    |                    |        |        |        | Caudales m3/s |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Q <sub>dis</sub> | Q <sub>max</sub> | Q <sub>puente</sub> |      |      |     |
|                 | <b>n = 0.035</b>   | Km     | CF     | C.R.I  | C.R.D         | 7      | 9.8    | 13     | 14.6   | 18.3   | 42.9   | 69     | 365    |        |        |        |                  |                  |                     |      |      |     |
|                 | Volcán Yelcho      | 6041   | 126.74 | 128.88 | 128.57        | 127.88 | 128.11 | 128.33 | 128.43 | 128.63 | d      | 129.27 | id     | 129.48 | id     | 130.21 | id               | 13.8             | 17.1                | -    |      |     |
|                 | Volcán Calbuco     | 5921   | 126.49 | 129.03 | 128.95        | 127.65 | 127.88 | 128.10 | 128.19 | 128.38 | 128.91 | 129.25 | id     | 129.91 | id     | 129.91 | id               | 28.6             | 44.7                | 20   |      |     |
|                 | Jose M. de Velasco | 5761   | 126.33 | 128.08 | 128.08        | 127.47 | 127.68 | 127.88 | 127.97 | 128.17 | id     | 128.67 | id     | 129.13 | id     | 129.72 | id               | 13               | 16.7                | 8.5  |      |     |
|                 | Villagán           | 5620   | 125.79 | 127.61 | 127.77        | 127.41 | 127.61 | 127.81 | id     | 127.91 | id     | 128.11 | id     | 128.61 | id     | 129.11 | id               | 129.61           | id                  | 7    | 9.8  | 5.2 |
|                 | Villagrán- Almagro | 5580   | 126.24 | 127.3  | 127.35        | 126.80 | 126.94 | 127.16 | 127.28 | 127.56 | id     | 128.56 | id     | 129.10 | id     | 129.59 | id               | 12.2             | 14.8                | -    |      |     |
|                 | Almagro            | 5484   | 125.19 | 127.55 | 127.28        | 126.52 | 126.74 | 126.96 | 127.07 | 127.30 | d      | 128.52 | id     | 129.09 | id     | 129.47 | id               | 14.7             | 18.2                | 14.3 |      |     |
|                 | Colón              | 5348   | 125.06 | 127.53 | 127.58        | 126.06 | 126.29 | 126.52 | 126.62 | 126.85 | id     | 128.08 | id     | 128.37 | id     | 129.13 | id               | 27               | 31                  | 22.3 |      |     |
|                 | Valdivia           | 5219   | 124.51 | 126.93 | 126.87        | 125.52 | 125.76 | 126.00 | 126.10 | 126.32 | id     | 127.38 | id     | 127.83 | id     | 128.70 | id               | 25               | 29.3                | 20   |      |     |
|                 | Mendoza            | 5085   | 124.05 | 126.53 | 126.53        | 125.00 | 125.17 | 125.34 | 125.42 | 125.59 | id     | 126.58 | id     | 126.70 | id     | 127.62 | id               | 36.55            | 36.6                | 30.6 |      |     |
| Mendoza-Ercilla | 5008               | 123.61 | 125.56 | 125    | 124.47        | 124.66 | 124.87 | 124.98 | 125.21 | d      | 126.57 | id     | 126.69 | id     | 127.61 | id     | 12               | 15               | -                   |      |      |     |
| Ercilla         | 4946               | 122.94 | 125.84 | 125.84 | 124.02        | 124.07 | 124.10 | 124.16 | 124.34 | 125.31 | 126.24 | id     | 126.46 | id     | 129.61 | id     | 49.9             | 49.9             | 43.5                |      |      |     |
| Prat- Urenda    | 4626               | 120.18 | 123.53 | 122.61 | 121.29        | 121.42 | 121.55 | 121.61 | 121.74 | 122.39 | 123.11 | d      | 124.37 | id     | 129.61 | id     | 43.9             | 52.5             | -                   |      |      |     |
| Escenario III   |                    |        |        |        | Caudales m3/s |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Q <sub>dis</sub> | Q <sub>max</sub> | Q <sub>puente</sub> |      |      |     |
|                 | <b>n = 0.054</b>   | Km     | CF     | C.R.I  | C.R.D         | 6      | 8.2    | 10.7   | 12     | 16.8   | 41.8   | 69     | 420    |        |        |        |                  |                  |                     |      |      |     |
|                 | Volcán Yelcho      | 6041   | 126.74 | 128.88 | 128.57        | 127.99 | 128.22 | 128.44 | 128.54 | 128.81 | d      | 129.27 | id     | 129.47 | id     | 130.27 | id               | 9.8              | 12.5                | -    |      |     |
|                 | Volcán Calbuco     | 5921   | 126.49 | 129.03 | 128.95        | 127.74 | 127.97 | 128.18 | 128.26 | 128.49 | id     | 129.01 | d      | 129.27 | id     | 130.02 | id               | 25               | 37.6                | 15.8 |      |     |
|                 | Jose M. de Velasco | 5761   | 126.33 | 128.08 | 128.08        | 127.50 | 127.71 | 127.91 | 128.00 | 128.20 | id     | 128.67 | id     | 129.13 | id     | 129.74 | id               | 10.5             | 13.7                | 6.8  |      |     |
|                 | Villagán           | 5620   | 125.79 | 127.61 | 127.77        | 127.41 | 127.61 | 127.81 | id     | 127.91 | id     | 128.11 | id     | 128.61 | id     | 129.11 | id               | 129.61           | id                  | 6    | 8.2  | 4.4 |
|                 | Villagrán- Almagro | 5580   | 126.24 | 127.3  | 127.35        | 126.94 | 127.19 | 127.43 | id     | 127.55 | id     | 127.91 | id     | 128.58 | id     | 129.11 | id               | 129.58           | id                  | 7.4  | 9.3  | -   |
|                 | Almagro            | 5484   | 125.19 | 127.55 | 127.28        | 126.69 | 126.93 | 127.18 | 127.30 | d      | 127.76 | id     | 128.55 | id     | 129.09 | id     | 129.47           | id               | 9.7                 | 11.8 | 9.4  |     |
|                 | Colón              | 5348   | 125.06 | 127.53 | 127.58        | 126.25 | 126.49 | 126.73 | 126.84 | 127.24 | id     | 128.12 | id     | 128.34 | id     | 129.16 | id               | 18               | 19.7                | 14.7 |      |     |
|                 | Valdivia           | 5219   | 124.51 | 126.93 | 126.87        | 125.64 | 125.87 | 126.10 | 126.21 | 126.56 | id     | 127.58 | id     | 127.90 | id     | 128.71 | id               | 18.5             | 21                  | 15   |      |     |
|                 | Mendoza            | 5085   | 124.05 | 126.53 | 126.53        | 124.94 | 125.07 | 125.22 | 125.29 | 125.53 | id     | 126.57 | id     | 126.71 | id     | 127.56 | id               | 36               | 36                  | 30   |      |     |
| Mendoza-Ercilla | 5008               | 123.61 | 125.56 | 125    | 124.58        | 124.76 | 124.95 | 125.04 | d      | 125.34 | d      | 126.58 | id     | 126.71 | id     | 127.51 | id               | 8.7              | 11.5                | -    |      |     |
| Ercilla         | 4946               | 122.94 | 125.84 | 125.84 | 124.09        | 124.21 | 124.31 | 124.37 | 124.53 | 125.28 | 126.19 | id     | 126.50 | id     | 129.61 | id     | 48.5             | 48.5             | 43.7                |      |      |     |
| Prat- Urenda    | 4626               | 120.18 | 123.53 | 122.61 | 121.36        | 121.51 | 121.64 | 121.71 | 121.93 | 122.75 | d      | 123.42 | id     | 124.43 | id     | 129.61 | id               | 37               | 30.5                | -    |      |     |

**Nota:** Las cotas con inundación en ribera izquierda (i) y/o derecha (d) son indicadas en color verde; C.F: Cota del fondo del cauce en el eje; C.R.I: Cota de la ribera izquierda; C.R.D: Cota de la ribera derecha.

**Tabla 17:** Caudales, niveles de inundación, velocidades y el producto de niveles de inundación y velocidades  
(Fuente: Elaboración propia).

| Calle              | Km   | Q escenario I (m <sup>3</sup> /s)   | 7.1  | 10.1 | 13.2    | 14.9    | 18.5    | 37.7    | 69      | 310     |                                   |                                   |
|--------------------|------|-------------------------------------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                    |      | Q escenario II (m <sup>3</sup> /s)  | 7    | 9.8  | 13      | 14.6    | 18.3    | 42.9    | 69      | 365     |                                   |                                   |
|                    |      | Q escenario III (m <sup>3</sup> /s) | 6    | 8.2  | 10.7    | 12      | 16.8    | 41.8    | 69      | 420     |                                   |                                   |
| Volcán Yelcho      | 6041 | Escenario I                         | 0.87 | 0.99 | 1.09    | 1.14    | 1.23    | 0.58 id | 0.95 id | 1.60 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario II                        | 0.79 | 0.89 | 0.99    | 1.04    | 1.09    | 0.06 d  | 0.70 id | 0.91 id | 1.64 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
|                    |      | Escenario III                       | 0.61 | 0.68 | 0.75    | 0.78    | 0.74    | 0.24 d  | 0.70 id | 0.90 id | 1.70 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
| Volcán Calbuco     | 5921 | Escenario I                         | 0.56 | 0.66 | 0.75    | 0.79    | 0.88    | 1.41    | 0.32 id | 0.91 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario II                        | 0.52 | 0.61 | 0.70    | 0.75    | 0.84    | 1.44    | 0.30 id | 0.96 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario III                       | 0.42 | 0.48 | 0.55    | 0.59    | 0.73    | 0.06 d  | 0.32 id | 1.07 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
| Jose M. de Velasco | 5761 | Escenario I                         | 0.64 | 0.76 | 0.85    | 0.87    | 0.82    | 0.07 id | 0.57 id | 1.05 id | 1.61 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
|                    |      | Escenario II                        | 0.62 | 0.72 | 0.81    | 0.82    | 0.74    | 0.09 id | 0.59 id | 1.05 id | 1.64 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
|                    |      | Escenario III                       | 0.51 | 0.59 | 0.63    | 0.61    | 0.56    | 0.12 id | 0.59 id | 1.05 id | 1.66 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
| Villagán           | 5620 | Escenario I                         | 0.58 | 0.73 | 0.20 id | 0.30 id | 0.50 id | 1.00 id | 1.50 id | 2.00 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario II                        | 0.57 | 0.70 | 0.20 id | 0.30 id | 0.50 id | 1.00 id | 1.50 id | 2.00 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario III                       | 0.49 | 0.59 | 0.20 id | 0.30 id | 0.50 id | 1.00 id | 1.50 id | 2.00 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
| Villagrán- Almagro | 5580 | Escenario I                         | 2.75 | 3.00 | 3.20    | 3.27    | 3.41    | 1.06 id | 1.80 id | 2.29 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario II                        | 2.34 | 2.62 | 2.63    | 2.61    | 2.47    | 0.26 id | 1.26 id | 1.80 id | 2.29 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
|                    |      | Escenario III                       | 1.61 | 1.61 | 0.13 id | 0.25 id | 0.61 id | 1.28 id | 1.81 id | 2.28 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
| Almagro            | 5484 | Escenario I                         | 1.77 | 2.10 | 2.37    | 2.49    | 2.73    | 1.02 id | 1.81 id | 2.19 id | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |                                   |
|                    |      | Escenario II                        | 1.57 | 1.82 | 2.04    | 2.14    | 2.33    | 0.02 d  | 1.24 id | 1.81 id | 2.19 id                           | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x (v) |
|                    |      | Escenario III                       | 1.16 | 1.32 | 1.46    | 1.53    | 0.88    | 0.02 d  | 0.48 id | 1.27 id | 1.81 id                           | 2.19 id                           |

Sector Céntrico ciudad de Los Angeles

**Tabla 18:** Caudales, niveles de inundación, velocidades y el producto de niveles de inundación y velocidades.

(Fuente: Elaboración propia).

| Calle           | Km   | Q escenario I (m <sup>3</sup> /s)   | 7.1  | 10.1 | 13.2 | 14.9                   | 18.5                   | 37.7                    | 69                      | 310                     |                                  |
|-----------------|------|-------------------------------------|------|------|------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                 |      | Q escenario II (m <sup>3</sup> /s)  | 7    | 9.8  | 13   | 14.6                   | 18.3                   | 42.9                    | 69                      | 365                     |                                  |
|                 |      | Q escenario III (m <sup>3</sup> /s) | 6    | 8.2  | 10.7 | 12                     | 16.8                   | 41.8                    | 69                      | 420                     |                                  |
| Colón           | 5348 | Escenario I                         | 2.37 | 2.54 | 2.64 | 2.68                   | 2.79                   | 3.44                    | 0.87 id<br>1.06<br>0.92 | 1.61 id<br>1.52<br>2.45 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario II                        | 1.87 | 1.98 | 2.10 | 2.16                   | 2.28                   | 0.55 id<br>1.11<br>0.61 | 0.84 id<br>0.95<br>0.80 | 1.60 id<br>1.46<br>2.34 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario III                       | 1.26 | 1.36 | 1.46 | 1.50                   | 1.64                   | 0.59 id<br>0.77<br>0.45 | 0.81 id<br>0.76<br>0.62 | 1.63 id<br>1.11<br>1.81 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
| Valdivia        | 5219 | Escenario I                         | 1.81 | 1.93 | 2.07 | 2.15                   | 2.30                   | 3.52                    | 1.02 id<br>0.88<br>0.90 | 1.79 id<br>1.27<br>2.27 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario II                        | 1.56 | 1.70 | 1.85 | 1.92                   | 2.07                   | 0.51 id<br>1.39<br>0.71 | 0.96 id<br>0.83<br>0.80 | 1.83 id<br>1.14<br>2.09 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario III                       | 1.18 | 1.29 | 1.41 | 1.47                   | 1.66                   | 0.71 id<br>0.64<br>0.45 | 1.03 id<br>0.52<br>0.54 | 1.84 id<br>0.87<br>1.60 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
| Mendoza         | 5085 | Escenario I                         | 2.52 | 2.75 | 2.94 | 3.03                   | 3.19                   | 0.05 id<br>1.87<br>0.09 | 0.19 id<br>2.26<br>0.43 | 1.10 id<br>1.88<br>2.07 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario II                        | 2.52 | 2.75 | 2.94 | 3.03                   | 3.19                   | 0.05 id<br>1.99<br>0.10 | 0.17 id<br>2.15<br>0.37 | 1.09 id<br>1.83<br>1.99 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario III                       | 2.36 | 2.63 | 2.81 | 2.88                   | 3.12                   | 0.04 id<br>1.74<br>0.07 | 0.18 id<br>1.72<br>0.31 | 1.03 id<br>1.62<br>1.67 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
| Mendoza-Ercilla | 5008 | Escenario I                         | 1.25 | 1.37 | 1.41 | 1.43                   | 0.12 d<br>1.45<br>0.17 | 1.28 id<br>0.62<br>0.79 | 1.69 id<br>0.60<br>1.01 | 2.64 id<br>0.89<br>2.35 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario II                        | 1.08 | 1.19 | 1.27 | 1.29                   | 0.21 d<br>1.34<br>0.28 | 1.57 id<br>0.37<br>0.58 | 1.69 id<br>0.50<br>0.84 | 2.61 id<br>0.85<br>2.22 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario III                       | 0.81 | 0.89 | 0.97 | 0.04 d<br>1.01<br>0.04 | 0.34 d<br>1.10<br>0.37 | 1.58 id<br>0.25<br>0.40 | 1.71 id<br>0.34<br>0.58 | 2.51 id<br>0.72<br>1.81 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
| Ercilla         | 4946 | Escenario I                         | 2.15 | 2.66 | 3.17 | 3.30                   | 3.54                   | 4.40                    | 0.40 id<br>2.41<br>0.96 | 0.61 id<br>6.48<br>3.95 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario II                        | 1.81 | 2.39 | 3.07 | 3.28                   | 3.52                   | 4.58                    | 0.40 id<br>2.20<br>0.88 | 0.62 id<br>6.31<br>3.91 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario III                       | 1.44 | 1.77 | 2.10 | 2.26                   | 2.80                   | 4.55                    | 0.35 id<br>2.07<br>0.72 | 0.66 id<br>4.82<br>3.18 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
| Prat- Urenda    | 4626 | Escenario I                         | 1.02 | 1.23 | 1.42 | 1.52                   | 1.69                   | 2.32<br>0.00            | 0.41 d<br>2.59<br>1.06  | 1.76 id<br>2.48<br>4.36 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario II                        | 0.99 | 1.19 | 1.38 | 1.47                   | 1.64                   | 2.39                    | 0.50 d<br>2.35<br>1.18  | 1.76 id<br>2.44<br>4.29 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |
|                 |      | Escenario III                       | 0.78 | 0.91 | 1.04 | 1.10                   | 1.28                   | 0.14 d<br>1.88<br>0.26  | 0.81 id<br>1.48<br>1.20 | 1.82 id<br>1.85<br>3.37 | N.I (m)<br>v (m/s)<br>(N.I) x(v) |

Sector Céntrico ciudad de Los Angeles



**Tabla 20:** Peligrosidad de inundaciones para las secciones de estudio.

(Fuente: Elaboración propia)

| <b>Peligrosidad</b>     |                  | P : Personas                 |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |                       |      |      |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------------|------------------|------------------------------|---|---|---|---|-----|---|---|-----|---|---|-----------------------|------|------|------------------|---|---|---|---|---|-----|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inundación peligrosa    |                  | V : Vehículos                |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |                       |      |      |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Inundación No peligrosa |                  | EL : Estructuras de madera   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |                       |      |      |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Sin Inundación          |                  | EE : Estructuras de ladrillo |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |                       |      |      |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Ubicación               | Ribera Izquierda |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | Q (m <sup>3</sup> /s) |      |      | Ribera Izquierda |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         | Peligrosidad     |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |                       |      |      | Peligrosidad     |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         | P                |                              |   | V |   |   | E.L |   |   | E.E |   |   | 1                     | 2    | 3    | P                |   |   | V |   |   | E.L |   |   | E.E |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         | 1                | 2                            | 3 | 1 | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1                     | 2    | 3    | 1                | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Mendoza                 |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 7.1                   | 7    | 6    |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 10.1                  | 9.8  | 8.2  |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 13.2                  | 13   | 10.7 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 14.9                  | 14.6 | 12   |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 18.5                  | 18.3 | 16.8 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 37.7                  | 42.9 | 41.8 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Mendoza-Ercilla         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 69.0                  | 69   | 69   |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 310.0                 | 365  | 420  |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 7.1                   | 7    | 6    |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 10.1                  | 9.8  | 8.2  |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 13.2                  | 13   | 10.7 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 14.9                  | 14.6 | 12   |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Ercilla                 |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 18.5                  | 18.3 | 16.8 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 37.7                  | 42.9 | 41.8 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 69.0                  | 69   | 69   |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 310.0                 | 365  | 420  |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 7.1                   | 7    | 6    |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 10.1                  | 9.8  | 8.2  |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Prat- Urenda            |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 13.2                  | 13   | 10.7 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 14.9                  | 14.6 | 12   |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 18.5                  | 18.3 | 16.8 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 37.7                  | 42.9 | 41.8 |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 69.0                  | 69   | 69   |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                         |                  |                              |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   | 310.0                 | 365  | 420  |                  |   |   |   |   |   |     |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |

Nota. P: Personas, V: Vehículos, EL: Estructuras ligeras (construcciones en madera), EE: Edificios en ladrillo.

**Tabla 21:** Riesgo de inundación para escenarios I, II y III (Fuente: Elaboración propia).

|                    | Ribera Izquierda |                      | Escenarios | Ribera Derecha |                      |
|--------------------|------------------|----------------------|------------|----------------|----------------------|
|                    | Vulnerabilidad   | Riesgo de Inundación |            | Vulnerabilidad | Riesgo de Inundación |
| Volcán Yelcho      | Alta             | Zona Inundable       | I          | Alta           | Medio                |
|                    | Alta             | Alto                 | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Volcán Calbuco     | Alta             | Alto                 | I          | Alta           | Alto                 |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Jose M. de Velasco | Alta             | Zona Inundable       | I          | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Villagán           | Alta             | Zona Inundable       | I          | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Villagrán- Almagro | Alta             | Zona Inundable       | I          | Alta           | Alto                 |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Almagro            | Alta             | Zona Inundable       | I          | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Colón              | Alta             | Medio                | I          | Alta           | Medio                |
|                    | Alta             | Alto                 | II         | Alta           | Alto                 |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Valdivia           | Alta             | Alto                 | I          | Alta           | Alto                 |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Zona Inundable       | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Mendoza            | Alta             | Medio                | I          | Alta           | Medio                |
|                    | Alta             | Alto                 | II         | Alta           | Alto                 |
|                    | Alta             | Alto                 | III        | Alta           | Alto                 |
| Mendoza-Ercilla    | Alta             | Alto                 | I          | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Alto                 | II         | Alta           | Zona Inundable       |
|                    | Alta             | Alto                 | III        | Alta           | Zona Inundable       |
| Ercilla            | Alta             | Bajo                 | I          | Alta           | Bajo                 |
|                    | Alta             | Bajo                 | II         | Alta           | Bajo                 |
|                    | Alta             | Bajo                 | III        | Alta           | Bajo                 |
| Prat- Urenda       | Alta             | Bajo                 | I          | Alta           | Bajo                 |
|                    | Alta             | Bajo                 | II         | Alta           | Bajo                 |
|                    | Alta             | Alto                 | III        | Alta           | Bajo                 |