

ESTUDIO  
“ACTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS EAE PLAN REGULADOR  
COMUNAL DE TRAIQUÉN”  
ID 660-8-LQ18



**Amenaza de inundación en Traiguén**  
Análisis Técnico Preliminar

## Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	2
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	General .....	3
2.2	Específicos.....	3
3	DESARROLLO.....	4
3.1	Análisis morfométrico de la cuenca del Traiguén .....	4
3.2	Análisis estadístico de las precipitaciones y caudales .....	6
3.3	Estimación del caudal .....	9
3.4	Determinación de la amenaza.....	11
4	BIBLIOGRAFÍA .....	17

## Tablas

Tabla 1:	Estaciones de monitoreo meteorológico evaluadas.....	6
Tabla 2:	Precipitación máxima acumulada diaria [mm], estación Traiguén.....	8
Tabla 3:	Períodos de retorno para las precipitaciones [mm], en distribuciones estadísticas .	9
Tabla 4:	Períodos de retorno para las precipitaciones [mm], diferentes distribuciones estadísticas.....	11

## Ilustraciones

Ilustración 1:	Cuenca del río Traiguén aguas arriba de la zona urbana .....	5
Ilustración 2:	Registro fotográfico de la Inundación de 26-05-2019 en Traiguén .....	7
Ilustración 3:	Precipitaciones [mm] del 26-05-2019 en Traiguén, estación La Providencia .	8
Ilustración 4:	Zona de inundación modelada de acuerdo a precipitaciones del 26-06-2019	10
Ilustración 5:	Criterios para evaluación de intensidad de la amenaza de inundación.....	11
Ilustración 6:	Límite de la inundación T100 en la zona urbana de Traiguén.....	13
Ilustración 7:	Velocidad de la inundación [m <sup>2</sup> /s] T100 en la zona urbana de Traiguén .....	14
Ilustración 8:	Profundidad de la inundación [m] T100 en la zona urbana de Traiguén.....	15
Ilustración 9:	Amenaza de la inundación T100 en la zona urbana de Traiguén.....	16

# 1 INTRODUCCIÓN

Según detalla la ONEMI, una inundación corresponde a un rápido ascenso del nivel del agua, generando caudales inusuales que cubren o llenan superficies de terreno que normalmente son secas (ONEMI, 2018). Como premisa se reconoce que en general las inundaciones corresponden a eventos naturales y recurrentes de los ríos. Las inundaciones se producen cuando lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, la capacidad máxima de transporte del río o arroyo es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos de agua. Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río (INETER y COSUDE, 2005).

En el presente documento se realizó un **análisis de la amenaza de inundación en la zona urbana de la comuna de Traiguén** por el desborde del río del mismo nombre, debido a episodios de lluvias intensas y continuas, en el marco de la actualización del Plan Regulador de la Comuna. Lo anterior se realizó mediante la delimitación de la zona máxima de afectación en un período de retorno de 100 años, incorporando además un análisis de las variables como la profundidad de la inundación y la velocidad de las aguas del río en cada zona inundada.

De manera general, es posible indicar que, el análisis se abordó siguiendo la siguiente metodología: En primer lugar, se realizó un **análisis morfométrico** general de la cuenca que drena el Río Traiguén, aguas arriba de la zona urbana, el que permite entender, dado el análisis de las características físicas de la cuenca, el comportamiento hidrológico de su río; En segundo lugar, se realizó el **análisis de las precipitaciones y caudales** de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio, en donde se estudiaron los períodos de retorno de diferentes episodios de lluvia; En tercer lugar, se realizó la **estimación del caudal** a modelar mediante la iteración de diversos valores de escorrentía calibrados por la inundación de control del 26 de junio del presente año (2019), para la cual se cuenta con los registro fotográfico de un vuelo de dron. Los valores de caudales obtenidos fueron proyectados un período de retorno de 100 años, y finalmente; en cuarto lugar, se realizó la **determinación de la amenaza de inundación** en la zona urbana de la comuna, por medio de la utilización del *software* Hec-Ras, el cual modeliza la hidráulica de flujo de aguas.

Cabe destacar que los análisis se realizaron en base a la información meteorológica, la topografía levantada de la zona urbana a evaluar (DEM 2,5 metros de resolución) y la topografía de cuenca del Traiguén (DEM 12,5 metros de resolución, Alos Palsar). Por lo cual, en caso de necesitar mejorar la precisión de los resultados se debiese considerar datos de batimetría del río, rugosidad del suelo, mediciones de caudal base, datos de precipitaciones horarias, entre otra información.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Determinar la amenaza de inundación que presenta el río Traiguén para la zona urbana de la comuna, en el marco de la actualización del Plan Regulador que se encuentran en desarrollo.

### **2.2 Específicos**

Los objetivos específicos del estudio corresponden a los siguiente:

- a. Análisis morfométrico de la cuenca de estudio;
  - b. Análisis de las precipitaciones y determinación de los períodos de retorno;
  - c. Determinación del caudal teórico en Traiguén, y;
  - d. Determinación de la amenaza de inundación en la zona urbana de Traiguén.
-

### 3 DESARROLLO

#### 3.1 Análisis morfométrico de la cuenca del Traiguén

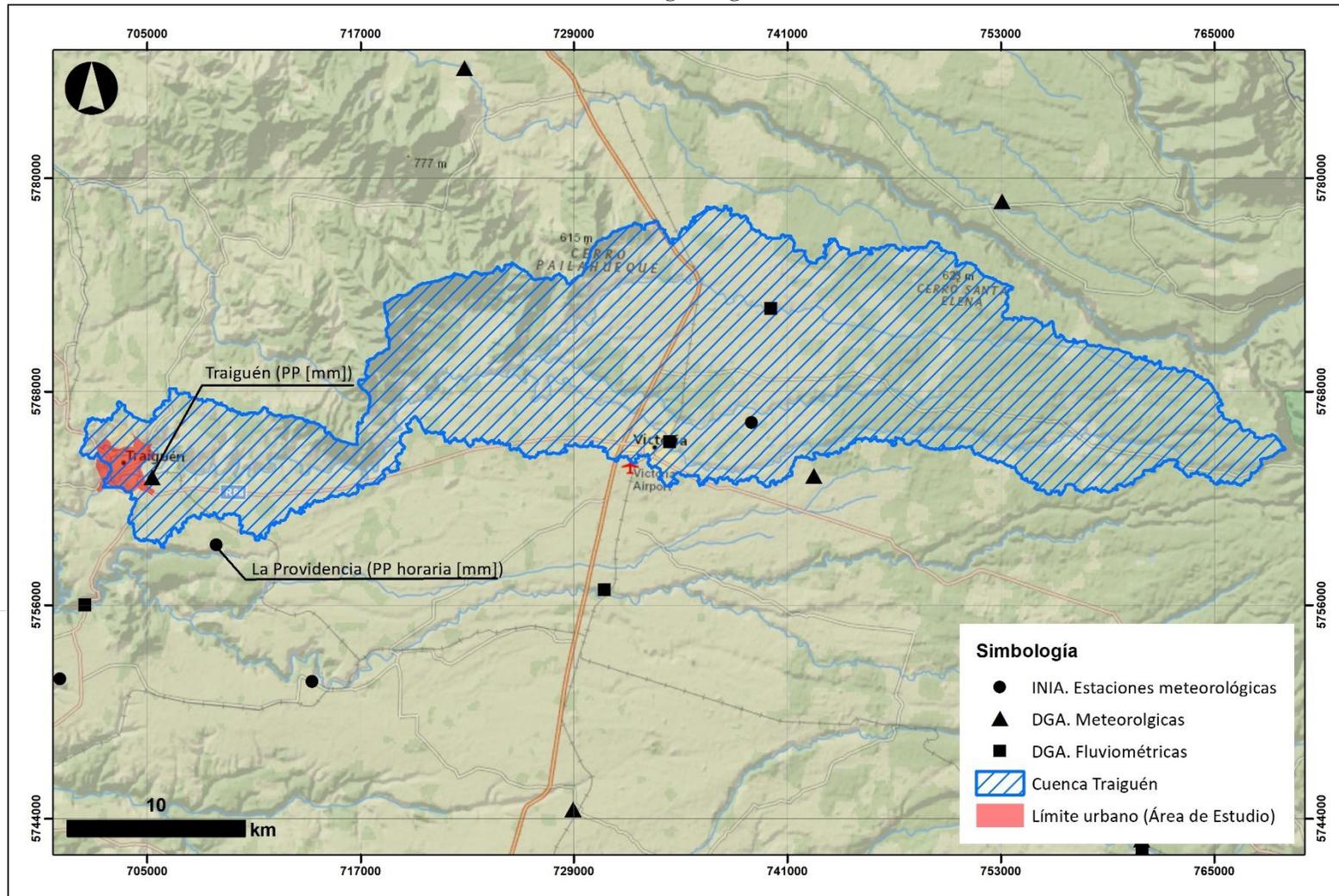
Los parámetros morfométricos corresponden a las características físicas de una cuenca y son elementos que tienen una gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y; las que condicionan la velocidad de respuesta como el orden de corriente, la pendiente, la sección transversal, etc.

Los parámetros morfométricos fueron obtenidos a partir de la integración entre las ecuaciones hidrológicas y las características de la cuenca, obtenidas mediante la aplicación del Sistema de Información Geográfica ArcGis 10.3, en particular las herramientas de Análisis Espacial de Hidrología y Superficie.

Respecto a la información del terreno, Modelo digital de Elevación o DEM, que permitió obtener y evaluar las características de la cuenca, se utilizaron dos tipos de información: La primera, correspondió una imagen con información de alturas (raster) generada por el sensor Alos del Satélite Palsar, la cual cuenta con una resolución de 12,5 metros y permite la determinación y el análisis de las cuencas a una escala comunal, y; La segunda, correspondió a un vuelo fotogramétrico realizado para el desarrollo de la Actualización del Plan Regulador de la Comuna de Traiguén, el cual cuenta con una resolución de 2 metros y permite desarrollar el posterior análisis de la inundación dentro del límite urbano de la comuna.

A continuación, se presenta una imagen de la cuenca que evacua el río Traiguén en la localidad del mismo nombre.

Ilustración 1: Cuenca del río Traiguén aguas arriba de la zona urbana



Fuente: Elaboración propia, en base a DEM Alos Palsar

En la imagen anterior se puede observar que la localidad Traiguén se encuentra expuesta a la amenaza de inundación fluvial dada su cercanía con la ribera del río que evacua una cuenca de aproximadamente 584,9 km<sup>2</sup>. Esta superficie es indicador de una cuenca de dimensiones de mediana a pequeña, en la cual no se observan grandes variaciones de altitud, ni tampoco porcentaje altos de superficie sometidos a pendientes superiores a los 20 grados, por lo cual corresponde a una cuenca poco erosiva.

Por otra parte, es posible observar que, dado su coeficiente de compacidad de Gravelius, la cuenca es de tipo oblonga, es decir más alargada que ancha, su rectángulo equivalente corresponde a uno de 68 km de largo por 13 km de ancho, por lo cual las crecidas que se generan en fenómenos de duraderas e intensas precipitaciones son de tipo lentas, por lo tanto, predecibles, pero duraderas en el tiempo.

### 3.2 Análisis estadístico de las precipitaciones y caudales

Dado que no se cuenta con datos de Caudal Instantáneo en el área de estudio, se analizaron los registros de las estaciones meteorológicas cercanas o en la misma cuenca. Las estaciones estudiadas presentan información en diferentes escalas de tiempo, de acuerdo a lo que se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Estaciones de monitoreo meteorológico evaluadas**

NOMBRE	Traiguén – DGA 09105002-1	La Providencia – INIA 251
Datos	Meteorología	Meteorología
Variable Analizada	Precipitación	Precipitación [mm]
Estadística disponible	Acumulada diario [mm/día]	Acumulada horaria [mm/hora]
Monitoreo	1979 a la fecha	2009 a la fecha
Este (WGS84)	705.308	-72.6114
Norte (WGS84)	5.763.168	-38.2894
Cuenca	Río Imperial	Río Imperial
Subcuenca	Río Lumaco	Río Lumaco
Comuna	Traiguén	Traiguén

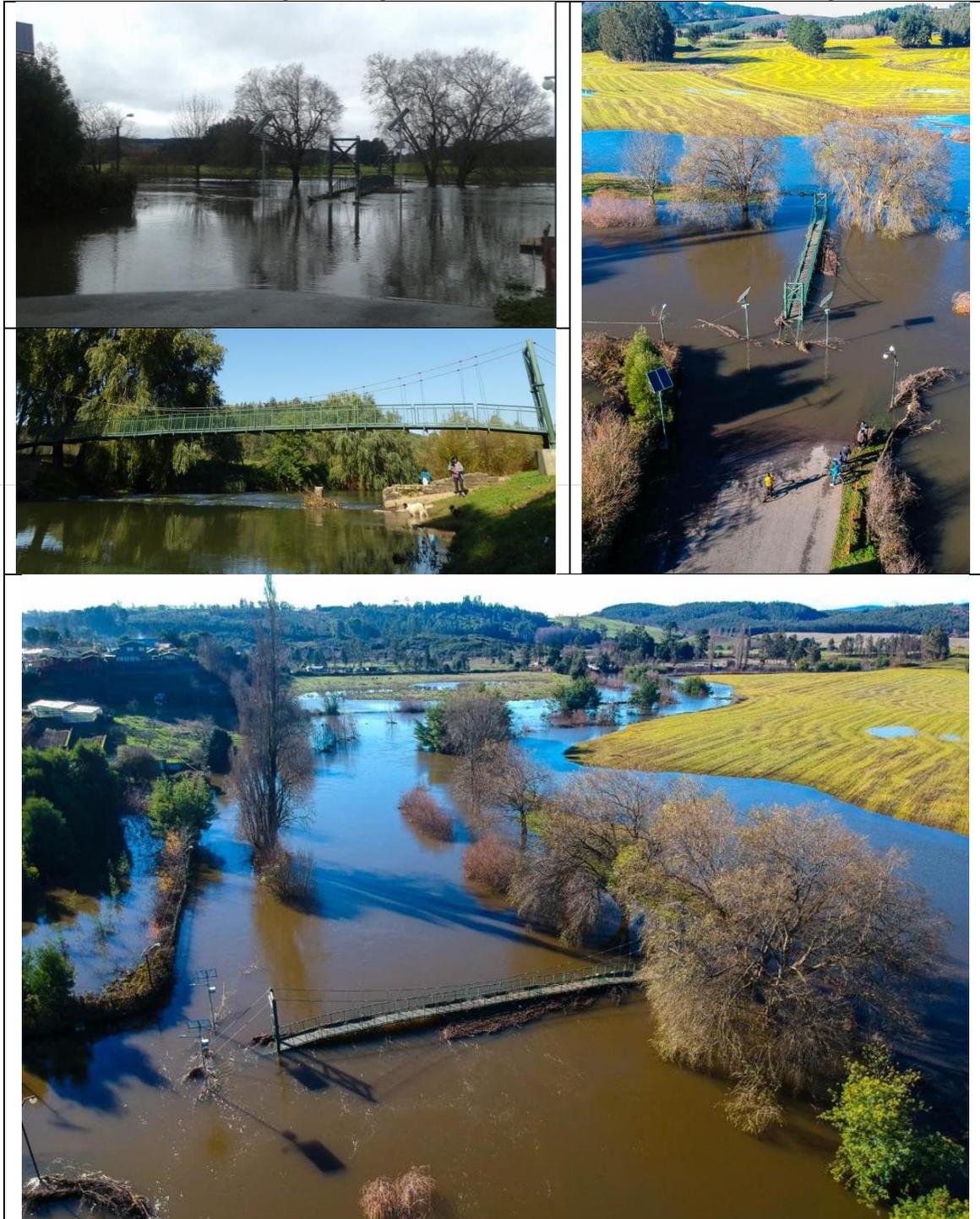
Fuente: Elaboración propia en base a información DGA e INIA

Cabe destacar que dentro del análisis se evaluó la estación pluviométrica del Traiguén en Victoria. Como resultado de esta evaluación, se descartó la extrapolación del valor del caudal al área de estudio dada la lejanía (35 km aproximadamente) y dada la diferencia de las superficies drenada entre la cuenca que se drena a la altura de Victoria y la que se drena a la altura de la localidad de Traiguén.

Por lo cual, finalmente se decidió determinar el caudal a modelar por medio de extrapolación de la tormenta recientemente acontecida, ocurrida el 26 de junio del 2019, la cual desbordó el río en varios sectores de la comuna. Lo anterior mediante el estudio del agua caída el día 26-06-2019 (registrada en la estación automática La Providencia), y los registros fotográficos de la comunidad y del municipio (mediante el uso del dron), levantados entre uno y dos días

después de la crecida máxima, los que funcionan como mecanismo de calibración del modelo. A continuación, se presenta parte del registro fotográfico de la inundación (adicionalmente se incluye una imagen del río Traiguén en verano):

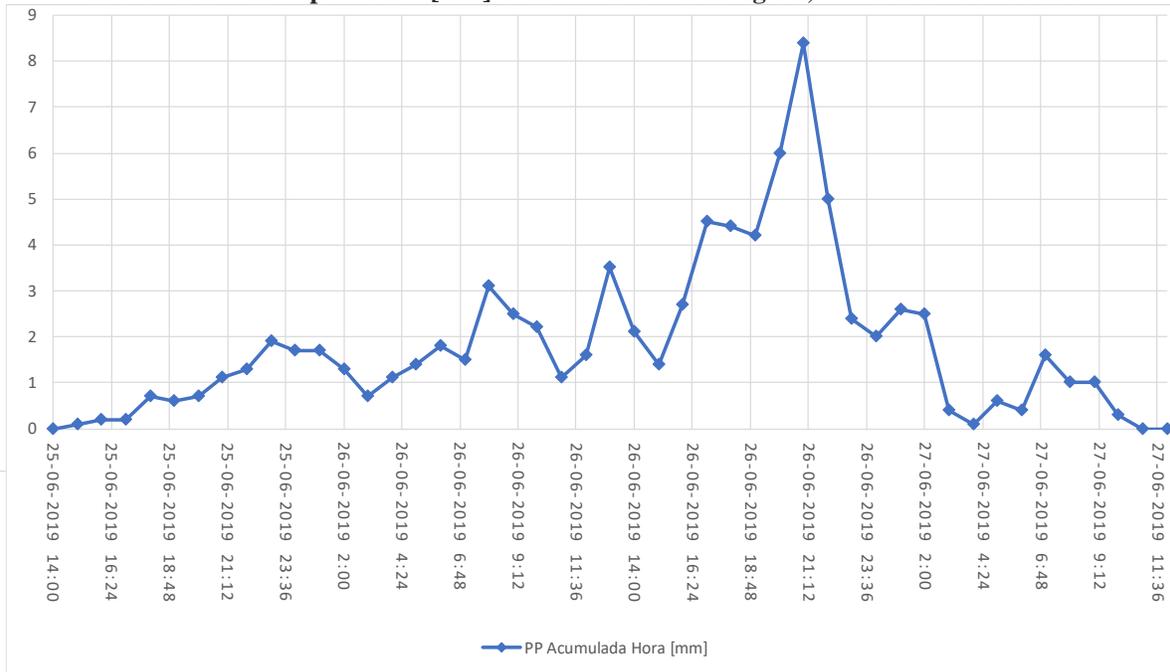
**Ilustración 2: Registro fotográfico de la Inundación de 26-05-2019 en Traiguén**



Fuente: Elaboración propia, en base a registros fotográficos de la comunidad y el municipio de Traiguén

La estación meteorológica automática La Providencia, del INIA, que cuenta con registros horarios en línea, indicó que el día que más precipitó correspondió al miércoles 26 de junio, día en el que cayeron 66,3 mm, lo que generó posteriormente se desbordara el Traiguén, tal como se puede observar en los registros fotográficos anteriores. En el siguiente gráfico se muestra un detalle del agua caída acumulada por hora registrada por la estación La Providencia.

**Ilustración 3: Precipitaciones [mm] del 26-05-2019 en Traiguén, estación La Providencia**



Fuente: Elaboración propia en base a información de la estación la Providencia del INIA

Esta lluvia de 66,3 mm de agua caída se comparó con registros y períodos de retorno de la estación Traiguén (DGA), la que cuenta con data desde el año 1979. Los datos obtenidos de la estación Traiguén son presentados a continuación, en donde se muestra la precipitación acumulada diaria máxima de cada año registrado.

**Tabla 2: Precipitación máxima acumulada diaria [mm], estación Traiguén**

Año	Precipitación Máxima Acumulada Diaria [mm]	Año	Precipitación Máxima Acumulada Diaria [mm]
1979	42.5	1999	42.5
1980	68.5	2000	95.0
1981	50.0	2001	48.0
1982	49.0	2002	83.0
1983	45.0	2003	79.0
1984	75.0	2004	46.5
1985	60.5	2005	66.5
1986	46.2	2006	76.0
1987	49.5	2007	72.0
1988	48.3	2008	81.0

Año	Precipitación Máxima Acumulada Diaria [mm]	Año	Precipitación Máxima Acumulada Diaria [mm]
1989	54.0	2009	55.0
1990	61.0	2010	54.0
1991	42.0	2011	54.0
1992	76.0	2012	50.0
1993	63.5	2013	38.1
1994	34.2	2014	54.1
1995	42.0	2015	48.4
1996	51.0	2016	37.5
1997	85.0	2017	67.6
1998	32.0	2018	42.8

Fuente: Elaboración propia en base a la Data de la Estación DGA Traiguén.

Para obtener los períodos de retorno se realizó un análisis de frecuencia de los datos mediante las distribuciones estadísticas Normal, Normal Logarítmica, Pearson Gamma y Gumbel, siendo esta última la que mejor se adapta a los datos, de acuerdo con las pruebas de Coeficiente de Correlación  $R^2$ , Kolmogorov y Chi Cuadrado, por lo cual de ella se obtuvieron los períodos de retorno para la estación, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

**Tabla 3: Períodos de retorno para las precipitaciones [mm], en distribuciones estadísticas**

Período de retorno	Normal	Log normal	Gumbel	Pearson Gamma
<b>4</b>	-	-	<b>66.3</b>	-
<b>5</b>	69.7	68.6	<b>69.7</b>	61.0
<b>10</b>	76.6	77.2	<b>79.9</b>	69.4
<b>50</b>	88.7	95.0	<b>102.6</b>	85.8
<b>100</b>	92.9	102.2	<b>112.1</b>	92.1

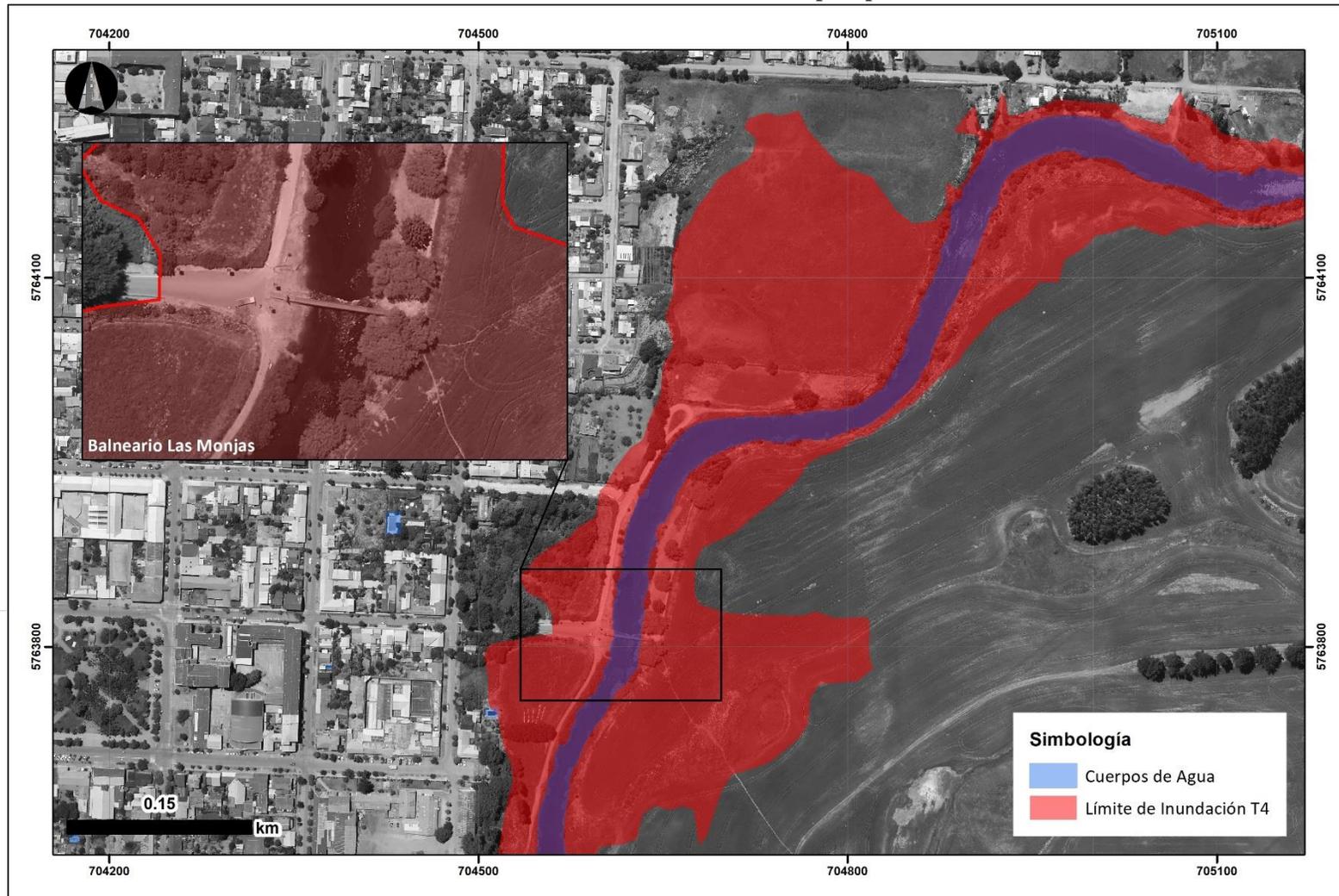
Fuente: Elaboración propia en base a la Data de la Estación DGA Traiguén.

De acuerdo a la distribución Gumbel, la lluvia de 66,3 mm de agua caída y acumulada el 26-06-2019 correspondió a una lluvia de período de retorno de 4 años. En una lluvia de período de retorno de 100 años debiesen caer hasta 112,1 mm, por lo cual la zona de inundación debiese ser mayor.

### 3.3 Estimación del caudal

Con los valores, y con la delimitación que permite ver el registro fotográfico, que sirven como mecanismo de calibración o control para el período de retorno de 4 años, se modelaron con Hecras diferentes caudales, hasta encontrar el caudal que inundara la misma zona de la lluvia del 26-06-2019, para posteriormente extrapolar los a un período de retorno de 100 años. Finalmente, el caudal que mas se adapta a la inundación de período de retorno 4 años, lluvia del 26-06-2019 de 66,3 mm de agua caída, correspondió al de 198 m<sup>3</sup>/s. Su zona de inundación, validad con el registro fotográfico, corresponde a la que se presenta en la siguiente figura:

Ilustración 4: Zona de inundación modelada de acuerdo a precipitaciones del 26-06-2019



Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior el caudal de crecida proyectado a un periodo de retorno de 100 años corresponde a 334.7 m<sup>3</sup>/s, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4: Períodos de retorno para las precipitaciones [mm], diferentes distribuciones estadísticas

Período de retorno	Precipitación [mm] (Gumbel)	Caudal de Crecida Proyectado [m <sup>3</sup> /s]
4	66.3	198
100	112.1	334.7

Fuente: Elaboración propia en base a la Data de la Estación DGA Traiguén.

### 3.4 Determinación de la amenaza

Una vez se determinó el caudal generado por una precipitación de un periodo de retorno de 100 años, se procedió a modelar la inundación mediante la utilización de la solución para inundaciones Hec-Ras y Hec Geo Ras para ArcGis.

Posteriormente se evaluó la intensidad de la amenaza utilizando la metodología recomendada en el texto “Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenaza, Recomendaciones Técnicas para su Elaboración”, desarrollado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Los criterios recomendados para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes y dependen del tipo de inundación. Para inundaciones dinámicas, como es el caso evaluado en este documento, se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo. Para esto se han definido umbrales entre los niveles de intensidad alta, media y baja considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de la comunidad. En la siguiente figura se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones:

Ilustración 5: Criterios para evaluación de intensidad de la amenaza de inundación

Inundaciones Dinámicas				
Profundidad	1.50 m	0.75	1.50	2.25
	1.00 m	0.50	1.00	1.50
	0.50 m	0.25	0.50	0.75
		0.50	1.00	1.50
		Velocidad (m/s)		

**Leyenda de Colores**

- Intensidad Alta
- Intensidad Media
- Intensidad Baja

Fuente: Inundaciones Fluviales, Mapas De Amenazas, Inerter-Cosude

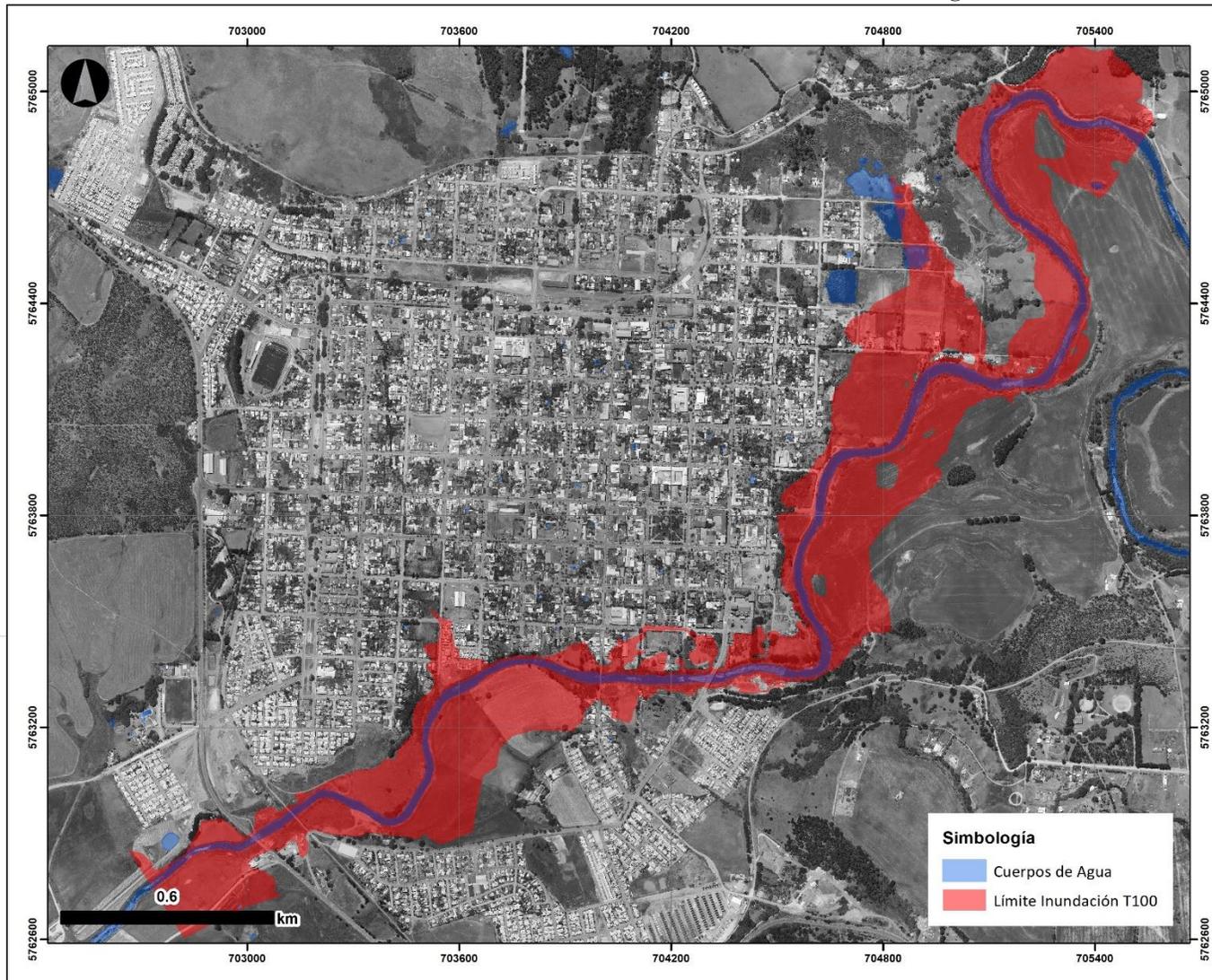
Los niveles de intensidad resultantes corresponde a los siguiente: Las **inundaciones de alta intensidad** corresponden a aquellas que presentan profundidades de flujo mayores a 1 m o

el producto resultante de la velocidad por altura ( $V \cdot H$ ) es mayor a  $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ . Los daños causados por una inundación de alta intensidad generalmente son altos en pérdidas de vidas y para la economía; Las **inundaciones de media intensidad** son aquellas con altura ( $H$ ) de agua entre 0.5 y 1 m o el producto resultante de la velocidad por altura ( $V \cdot H$ ) entre 0.5 y  $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ . Los daños económicos y a la población son menores que en el caso de la inundación intensa, pero no despreciables, y; Las **inundaciones de baja intensidad** corresponden a aquellas con profundidad del flujo superiores a 0.25 m pero inferiores a los 0.5m, o  $V \cdot H$  menor a  $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ . Los daños asociados son generalmente leves, no se esperan pérdidas en vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales.

Finalmente, la inundación resultante, generada por una precipitación de período de retorno de 100 años, que produzca un caudal de  $334.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la localidad de Traiguén, puede ser representada por las siguientes figuras, en donde se detalla:

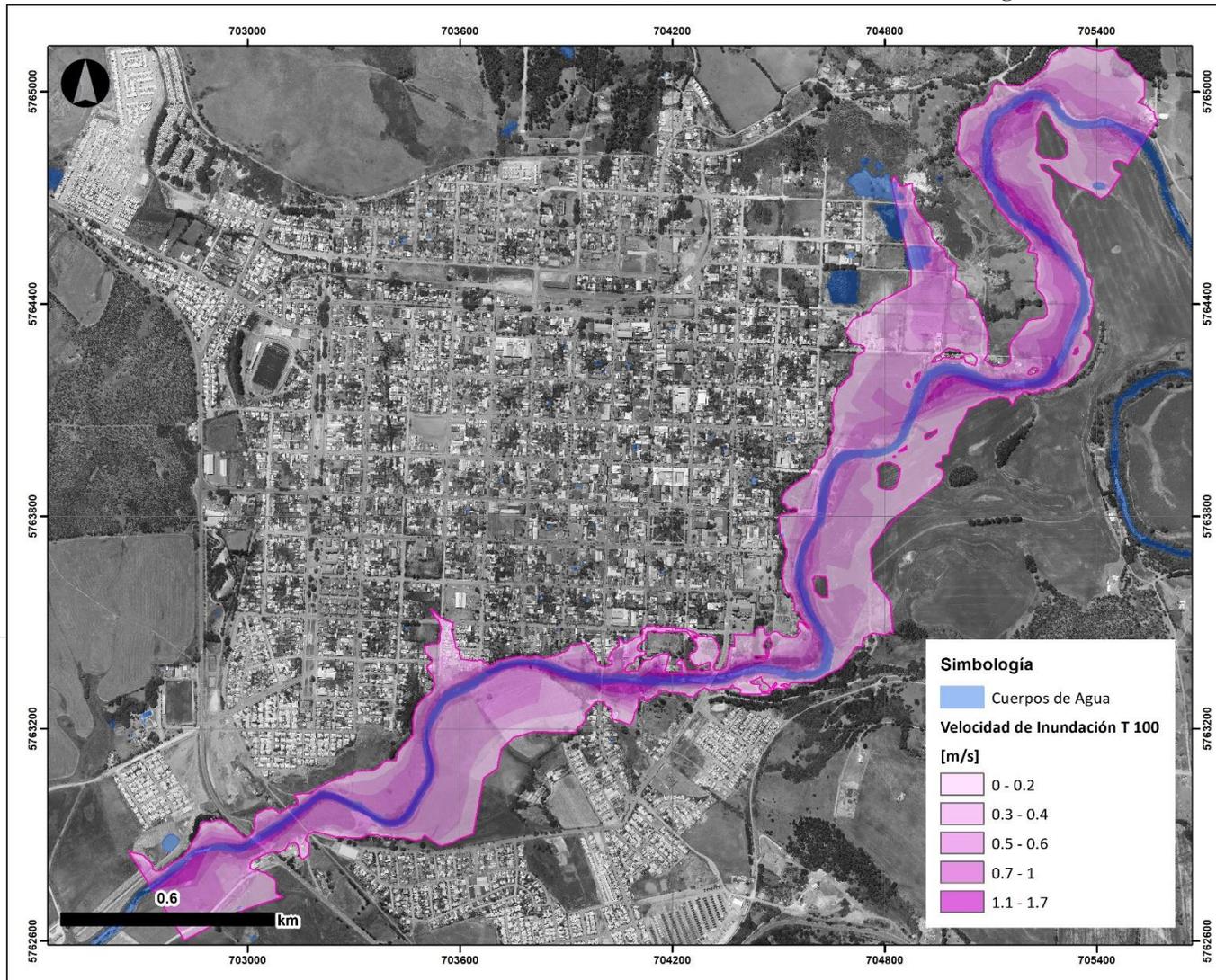
- Límite Máximo de Inundación;
- Velocidad de Inundación;
- Profundidad de Inundación, y;
- Amenaza de Inundación.

Ilustración 6: Límite de la inundación T100 en la zona urbana de Traiguén



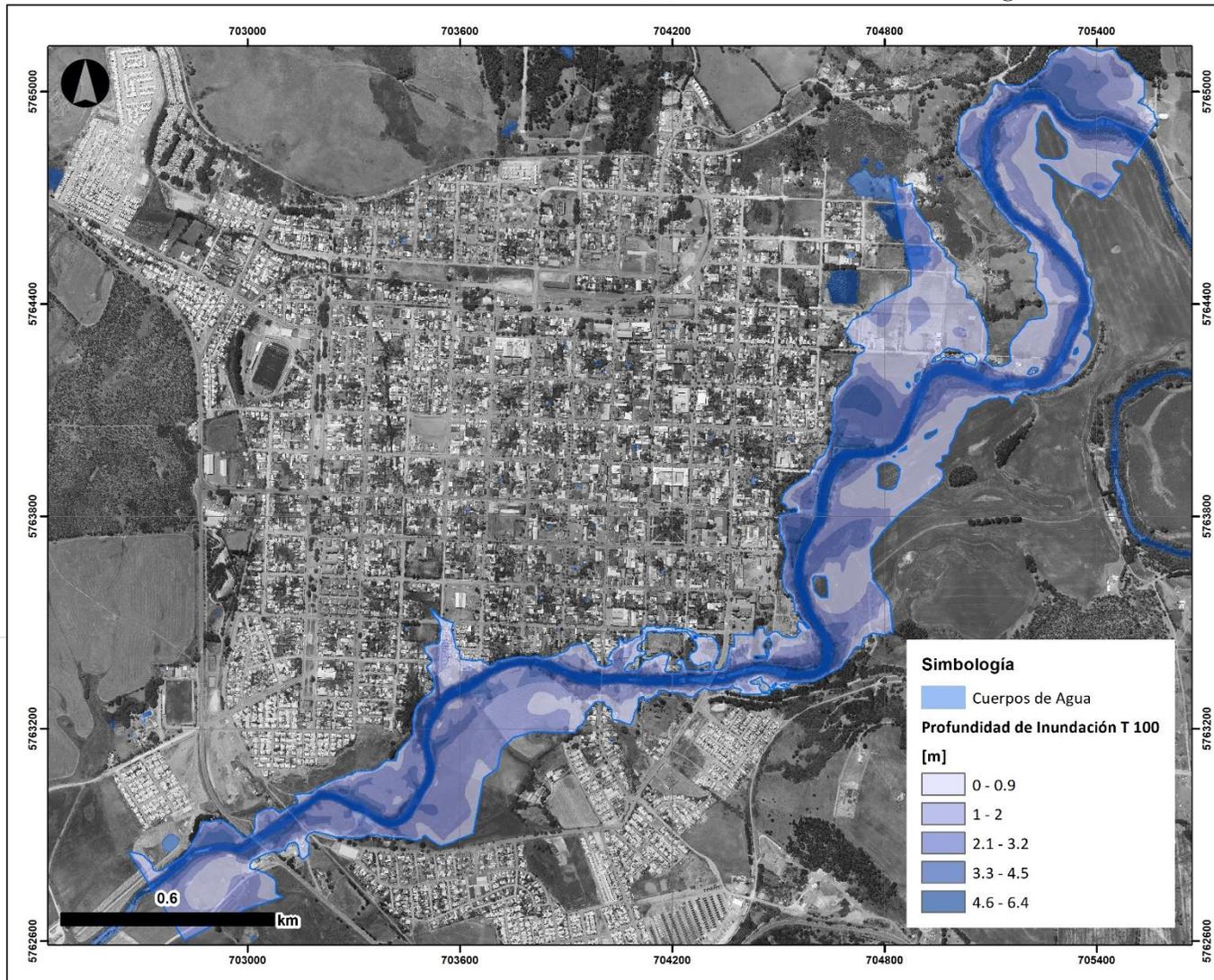
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7: Velocidad de la inundación [m<sup>2</sup>/s] T100 en la zona urbana de Traiguén



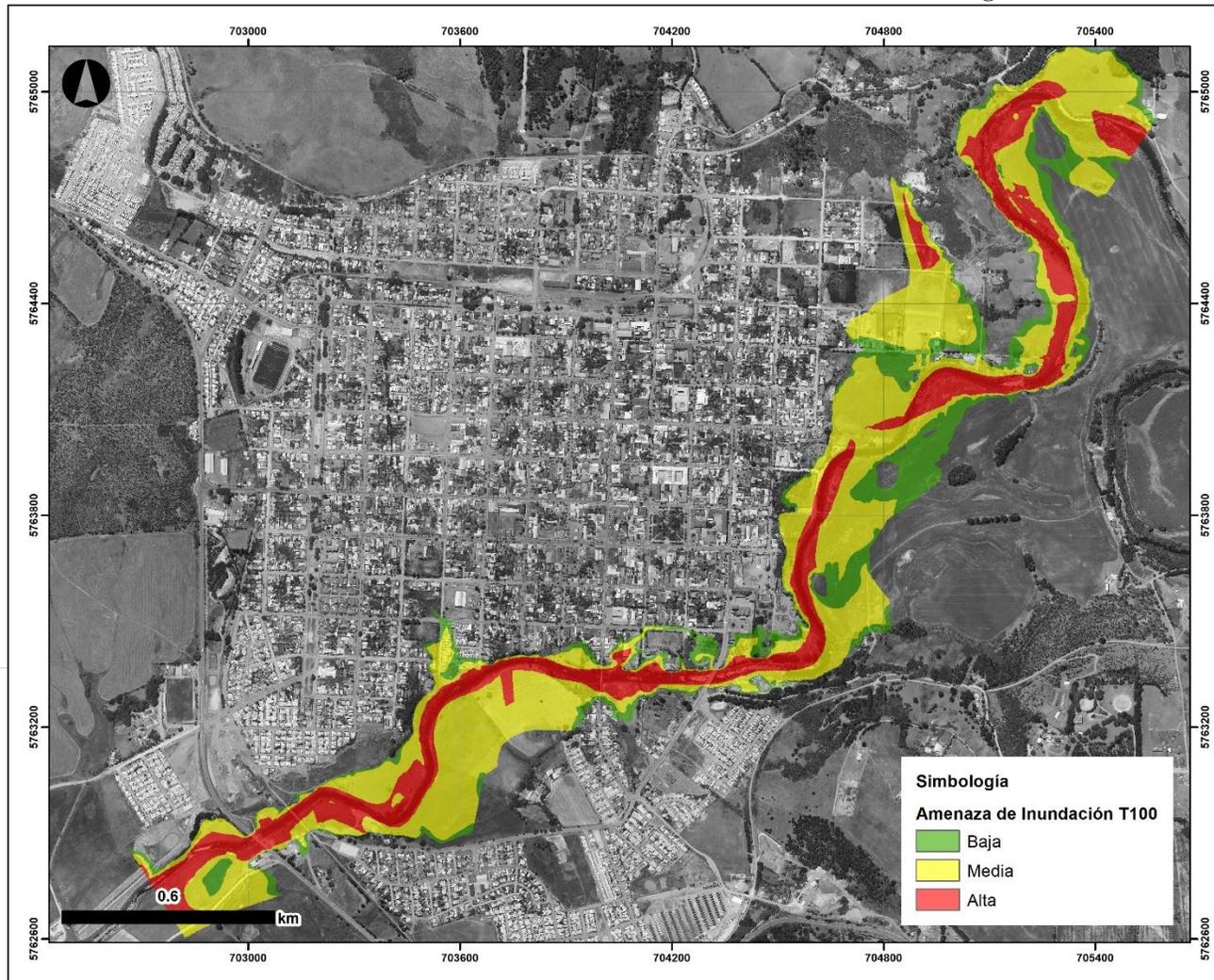
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8: Profundidad de la inundación [m] T100 en la zona urbana de Traiguén



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9: Amenaza de la inundación T100 en la zona urbana de Traiguén



Fuente: Elaboración propi

## 4 BIBLIOGRAFÍA

INETER y COSUDE. (2005). *Inundaciones fluviales, mapas de amenaza. Recomendaciones técnicas para su elaboración*. Managua: MET-ALARN.

ONEMI. (2018). *Inundaciones*. Obtenido de <https://www.onemi.gov.cl/inundaciones/>