

Universidad del Bío-Bío

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



Prof. Patrocinante:

Álvaro Suazo Schwencke

“ZONAS AMENAZADAS POR INUNDACIÓN DEL RÍO BIOBÍO ENTRE SAN ROSENDO Y LA DESEMBOCADURA”

**“Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil”**

FERNANDO SEPÚLVEDA ALVIAL

Concepción, Noviembre del 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mis padres y hermanas por creer en mis capacidades y apoyarme en todo lo que me he propuesto. Además agradecer al plantel docente de la carrera de Ingeniería Civil, quienes formaron mis criterios y capacidades para poder concluir de la mejor forma esta etapa tan importante, como también, a las secretarias del departamento por su gran esfuerzo en resolver todos los problemas.

DEDICATORIA

Dedico este extenso trabajo con el cual concluyo la etapa de pregrado en la Universidad Del Bío-Bío a quienes han sido parte de este proceso y a los que fueron fundamentales para mi desarrollo como una persona íntegra y social:

Mis padres Fernando Sepúlveda Chacón y María Alvia Vega.

A mis hermanas Pamela Sepúlveda Alvia y Wendy Sepúlveda Alvia.

A mis tíos y tías además de las locuras de primos y primas que tengo.

A mi abuela Candelaria del Carmen Vega Pino, quien descansa en paz y sé que estaría orgullosa por su nieto.

NOMENCLATURA

ONEMI	Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior
SEC	Señalización, Electrificación y Comunicaciones
BNA	Banco Nacional de Aguas
MDE	Modelo Digital de Elevación
GPS	Sistema de Posicionamiento Global

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
NOMENCLATURA	iv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1.- Introducción	3
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Alcances	5
1.4 Avances en el tema	5
2.- Antecedentes	6
2.1 Ubicación	6
2.2 Datos del río Biobío	7
2.3 Inundaciones anteriores	8
3.- Procedimiento de Modelación	10
3.1 Cálculo de caudal	11
3.2 Topografía	11
3.3 Modelo hidráulico	11
3.4 Calibración del modelo	12
3.5 Elaboración de mapa de amenaza por inundaciones	13

4.- Resultados	16
4.1 Áreas potencialmente afectadas por amenaza de inundación	17
4.2 Análisis y discusión de resultados	24
5.- Conclusiones	26
Bibliografía	28

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Cálculos y Antecedentes	32
ANEXO B. Resultados	34

DETERMINACIÓN DE ÁREAS AMENAZADAS POR INUNDACIÓN DEL RÍO BIOBÍO ENTRE SAN ROSENDO Y LA DESEMBOCADURA

Autor: Fernando Sepúlveda Alvial

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

Correo Electrónico: fsepulv@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

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

Correo Electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

Producto de intensas precipitaciones, se han registrado desbordes importantes en el río Biobío. Para poder prevenir los efectos negativos que trae consigo, se busca determinar las posibles áreas afectadas por estos desbordes. Para encontrar dichas zonas se caracterizó topográficamente la zona de estudio de aproximadamente 79 kilómetros mediante perfiles transversales y longitudinales con la ayuda de un modelo digital de terreno. Después de calibrar los parámetros del modelo hidráulico es posible obtener resultados más reales. Luego, utilizando los criterios adoptados y asignando los distintos niveles de amenaza que pudiesen afectar en ciertas zonas, se determinaron las áreas perjudicadas algunas quizá más relevantes que otras dependiendo de su uso, pero dejando en claro que la amenaza existe independiente de ello.

En el presente informe se exponen los resultados obtenidos de la simulación hidráulica del río Biobío para el tramo comprendido entre San Rosendo y la desembocadura. En él se plantea una metodología para lograr encontrar las posibles áreas amenazadas por inundación y posteriormente la elaboración de un mapa de éstas, de manera que los resultados obtenidos ayuden a una mejor planificación del uso de suelo teniendo un desarrollo ordenado y equilibrado del territorio, evitando así pérdidas futuras en vidas humanas e infraestructura.

Palabras clave: Inundación, mapas de amenaza, zona inundable, caudal máximo

5405 Palabras Texto + 15 Figuras/Tablas*250 + 1 Figuras/Tablas*300 = 9564 Palabras Totales

DETERMINATION OF AREAS THREATENED BY FLOODING OF BIOBÍO RIVER BETWEEN SAN ROSENDO AND THE MOUTH

Author: Fernando Sepúlveda Alvial

Civil and Environmental Engineering Department, University of Bío-Bío

Email: fsepulv@alumnos.ubiobio.cl

Advisor: Álvaro Suazo Schwencke

Civil and Environmental Engineering Department, University of Bío-Bío

Email: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

Product of heavy precipitation, there have been major upsets in the Biobío river. In order to prevent the negative effects it brings, is to determine possible areas affected by these outbursts. For the determination of these áreas, the study area of approximately 79 kilometers was topographically characterized by transverse and longitudinal profiles with the help of a digital elevation model. After calibrating the hydraulic model parameters is possible to obtain more realistic results. Then, using the criteria adopted and assigning different levels of threat that could affect certain areas, the affected areas were determined some perhaps more relevant than others depending on their use, but making it clear that the threat exists independent of it.

In this report the results of hydraulic simulation of Biobío River, in the stretch between San Rosendo and mouth, are exposed. It proposes a methodology for achieving find possible areas threatened by flood, then the development of a map of these, so that the results will help to better planning of land use having an orderly and balanced development of the territory, avoiding and future loss of human lives and infrastructure.

Keywords: Flood, maps of threat, floodplain, maximum flow

1. INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones intensas pueden causar problemas de inundaciones debido al desequilibrio que se manifiesta en un momento y lugar dado el volumen hídrico a evacuar; en otras palabras la oferta del cauce se ve superada por la demanda del cauce. Además debe tenerse en cuenta que dicha demanda no está compuesta sólo por agua, sino también por los sedimentos que transporta y arrastra, cuya proporción respecto del volumen hídrico, sumado a las variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes, abarcando sectores ribereños y planicies de inundación (Ferrando, 2006).

Las planicies de inundación tradicionalmente se han usado para la agricultura pero a medida que pasa el tiempo, debido al alto costo del terreno en el sector urbano y al bajo precio en los sectores suburbanos, se cambia este uso muchas veces no apto para la construcción de viviendas y la ocupación humana. Además, es natural pensar que vivir en las cercanías de un río es atractivo para cualquier persona, ya sea por su paisaje o naturaleza presente, pero muchas veces por falta de información se posibilita la utilización de sectores ribereños exponiéndose al riesgo de inundaciones frecuentes y extremas que producen problemas sanitarios, de anegamiento y a la salud humana de las personas debido a la mala calidad del agua (Araya, 2000).

El área de estudio abarca un tramo del río Biobío desde San Rosendo a la desembocadura, donde se han registrado inundaciones importantes que afectan a las poblaciones ribereñas, habiendo costos humanos y materiales. Se pretende aportar en esta problemática debido a que no se ha actualizado la información acerca de la amenaza de los lugares en los cuales las personas están emplazando sus viviendas, es decir, sobre el peligro de habitar en planicies inundables y de los problemas futuros que podrían presentarse en los terrenos que habitarán.

El motivo de este trabajo no solo busca delimitar según distintos niveles de amenaza las áreas potencialmente afectadas por los desbordes del río Biobío, sino que además se pretende obtener una visión general de la distribución espacial de la amenaza por inundaciones, para así elaborar como resultado un mapa a escala provincial de las áreas amenazadas por inundación.

1.1 Justificación

En el año 2006 se registraron desbordes importantes en el río Biobío y en otros escurrimientos de la región. El desborde de este cauce, producto de las intensas precipitaciones, ha producido estragos en diversas comunas de la Región del Biobío, al dejar cientos de casas cubiertas por el agua, viviendas sepultadas por aluviones, miles de personas aisladas debido al corte de caminos y realizando planes de evacuación (Emol, 2006).

Para apoyar el desarrollo urbano, los planes reguladores de cada comuna deben incluir la amenaza por inundaciones. Por ello se requiere establecer las áreas potencialmente afectadas por desbordes del río Biobío para diferentes niveles de amenaza.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar las áreas de amenaza por inundación que podrían ser afectadas por el desborde del río Biobío, entre la confluencia del río Laja y la desembocadura, mediante el apoyo de Hec-Ras y un modelo digital de elevación para elaborar un mapa de áreas amenazadas por inundación a una escala provincial, incluyendo su nivel de amenaza.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar zonas de inundación del tramo en estudio.
- Establecer las zonas de inundación con niveles de amenaza por inundación.
- Elaborar un mapa de zonas amenazadas por inundación.

1.3 Alcances

Con la aplicación del modelo hidráulico se obtendrán los puntos máximos de escurrimiento y ejes hidráulicos para crecidas de diversos periodos de retorno; con esto se procede a la elaboración de un mapa de áreas amenazadas por inundación a escala de la Provincia de Concepción, entre San Rosendo, Santa Juana y la desembocadura. Las comunas que están dentro del área de estudio son Concepción, Hualpén, San Pedro, Coronel, Santa Juana, Hualqui, Chiguayante y San Rosendo. Esta herramienta sería muy útil, ya que además de actualizar la información existente de áreas amenazadas por inundación, en la elaboración del mapa no solo se analiza el efecto en áreas urbanas, sino también en áreas rurales que no cuentan con esta herramienta.

Cabe señalar que el modelo no es asociado a una crecida en particular; se determinan los caudales máximos instantáneos anuales para obtener los caudales para los distintos periodos de retorno. En el desarrollo del modelo hidráulico no se incluirán los puentes que unen San Pedro de la Paz y Concepción, ya que los resultados obtenidos no difieren de manera significativa.

1.4 Avances en el Tema

Actualmente en Chile los mapas de inundación son escasos y solo se encuentran en grandes ciudades. Por ejemplo para Concepción se creó un Plano Regulador de Concepción y Plano de Áreas Sensibles a Riesgos Naturales y Antrópicos (Ilustre Municipalidad de Concepción, 2003), y en San Pedro de la Paz se creó el Plano regulador Comunal (Ilustre Municipalidad de San Pedro de la Paz, 2010). Pero al ver imágenes de la inundación ocurrida el año 2006 se logra ver que este plano de áreas sensibles ya no es preciso a la fecha. Además se hace necesario incluir que tipo de amenaza por inundaciones se exponen ciertas zonas y cada cuanto tiempo es probable que vuelva a ocurrir el suceso.

En otros países se han elaborado estos planos que les han sido de gran ayuda para el caso de cascos urbanos consolidados ya que es una herramienta fundamental para la implantación de medidas de gestión y reducción del riesgo ya sea por la creación de normas de ocupación de suelo, donde por ejemplo según el nivel de amenaza, las construcciones existentes deben ser reforzadas o reubicadas a largo plazo.

Gracias a este tipo de estudios hoy en día los países desarrollados sobre todo europeos, se les permite al río inundar áreas que naturalmente debiera ocupar (Perales, 2011).

2. ANTECEDENTES

Debido a la longitud del río Bío-bío la ubicación del tramo en estudio es muy importante, evidenciando por ejemplo que tipo de clima le podría afectar, llevando de la mano el régimen que podría tener en el tramo de estudio. Por lo tanto una manera de emplazar el tramo de estudio y dar una aproximación a los límites de la zona se describe a continuación.

2.1 Ubicación

La cuenca del río Biobío forma parte de la Región del Biobío y la Araucanía. El tramo en estudio está comprendido entre los paralelos 36°48'50,48" – 37°16'24,80" Latitud Sur y los meridianos 72°43'38,83" - 73°10'06,57" Longitud Oeste (SINIA, 2006). Comprende parte de los territorios de las Provincias de Concepción y Biobío, como se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Vista satelital del tramo en estudio río Biobío.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2014)

2.2 Datos del Río Biobío

El río Biobío nace en la ribera oriental de la laguna Gualletué en la cordillera de los Andes. Atraviesa la llanura central y luego vacía sus aguas en San Pedro, al sector norte del golfo de Arauco en el Océano Pacífico; en las proximidades de Concepción (SINIA, 2006).

El tramo en estudio comienza en la provincia de Biobío en San Rosendo hasta su desembocadura en la provincia de Concepción, en San Pedro, alcanzando una longitud aproximada de 79 kilómetros.

En su desembocadura, el curso inferior del Biobío es muy ancho, de más de dos kilómetros frente a San Pedro. El caudal medio anual del río Biobío varía entre $30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ en su nacimiento, hasta casi $1000 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ en su desembocadura (SINIA, 2006).

2.3 Antecedentes de Inundaciones Anteriores

Durante los últimos años el río Biobío ha sufrido varios desbordes de importancia. El tramo en estudio, en el curso inferior del río Biobío su régimen es básicamente pluvial, sintiéndose apenas la influencia de los deshielos, o sea que depende directamente de las precipitaciones que caigan sobre su cuenca; tales desbordes fueron causados por temporales ocurridos en la zona. Entre los eventos importantes, se destacan los siguientes:

-Inundaciones Año 2000: Se desarrolló en torno al 6 de Junio, debiéndose a tres temporales seguidos, los cuales dejaron una cantidad de precipitación importante para el río Bío-bío socavando el camino entre Hualqui y Chiguayante. Debido a las intensas precipitaciones, medio centenar de familias resultó con sus viviendas seriamente dañadas donde el agua al interior de las casas llegó a más de 50 milímetros en las viviendas de la villa La Rivera, en Chiguayante (Emol, 2000).

-Inundaciones Año 2001: El evento se desarrolló los días 23, 24 y 25 de agosto. Se registró un total de 140 milímetros de agua caída en 48 horas (Inostroza, 2005). La ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior) adoptó las medidas para auxiliar a los damnificados del temporal al desbordarse los ríos Maule y Biobío.

En la agricultura se produjeron daños por inundaciones de cultivos, pérdida de obras de arte de riego, animales muertos, caminos cortados, aislamiento para sacar las cosechas. Las más afectadas fueron las poblaciones rurales que bordean el río Biobío en Hualqui (El Mercurio, 2001).

-Inundaciones Año 2002: El 25 de agosto se registraron 119 milímetros en 24 horas provocando el desborde de ríos en tres regiones del centro-sur de Chile (Inostroza, 2005). En Concepción, producto de fuertes temporales de lluvia y viento, quedaron más de 7.000 personas aisladas, 700

damnificados, caminos cortados y numerosas viviendas anegadas. En Hualqui, 285 viviendas de las poblaciones ribereñas Nueva Hualqui, República y 18 de Septiembre fueron completamente inundadas por el desborde del río Biobío. Las casas y calles se inundaron alcanzando el agua un metro de profundidad. En San Pedro de la Paz, además de inundaciones, se produjeron cortes de caminos en zonas ribereñas (Emol, 2002).

-Inundaciones año 2003: El aumento del caudal del río Biobío fue causado por las intensas precipitaciones caídas en la zona durante tres días. En 24 horas precipitaron 349 milímetros. Estas precipitaciones dejaron 16 mil personas afectadas, 7 mil aisladas y cerca de mil albergados y damnificados, siendo la Región del Biobío la más complicada debido a la crecida del río del mismo nombre, que llegó a alcanzar un caudal de 11.200 metros cúbicos por segundo. Tal situación provocó la inundación de tres poblaciones ribereñas en la comuna de Hualqui, dejando casi 900 personas afectadas y 80 albergadas en recintos municipales. Localidades sin comunicación terrestre, rutas cortadas, y miles de viviendas inundadas fueron el balance de la región del Biobío. La ONEMI decretó estado de alerta roja en todas las poblaciones ribereñas del río Biobío, debido al importante incremento del caudal de las aguas que obligaron a la evacuación de las poblaciones más vulnerables (El Mercurio, 2003).

- Inundaciones Año 2006: Desde el 10 de julio del año 2006 ocurrió el último evento importante donde la zona sur del país fue afectada por un intenso temporal de lluvia registrando un total de 260 milímetros en las últimas 36 horas produciéndose desbordamiento de ríos, inundaciones y deslizamientos, dejando a una persona fallecida en Chiguayante producto de un alud al borde del cerro del sector Villa La Piedra 1 (OPS, 2009). Debido a este evento se produjeron un total de 15 fallecidos, 2 desaparecidos y cuantiosos daños materiales, además de 36.704 damnificados según el Comité Regional de Emergencia. Por último, se inundó la vía férrea en el sector de Talcamávida y Buenuraqui, además en el sector de Leonera y Hualqui se provocaron problemas en 25 puntos de la vía férrea; 15 por desmoronamientos y 10 por socavamientos, lo que implica un costo de \$92 millones.

Por otra parte, también se vio afectado el sistema del SEC (Señalización, Electrificación y Comunicaciones), principalmente los cambios de la vía férrea, lo que implicó un costo de \$110 millones, suspendiéndose el servicio de Biotrén Corto Laja que la mayoría del trayecto lo hace

bordeando el río Biobío. La ONEMI declaró Alerta Amarilla a las Regiones de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins, de la Araucanía y de los Lagos, y la Roja, por decisión de la autoridad regional, las Regiones del Maule y del Biobío (Emol, 2006).

3. PROCEDIMIENTO DE MODELACIÓN

Para la caracterización topográfica de la zona de estudio, mediante perfiles transversales y longitudinales, se hace necesario contar con la información actualizada de las condiciones geométricas del cauce del río Biobío a lo largo de la extensión a analizar. La separación entre perfiles transversales se hará más continua en sectores poblados ribereños ubicados en curvas y rectas del río, aumentando gradualmente en sectores rectos no poblados y viceversa (figura 1). Para esto se contará con un modelo de elevación digital de terreno (S.R.T.M., 2000).

El objetivo de la modelación hidráulica es la determinación de los límites de las áreas de inundación. Por lo tanto, la variable a considerar y a variar en las simulaciones será el caudal. Para este estudio se considerará caudales correspondientes a crecidas con período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, no sin antes hacer la calibración del modelo hidráulico con la ayuda de cotas de inundación obtenidas mediante entrevistas a vecinos del lugar y fotografías (Gobierno Regional del Biobío, 2012).

En el caso de régimen no permanente, se debería considerar la variación del caudal en función del tiempo representada por el hidrograma de caudales de la crecida. Pero en este caso, tomando en cuenta que las inundaciones producidas son estáticas o lentas, se consideró régimen permanente, es decir, en el tramo en estudio, que presenta baja pendiente y velocidad, las inundaciones se producen debido a intensas precipitaciones, originando un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad de transporte, provocando que el río se salga de su cauce. Además, debido a la información existente, los caudales utilizados para las simulaciones corresponden al valor máximo de la crecida para así determinar los puntos máximos de escurrimiento.

Para llevar a cabo la simulación, el modelo hidráulico a utilizar fue el software Hec-Ras (U.S.A.C.E., 2014), donde se pudo obtener los puntos máximos de escurrimiento. Por último se desarrollaron los niveles de amenaza por inundaciones logrando evaluar las áreas potencialmente

afectadas, terminando como resultado con la elaboración de un mapa o plano de estas áreas amenazadas por inundación.

3.1 Cálculo de Caudal

Los caudales máximos instantáneos anuales se obtienen de los registros de la Estación río Biobío en Desembocadura proporcionados por el Banco Nacional de Aguas (BNA) de la DGA. Luego se realizó un análisis de frecuencia, para utilizar una función de distribución donde se eligió la que mejor se ajustó y así obtener los caudales para los distintos periodos de retorno. Éste análisis se desarrollará con el software llamado HidroEsta (I.T.C.R., 2014).

A partir de los datos entregados por la estación río Biobío en desembocadura, se realizó un análisis de frecuencia de los caudales de crecidas (Caudales Máximos Instantáneos) que permite completar y actualizar la estadística de caudales de crecidas. Se utilizó las funciones de distribución como Gumbel, log Pearson tipo III y Pearson Tipo III.

3.2 Topografía

Para obtener los perfiles transversales y longitudinales del tramo en estudio se utiliza como datos topográficos un Modelo Digital de Elevación (M.D.E.), que es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar. El M.D.E. a utilizar será el Shuttle Radar Topography Mission (S.R.T.M., 2000). Estos datos tienen 90 metros de resolución por píxel para Chile.

Los datos topográficos SRTM se ingresan al software Global Mapper (Blue Marble Geographics, 2014), el cual sirve para generar la superficie del tramo en estudio y así obtener los perfiles transversales y longitudinales, necesarios para después realizar la simulación del modelo hidráulico.

3.3 Modelo Hidráulico

El software HEC-RAS (Hydrologic Center-River Analysis System), a partir de datos topográficos y caudales, permite simular el comportamiento hidráulico del cauce (U.S.A.C.E., 2014).

Una hipótesis básica en la que el software se basa es que el flujo simulado debe ser unidimensional, es decir la única componente relevante de la velocidad que se considera es la componente que va en dirección del movimiento. Las otras, dirección vertical y transversal al movimiento, se consideran despreciables (Blade, E., et al., 2009).

En el modelo hidráulico el análisis del flujo será estacionario con caudal constante en todo el tramo. Como condición de borde la cota de agua se deberá dar en el extremo aguas abajo, aunque en este caso tratándose de que aguas abajo está la desembocadura del río, se considerará como condición de borde la altura crítica debido al equilibrio que se logra entre la altura de agua del mar y la del río, llegando a una energía específica mínima.

3.4 Calibración del Modelo.

Los parámetros de calibración del modelo son los coeficientes de rugosidad de los cauces y de las planicies de inundación. Dependiendo de las características de las planicies de inundación, podrá también ser necesario ajustar el ancho de las áreas de flujo efectivo de dichas secciones.

La calibración de los parámetros del modelo se realizará utilizando información de niveles de agua y caudal asociado a la inundación de Julio del año 2006; utilizando el máximo caudal de ese año registrado por la DGA. Luego con el modelo, se procede a simular dicho escenario y se varían los parámetros de calibración hasta obtener una buena concordancia. Es decir, en los distintos tramos se irá probando los n de Manning, de modo que los puntos máximos de escurrimiento simulados por el software Hec-Ras resulten lo más aproximado posible a los que se tienen en un registro de varios sectores ribereños pertenecientes al tramo en estudio del río Biobío. El registro se realizó en un proyecto del Gobierno Regional del Biobío (2012) mediante entrevistas a vecinos del lugar y fotografías. Las mediciones se obtuvieron por método de Sistema de posicionamiento global (GPS) que se exponen en la Tabla 1.

Con el modelo calibrado es posible simular las condiciones de flujo de situaciones diferentes a las conocidas. El modelo permitirá predecir para dichas situaciones los niveles de agua, y los límites de las áreas de inundación.

Tabla 1. Mediciones de Inundación, Julio de 2006.

Comuna	Sector	Coordenadas Geográficas	Fecha de inundación	Altura de inundación (m)
Hualqui	República de Hualqui	36°58'48.62804"S 72°56'29.93301"O	Julio de 2006	1,505
Chiguayante	Población Los Boldos	36°54'39.03124"S 73°02'04.42598"O	Julio de 2006	0,367
Hualqui	Nueva Hualqui	36°59'07.22286"S 72°56'45.37223"O	Julio de 2006	4,46
Hualqui	18 de Septiembre	36°59'16.72937"S 72°56'44.90738"O	Julio de 2006	2,19
Hualqui	Quilacoya	37°03'07.78166"S 72°57'44.06081"O	Julio de 2006	1,03

Fuente: Gobierno Regional del Biobío (2012).

3.5 Elaboración del Mapa de Amenaza por Inundaciones.

Para la elaboración del mapa de amenaza por inundaciones es necesario saber que la definición de amenaza está en función de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y de su intensidad. La intensidad a su vez se puede definir en función de la profundidad del agua. Por tanto, la definición de amenaza por inundaciones debe tener en cuenta, tanto la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la inundación, como los niveles o altura del agua (COSUDE, 2005). También, antes de realizarlo, se hace necesario establecer los criterios a utilizar para poder definir los niveles de amenaza por inundaciones.

Los criterios recomendados para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes en dependencia del tipo de inundación. Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo. Mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo. En este caso debido a las características del tramo en estudio, se considerará el caso de inundación estática; considera la profundidad o altura del flujo. Los umbrales entre los niveles de intensidad alta, media y baja, han sido definidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores. Los criterios adoptados han sido utilizados en el ámbito

internacional, en particular en países como España, Venezuela y Suiza, entre otros. En la Tabla 2 se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

La frecuencia o recurrencia de inundaciones o cada cuanto se inunda una determinada zona dependerá esencialmente de la frecuencia de precipitaciones excepcionalmente fuertes. Los períodos de retorno se establecieron en tres categorías que se muestran en la Tabla 3:

Tabla 2. Niveles de Intensidad.

Niveles de Intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (Inundaciones estáticas)
Alto	$H \geq 1$
Medio	$0,5 \leq H < 1$
Bajo	$0,25 \leq H < 0,5$

Fuente: COSUDE (2005).

Tabla 3. Niveles de Frecuencia.

Frecuencia	Periodo de Retorno en años (Tr)
Alta	Tr=10
Media	Tr= 50
Baja	Tr=100

Fuente: COSUDE (2005).

No se consideran períodos de retorno mayores a los 200 años, principalmente porque las series de datos fluviométricos que existen no son lo suficientemente extensas (< 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores (COSUDE, 2005).

Los niveles de amenaza por inundación, resultan de la relación entre frecuencia de las inundaciones y su intensidad, es decir, su profundidad. Esta forma de evaluar la amenaza es comúnmente usada en países como Australia, Estados Unidos, Suiza y Nicaragua (COSUDE, 2005). Para definir los niveles de amenaza por inundación, se utilizaron las alturas promedio de las zonas determinadas de cada periodo de retorno. Los niveles de amenaza por inundación se pueden ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles de Amenaza por Inundación.

Intensidad	Alta ≥ 1 m	Alta	Alta	Alta
	Media $0,5 \leq H < 1$ m	Alta	Media	Baja
	Baja $0,25 \leq H < 0,5$	Media	Baja	Baja
		Alta Tr = 10	Media Tr = 50	Baja Tr = 100
Frecuencia				

Fuente: COSUDE (2005).

El conocimiento de las zonas con diferentes niveles de amenaza, es utilizado en los procesos de ordenamiento y planificación territorial para apoyar el desarrollo urbano. Por ello deben representar el uso que se le puede dar y los daños potenciales a que ese uso estaría expuesto, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Significado del Mapa de Amenaza por Inundaciones.

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

Fuente: COSUDE (2005).

4. RESULTADOS

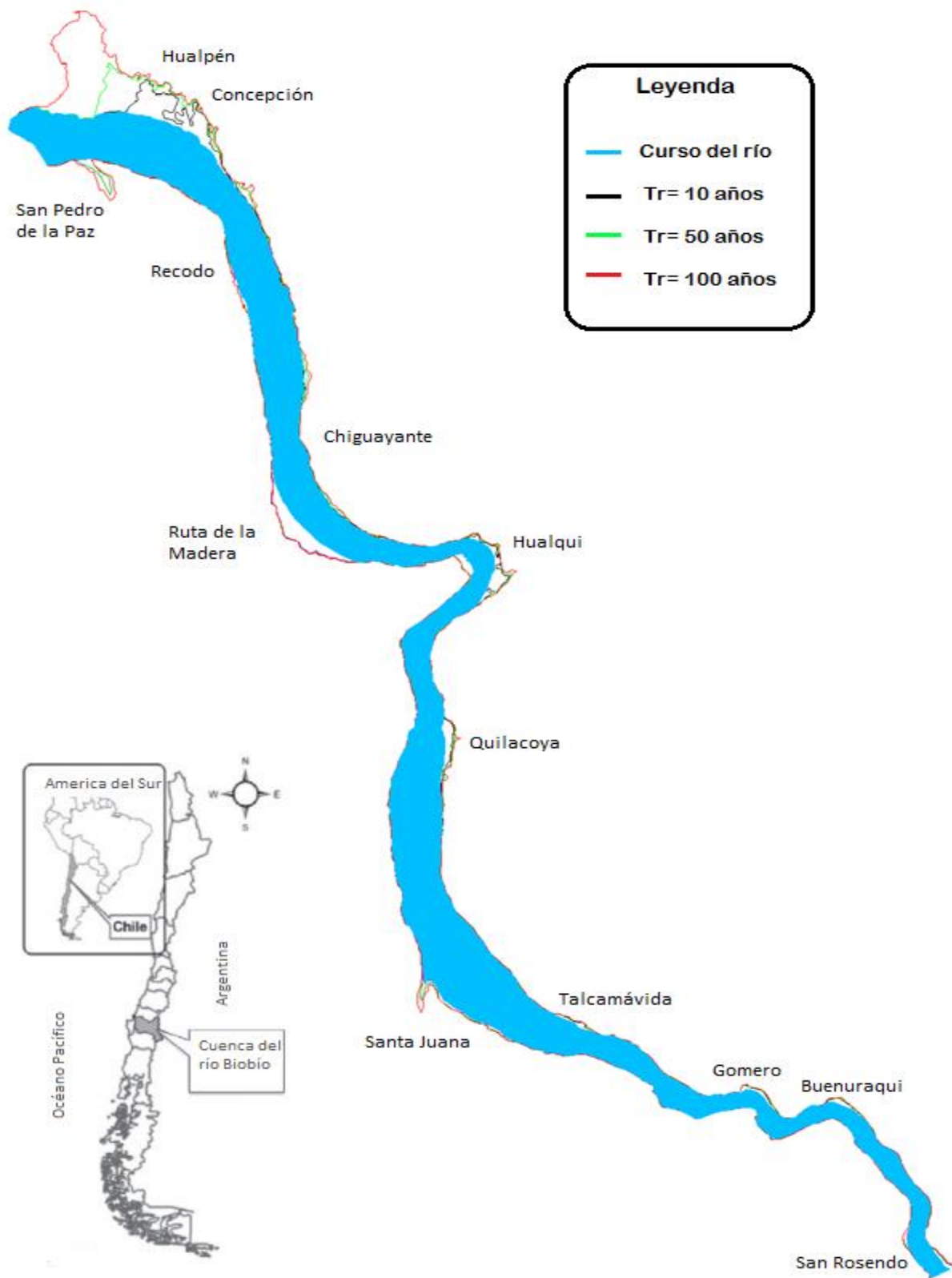


Figura 2. Límites de zonas inundables para distintas frecuencias.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se muestran los límites de las zonas inundables de cada frecuencia utilizada, según los criterios definidos en la tabla 4 para asignar el nivel de amenaza por inundación.

4.1 Áreas Potencialmente Afectadas por Amenaza de Inundación

Una gran zona inundada, de unos 10 km², se ubica al oeste de Hualpén donde se ve afectada la refinería y otras industrias. Otra área inundada se coloca entre Hualpén y Concepción. Ambas zonas (figura 2) presentan un nivel de amenaza por inundación alto, donde uno de los principales problemas de éstas es el sistema de drenaje de agua debido a la topografía del lugar.

El estero de Los Batros y las zonas bajas adyacentes, situadas al oeste de San Pedro de la Paz, reciben los remansos del río Biobío, exponiéndose a un nivel de amenaza por inundación medio. Por otra parte situaciones similares son posibles identificar entre los puentes Chacabuco y Llacolén (figura 2). En el sector Recodo de San Pedro de la Paz se logra identificar una angosta pero larga zona que presenta un nivel de amenaza por inundación alto, como se ilustra en la figura 3.

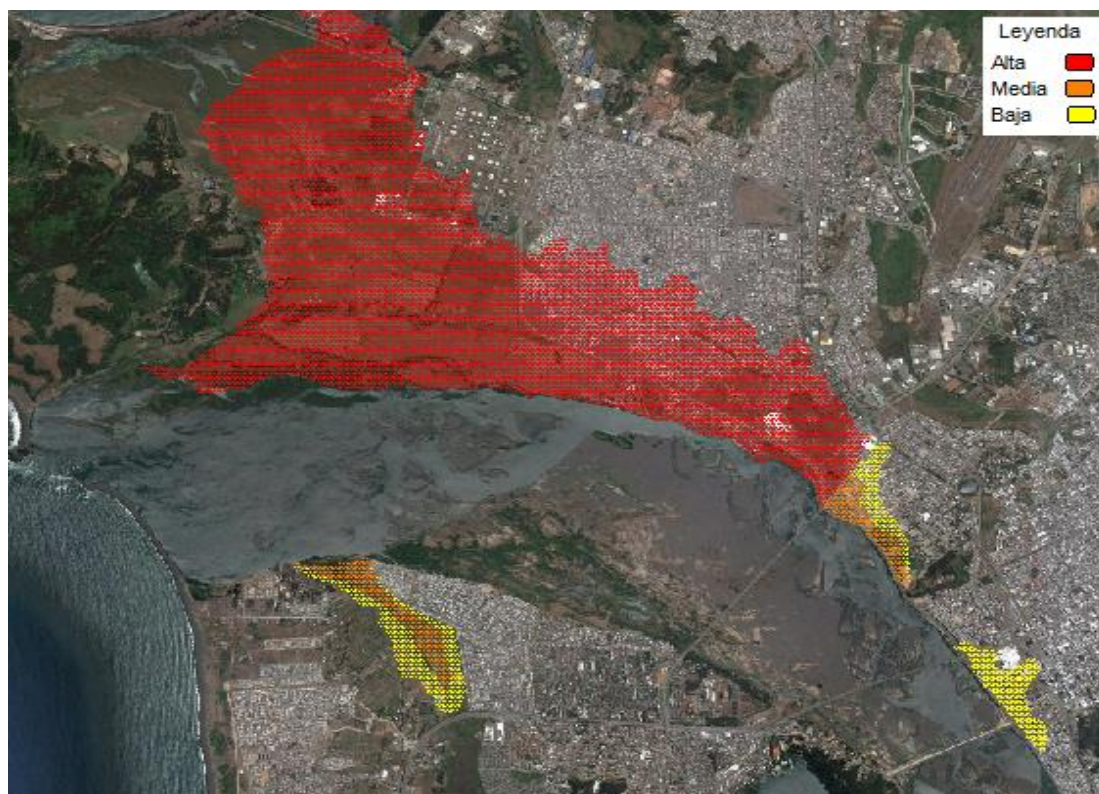


Figura 2. Zonas Inundables en Hualpén, Concepción y San Pedro.

Fuente: Elaboración propia

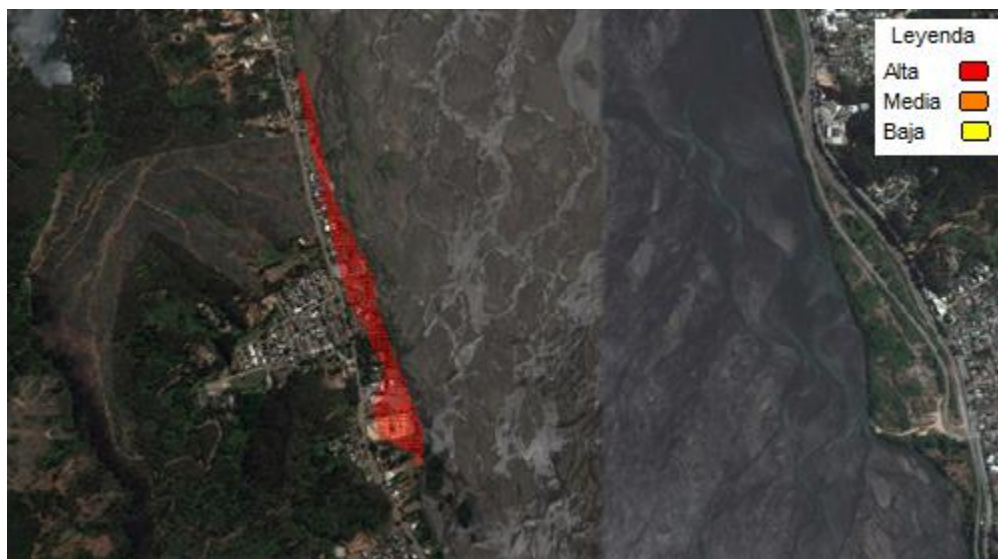


Figura 3. Zonas Inundables en el sector El Recodo de San Pedro de la Paz.

Fuente: Elaboración propia

En la entrada norte de Chiguayante se encuentra una zona con baja cota de terreno que se encuentra expuesta a un nivel de amenaza por inundación medio y bajo (figura 4).



Figura 4. Zonas inundables en Chiguayante.

Fuente: Elaboración propia

En la parte sur de Chiguayante se puede observar una zona con un nivel de amenaza de inundación medio. Al oeste una extensa área parte del tramo del camino de la ruta de la madera de aproximadamente 3,5 kilómetros de longitud, se expone a un nivel de amenaza por inundación alto. Todo lo anterior se puede observar en la figura 5.



Figura 5. Zonas inundables en ruta de la madera y zona sur de Chiguayante.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 es posible ver amplias zonas de inundación en Hualqui, alcanzando zonas de plantaciones y caminos con un nivel de amenaza de inundación alto, al igual que al lado del río frente a Hualqui. Un hecho importante es que Hualqui está ubicado frente a un tramo del río con una fuerte sinuosidad lo que lo expone a una mayor probabilidad de inundación.



Figura 6. Zonas inundables en Hualqui.

Fuente: Elaboración propia

En el sector de Quilacoya una parte importante de viviendas, además de un tramo de la línea férrea de aproximadamente 1,7 kilómetros y zonas de plantaciones, se exponen a un nivel de amenaza por inundación alto (figura 7).



Figura 7. Ilustración de zonas inundadas en Quilacoya.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se puede ver que la zona de acceso a Santa Juana ubicada al noroeste de ésta, presenta un nivel de amenaza por inundación medio no afectando el acceso, y una zona con un nivel de amenaza por inundación alta, la cual afecta el ingreso e inunda parte del camino de unos 1,4 kilómetros aproximadamente. Ya en Santa Juana una pequeña zona ribereña presenta un nivel de amenaza por inundación alto. Frente a ésta, en el sector de Talcamávida, una zona ribereña de similares dimensiones se expone a un nivel de amenaza por inundación bajo y alto. Este último bordea tanto la línea férrea como la ruta tal como ocurrió el año 2006.



Figura 8. Zonas inundables en Santa Juana y Talcamávida.

Fuente: Elaboración propia

En un tramo con fuerte sinuosidad se encuentra el sector de Gomero como se puede ver en la figura 9 y Buenuraqui en la figura 10. En ambas la zona con nivel de amenaza por inundación bajo y alto exponen a que partes del camino de las vías férreas sean inundadas.



Figura 9. Zonas inundables en Gomero.

Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Zonas inundables camino a Buenuraqui.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se puede observar una extensa área al noroeste de San Rosendo con un alto nivel de amenaza por inundación, donde zonas de plantaciones se exponen a inundaciones. Por otra parte al inicio del tramo de estudio se encuentra San Rosendo presentando en su zona más ribereña un nivel de amenaza por inundación bajo, y adentrándose hacia las zonas más habitadas un nivel de amenaza por inundación alto.

El mapa de áreas amenazadas por inundación donde se ilustran todos estos resultados se encuentra disponible en el archivo adjunto en el cd.



Figura 11. Zonas inundables en San Rosendo.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis y Discusión de Resultados

En términos globales, la superficie inundable total con una amenaza apreciable es de aproximadamente de 19,3 km². De esta superficie solo 7 km² tienen uso urbano lo que da una idea del impacto social del problema.

Con los resultados obtenidos y después de haber utilizado tres niveles de amenaza, con combinación de tres frecuencias y tres intervalos de alturas alcanzadas; se hizo la delimitación en el mapa de las zonas amenazadas por inundación. Se encontró zonas con amenaza baja como San Rosendo, Chiguayante, Concepción, además de las localidades Talcamávida, Gomero y Buenuraqui. Si bien son zonas aptas para asentamientos, la población debe ser sensibilizada ante la existencia de amenazas moderadas y poco probables, de manera que adapten un comportamiento adecuado ante este tipo de amenazas.

Las zonas que se exponen a una amenaza media son Los Batros, una parte norte y sur de Chiguayante, al noroeste de Santa Juana y dos zonas en Concepción; una al costado del puente Juan Pablo II y la otra entre los puentes Llacolén y Chacabuco. En estas zonas, siempre y cuando

existan y se respeten las reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiados, se podría permitir la expansión y densificación de asentamientos humanos. Las construcciones que no cumplan con lo antes descrito se les recomienda ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.

Por último las zonas que se exponen a una amenaza alta, no son aptas para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos. Se recomienda a las zonas edificadas ser reubicadas a largo plazo o protegidas con obras de protección. De no ser así existen otras opciones como de alerta temprana y evacuación temporal. Las zonas localizadas con amenaza alta son Hualpén, Recodo, Hualqui, Quilacoya, Santa Juana, Talcamávida, Gomero, Buenuraqui y San Rosendo.

En tramos curvos del río como Hualqui, Chiguayante y Hualpén, al aumentar el ancho del río la velocidad disminuye, pudiendo ser apreciable en los ejes hidráulicos obtenidos (anexos B.1).

Es necesario indicar que los datos del M.D.E. utilizado tiene 90 metros de resolución por pixel, por lo que si bien permite determinar las zonas amenazadas por inundación a la escala provincial que se trabajó, para realizar una delimitación mas local en cada zona inundable sería recomendable utilizar una topografía con mayor resolución.

Cabe recordar que las inundaciones pueden afectar desde costos humanos hasta daños materiales. Es por esto que se deben tomar los resguardos necesarios. Una inundación no se presenta como tal, hasta que afecta a las personas o actividades económicas. Una forma de prevenir antes de lamentar es informar a la gente de sectores ribereños; que a medida que pasa el tiempo siguen emplazando sus viviendas en estos lugares que tienen una amenaza latente. Por ello prevenir una inundación se convierte en un manejo de amenazas, y esto se aplica directamente a los periodos de retorno. Realizando este tipo de estudios se pretende apoyar el desarrollo urbano, realizándolo ordenado y de la mejor manera posible.

Siempre lo mejor es apuntar a permitir al río inundar áreas que naturalmente debiera ocupar, es por ello la importancia de los mapas de inundación. No hay que olvidar que la prevención es más económica que la respuesta al desastre.

5. CONCLUSIONES

La metodología empleada permitió determinar las áreas de inundación. Al caracterizar topográficamente la zona de estudio, destacó lo sinuoso del tramo, afectando al talweg en zonas como por ejemplo Hualqui, Concepción, Hualpén, donde la parte más profunda del río se acercaba a la ribera externa de la curva. Esta característica del tramo también deriva en que al aumentar el caudal del río, las zonas sean más propensas a inundarse, esto debido a su morfología. También a causa de la morfología del río, en el trazado de las secciones transversales y longitudinales, hubo diferencias claras en vista de las variaciones del ancho del río.

La calibración de los parámetros del modelo se realizó con el evento más relevante de los últimos años, de manera que permitiera poder simular distintos escenarios y obtener resultados lo más reales posibles.

Una forma de definir los criterios de amenaza por inundaciones fue adoptando los resultados de un proceso de estandarización de criterios donde se recopiló e integraron las ideas, experiencias y aportes de especialistas de diversas instituciones. Con estos criterios fue posible asignar las distintas definiciones de peligrosidad o amenaza que pudiese afectar en ciertas zonas.

En el estudio se determinaron muchas zonas inundables con diferentes niveles de amenaza, donde resaltan las que abarcan mayor superficie como Hualpén, Concepción, Hualqui, San Pedro, San Rosendo y un tramo del camino de la Ruta de la Madera. También zonas de menor relevancia como Gomeró, Buenuraquí, una zona al noroeste de San Rosendo, otra frente a Hualqui y al oeste de Hualpén; donde no existen asentamientos humanos pero sí caminos y plantaciones que pudiesen verse amenazados. Cabe destacar la importancia del área de inundación en tramos sinuosos del río como por ejemplo Hualqui, donde el ancho del río es igual o mayor al área de inundación colindante en ese sector.

Como recomendación, si se quisiera obtener una mejor distribución de las zonas amenazadas por inundación, se podrían asignar los niveles de amenaza por inundación a cada periodo de retorno; de esta forma no se trabajaría con la altura promedio de inundación. Para obtener mejores resultados en el sector de la desembocadura, se requiere un estudio más local que la escala provincial a la que se trabajó, además de considerar las distintas condiciones de la marea que podrían presentarse.

Algo muy importante es que independientemente existan o no asentamientos humanos, caminos, plantaciones etc., la amenaza siempre existirá, y se espera con anticipación apuntar a informar la

amenaza que existe en sectores que si bien no son tan relevantes hoy en día, se puedan tomar las precauciones necesarias antes de tomar una decisión de expansión urbana u otra actividad en aquellas zonas.

BIBLIOGRAFÍA

Araya, I. (2000). Vulnerabilidad de la zona urbana de Concepción aledaña al río Andalién, en relación al riesgo por inundación. Proyecto de Título. Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Chile.

Blade, E., Sánchez, M., Sánchez, J. H. y Gómez, D. N., (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. [Libro electrónico]. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible desde: <<http://es.scribd.com/doc/225625426/BLAD-Modelacion-Numerica-en-Rios-en-Regimen-Permanente-y-Variable-Blade-Et-Al>> [Accesado en Julio de 2014].

Blue Marble Geographics, (2014). Global Mapper. [Programa informático]. Disponible en: <www.globalmapper.com> [30 de Junio 2014].

COSUDE (2005). Inundaciones fluviales y mapas de amenazas, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación [En línea], Disponible desde: <<http://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarn/inundaciones.pdf>> [Accesado en Julio de 2014].

El Mercurio (2003). Alerta roja por inundaciones [En línea], Disponible desde: <<http://diario.elmercurio.com/detalle/index.asp?id={c8bdb3be-ae59-4203-9510-47e298224a50}>> [Accesado en Mayo de 2014].

El Mercurio (2001). Consecuencias de un invierno que se adelantó [En línea], Disponible desde: <<http://diario.elmercurio.com/detalle/index.asp?id={454f2ecc-438f-44af-a51c-caa83e77e851}>> [Accesado en Mayo de 2014].

Emol (2000). Medio centenar de familias damnificadas en Chiguayante [En línea], Disponible desde: <<http://www.emol.com/noticias/nacional/2000/08/07/28658/medio-centenar-de-familias-damnificadas-en-chiguayante.html>> [Accesado en Junio de 2014].

Emol (2002). Comunas de la VIII Región inundadas por desborde del Biobío [En línea], Disponible desde: <<http://www.emol.com/noticias/nacional/2002/08/25/93243/comunas-de-la-viii-region-inundadas-por-desborde-del-biobio.html>> [Accesado en Mayo de 2014].

Emol (2006). Temporal causa daños por \$500 millones en infraestructura ferroviaria [En línea], Disponible desde: <<http://www.emol.com/noticias/nacional/2006/07/13/225130/temporal-causa-danos-por-500-millones-en-infraestructura-ferroviaria.html>> [Accesado en Mayo de 2014].

Emol (2006). Desborde del Bío Bío causa estragos en la Octava Región [En línea], Disponible desde: <<http://www.emol.com/noticias/nacional/2006/07/12/224940/desborde-del-bio-bio-causa-estragos-en-la-octava-region.html>> [Accesado en Mayo de 2014].

Ferrando, F. J. (2006). FAU Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Revista de Urbanismo, Vol 15, pp.26-27. [En línea], Disponible desde: <<http://www.revistas.uchile.cl/index.php/RU/article/viewFile/5129/5011>> [Accesado en Mayo de 2014].

Gobierno Regional del Biobío. (2012). Proyecto: Análisis de la amenaza de inundación por desborde de cauce en los principales cursos de agua de la Región del Biobío, Elaborado por: Álvaro Suazo Schwencke.

Google Earth (2014). Tramo del río Bío-bío en estudio entre 36 ° 48'50 .48 "S y 37 ° 16'24 .80 "S, entre 73 ° 10'06 .57" O y 72 ° 43'38 .83"O. Imagen satelital. Disponible a través de: <<http://www.google.com/earth>> [Accesado en Junio de 2014].

Ilustre Municipalidad de Concepción. (2003). Plano Regulador Metropolitano del Gran Concepción [En línea], Disponible desde: <<http://www.concepcion.cl/plan-regulador/>> [Accesado en mayo de 2014].

Ilustre Municipalidad de San Pedro de la Paz. (2010). Plan Regulador Comunal San Pedro de la Paz [En línea], Disponible desde: <http://sanpedrodelapaz.cl/wp-content/uploads/2013/10/plano_regulador.jpg> [Accesado en Junio de 2014].

Inostroza, A. (2005). Crecidas en el Andalién bajo: análisis hidráulico de las intervenciones en su planicie de inundación. Memoria de Título. Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Chile.

I.T.C.R., (2014). HidroEsta. [Programa informático]. Disponible en: <<http://civilgeeks.com/2012/08/10/descargar-programa-para-calculos-hidrologicos-hidroesta/>> [el 30 de Junio 2014].

OPS. (2009). Emergencias y desastres en Chile, Organización Panamericana de la Salud OPS [En línea], Disponible desde: <http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/chile_emergencia.htm> [Accesado en Agosto de 2009].

Perales, S. (2011). Mapas de peligrosidad por inundación pluvial: herramienta y casos de estudio [En línea], Disponible desde: <<http://planifica.org/docs/articulos/valencia.pdf>> [Accesado en mayo de 2014].

SINIA Sistema Nacional de Información Ambiental (2006). Antecedentes generales de la cuenca y fundamentación [En línea], Disponible desde: <http://www.sinia.cl/1292/articles-50925_ExpeNSCABiobio4.pdf> [Accesado en Mayo de 2014]>.

S.R.T.M., (2000). Shuttle Radar Topography Mission. [Archivos]. Disponible en: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>> [el 30 de Junio 2014].

U.S.A.C.E., (2014). Hec-Ras. [Programa informático]. Disponible en: <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/downloads.aspx>> [el 2 de Julio 2014].

ANEXOS

ANEXO A: Cálculos y Antecedentes

A.1 Caudales Máximos Instantáneos Anuales

Tabla 6. Caudales Máximos Instantáneos Anuales, río Bío-bío en Desembocadura [m³/s].

Año	Caudal Máximo	Año	Caudal Máximo	Año	Caudal Máximo
1970	1.325,6	1988	4.443,13	2002	11.124,11
1971	6.126	1989	8.070,36	2003	12.041,13
1972	13.109,6	1990	5.727,12	2004	3.587,79
1973	5.028,4	1991	12.391,26	2005	8.336,02
1974	9.209,8	1992	8.411,78	2006	16.261,28
1975	6.398	1993	8.600	2007	2.482,04
1976	5.435,6	1994	8.465	2008	5.864,1
1977	1.049	1995	5.886	2009	4.490,73
1982	7.082,93	1996	2.938,06	2010	3.180,11
1983	11.081,61	1997	8.773,67	2011	3.845,62
1984	7.040	1998	1.997,43	2012	5.611,04
1985	8.271,01	1999	4.147,21	2013	3.482,41
1986	10.392,6	2000	9.058,07		
1987	5.379,04	2001	10.661,26		

Fuente: D.G.A. (2014).

A.2 Análisis de frecuencia

La función que mejor se ajustó, en este caso fue Pearson Tipo III, como se puede observar en la Figura 2, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 2.

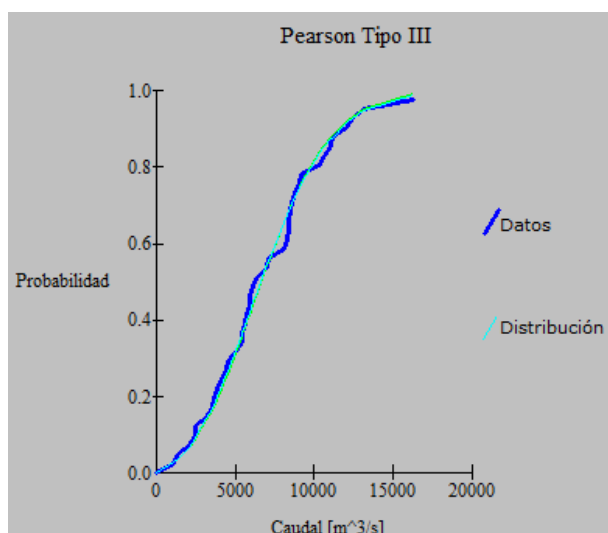


Figura 12. Ajuste Distribución de Probabilidad de Datos de Crecida.

Fuente: HidroEsta, Elaboración Propia.

Tabla 7. Resultados Caudales de Crecida, Análisis Datos DGA.

T [año]	Estación río Bío-bío en Desembocadura [m^3/s]
2	6.633,12
5	9.748,83
10	11.537,35
25	13.569,66
50	14.951,61
100	16.239,87
200	17.453,31

Fuente: Elaboración Propia.

A.3 Calibración del Modelo

Tabla 8. Resumen Resultados de Calibración.

Zona	Variabilidad n de Manning	
	Desde	Hasta
Canal principal	0,022	0,2
Llanura de inundación izquierda	0,1	0,28
Llanura de inundación derecha	0,1	0,28

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO B: Resultados

B.1 Ejes Hidráulicos para periodos de retorno 10, 50 y 100 años.

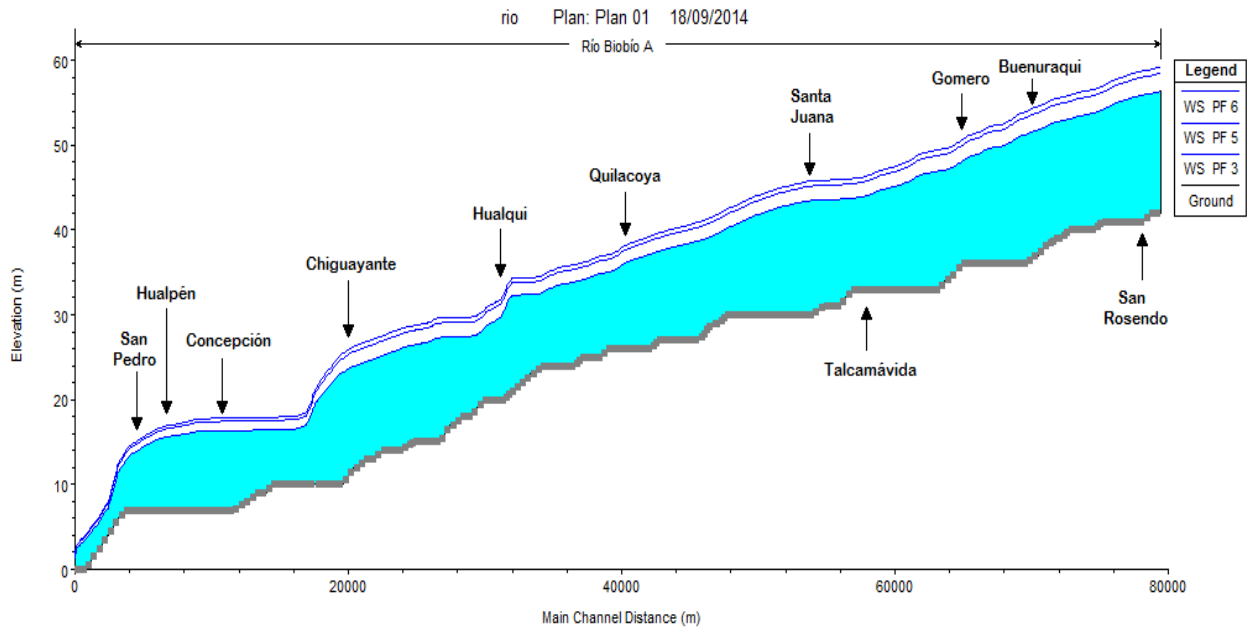


Figura 13. Ejes Hidráulicos.

Fuente: Elaboración Propia.

B.2 Resultados Mapa de Amenaza por Inundaciones

Tabla 9. Nivel de Amenaza por Inundación Asociado al Periodo de Retorno y Alturas Promedio.

Lugar	Nivel de amenaza por inundación	Periodo de retorno (Tr=años)	Altura Promedio de Inundación (metros)
Hualpén	Alto	Tr= 50, 100	3,1
Concepción	Medio	Tr= 10	0,45
	Bajo	Tr= 50	0,35
	Bajo	Tr= 100	0,7
Los Batros	Medio	Tr= 50	0,52
	Bajo	Tr= 100	0,6
Entre puentes Chacabuco y Llacolén	Bajo	Tr= 50	0,39
	Bajo	Tr= 100	0,78
El Recodo	Alto	Tr= 50, 100	1,15
Zona norte Chiguayante	Medio	Tr= 50	0,5
	Bajo	Tr= 100	0,48
Zona frente a parte sur de Chiguayante	Alto	Tr= 10, 50, 100	3
Zona sur Chiguayante	Bajo	Tr= 50	0,4
	Bajo	Tr= 100	0,53
Zona frente a Hualqui	Alto	Tr= 50, 100	3,8
Hualqui	Alto	Tr= 10, 50, 100	2,3
Sector Quilacoya	Alto	Tr= 10, 50, 100	1,5
Zona al noroeste de Santa Juana	Medio	Tr= 10	0,45
	Alto	Tr= 50, 100	3,6
Santa Juana	Alto	Tr= 50, 100	1,77
Talcamávida	Medio	Tr= 10	0,3
	Medio	Tr= 50	0,9
	Bajo	Tr= 100	0,93
Gomero	Medio	Tr= 10	0,45
	Alto	Tr= 50, 100	1,3
Camino a Buenuraqui	Medio	Tr= 10	0,4
	Alto	Tr= 50, 100	1,35
Zona al noroeste de San Rosendo	Alto	Tr= 50, 100	3,5
San Rosendo	Medio	Tr= 10	0,3
	Alto	Tr= 50, 100	3,33

Fuente: Elaboración Propia.

