



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**ANÁLISIS HISTÓRICO DE LAS CRECIDAS DEL RÍO
ANDALIÉN Y SU IMPACTO EN LA ZONA URBANA
DE PUCHACAY, CIUDAD DE CONCEPCIÓN,
REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Diego Alonso Utreras San Martín

Profesor Patrocinante: Dr. Jorge Andrés Quezada Flory

Profesores Comisión: Dr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Dr. Mauricio Esteban Espinoza Vargas

Concepción, 2024.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVO.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3. UBICACIÓN Y ACCESO.....	3
1.4 TRABAJOS PREVIOS.....	4
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	4
1.5.1 Búsqueda en Base de Datos.....	4
1.5.2 Recopilación Información Histórica.....	5
1.5.3 Construcción de Simulaciones.....	5
1.6. AGRADECIMIENTOS.....	5
2.MARCO GEOLÓGICO.....	7
2.1.Marco Geotectónico.....	7
2.2.Unidades Litológicas.....	7
2.2.1.Rocas Ígneas.....	7
2.2.1.1. <u>Granitoide de Concepción</u>	7
2.2.2.Rocas Sedimentarias.....	8
2.2.2.1. <u>Formación Quiriquina</u>	8
2.2.2.2. <u>Formación Cosmito</u>	9
2.2.2.3. <u>Formación Andalién</u>	10
2.2.3.Depósitos No Consolidados.....	11
2.2.3.1. <u>Arenas del río Biobío</u>	11
2.2.3.2. <u>Arenas de dunas y limos asociados</u>	11
2.2.3.3. <u>Arena Coluvial</u>	12
2.2.3.4. <u>Arena Andalién</u>	13
2.2.3.5. <u>Relleno Artificial</u>	13
2.3.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	14
2.4.HISTORIA GEOLÓGICA.....	16
3.MARCO TEÓRICO.....	18
3.1.HIDROGEOLOGÍA.....	18
3.1.1.Porosidad Eficaz.....	18
3.1.2.Columna de Agua.....	18
3.1.3.Acuíferos.....	18
3.1.4.Río Andalién.....	19
3.1.5.Cuenca Andalién.....	19
3.2.CONCEPTOS ECOLÓGICOS.....	20
3.2.1.Uso de Suelo.....	20

3.2.2.Coeficiente de Rugosidad.....	20
4.METODOLOGÍA.....	21
4.1.BÚSQUEDA EN BASE DE DATOS.....	21
4.1.1.Mapas Antiguos.....	21
4.1.2.Actas Municipales y Diarios Anteriores a 1920	21
4.1.3.Datos de Precipitaciones.....	22
4.2.RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA.....	22
4.2.1.Información Bibliográfica.....	22
4.2.1.1.Búsqueda en actas municipales.....	23
4.2.1.2.Búsqueda en diarios 1990-2021.....	23
4.2.1.3.Búsqueda en diarios 1966-1989	23
4.2.2. Entrevista a persona de Villa Nonguén.....	24
4.3.CONSTRUCCIÓN DE SIMULACIONES.....	24
4.3.1.Construcción de Base de Datos.....	24
4.3.2.Digitalización de Mapas.....	25
4.3.3.Reconstrucción Urbana de Puchacay.....	25
4.3.3.1.Reconstrucción 1960-1967.....	27
4.3.3.2.Reconstrucción 1967-1974.....	27
<i>A.Curvas de Nivel.....</i>	<i>27</i>
<i>B.Coeficiente de rugosidad.....</i>	<i>27</i>
4.3.3.3.Reconstrucción 1974-1987.....	28
<i>A.Curvas de Nivel.....</i>	<i>28</i>
<i>B.Coeficiente de rugosidad.....</i>	<i>28</i>
4.3.3.4.Reconstrucción 1987-1997.....	28
<i>A.Curvas de Nivel.....</i>	<i>28</i>
<i>B.Coeficiente de rugosidad.....</i>	<i>29</i>
4.3.3.5 Reconstrucción 1997-2002.....	29
<i>A.Curvas de Nivel.....</i>	<i>29</i>
<i>B.Coeficiente de rugosidad.....</i>	<i>30</i>
4.3.3.6 Reconstrucción 2002-2006.....	30
<i>A.Curvas de Nivel.....</i>	<i>30</i>
<i>B.Coeficiente de rugosidad.....</i>	<i>31</i>
4.3.4.Construcción de Ráster DEM.....	31
4.3.5.Modelamiento de Inundaciones.....	32
4.3.5.1.Datos de Topografía y coeficiente de rugosidad.....	32
4.3.5.2.Datos de caudal y flujo.....	33
<i>A. Condiciones de entrada y salida para simulaciones 1969-2001.....</i>	<i>33</i>
<i>B. Condiciones de entrada y salida para simulaciones 2002-2006.....</i>	<i>34</i>
4.3.5.3.Datos de precipitaciones.....	35
4.3.5.4.Intervalo de calculo de la simulación.....	35
5.RESULTADOS.....	36
5.1.Construcción de Dato de Precipitaciones.....	36
5.1.1.Inundación 1969.....	36

5.1.2.Inundación 1974.....	36
5.1.3.Inundación 1987.....	37
5.1.4.Inundación 1988.....	38
5.1.5.Inundación 2000.....	38
5.1.6.Inundación 2001.....	39
5.1.7.Inundación 2002.....	40
5.1.8.Inundación 2006.....	41
5.2.CORRECCIÓN DE INUNDACIONES.....	42
5.2.1.Inundación 1969.....	42
5.2.2.Inundación 1974.....	43
5.2.3.Inundación 1987.....	44
5.2.4.Inundación 1988.....	44
5.2.5.Inundación 2000.....	46
5.2.6.Inundación 2001.....	46
5.2.7.Inundación 2002.....	47
5.2.8.Inundación 2006.....	47
5.3.PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	48
5.3.1.Definición Parámetros de la Inundación.....	48
5.3.1.1.Inundación 1969.....	49
5.3.1.2.Inundación 1974.....	49
5.3.1.3.Inundación 1987.....	49
5.3.1.4.Inundación 1988.....	49
5.3.1.5.Inundación 2000.....	49
5.3.1.6.Inundación 2001.....	55
5.3.1.7.Inundación 2002.....	55
5.3.1.8.Inundación 2006.....	55
5.3.2.Definición Zona Inundable.....	61
6.DISCUSIÓN.....	63
6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	66
6.2. ANÁLISIS INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	66
6.2.1. Análisis de Actas Municipales.....	66
6.2.2. Análisis Diarios y Datos de Precipitaciones	67
6.3.ANÁLISIS SIMULACIONES REALIZADAS EN HEC-RAS.....	68
6.3.1. Análisis 2000 y 2001 y Análisis 2000 y 2001 Corregidos.....	68
6.3.2. Comparación Inundación 2006 y Datos Reales.....	69
6.3.3. Comparación Inundaciones 1969 y 1987.....	69
6.3.4.Comparación Inundaciones 1987 Corregido y 1988.....	71
6.3.5. Comparación Inundaciones 1988 y 2002.....	72
6.3.6. Comparación Inundaciones 1974 y 2006.....	75
6.4. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES.....	76
7.CONCLUSIONES.....	78
8.REFERENCIAS.....	81
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1. Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.....	3
2. 1. Mapa geológico del área de estudio.....	15
4. 1. Menú principal software HEC-RAS 6.3.1.....	32
5. 1. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1969.....	37
5. 2. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1974.....	37
5. 3. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1987.....	38
5. 4. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1988.....	39
5. 5. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2000.....	40
5. 6. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2001.....	40
5. 7. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2002.....	41
5. 8. Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2006.....	42
5. 9. Mapa superficie inundada para el año 1969.....	50
5. 10. Mapa superficie inundada para el año 1974.....	51
5. 11. Mapa superficie inundada 1987 a partir de la simulación.....	52
5. 12. Mapa superficie inundada para 1987 corregido.....	53
5. 13. Mapa superficie inundada 1988 a partir de la simulación.....	54
5. 14. Mapa superficie inundada 2000 a partir de la simulación.....	55
5. 15. Mapa superficie inundada año 2000 corregido.....	56
5. 16. Mapa superficie inundada a partir de simulación del año 2001.....	57
5. 17. Mapa superficie inundada corregida correspondiente al año 2001.....	58
5. 18. Mapa superficie inundada para el año 2002.....	60
5. 19. Mapa superficie inundada año 2006 entregado por la simulación.....	61
5. 20. Mapa superficie inundada año 2006 corregida.....	62
5. 21. Presentación de resultados de la superficie inundada.	63
5. 22. Mapa zona inundable del área de estudio.....	64
6. 1. Comparación entre inundación 1969 y 1987 corregido.....	69
6. 2. Comparación entre inundación 1987 corregido y 1988.....	71
6. 3. Comparación entre inundación 1988 y 2002.....	72
6. 4. Comparación entre inundación 1974 y 2006 corregido.....	74
7. 1. Mapa de peligro geológico.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

4.	1. Puntos de referencia para la georreferenciación de mapas antiguos.....	25
4.	2. Coeficientes de rugosidad de materiales, modificación manual HEC-RAS.....	26
5.	1. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1969.....	43
5.	2. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1974.....	44
5.	3. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1987.....	45
5.	4. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1988.....	45
5.	5. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2000.....	46
5.	6. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2001.....	47
5.	7. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2002.....	47
5.	8. Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2006.....	48
5.	9. Resultados periodo 1969 a 2000.....	63
5.	10. Resultados periodo 2000 a 2006.....	63
6.	1. Tabla comparativa superficie 1969 y 1987 corregido.....	69
6.	2. Tabla comparativa superficie 1987 corregido y 1988.....	71
6.	3. Tabla comparativa superficie 1988 y 2002.....	72
6.	4. Tabla comparativa superficie 1974 y 2006 corregido.....	74

Tabla

Página

RESUMEN

Las inundaciones fluviales son un proceso natural donde el flujo de agua desborda los límites del cauce, siendo el área afectada la llamada llanura de inundación, la cual puede ser cubierta parcial o totalmente por el desborde del río en función de diferentes factores naturales. Actualmente, diversas zonas ubicadas en dicha llanura se encuentran habitadas debido al aumento de la urbanización las que, a su vez, se encuentran en riesgo de inundación a causa de las crecidas del río, un fenómeno natural que se torna un problema a considerar en la expansión de las ciudades.

El río Andalién a lo largo de los años ha presentado un problema para los habitantes de los sectores aledaños dejando como principal antecedente el desborde ocurrido el año 2006, donde hubo miles de damnificados. Por este motivo, se vuelve necesario determinar los diferentes factores que influyen o que han alterado este fenómeno natural, siendo la urbanización de la llanura de inundación un factor muy relevante a considerar.

Este estudio tiene como propósito realizar una correcta caracterización de la cuenca del río Andalién, para lo cual es necesario definir todas las unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio. A partir de esta clasificación, se determinó que las únicas capas que presentan porosidad efectiva corresponden a los depósitos recientes y aquellas altamente meteorizadas.

Definidas las características propias de la cuenca, se realiza una búsqueda bibliográfica en las actas municipales hasta el año 1966, encontrándose como primera fuente los periódicos del diario “El Sur”, ya que gracias a la información de precipitaciones entregada por la estación “Carriel Sur” se logró aislar las diferentes características de las inundaciones.

Utilizando la información recabada de aquellas inundaciones asociadas a las crecidas del río Andalién, se consolidó una base de datos a partir de imágenes y datos de precipitación, permitiendo la construcción de diversas simulaciones utilizando el software HEC-RAS en su configuración de 2 dimensiones.

A partir del contraste entre la base de datos y las diversas simulaciones realizadas, se obtienen los resultados de la superficie cubierta por el agua, determinándose las principales razones de cómo la urbanización influye directamente en la llanura de inundación al presentarse un aumento del flujo del agua.

Finalmente, se concluye que el fenómeno natural está principalmente regido por la baja pendiente de este tramo de la cuenca, sumándose como segundo factor la construcción en materiales impermeables asociados a la urbanización en algunos puntos conflictivos del área estudiada.

Utilizando las conclusiones del estudio, se presentan diversas recomendaciones de métodos de mitigación para disminuir la vulnerabilidad, considerándose una buena alternativa la elevación topográfica de aquellos sectores que se encuentran bajo la cota de las barreras.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN

Las inundaciones fluviales son un proceso natural en el cual el flujo de agua desborda los límites de un cauce, que no siempre presentan la misma intensidad, siendo el área que inundan conocida como llanura de inundación. Algunas inundaciones pueden ser menores, de áreas reducidas, no cubriendo la totalidad de la llanura de inundación, muy relevantes para la fertilidad de los cultivos, debido a este motivo, gran parte de las ciudades se asientan en valles donde, junto a una reserva de agua dulce, se encuentra tierra apta para siembra y alimentar animales. A la vez, existen inundaciones que abarcan una parte importante o incluso la totalidad de la llanura de inundación, donde el flujo de agua se encuentra incrementado, asociándose a fenómenos naturales, como un aumento en las precipitaciones o un mayor deshielo de las nieves cordilleranas a causa del incremento de la temperatura; entre otros factores.

Para determinar la periodicidad de estos fenómenos se calcula el periodo de retorno, que por concepto se define cómo el lapso de tiempo en que se cree que el cauce será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento. Éstas variaciones pueden ser de algunos años a decenas o centenas de años (Rojas, 2015).

El aumento de la población que se ha dado a partir del siglo XIX, lo que sumado a periodos de retorno extensos, ha llevado a considerar seguros lugares que cada decenas o centenas de años son inundados, por esta razón, antiguas áreas de cultivo han sido urbanizadas, esto junto a la pavimentación de calles y construcciones de concreto de los últimos 50 años han contribuido a convertir un proceso natural en un peligro geológico que cada año deja personas damnificadas en todo el mundo.

La ciudad de Concepción se encuentra delimitada por dos ríos; al norte por el río Andalién y al sur por el río Biobío, siendo las inundaciones un peligro inminente para los pobladores de las zonas aledañas, por lo que se han realizado diferentes estudios para determinar el periodo de retorno, así como los factores que influyen en las inundaciones de estas zonas.

En el caso del río Andalién, los estudios que analizan este fenómeno de inundación mediante simulaciones utilizaron como punto de partida el año 1945, época donde la zona se encontraba urbanizada, lo cual no permite determinar las características de la llanura de inundación del río Andalién, ni tampoco el cómo ha influido la construcción de viviendas y obras públicas en el área de estudio.

Por esta razón, es necesario obtener datos de años anteriores, como los publicados en el diario “El Sur” en 1890, en el cual se registra una inundación con una descripción de sus características, cuando aún el sector de Puchacay era un área de cultivo. Estos datos podrían contribuir a crear un modelo más exacto que permita precisar el impacto antrópico en estos procesos naturales y de esta manera crear métodos de mitigación que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la evolución de la llanura de inundación del río Andalién y su impacto en la zona urbana de la ciudad de Concepción.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diferenciar las etapas en la urbanización en el área de estudio.
- Caracterizar el área y coeficiente de rugosidad de la llanura de inundación del río Andalién.
- Evaluar variaciones en el área de las inundaciones ocurridas a lo largo de los años.
- Determinar los diferentes factores antrópicos y naturales que influyen en la intensidad de las inundaciones.
- Elaborar un mapa de peligro de inundación con una escala de 1:15.000 del área de estudio.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESO

El área de estudio se encuentra en la entrada norte de la ciudad de Concepción entre los $36^{\circ} 46' 47''$ y $36^{\circ} 49' 44''$ grados sur y los $72^{\circ} 59' 49''$ y $73^{\circ} 2' 22''$ grados oeste (Figura 1.1). Para llegar a destino, desde el centro de la ciudad, se debe tomar la calle Los Carreras señalado en azul en la figura 1.1, hasta llegar a la rotonda, continuando por la ruta que lleva hacia Penco (ruta 150), señalado en verde en la figura 1.1, hasta el puente que cruza el río Andalién.

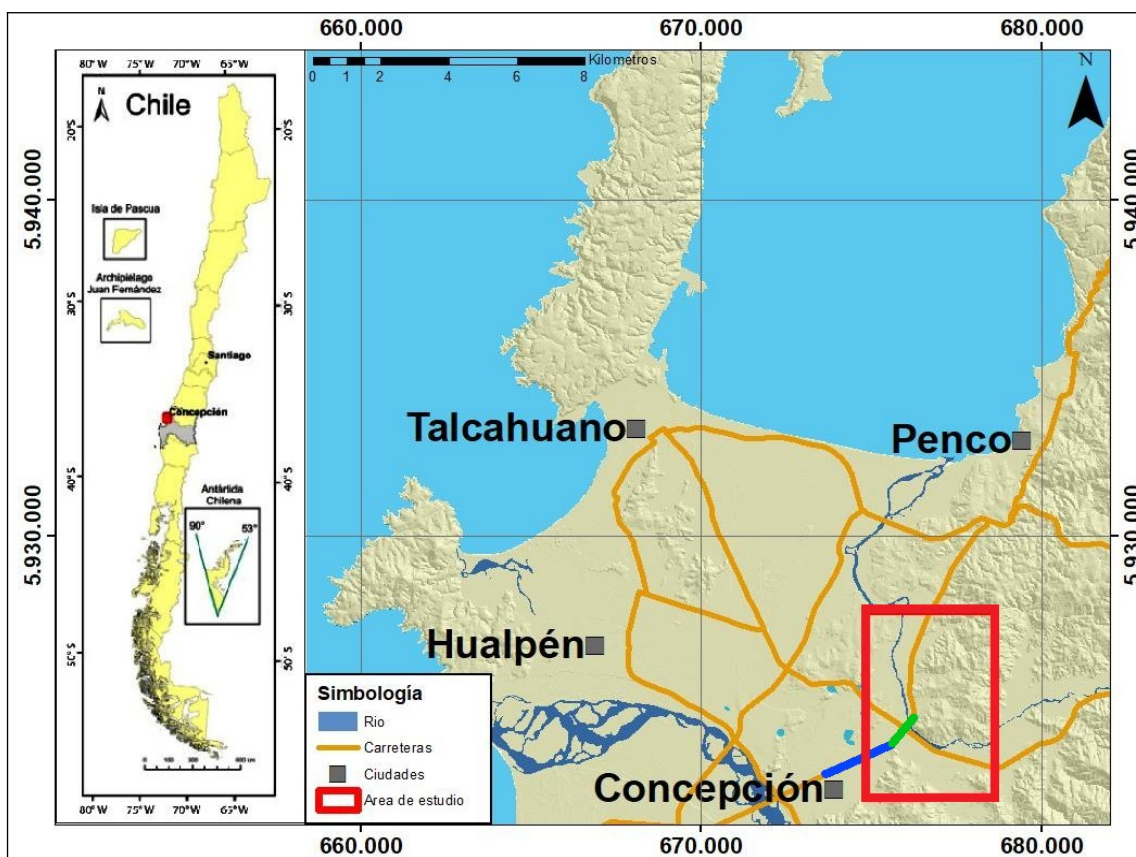


Figura 1.1: Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.

1.4. TRABAJOS PREVIOS

La ciudad de Concepción ha sido analizada en diferentes circunstancias con la finalidad de caracterizar las unidades litológicas presentes en ésta, en una búsqueda de determinar los diferentes peligros geológicos que amenazan a sus habitantes y así disminuir la vulnerabilidad mediante medidas de mitigación.

Galli (1967) realiza un exhaustivo estudio de las unidades geológicas presentes en el área. Una de estas unidades es la Formación Quiriquina, a la vez infiriendo fallas que se encuentran cubiertas por los sedimentos recientes. Además este autor caracteriza los sedimentos presentes en la cuenca del río Andalién y describe los puntos de la ciudad donde, para el año de la publicación de su libro, ya existían rellenos en el terreno. Otro aporte de su trabajo a considerar corresponde a los sondajes realizados en el área de estudio, siendo descritas las intercalaciones de sedimentos finos y gruesos depositados en el río Andalién como también aquellos anteriormente depositados por el río Biobío.

Quezada (1996) logra reclasificar las diferentes unidades geológicas unificando criterios de nomenclatura y mejoras en la descripción, con la finalidad de conseguir una mejor caracterización de estas unidades. Dentro de su trabajo también son descritas en mayor detalle las fallas presentes en el área de estudio, anteriormente inferidas por Galli (1967), gracias a la presentación de datos geodésicos.

Finalmente, Rojas (2015), presenta un estudio detallado de las inundaciones del río Andalién y cómo han sido afectadas por la intervención humana. Para ello, realizó diferentes mediciones en terreno de las mareas, levantamientos topográficos, entrevistas, búsqueda bibliográfica y simulaciones en el software HEC-RAS en la configuración de una dimensión, obteniendo diferentes datos con respecto a las características naturales del río Andalién.

1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este trabajo se realiza mediante la construcción de una base de datos a partir de información bibliográfica, la que posteriormente se utiliza para la reconstrucción de las inundaciones que se registran en los últimos 200 años. A continuación, se detallan las etapas realizadas en este trabajo.

1.5.1. Búsqueda en Base de Datos

Se busca información como mapas, datos de precipitación, actas municipales y algunos diarios que se encuentran en línea. Se busca la ubicación del material al cual solo se puede acceder en

terreno para posteriormente visitar la Biblioteca Municipal y la Biblioteca de la Universidad de Concepción.

1.5.2. Recopilación Información Histórica

Búsqueda de datos en terreno de actas municipales y diarios a partir de los datos de precipitación anteriormente obtenidos. Además se entrevistan a residentes de la villa Nonguén debido a la falta de información de este sector.

1.5.3. Construcción de Simulaciones

Construcción de una base de datos de inundaciones y crecidas del río Andalién de los últimos 200 años, llevando a cabo el modelamiento de 8 simulaciones en base a los datos topográficos, coeficiente de rugosidad y datos de precipitación obtenidos de la estación “Carriel Sur”.

Finalmente se interpreta la información de la base de datos y lo entregado por la simulación, para caracterizar las diferentes modificaciones realizadas en la llanura de inundación en los últimos 200 años y determinar el impacto de éstas.

1.6. AGRADECIMIENTOS

Primero quisiera agradecer al profesor Jorge Quezada Flory, quien a partir de un trabajo práctico realizado para la asignatura “Riesgos Geológicos” vio la oportunidad de profundizar en el estudio que presenté y la posibilidad de desarrollar mi memoria en este tema que considero tan interesante.

También agradezco enormemente al personal de la Biblioteca Municipal y la Biblioteca de la Universidad de Concepción por permitirme realizar la revisión de material bibliográfico durante la pandemia. También agradezco a la doctora Edilia Jaque, al doctor Octavio Rojas por facilitar el material para desarrollar este trabajo y a Don Eduardo Repeto quien se dio el tiempo para ser entrevistado.

De igual manera agradezco a todos los funcionarios del departamento de Ciencias de la Tierra

por su aporte en mi formación como geólogo y persona, especialmente a Don Luis Vasquéz quien facilitó material muy útil para este trabajo., a Sra. Carolina Rojas quien me ha ayudado enormemente en esta última etapa de este proceso.

Finalmente agradezco a mis padres Germán y Jessica, a mi tía Angélica y mi hermana Monserrat quienes me apoyaron incondicionalmente durante este extenso proceso, por último doy gracias a los amigos que hice durante la carrera especialmente a Eduardo Opazo, Juan Tralcal y Fernando Gómez, quienes me han apoyado en todo momento.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. MARCO GEOTECTÓNICO

El margen activo pacífico de América del Sur resulta de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, dando origen a la Cordillera de los Andes que se extiende por 9.000 Kilómetros (Lavenu, 2006). En el margen de Chile, entre los 5°-46°S, la subducción de la placa de Nazca se da en dirección N78°E, con una velocidad de 8 cm/año (Lavenu, 2006).

A lo largo de la placa de Nazca existe una subducción con un ángulo cercano a los 30° predominantemente, que se encuentra dividida debido a la presencia de dorsales que subductan bajo la placa Sudamericana, las que modifican el ángulo hacia una subducción plana o también denominada *flat slab*, que produce un GAP en el arco volcánico cuaternario.

En el caso de Chile es posible encontrar un cambio en el ángulo de subducción entre los 28°-33° S, debido a la presencia de la dorsal de Juan Fernández. Ya a los 34°S el ángulo de subducción aumenta y comienza la Zona Volcánica Sur (ZVS), por lo tanto, el área de estudio se sitúa en una zona de subducción con un ángulo cercano a 30° (Lavenu, 2006).

2.2. UNIDADES LITOLÓGICAS

En el área de estudio se encuentran rocas ígneas pertenecientes al paleozoico, rocas sedimentarias correspondientes a tres Formaciones diferentes y depósitos recientes.

2.2.1. Rocas Ígneas

2.2.1.2. Granitoide de Concepción.

Las rocas intrusivas que se encuentran en el área de estudio corresponden al batolito costero definido por Muñoz-Cristi (1960), extendiéndose de los 32° 30' S a 38° S, en una orientación NNW-SSE (Creixell, 2001).

Según Creixell (2001) el intrusivo que se encuentra en el área urbana de Concepción se diferencia composicionalmente de otras zonas del batolito costero, siendo conocido como el

granitoide de Concepción. Este se caracteriza por tener una composición predominante de monzogranito de biotita.

En el sector de la Cantera Giacamán afloran tonalitas de biotita y mica blanca, en esta localidad es posible encontrar la roca sin alteraciones, mientras que en el resto del área de estudio se encuentra altamente meteorizada hasta una profundidad de 50 metros, dando lugar a un material friable denominado maicillo (Galli, 1967).

Respecto al contacto con las demás unidades presentes en el área de estudio, ésta infrayace en inconformidad la Formación Quiriquina (Creixell, 2001). Según datación radiométrica mediante método U-Pb en circones, estos arrojaron edades entre 300 a 320 Millones de años, por lo que esta unidad corresponde al Pensilvaniano-Cisuraliano (Deckart y otros 2014).

2.2.2. Rocas Sedimentarias

2.2.2.1. Formación Quiriquina.

Nombre geográfico propuesto por Steinmann según Galli (1967) y definida por Biró-Bagoczky (1982), la localidad tipo se encuentra en Las Tablas o Cucaracha en la Isla Quiriquina y su parlocalidad tipo se encuentra en la zona de Cocholegüe al norte de Tomé. En el área de estudio aflora en el oeste y en el noroeste, presentando un espesor de 50 metros (Galli, 1967).

Respecto a la litología de la localidad tipo, es descrita por Biró-Bagoczky (1982) de base a techo en la bahía de la isla Quiriquina, señalando que posee:

- 51,80 m de conglomerado basal dispuesto de forma discordante, con un hiato sobre las rocas metamórficas del Paleozoico. El conglomerado contiene gran cantidad de clastos provenientes de las rocas metamórficas y su contenido fosilífero es escaso.
- 30 m de areniscas verdes, glauconíticas. Las primeras capas son calcáreas y con abundantes fósiles.
- 45 m de areniscas verdosas, con abundante contenido de concreciones y pocos fósiles.

- 12,41 m de areniscas verdosas sin concreciones y escasos fósiles.

Galli (1967) define que el cemento de las rocas es principalmente calcáreo, pero en la mayor parte de éstas ha ocurrido una descementación del carbonato de calcio y se ha depositado óxido de hierro producto de la acción del agua subterránea.

Considerando los sedimentos de la formación Quiriquina es posible concluir que estos habrían sido depositados en un ambiente nerítico de plataforma con una profundidad de 100-200 metros, a epietial con una profundidad de 1.000 metros.

Respecto a los fósiles presentes en la formación, estos corresponden principalmente a: Baculites, Cardium, Mactra, Tudicla o Pyropsis, Pacitrigonia, restos de Pliosaurus, y otros numerosos géneros de gastrópodos, bivalvos y ammonites. Biró-Bagoczky (1982) asigna una edad Campaniano-Maastrichtiano a la Formación Quiriquina.

2.2.2.2. Formación Cosmito

Definida por Galli (1967), la localidad tipo de esta formación se encuentra en la estación de ferrocarriles homónima, situada 5 Kilómetros al norte de la ciudad de Concepción con espesor máximo de 130 metros. En el área de estudio aflora el sector denominado Bellavista.

En la ciudad de Concepción la Formación Cosmito se encuentra formada por capas horizontales o moderadamente inclinadas, litologicamente corresponden a lutita, arenisca con clorita intersticial y cemento de calcita, conglomerado y mantos de carbón. Predominando la lutita y la arenisca, que se encuentran muy alteradas en los afloramientos (Galli, 1967).

El ambiente de depositación de la Formación Cosmito corresponde a depósitos lagunares, costeros asociados a pantanos y dunas litorales, formado en un ambiente de baja energía (Galli, 1967).

Galli (1967) correlaciona estratigráficamente la Formación Cosmito con la Formación

Curanilahue, definida en Arauco, que permite ubicar a esta unidad en el Eoceno.

Esta Formación sobreyace en inconformidad al granitoide de Concepción y en paraconformidad a la Formación Quiriquina, mientras que infrayace la Formación Andalién en discordancia angular y se encuentra debajo de los depósitos no consolidados.

2.2.2.3. Formación Andalién.

Descrita por Galli (1967), toma su nombre del río Andalién. Esta formación agrupa rocas cuya área tipo se localiza en las serranías bajas, distribuidas entre Cerro Verde, al oeste de la ciudad de Concepción, y la ciudad de Penco, al noreste de Concepción. En el área de estudio aflora en el sector noroeste, corresponde a una franja que se depositó en la orilla interior de uno de los meandros del río Andalién.

Corresponde a capas subhorizontales que se encuentran dislocadas por las fallas La Polvora y Chacabuco (Quezada, 1996). Litológicamente es descrito como areniscas, conglomerados orogénicos con una matriz de arena de grano medio a gruesa, con fenoclastos subredondeados que consisten en filita, micacita, metacuarcita, silexita y rocas graníticas (Galli, 1967) y limolitas muy meteorizadas, con baja cohesión (Quezada, 1996).

Este material sedimentario se habría depositado en un ambiente fluvial debido a la esfericidad de los clastos del conglomerado, lo que se podría relacionar con periodos de alta y baja energía, además de que se presentan en terrazas y tienen una distribución restringida (Quezada, 1996).

La edad de la Formación Andalién, se estimó en el Plioceno-Pleistoceno por Galli (1967), siendo posible correlacionarla con la Formación Tubul, asignada al Plioceno (García, 1966), que se distribuye en el litoral de Arauco.

Esta formación sobreyace en discordancia angular y de erosión, a las rocas clásticas de la Formación Quiriquina. A la vez la Formación Andalién sobreyace en discordancia de erosión los sedimentos no consolidados (Quezada, 1996). Es definido un espesor de 5 metros por Quezada (1996) y un espesor de 30 metros por Galli (1967).

2.2.3. Depósitos No Consolidados.

2.2.3.1. Arenas del río Biobío.

Nombrada por Galli (1967) como formación Huachipato, siendo la localidad tipo el área de la llanura, situada entre la bahía de Concepción, la bahía de San Vicente, el río Biobío y las escarpas de la Cordillera de la Costa y la península de Tumbes. Esta aflora en el suroeste del área de estudio.

Consiste en arena limpia de material fino o limosa, negra, castaña a gris oscura, fina a muy gruesa, moderadamente a bien seleccionada, disgregada, intercalada con capas de limo gris y castaño, y de arcilla, particularmente cerca de los cerros; con gravas angulosas a subredondeadas polígenas; con turba y otros materiales orgánicos, presenta fósiles terrestres y marinos (Galli, 1967). Se define un espesor máximo reconocido de 40 metros.

El ambiente de depositación corresponde a un ambiente fluvial, caracterizado por la presencia de arenas bien seleccionadas, intercaladas con sedimentos más finos que se depositaron durante periodos de inundaciones y presencia de lentes de sedimentos finos correspondientes a la migración del canal del río (Galli, 1967).

La edad de estos depósitos es descrita por Galli (1967) como Pleistoceno superior y reciente, debido a la presencia de *Bucella peruviana* debajo de las facies más antiguas, que se habría desarrollado entre 9.000 a 11.500 años antes del presente.

Las Arenas del Biobío sobreyacen en discordancia angular y de erosión, a todas las unidades descritas con anterioridad: Batolito, Formación Quiriquina, Formación Andalién. Siendo sobreyacida por los depósitos de las Arenas del río Andalién (Quezada, 1996).

2.2.3.2. Arenas de dunas y limos asociados.

Se encuentran distribuidos principalmente en áreas cercanas a las playas de las bahías de San Vicente y Concepción, a la ribera del río Biobío, como también en Carriel, Nueva Pampa, Lorenzo Arenas y Talcahuano. En el área de estudio es posible encontrarlas en el sector NW. El

espesor de las dunas varía según el lugar, presentando un espesor máximo de 10 metros sobre el terreno circundante, particularmente cerca de la bocatoma de la CAP (Galli, 1967).

La arena de dunas es mediana a fina, castaña amarillenta oscura, gris parda y gris oliva, limpia, muy uniforme, sin cementación y permeable (Galli, 1967). Formada por arena proveniente de las arenas del Biobío y de las playas, que presentan arena procedente de detritos de basalto. El limo eólico asociado se distribuye a sotavento de algunas áreas de dunas, particularmente en Carriel y Nueva Pampa (Galli, 1967).

Las arenas muy finas mezclada con limos a formado depósitos de loes de color castaño amarillento oscuro, estos depósitos no presentan cementación ni estratificación visible en los paredones verticales (Galli, 1967).

Este depósito sobreyace a las arenas del río Biobío, la formación Quiriquina, formación Cosmito y el granito de Concepción.

Estas dunas en filas de kilómetros de largo y en áreas monticuladas de forma irregular, el agente de transporte es el viento, particularmente el de la estación seca de 6 meses, que sopla desde el sudoeste (Galli, 1967).

2.2.3.3. Arena Coluvial.

Corresponde a las arenas depositadas en las laderas de los cerros de la ciudad de Concepción provenientes de la meteorización de las rocas. Esta arena presenta espesores crecientes hacia el pie de las laderas, donde el espesor máximo se desconoce (Galli, 1967).

Este depósito corresponde a material reciente sin selección, angular, de maicillo, arena con limo y arcilla y en partes con fragmentos de roca, de colores castaños amarillentos y rojizos (Galli, 1967).

En el pie de los cerros de algunas áreas se intercala con las arenas del río Biobío y depósitos

superficiales más recientes (Galli, 1967).

2.2.3.4. Arena Andalién.

Corresponde a arenas depositadas en el lecho y las terrazas bajas formadas por el río Andalién. En el área de estudio aflora en la zona central abarcando las cotas más bajas, correspondiente al lecho y las terrazas bajas formadas por dicho río, que durante el periodo de inundaciones extraordinarias de este río deposita materiales finos sobre las terrazas al igual que en el área de marismas situada adyacente a la bahía de Concepción (Galli, 1967).

Esta unidad consiste en arena en general fina, con limo y arcilla, sin cementación, en su mayor parte son fragmentos de rocas graníticas de la Cordillera de la Costa.

Este depósito sobreyace las unidades descritas anteriormente e infrayace los rellenos artificiales, cerca de los cerros se apoya sobre granito o engrana con materiales coluviales graníticos y de roca clástica, por esta relación de contacto es posible clasificar la edad de estos depósitos como reciente. El espesor máximo observado es de 3 metros (Galli, 1967).

2.2.3.5. Relleno Artificial.

Los rellenos artificiales han sido aplicados en áreas del terreno natural, donde la superficie freática se encuentra muy cerca o sobre la superficie del terreno natural, donde las aguas fluviales inundan frecuentemente, en lugares que se les ha ganado terreno a los ríos o al mar, como también en lugares donde existían terrenos muy indeseables para fundar viviendas, industrias o vías de acceso (Galli, 1967).

El espesor de estos rellenos varía desde algunos centímetros a 5 metros en la calle Andrés Bello de Concepción, siendo el mayor espesor el correspondiente al terraplén del puente que continua la calle Arturo Prat sobre la línea ferroviaria que como mínimo es de 12 metros (Galli, 1967). En el área de estudio correspondiente al sector del barrio Chillancito y los alrededores de la calle Collao, Galli (1967) describe que ésta ha sido rellenada con una mezcla de escombros, basura y arena.

2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Quezada (1996) propone que la ciudad de Concepción es atravesada por fallas, las que delimitan bloques, donde algunos de ellos son descendidos y otros basculados, originando cuencas estructurales. A partir de este análisis, este mismo autor, plantea la existencia de una fosa tectónica de dirección noreste-suroeste, denominada “Fosa Compleja de Concepción”, la cual estaría limitado por las fallas Chepe, Lomas y Chacabuco por el noroeste y las fallas Caracol y Lo Pequén por el suroeste. El límite oriental de la “Fosa compleja de Concepción” correspondería al cordón montañoso de orientación norte-sur, que provoca un meandro al río Andalién (Quezada, 1996).

Además, se propone la existencia de una falla denominada falla Concepción, de orientación norte-sur localizada a 10 Km al este de la ciudad de Concepción (Galli, 1967). Esta falla, tiene distribución regional y provoca el alzamiento del sector occidental de la cordillera de la Costa, siendo el cordón montañoso mencionado con anterioridad controlado por esta falla (Quezada, 1996).

A continuación se definen tres fallas que se encuentran en el área de estudio (Quezada, 1996).

- Falla Lo Pequén: ubicada en el sector residencial de Lo Pequén y es el límite oriental de la fosa, el rumbo de esta falla es N30°E aproximadamente y tiene un comportamiento normal.
- Falla Chacabuco: se ubica al norte de Concepción centro, posee un rumbo aproximado de N65°E, con movimiento normal, en el que el bloque norte asciende. Afecta a los depósitos cuaternarios y al granitoide Concepción.
- Falla La Pólvora: su traza pasa por el cerro Amarillo y el cerro la Pólvora, su rumbo es N50°E y el bloque noroeste es el que asciende.

Las unidades anteriormente descritas, al igual que las fallas, se observan en la figura 2.1, esta

figura fue extraída del estudio realizado por Galli (1967) y modificado en el sector este del área de estudio debido a la falta de información, para esta modificación se consideró el estudio realizado por Galli, junto a imágenes aéreas pertenecientes al año 1945.

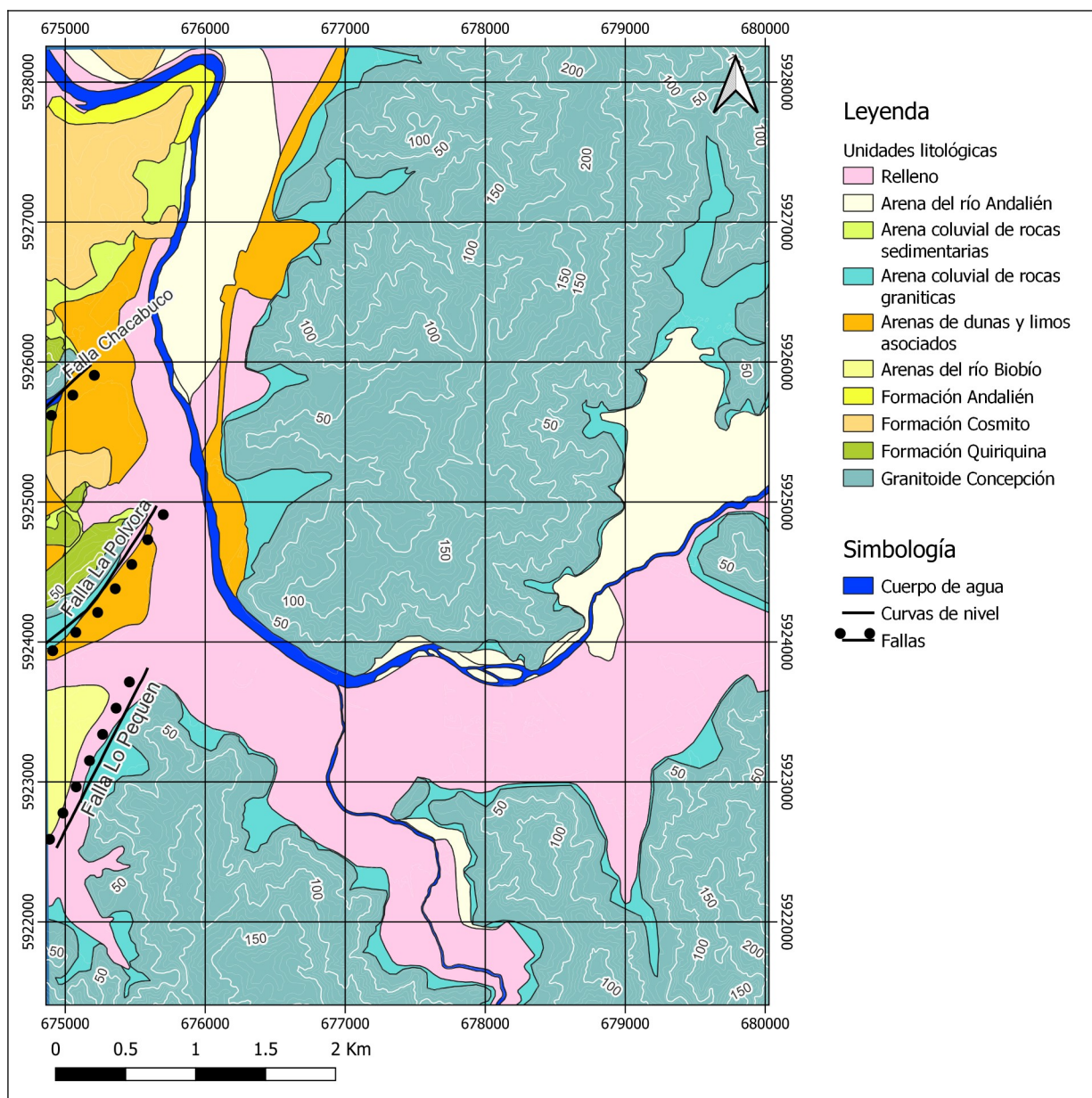


Figura 2.1: Mapa geológico del área de estudio, modificado de Galli (1967).

2.4. HISTORIA GEOLÓGICA

Durante el periodo Silúrico al Devónico en el piso oceánico se depositaron series turbidíticas, adyacente al borde occidental de Gondwana, se considera que ocurrió durante el periodo de margen pasivo por la falta de actividad ígnea (Lépez, 2002). Posteriormente, a finales del Paleozoico (Pensilvaniano al Pérmico) se ensambla Pangea lo que modifica el régimen de subducción y compresión, dando paso al margen convergente que existe hasta hoy en día (Del Rey y otros, 2016). Este fenómeno da lugar al acoplamiento mecánico de la placa Oceánica, de esta manera se desarrollan complejos acrecionarios costeros y el cinturón metamórfico pareado Oriental/Occidental (Hervé y otros, 2007).

Entre los periodos Pérmico al Triásico existió el súper continente llamado Pangea, caracterizado por un contexto extensional postorogénico en el trasarco, debido a *Slabrolback*, producido por la disminución de la velocidad de la subducción (Del Rey, 2016).

Desde el Jurásico comienza el ciclo Andino, este corresponde al último ciclo tectónico de la evolución geológica a lo largo del margen continental de Chile, en este el arco se constituyó sobre el prisma de acreción formado durante el Paleozoico Superior, en lo que hoy corresponde a la Cordillera de la Costa (Charrier y otros, 2014 en Del Rey, 2016). Durante este periodo la subducción es de tipo Mariana que se caracteriza por ser de alto ángulo, con bajos niveles de contaminación cortical de los magmas (Camus, 2003).

En el límite Cretácico Inferior-Superior existe un cambio en la dinámica de la subducción, hacia un régimen compresivo, esto podría estar relacionado con una fase de muy rápida producción de placa oceánica durante el Cretácico Superior (Larson, 1991 en Charrier y otros, 2007), lo que causó una reducción en el ángulo de subducción. Comienza la separación de Gondwana, lo que originaría el actual océano Atlántico y daría inicio a la deriva de la placa Sudamericana hacia el oeste (Camus, 2003), dando origen al ambiente tectónico contraccional tipo chileno, el cual permanece hasta hoy en día.

Durante el Cretácico superior, ocurre la fase compresiva denominada Larámica. Esta produce

alzamiento en la zona del arco que a su vez produce subsidencia en el borde costero (Pineda, 1986), facilitando una transgresión marina que permitió la sedimentación de las rocas de la Formación Quiriquina durante el Maastrichtiano. Tras la transgresión inicial, domina un ambiente marino costero, donde las aguas eran suficientemente someras como para que exista una influencia de periodos de tormentas, la cual se reduce a medida que la cuenca se profundiza.

“Desde mediados del Paleogeno hasta el Plioceno, se sucedieron importantes movimientos tectónicos, correspondientes a las orogénesis Incaica I (Eoceno), Incaica II (Oligoceno), Quechua I (Mioceno) y Quechua II (Plioceno) produciéndose movimientos epirogénicos y sollevamientos” (Quezada, 1996, p. 73).

A partir del Plioceno las condiciones tectónicas del margen se han mantenido relativamente iguales, por este motivo las unidades posteriores se encuentran horizontales y sin mayores rasgos de deformación, siendo un ejemplo de esto la Formación Andalién.

Por otro lado, los sistemas fluviales comenzaron a tener gran importancia debido a las grandes cantidades de sedimentos transportados desde la cordillera de los Andes hacia el océano, provocando fuertes cambios en la morfología litoral (Quezada, 1996).

Finalmente, durante el Pleistoceno – Holoceno, las desglaciaciones y los cambios eustáticos del nivel del mar, junto con el alzamiento ligado al ciclo sísmico, propiciaron la formación de terrazas fluviales y marinas y permitieron la removilización de los sedimentos que conforman los depósitos fluviales, aluviales y litorales de la zona.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. HIDROGEOLOGÍA

3.1.1. Porosidad Eficaz

Corresponde al volumen de huecos disponible para el flujo respecto del volumen total asociado al volumen de poros interconectados entre ellos (Martínez, 2006).

3.1.2. Columna de Agua

Corresponde a la extensión vertical que se extiende desde la superficie hasta el fondo de una masa de agua (Martínez, 2006).

3.1.3. Acuíferos

Dentro de la clasificación de los acuíferos en función de la facilidad para almacenar y transmitir agua se clasifican de las siguientes formas:

- I. Acuífero: Corresponde a una formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad. Dentro de esta clasificación es posible encontrar depósitos de arenas, gravas y rocas altamente meteorizadas (Martínez, 2006).
- II. Acuicludo: Son definidas bajo este nombre aquellas formaciones geológicas que contienen agua en cantidad apreciable y que no permiten que el agua circule a través de ella. Esta clasificación corresponde principalmente a limos y arcillas. En el caso de las arcillas, en un metro cubico de esta es posible contener más agua que en el mismo volumen de arena, pero debido a que el agua está atrapada, no puede salir por gravedad, por lo tanto no podrá circular en condiciones naturales (Martínez, 2006).
- III. Acuitardo: Formaciones geológicas que contienen agua en cantidad apreciable, pero que esta circula a través de ella con dificultad. Es posible clasificar bajo este nombre rocas compactas con alteración y/o fracturación moderadas, arenas arcillosas y areniscas (Martínez, 2006).

IV. Acuifugo: Son aquellas formaciones geológicas que no contienen agua porque no permiten que circule a través de ella. Corresponde a rocas ígneas, metamórficas inalteradas y no fracturadas, como también rocas sedimentarias que presentan cementos debido a que el espacio entre poros se encuentra relleno por estos (Martínez, 2006).

3.1.4. Río Andalién

Se desarrolla en la costa de la Región del Biobío, presenta una extensión de 780 Km² y una longitud de 36 Km. Este nace en la Cordillera de la Costa, de la unión del estero Poñén proveniente de la línea de displuvio norte y del estero Curapalihue que viene desde el sur. En el curso medio 4 nuevos afluentes alimentan al río Andalién, que corresponden al estero Chaimávida, el estero Queule, el estero Los Ulloas y el estero Nonguén (Niemeyer H, 1984).

En el área de estudio se caracteriza por presentar una forma de arco que se encuentra en el flanco norte de Concepción, siendo uno de sus rasgos característicos manifestar un régimen estrictamente pluvial, siendo sensible a las lluvias sobre la Cordillera de la Costa, las que se presentan principalmente en invierno, el módulo de este corresponde a 10 m³/s (Galli, 1967).

3.1.5. Cuenca Andalién

Galli (1967) describe sondeos realizados en el área de estudio que a grandes rasgos corresponden a intercalaciones de arcillas y arenas siendo esta de finas a gruesas dependiendo de la cercanía al curso principal del río Andalién, junto a niveles de sedimentos finos de forma lenticular correspondientes al relleno de meandros, siendo esta intercalación característica de los depósitos de tipo fluvial, definiendo el comportamiento de este tramo de la cuenca como un acuitado, es decir contiene una gran cantidad de agua, pero esta agua circula con dificultad a través de ella.

Rojas (2015) define tres tramos para la cuenca, la zona baja desde la desembocadura hasta los 2 Km, zona media desde los 2 Km hasta los 6 Km y una zona superior a partir de los 6 Km. Siendo el estuario del río definido como micromareal dominado por la marea de mezcla parcial, la máxima penetración de la marea de salinidad alcanza los 3,5 Km y la marea dinámica hasta 5,9

Km desde la desembocadura, influyendo en los procesos de inundación hasta los 7 Km desde la desembocadura (Rojas, 2015).

3.2. CONCEPTOS ECOLÓGICOS

3.2.1. Uso de Suelo

Corresponde a un descripción de cómo las personas utilizan la tierra y de la actividad social, económica y ambiental de ésta, siendo el principal método para definir esta la teledetección por satélite.

3.2.2. Coeficiente de Rugosidad

Expresa la resistencia a la corriente de agua creada por los lados y el fondo de un canal o superficie. Cuanto mayor sea el valor, mayor será la irregularidad de las paredes del canal y mayor es la dificultad encontrada por el agua para deslizarse por el canal.

4. METODOLOGÍA

4.1. BÚSQUEDA EN BASE DE DATOS

Para este estudio se realizó una recopilación de datos históricos presentes en diferentes bases de datos, utilizando principalmente la base de datos de la Municipalidad de Concepción, la Biblioteca Central de la Universidad de Concepción, como también la Biblioteca Nacional Digital de Chile. Siendo dividida la búsqueda de datos en tres partes: mapas antiguos; actas municipales y diarios anteriores a 1920; y datos de precipitaciones.

4.1.1. Mapas Antiguos

Con la finalidad de reconstruir la urbanización del área de Puchacay se realizó una búsqueda de mapas de diferentes fechas en las base de datos de la Biblioteca Nacional Digital de Chile, obteniendo mapas correspondientes a los años de 1892, 1920, 1939, 1960, 1967, 1976 y 1993. (Anexo 1). También se contactó contactando a la mapoteca del Instituto Geográfico Militar, quienes facilitaron mapas correspondientes a los años 1759, 1863, 1895 (Anexo 2).

Por último, se obtuvieron mapas de los años 2002, 2007, 2012 y 2020 mediante imágenes pertenecientes a *Google Earth* (Anexo 3).

4.1.2. Actas Municipales y Diarios Anteriores a 1920

Debido a la falta de datos de precipitaciones perteneciente a fechas anteriores a 1900 fue necesario examinar en la página web de la Biblioteca de la Municipalidad de Concepción diferentes actas ya digitalizadas pertenecientes a las reuniones realizadas por la Municipalidad de Concepción. Esta documentación fue realizada en su momento para responder a variadas problemáticas que aquejaban a la ciudad, donde uno de los problemas recurrentes eran las inundaciones del río Biobío y río Andalién.

Gracias al carácter formal de estas reuniones fue posible seleccionar diferentes documentos en los cuales había sido nombrada la zona de Puchacay y el río Andalién para así obtener los diferentes documentos en los cuales se encontró información relevante, perteneciente al

periodo comprendido entre los años 1877 a 1945.

De igual manera se accedió a diarios pertenecientes al archivo histórico de la Biblioteca Municipal de Concepción, que ya se encontraban digitalizados, específicamente a los diarios El Amigo del Pueblo (1858-1859), La Democracia (1871-1876) y antiguos periódicos del diario “El Sur” (1882-1895).

4.1.3. Datos de Precipitaciones

Mediante la web de la dirección meteorológica de Chile, se recopilaron datos registrados por la estación “Carriel Sur” que se encuentra operativa desde 1966 hasta la actualidad, obteniéndose datos importantes, como por ejemplo, meses con mayor precipitación en promedio de los últimos cincuenta años y un registro del agua precipitada por día para dicho periodo de tiempo.

4.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA

Para complementar la información obtenida de manera digital fue necesario asistir de manera presencial a la Biblioteca Municipal de Concepción y la Biblioteca de la Universidad de Concepción, con la finalidad de obtener datos de diferentes inundaciones que se registraron a lo largo de los años, para así reconstruir la llanura de inundación del río Andalién.

También se realizó una entrevista a Don Eduardo Repeto, quien ha vivido en el sector de Villa Nonguén durante los últimos sesenta años, con el objetivo de obtener información sobre la urbanización de dicho sector.

4.2.1. Información Bibliográfica

La búsqueda de material bibliográfico en terreno se dividió en 3 etapas: primero una búsqueda en actas municipales, luego en los diarios más actuales para encontrar patrones en las inundaciones y finalmente debido a la fragilidad del material se realizó la búsqueda de diarios de mayor antigüedad.

4.2.1.1. Búsqueda en actas municipales

La falta de información fidedigna en los diarios anteriores al año 1945, opacada por un relato sensacionalista de lo ocurrido, impulsó la búsqueda de una fuente de datos alternativa para obtener referencias objetivas para la determinación de los rasgos de las inundaciones del río Andalién, al igual que las diferentes medidas utilizadas para evitar el desborde de dicho río, incluyendo las diversas construcciones realizadas en el sector Puchacay. De esta forma y, debido a la falta de registro de datos diarios, se procede a, reconstruir las características que presentaron las inundaciones ocurridas en el periodo de tiempo anterior a 1966, ya que para estos periodos no existe datos de precipitaciones día a día como si existen para el periodo 1966 a 2021. Con esta finalidad se fotografió todas aquellas actas municipales donde se nombraba el sector Puchacay y diferentes trabajos realizados en el río Andalién.

4.2.1.2. Búsqueda en diarios 1990-2021

Durante la búsqueda de información en la biblioteca municipal solo se encontraron diarios a partir del año 1990. Teniendo en cuenta los datos de precipitaciones obtenidos con anterioridad se creó una tabla detallando los meses considerados anómalos, es decir aquellos meses donde las precipitaciones media del mes haya sido mayor a la precipitación normal calculada entre los años de 1961 a 1990. Estos meses junto a los pertenecientes a la temporada de invierno fueron revisados día a día para encontrar aquellos en los cuales se haya registrado una inundación en el sector Puchacay o como es llamado hoy en día sector Collao (anexo 4).

Una vez revisados los diarios fue posible determinar que para todos aquellos días donde se inundaba el sector de Puchacay existía un factor en común, durante dos o tres días precipitaban más de 100 milímetros de agua.

4.2.1.3. Búsqueda en diarios 1966-1989

Para el intervalo de años desde 1966 a 1989 no se encontró material a libre disposición en la Biblioteca Municipal por este motivo se accedió a la hemeroteca de la Universidad de Concepción con la finalidad de realizar la búsqueda bibliográfica en aquellos diarios anteriores a 1989.

Debido a la fragilidad del material se optó por un método de búsqueda diferente al presentado para el periodo comprendido entre 1990 a 2021. Este método, remplazó la búsqueda y selección día a día en meses anómalos por solo aquellos días relevantes para la investigación.

Como criterio de revisión en diarios correspondientes a 1966 a 1989 se consideró el factor en común encontrado en las inundaciones posteriores al año 1990, es decir, dos o tres días donde las precipitaciones sean mayores a 100 milímetros de agua (Anexo 5). Esto con la consideración de revisar los meses de junio y julio, en caso de que el factor en común señalado presentase errores.

4.2.2. Entrevista a Persona de Villa Nonguén

Para realizar una línea de tiempo de los sucesos ocurridos en el sector de Puchacay y en el sector de Villa Nonguén se contactó a Don Eduardo Repeto, habitante de la zona desde más de sesenta años en dicho lugar, quien con su relato aporta a una reconstrucción de lo sucedido en el sector, como por ejemplo, rellenos, construcción de calles y cambios en el canal del estero Nonguén.

4.3. CONSTRUCCIÓN DE SIMULACIONES

Una vez obtenidos los diferentes mapas, datos de precipitaciones y fotos de inundaciones pertenecientes al periodo de 1966 a 2021, se realizó la reconstrucción de la llanura de inundación del río Andalién para posteriormente simular mediante el software HEC-RAS las diferentes inundaciones correspondientes a este periodo de tiempo.

4.3.1. Construcción de Bases de Datos

A partir de los datos obtenidos de las actas municipales, junto a las imágenes de las inundaciones encontradas en los diarios, se construyó una base de datos tanto de las actas municipales (Anexo 6A y 6B) como de los diarios fotografiados en terreno (Anexo 7 y 8) clasificándose según la fecha del suceso, las principales características como; calles inundadas, altura aproximada de la columna de agua y la relación de este fenómeno con las crecidas del río Andalién; o si éste se asocia a la inundación de las calles dada la falta de aseo de los colectores

de aguas lluvias.

4.3.2. Digitalización de Mapas

Debido a la antigüedad de los mapas de los años 1882 a 1993 estos no se encontraban estandarizados a la norma UTM WGS 84. Por este motivo fue necesario utilizar lugares de referencia para conseguir una correcta proyección al trabajar con ellos en software GIS, por lo que se definieron diferentes puntos utilizados con la finalidad de georreferenciar dichos mapas, los cuales se observan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Puntos de referencia para la georreferenciación de mapas antiguos.

Ubicación	Coordenadas (WGS 84)
Intersección de calle “Vilumilla” con calle “Maipú”	18H 675.287,0 m E 5.923.574,4 m S
Plaza Cruz, intersección “Obispo H. Salas” con “J. Prieto”	18H 672.907,5 m E 5.923.243,5 m S
Plaza Independencia, intersección calle “Barros Arana” con calle “Caupolicán”	18H 673.798,6 m E 5.922.567,1 m S
Intersección avenida “Andalién” con calle “Camilo Henríquez”	18H 675.752,2 m E 5.925.159,9 m S
Intersección calle “Lientur” con calle “Juan Martínez de Rozas”	18H 674.877,0 m E 5.923.806,8 m S
Intersección calle “Santa Sofía” con calle “Santa Clara”	18H 675.887,8 m E 5.924.954,3 m S
Intersección calle “Vilumilla” con calle “Las Heras”	18H 675.164,7 m E 5.923.796,7 m S
Intersección calle “Los Lirios” con av. “Collao”	18H 676.817,2 m E 5.923.311,1 m S
Intersección Av. “Juan Bosco” con calle “Baquedano”	18H 675.696,6 m E 5.924.018,1 m S

4.3.3. Reconstrucción Urbana de Puchacay

Para determinar cómo las modificaciones realizadas en el área de estudio afectaron las características de las inundaciones se crearon diferentes intervalos de tiempo en función de los cambios realizados, con el fin de aislar aquellos eventos significativos ocurridos en estos periodos de tiempo. Estos cambios se realizaron considerando dos variables, siendo estas; las curvas de nivel y el coeficiente de rugosidad, ambos se modificaron en función de la

información obtenida de mapas, fotografías aéreas, imágenes de *Google Earth* y relatos de habitantes de este sector. Se valoró que la mejor forma de representar las modificaciones ocurridas en el área de estudio sería mediante cambios en las curvas de nivel y el coeficiente de rugosidad. Por un lado, la modificación en las curvas de nivel serían la mejor forma de representar los trabajos realizados en este sector desde un punto topográfico, mientras que la mejor manera de representar los cambios realizados desde un punto de vista material sería mediante el coeficiente de rugosidad. Éste último es quien determina la facilidad con la que avanza el agua por una superficie, siendo la forma de figurar cuantitativamente cómo afectó el desarrollo de la ciudad de Concepción el sector Puchacay, caracterizando de qué forma influyeron dichos trabajos sobre el curso natural del agua por la cuenca. Siendo estos datos necesarios para el posterior modelamiento en el software HEC-RAS.

Para determinar el coeficiente de rugosidad se utilizó una tabla obtenida en el manual del software HEC-RAS donde se asigna un coeficiente de rugosidad a cada uso de suelo, por lo que fue necesario registrar las modificaciones en este para posteriormente asignar los valores entregados por dicho software (Tabla 4.2.).

Tabla 4.2.: Coeficientes de rugosidad de materiales. Modificación manual HEC-RAS.

Superficie	Coef. de rugosidad
Bajo urbanizado	0,15
Medianamente urbanizado	0,12
Alto urbanizado	0,08
Bosque	0,12
Cuerpo de agua	0,025
Canal de concreto	0,017
Canal secundario	0,07
Canal principal	0,035
Isla barrera	0,03
Pradera	0,04
zona de cultivo	0,05

4.3.3.1. Reconstrucción periodo 1960-1967

Para la reconstrucción de este periodo se utilizó principalmente el mapa de Galli de 1967 y el mapa topográfico de 1960. De este material se copió las curvas de nivel y los puntos de control en un archivo Shape. Debido a la falta de información que estos mapas presentaban para la zona este del área de estudio, se utilizó una fotografía aérea correspondiente al año 1945 complementando la zona faltante. Estas áreas presentan cultivos y canales de regadío, con una muy baja pendiente. En la actualidad, algunos de estos canales secundarios aún se encuentran en uso por diversas forestales (Anexo 9).

4.3.3.2. Reconstrucción periodo 1967-1974

A. Curvas de nivel.

Se realizaron modificaciones en el área cercana al estadio Ester Roa, correspondiente a la ribera del río Andalién, ya que a partir de la inundación correspondiente al año 1964 se construyó una costanera, esta modificación eliminó el meandro que se encontraba en lo que hoy es la Avenida General Bonilla. También se registraron trabajos en la Isla Andalién de pobladores que llegaron a esta zona luego del terremoto de 1960, que poco a poco comenzaron a realizar diferentes modificaciones en el área. Durante este periodo también se registran trabajos en el canal que conecta el estero Nonguén con el río Andalién, principalmente debido a la extensión de la Avenida General Bonilla que era el antiguo camino a la ciudad de Cabrero (Anexo 10).

B. Coeficiente de rugosidad.

Para definir el uso de suelo se asignó el valor “alto urbanizado” correspondiente a 0,08, basado en lo observado en el mapa de Galli y los mapas topográficos de 1960. Para viviendas más alejadas del centro de Concepción se utilizó el valor asignado a un “bajo urbanizado” siendo este 0,15. Por otra parte, dependiendo de la presencia de cultivos que se encontraban al este, para zonas montañosas se utilizó el valor de 0,12 y finalmente en las zonas cercanas al río Andalién se asignó un valor de 0,04 correspondiente a tierra sin cultivar (Anexo 11).

4.3.3.3. Reconstrucción periodo 1974-1987

A. Curvas de nivel.

A partir del mapa del periodo 1969-1974 se modificó la costanera del río Andalién desde la isla Andalién hacia el canal que une el estero Nonguén y el río Andalién. Nuevamente se realizaron rellenos en el sector denominado isla Andalién, ya que, a partir de la inundación de 1969 fue necesario efectuar trabajos para eventuales inundaciones.

En el sector Palomares se mejoró la carretera camino a Cabrero, estas modificaciones desconectaron un brazo secundario del río Andalién. También se registra durante este periodo la canalización del estero Nonguén, donde se rellenó aproximadamente 1 metro (Anexo 12).

B. Coeficiente de rugosidad.

Durante este periodo se expande la ciudad de Concepción hacia el río Andalién urbanizando sectores anteriormente clasificados como vegetación, por lo que se asigna el valor para medianamente urbanizado, igualmente la ciudad se expande hacia el sector de Los Lirios. Por otra parte, en el Valle Nonguén, según lo descrito por el entrevistado Don Eduardo, las poblaciones principales ya se encuentran construidas. También en este sector se encuentra una pequeña población en el camino hacia el Valle Nonguén.

Se expande el área urbana al este del estero Nonguén hacia el camino del sector a Palomares, construyéndose la población “HoChiMinh” al noreste del río Andalién.

Finalmente en este periodo las tomas de terreno de la isla Andalién se normalizan y por este motivo se asigna el uso de suelo correspondiente a una zona medianamente urbanizada (Anexo 13).

4.3.3.4. Reconstrucción periodo 1987-1997

A. Curvas de nivel.

Para este periodo se modificó el canal del estero Nonguén cerca de la universidad del Biobío, que corresponde a las observaciones realizadas en el mapa de 1987. En el Valle Nonguén se

reconstruyó la urbanización de la zona correspondiente a lo relatado por Don Eduardo, ya que en este periodo gran parte de los habitantes ya se habían mudado a este sector.

En la isla Andalién se termina de construir una costanera para evitar nuevas inundaciones. Más al norte se encausó el río según lo indicado por el mapa correspondiente a 1987, donde los meandros del río han sido abandonados o han sido intervenidos. Para emular el abandono paulatino de los canales secundarios se disminuyó la profundidad de estos.

Debido a las inundaciones de 1975 la antigua población “HoChiMinh” fue refundada a una mayor elevación según una ordenanza municipal, siendo renombrada como “Patria y Libertad” (Anexo 14).

B. Coeficiente de rugosidad.

Las poblaciones aledañas a Los Lirios se expandieron en dirección al Valle Nonguén. Entre el este y el sector Collao se realizaron diferentes tomas que se les asignó un valor de bajo urbanizado. Por otra parte, Concepción centro se expandió hacia el norte y el canal secundario que separaba la isla Andalién del resto de Concepción fue completamente rellenado (Anexo 15).

4.3.3.5. Reconstrucción periodo 1997-2002

A. Curvas de nivel.

En el sector de Collao se realizaron modificaciones las que se identifican a partir de las imágenes correspondientes al año 2002 y el ráster DEM de 2011. Se utilizó estos dos archivos, ya que existían pocas modificaciones ocurridas en este lugar entre los años 1997 y 2011, teniendo cuidado de respetar la elevación de aquellos sectores que aún no se encontraban habitados.

La isla Andalién finalmente fue modificada a la actual, ya que no ha presentado variaciones desde 1997. En el sector de villa Nonguén se consideró el ráster DEM de 2011 para determinar las curvas de nivel, ya que desde 1997 a 2010 no se presentaron modificaciones según lo

relatado por Don Eduardo.

Considerando la imagen satelital de 2002, el río Andalién fue modificado, principalmente en el sector aledaño a la Avenida General Bonilla. Otro de los cambios revelados por la misma imagen fue que se secaron los canales secundarios de éste y fueron rellenados para construir hogares, como se observa en la imagen de 2002. Finalmente, para el área más distal del río se modificó la forma de ambos canales, ya que durante este periodo el canal sur comenzó a transportar la mayoría del caudal y el canal norte poco a poco se comenzó a secar.

Finalmente, en el sector este del área de estudio no se realizaron modificaciones desde 1969, ya que en la imagen de 2002 se observan los primeros trabajos para rellenar esta zona (Anexo 16).

B. Coeficiente de rugosidad.

Las poblaciones cercanas a los Lirios se expandieron hacia el Valle Nonguén hasta casi llegar a este. El sector este del estero Nonguén, a la altura de Collao, ha sido urbanizado casi por completo, por lo que el antiguo canal del río Andalién ha sido casi drenado en su totalidad.

Las áreas de cultivo aledañas al río Andalién, al lado de Concepción, descritas en 1969, se encuentran cubiertas por la ciudad en una gran mayoría (Anexo 17).

4.3.3.6. Reconstrucción periodo 2002-2006

A. Curvas de nivel.

Para este periodo las modificaciones se encuentran al este del área de estudio, donde los canales de regadío presentes desde 1969 han sido rellenados, según lo observado en la imagen satelital de 2002, aunque aún existen algunos canales hoy en día. Para la topografía de este año se consideró el ráster DEM de 2011 con el propósito de recrear la elevación de este sector.

El sector denominado Palomares fue modificado a lo que es en la actualidad, ya que no ha presentado mayores cambios.

El canal principal no presenta modificaciones en relación al periodo 1997-2002, ya que no se registran trabajos en el tramo norte del río Andalién, pero si se registraron luego de las inundaciones del 2006, por este motivo no se utilizó el ráster DEM de 2011. Por lo que al recrear el canal se consideró sólo la imagen satelital perteneciente al año 2002.

Finalmente el canal secundario del río Andalién, que fue separado de este en la reconstrucción de 1987-1997, tomó la forma actual (Anexo 18).

B. Coeficiente de rugosidad.

Para este periodo ocurrió una gran cantidad de cambios en el área de cultivos al este del área de estudio, donde se construyeron contenciones para el río Andalién. A estos se les asignó el valor de medianamente urbanizado, así como también a aquellos sectores donde se canalizó dicho río (Anexo 19).

4.3.4. Construcción de Ráster DEM

Una vez reconstruidas las curvas de nivel del área de estudio para cada uno de los periodos (Anexo 20), se realizó una interpolación TIN mediante la herramienta “Interpolación TIN” de QGIS. Como área para construir la interpolación se utilizó toda la superficie bajo la curva de nivel de los 12 metros y como tamaño de celda se consideró 1x1 metro para mantener el mayor detalle en el ráster DEM final (Anexo 20). Luego se recortó el ráster DEM correspondiente al año 2011 eliminando toda la superficie inferior a la curva de los 12 metros y se modificó el tamaño de celda de 5x5 metros a 1x1 metro (Anexo 21). Aunque al realizar este procedimiento el ráster DEM no presenta ningún cambio en el tamaño de celda real. Posteriormente se tradujeron las interpolaciones de formato TIF a formato TIFF, ya que es el formato del ráster DEM de 2011.

Finalmente, mediante la herramienta “Mosaico” se unió cada periodo con aquellas áreas que no habían presentado mayores modificaciones desde 1969 , creando un ráster DEM completo del área de estudio para cada periodo anteriormente descrito (Anexo 22).

4.3.5. Modelamiento de Inundaciones

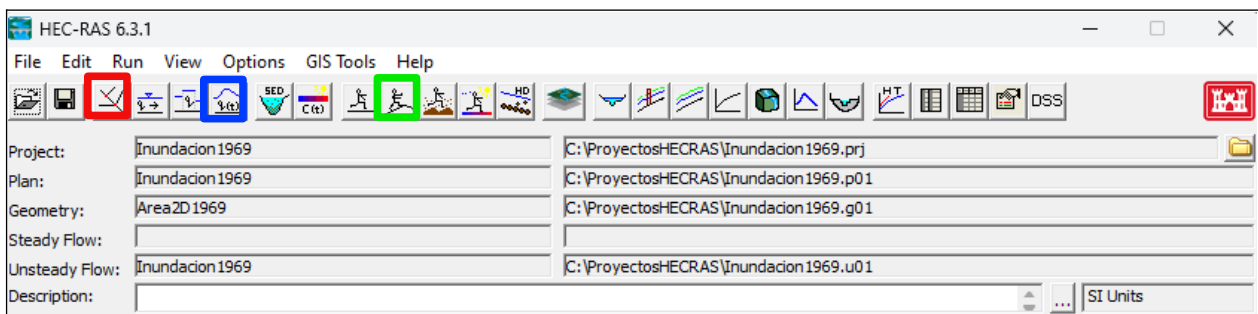
Con el objetivo de reconstruir de la mejor manera las inundaciones se decidió utilizar el software HEC-RAS 6.3.1. (Figura 4.3) en su configuración de 2 dimensiones. Este software perteneciente al ejército de los Estados Unidos, el cual fue creado con la finalidad de presentar una respuesta temprana a futuras inundaciones en dicho país.

Para definir los datos de la geometría de la simulación se accedió al apartado “*View/Edit Geometric data*” señalado en rojo en la figura 4.3, para lo que se utilizaron los datos de topografía y coeficiente de rugosidad anteriormente definidos.

Posteriormente se accedió al apartado “*View/Edit Unsteady flow data*” señalado en azul en la figura 4.3, para definir los datos de flujo. En este apartado se utilizaron los datos de precipitaciones diarias y pendiente del sector de salida del río.

Finalmente se determinó el intervalo de cálculo de la simulación mediante la herramienta “*Perform an unsteady flow simulation*” del software HEC-RAS señalado en verde en la figura 4.3, utilizando como criterio para determinar dicho periodo los datos entregados por la estación “Carriel Sur”.

Figura 4.3: Menú principal software HEC-RAS 6.3.1



4.3.5.1. Datos de topografía y coeficiente de rugosidad

Considerando los datos calculados con anterioridad, se construyó la geometría del área de estudio, mediante la opción “*View/Edit Geometric data*” señalado en rojo en la figura 4.3. Esta

superficie corresponde a un enmallado sobre la topografía importada desde QGIS hacia el programa HEC-RAS (Anexo 23). Además, este enmallado presenta datos de coeficiente de rugosidad o denominado en el programa “N Manning” (Anexo 24).

Dentro de la caracterización de la geometría también fue necesario definir las condiciones de entrada o en el programa denominadas como “BC Line”, siendo condiciones correspondientes a la entrada del río Andalién, el estero Nonguén y tributarios menores presentes en el área de estudio.

Finalmente se caracterizan las “Break Line”, que corresponden al canal principal y los canales secundarios del río Andalién (Anexo 25), para que, al simular la inundación, el programa detecte estas secciones como canales, considerando así a estos como secciones de mayor facilidad para que transite el agua.

4.3.5.2. Datos de caudal y flujo.

Para caracterizar el flujo de la simulación se accedió a la ventana “*View/Edit Unsteady flow data*” del software HEC-RAS señalado en azul en la figura 4.3. En esta ventana se definen las características de entrada y salida del flujo del río Andalién, el estero Nonguén y aquellos puntos relevantes anteriormente delimitados en la geometría de la simulación (Anexo 26).

A. Condiciones de entrada y salida para simulaciones 1969-2001

Debido a los pocos cambios ocurridos durante los años 1969 y 2001 en el sector este del área de estudio, no se realizaron modificaciones en las condiciones de entradas para este periodo. Estas condiciones corresponden a siete canales que transportan agua hacia la simulación y dos áreas donde el agua es extraída del área de estudio (Anexo 27).

Para este periodo se definió el río Andalién junto a cuatro afluentes en el sector noreste del área de estudio. Debido a la falta de datos sobre el caudal de estos canales, se definió una cota de la columna de agua para cada uno de estos. Para el canal principal y los afluentes 2, 3 y 4 se definió una cota de agua de 9,2 metros (Anexo 28), y para el afluente 5 se asignó un valor de 8,2 metros.

Para el estero Nonguén se definió un canal con una cota de la columna de agua de 11,8 metros (Anexo 29).

También fueron definidos dos tributarios menores al este del área de estudio, designados como tributario menor 1 y tributario menor 2, para el primero se definió una cota de agua de 8,1 metros (Anexo 30) y para el segundo 8,2 metros.

Finalmente, la salida del agua de la simulación se definió en dos puntos, uno en la zona central de la ciudad de Concepción, denominada “Salida Centro”, ya que Don Esteban describió que aproximadamente a la mitad de esta ciudad se divide el área de desagüe. Para esto se calculó la pendiente de salida del agua en 0,004. El segundo punto, corresponde al sector más distal del río Andalién, cercano a la desembocadura de este, denominada “Salida”, aquí la pendiente fue calculada y es de 0,00064. Para calcular los valores de pendientes, se determinaron a partir de la distancia entre las curvas de nivel más cercanas a las zonas denominadas como “Salidas” (Anexo 31).

B. Condiciones de entrada y salida para simulaciones 2002-2006

Debido a las recurrentes inundaciones y crecidas del río Andalién durante los años 1997 a 2001, se realizaron diferentes trabajos en el sector este del área de estudio, lo que modificó los afluentes y tributarios del río Andalién definidos anteriormente. Por este motivo fue necesario volver a definir las variables de entrada de la simulación.

En este periodo se definió el canal principal del río Andalién con una cota de la columna de agua de 9,6 metros, dos afluentes denominados 2 y 3 con una altura de la columna de agua de 9,6 metros. Debido a los trabajos para construir las defensas del río Andalién se rellenó parte del área circundante a los tributarios descritos entre los años 1969-2001, por lo que éstos ya no son considerados para las simulaciones de este periodo.

Para las condiciones de salida no se presentaron diferencias considerables, debido a las pocas modificaciones ocurridas en la desembocadura del río Andalién o la zona central donde se definió

la condición de borde “Salida Centro”.

4.3.5.3. Datos de precipitaciones

Debido a la falta de datos de precipitaciones por hora, se analizó la información encontrada en el diario “El Sur”, correspondiente a cada una de estas inundaciones, pues separar de igual manera los datos de precipitación por hora no sería cercano al comportamiento real de las lluvias. Estos datos se dividieron para simular de la mejor forma datos de lluvia reales, considerando una campana de Gauss la mejor aproximación a las precipitaciones reales. Utilizando el método descrito por Sánchez (2022), la construcción de estos datos de precipitaciones se detallan en el punto 5.1.1. correspondiente a la sección de resultados.

Cada uno de estos intervalos fueron utilizados en el apartado “*Precipitation*” presente en la ventana “*View/Edit Unsteady flow data*” del software HEC-RAS (Anexo 32).

4.3.5.4. Intervalo de cálculo de simulación

Después de calibrar las variables requeridas para construir la simulación, comenzó el procesamiento de los datos, mediante la ventana “*Perfom an unsteady flow simulation*” señalado en verde en la figura 4.3, para lo cual se definió una entrega de resultados con intervalos de 30 minutos y un periodo de cálculo de simulación de 1 segundo, es decir que la simulación vaya calculando segundo a segundo el flujo del agua. De esta manera, se evitan errores que se presentan en la simulación cuando el periodo de cálculo es mayor, como por ejemplo columnas de agua de 15 metros en el sector de las montañas que se presentan cuando el periodo de cálculo es de 30 segundos (Anexo 33). Finalmente, se obtienen mapas correspondientes a cada una de las inundaciones con una entrega de datos de 30 minutos y un mapa con la máxima columna de agua registrada en el intervalo de tiempo de la simulación (Anexo 34).

5. RESULTADOS

5.1. CONSTRUCCIÓN DE DATO DE PRECIPITACIONES.

Como se señala en el apartado 4.3.5.3. se utilizó una distribución en función de una campana de Gauss, método descrito por Sánchez (2022), para la construcción de los datos de precipitaciones correspondiente a cada una de las simulaciones. Se consideró la información entregada por la estación “Carriel Sur” y las imágenes encontradas en el diario “El Sur”, realizándose una interpretación de datos presente en los puntos detallados continuación.

5.1.1. Inundación 1969

Para la construcción de esta simulación se consideró lo descrito por el diario “El Sur”, donde se describe que las precipitaciones duraron toda la noche del día 5 de junio y la mañana del 6 de junio del año 1969, datos que fueron corroborados con los emitidos por la estación meteorológica “Carriel Sur” registrándose 125,6 milímetros de agua precipitada para este intervalo de tiempo.

A partir de estos datos, se definió el tiempo de simulación desde las 20:00 horas del 5 de junio, hasta las 07:00 horas del 6 de junio, en periodos de tiempo de treinta minutos, donde el máximo valor se encuentra a las 01:30 horas de la mañana del segundo día (Figura 5.1.).

5.1.2. Inundación 1974

Considerando los datos entregados por la estación meteorológica “Carriel Sur”, se registró para los días 25 y 26 de junio un total de 155,4 milímetros de agua precipitada, junto a las noticias e imágenes del diario “El Sur” se consideró que la mejor manera de representar las precipitaciones era mediante dos días de simulación.

El primer día, correspondiente al 25 de junio de 1974, se definieron las lluvias desde las 12:00 horas hasta las 21:30 horas con un máximo a las 16:30 horas que fue de 4,96 milímetros de agua.

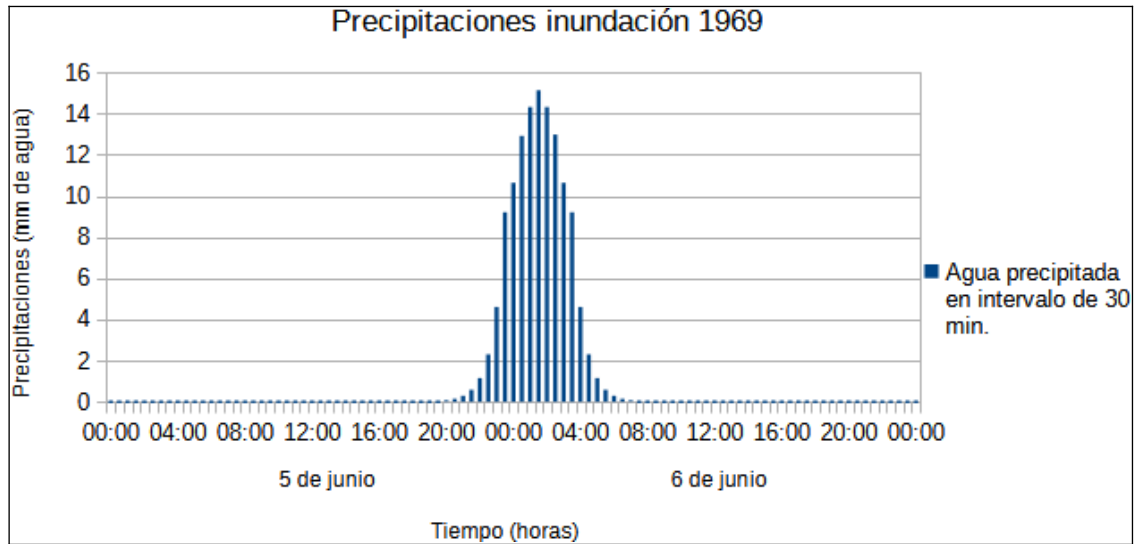


Figura 5.1: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1969.

Para el día 26 de junio de 1974, correspondiente al segundo día de simulación, se definió que las precipitaciones comenzaran a las 04:30 horas y terminaron a las 19:30 horas, en este día el valor máximo de precipitación fue a las 09:30 horas siendo este de 9,46 milímetros (Figura 5.2.).

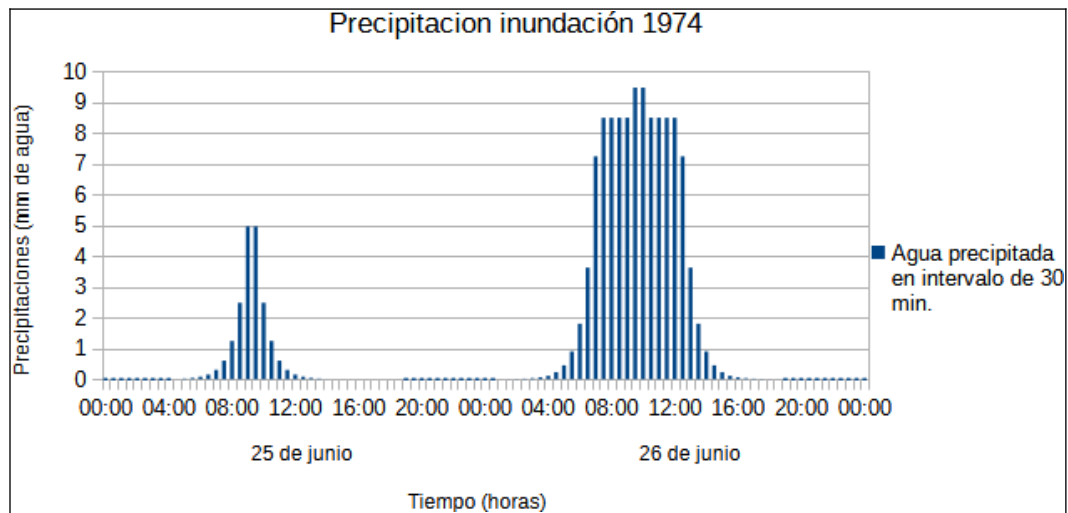


Figura 5.2: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1974.

5.1.3. Inundación 1987

En esta inundación, se describe en el diario “El Sur”, que las lluvias fueron intensas durante la noche del 10 de julio y la madrugada del 11 de julio, esta información junto a los datos de

precipitación de la estación “Carriel Sur”, que registró 128,6 milímetros de agua precipitada en este periodo de tiempo, ayudaron a definir 2 días de simulación, desde las 12:30 horas del día 10 de julio hasta las 09:00 horas del día siguiente, con una precipitación máxima de 9,79 milímetros de agua precipitada a las 00:00 horas del día 11 de julio (Figura 5.3.).

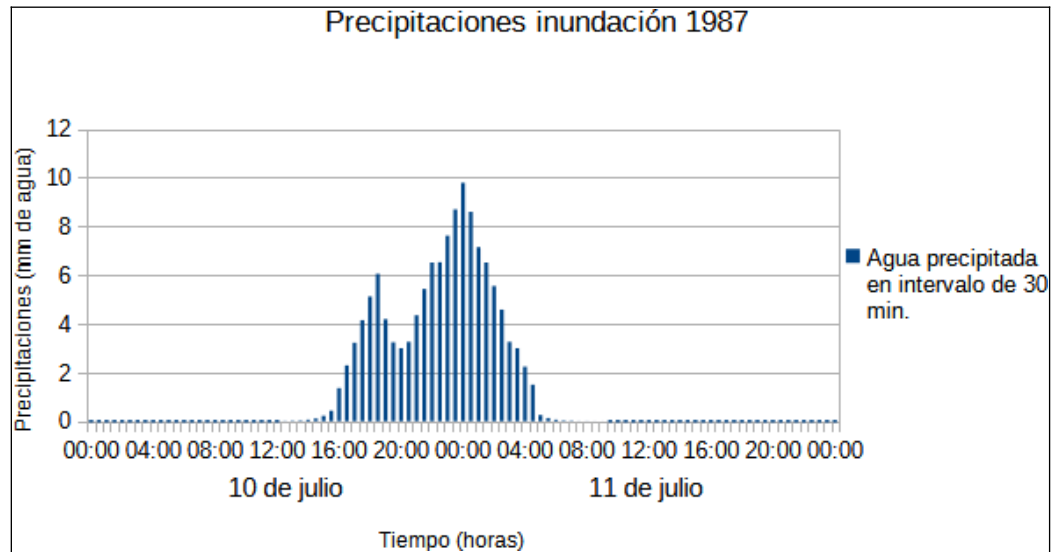


Figura 5.3: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1987.

5.1.4. Inundación 1988

Según las noticias correspondientes al diario “El Sur” del día 29 de julio del 1988 se registraron fuertes precipitaciones los días 26, 27 y 28 de julio, que junto a los 179,1 milímetros de agua precipitada registrados por la estación “Carriel Sur” para estos días, fueron los factores determinantes para definir tres días de precipitaciones para la simulación con dos intervalos de lluvias. El primero desde las 15:30 horas del día 26 de julio hasta las 12:30 horas del día 27 de julio con un pico de precipitaciones a las 6,75 milímetros de agua precipitada; y el segundo periodo desde las 14:00 horas del día 27 de julio hasta las 08:00 horas del día 28 de julio con un máximo de 5,21 milímetros de agua precipitada a las 22:30 horas del 27 de julio (Figura 5.4.).

5.1.5. Inundación 2000

Para el año 2000 se registraron intensas precipitaciones desde el 14 de junio según las imágenes

y noticias encontradas en el diario “El Sur”. A partir de esta fecha se encuentran desbordes del río Andalién en algunas zonas, exactamente en villa “Napoli”.

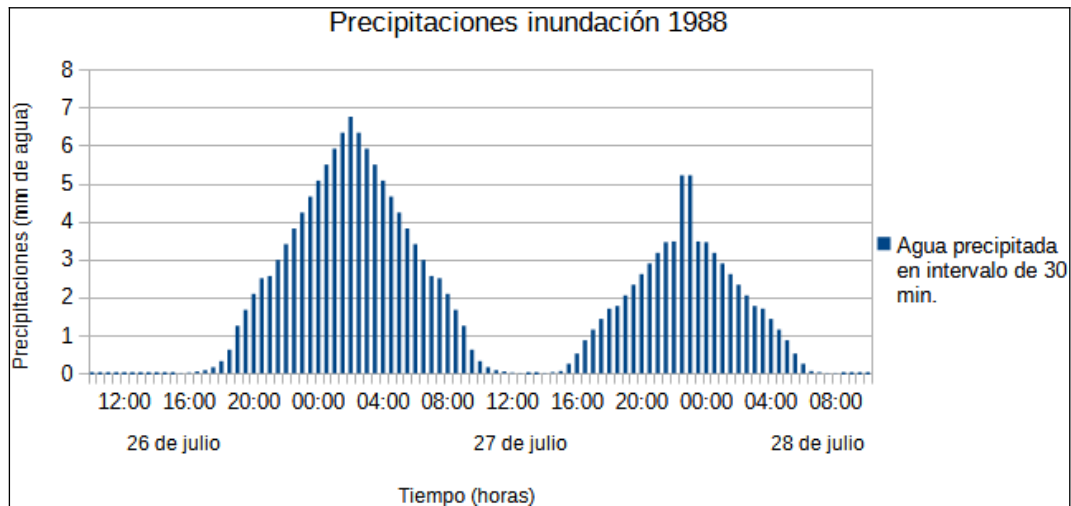


Figura 5.4: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 1988.

Estos desbordes se intensifican hasta los días 26 y 27 de junio donde las crecidas de este río cubren gran parte de la llanura de inundación, por lo que se consideró estos dos últimos días para reconstruir la inundación. En estos días se registran 85,4 milímetros de agua precipitada según los datos entregados por la estación “Carriel Sur”, en la simulación las precipitaciones comienzan el 26 de junio a las 11:30 horas y finalizan a las 07:00 horas del día 27 de junio, con un valor máximo de 6,33 milímetros de agua a las 19:30 horas del primer día (Figura 5.5.).

5.1.6. Inundación 2001

Esta inundación fue definida en dos días de precipitaciones correspondientes al 12 y 13 de junio con una precipitación total de 97,8 milímetros de lluvia según la estación “Carriel Sur”, dividida en dos periodos de precipitación; uno desde las 06:30 horas del 12 de junio hasta las 02:30 horas del 13 de junio, con un valor máximo de 5,11 milímetros de agua a las 16:00 horas del primer día; y el segundo periodo corresponde desde las 12:00 horas hasta las 18:00 horas del segundo día con un máximo de 9 milímetros de agua precipitada a las 15:00 horas. La existencia de dos periodos de precipitación para este año se debe a las noticias correspondientes al 15 de junio, donde es descrito un periodo de bajas precipitaciones durante

el segundo día que se intensificaron nuevamente durante la tarde (Figura 5.6.).

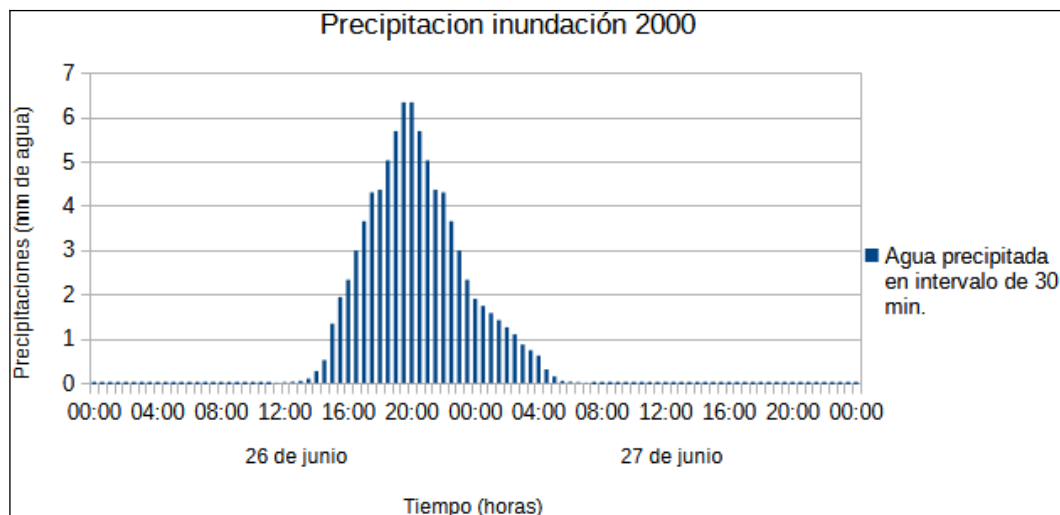


Figura 5.5: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2000.

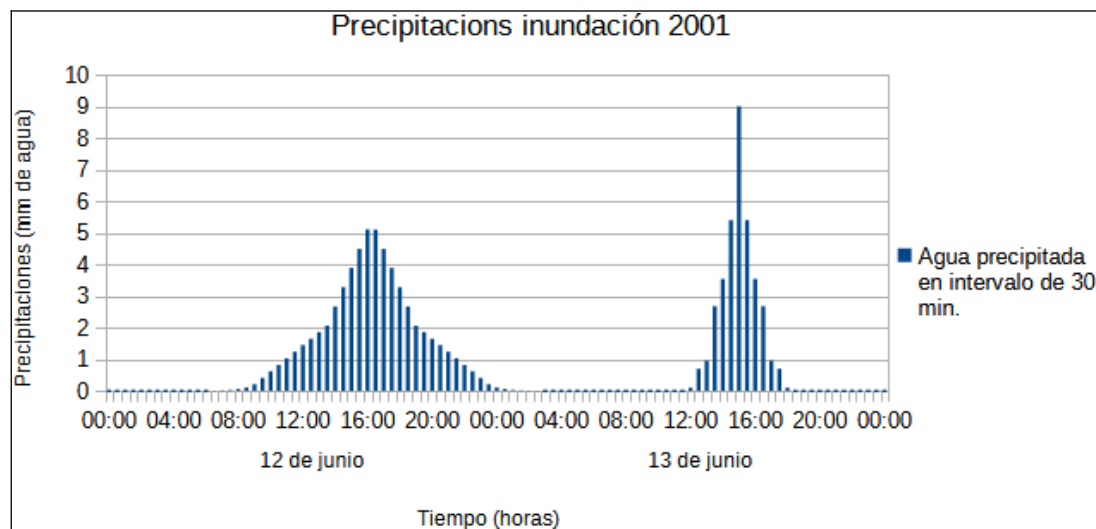


Figura 5.6: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2001.

5.1.7. Inundación 2002

Para este año se registraron fuertes precipitaciones durante tres días consecutivos correspondientes a 22, 23 y 24 de agosto con una precipitación total de 151,4 milímetros de agua de acuerdo con los datos entregados por la estación “Carriel Sur”.

En la reconstrucción de los datos de precipitación se consideró la descripción realizada por el diario “El Sur” correspondiente al día 25 de agosto, por lo que se dividió en dos intervalos de precipitación.

El primero comienza a las 16:00 horas del día 22 de agosto y finaliza a las 11:30 horas del día 23 de agosto, con una precipitación máxima de 8,46 milímetros de agua a las 01:30 horas del día 23 de agosto.

El segundo intervalo se encuentra definido desde las 00:00 horas del día 23 de agosto hasta las 12:00 horas del 24 de agosto con un valor máximo de 2,72 milímetros de agua precipitada a las 06:00 horas del tercer día (Figura 5.7.).

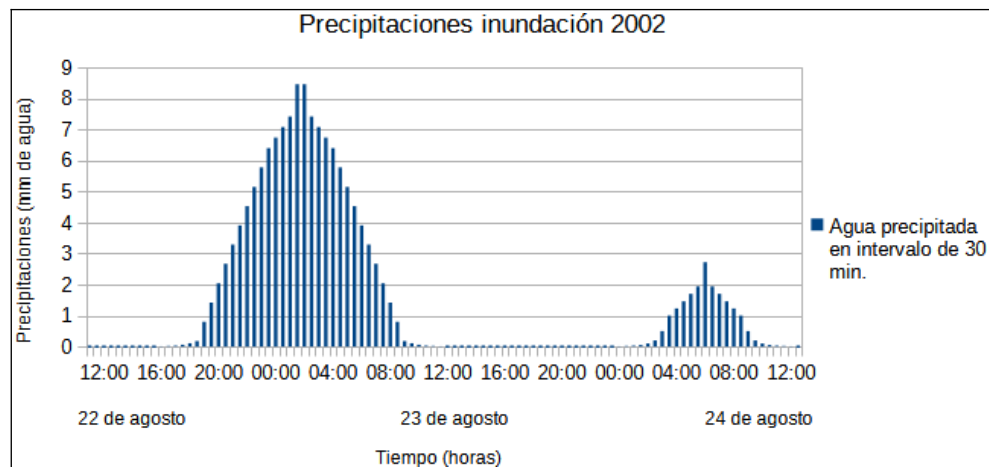


Figura 5.7: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2002.

5.1.8. Inundación 2006

La inundación correspondiente a este año es definida en dos días. En este periodo de tiempo se registró 164,6 milímetros de agua precipitada según la estación “Carriel Sur” con 112,5 milímetros de agua precipitada entre las 8:00 horas del 10 de julio y las 8:00 horas del día 11 de julio según es señalado por el diario “El Sur”.

Las precipitaciones en este caso se definieron de manera constante desde las 08:00 horas del día

10 de julio hasta las 23:00 horas del día 11 de julio. En este intervalo se encuentran dos picos de precipitaciones, el primero a las 19:00 horas del 10 de julio, siendo este de 6,61 milímetros de agua; y el segundo a las 15:30 horas del día 11 de julio que corresponde a 3,46 milímetros de agua precipitada (Figura 5.8.).

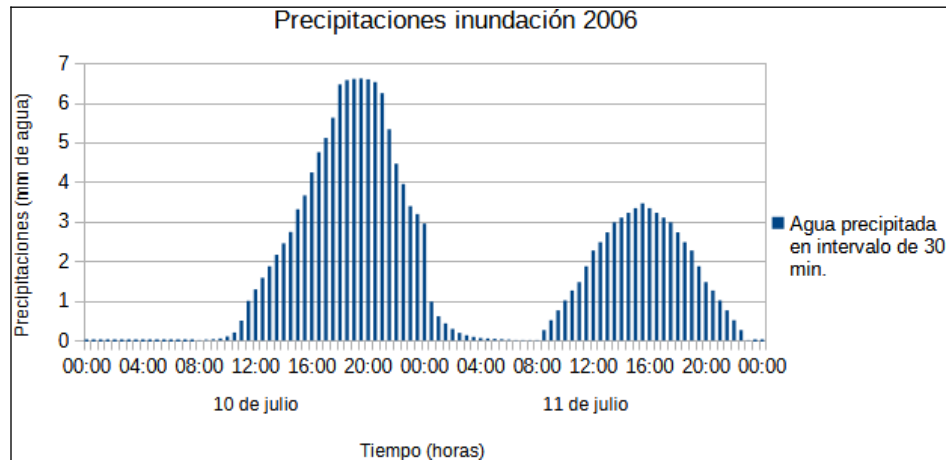


Figura 5.8: Datos de precipitaciones para la simulación de la inundación 2006.

5.2. CORRECCIÓN DE INUNDACIONES

Luego de obtenidos los resultados preliminares de las diferentes simulaciones fue necesario revisar cada una de éstas mediante la comparación con imágenes publicadas en el diario “El Sur” para cada año, donde se calculó un valor de la columna de agua correspondiente a las fotografías, considerándose como el dato real, contrastado con el mismo punto de la simulación, para lo cual se utilizó el sistema de coordenadas UTM WGS 84.

5.2.1. Inundación 1969

En esta simulación se realizó la corrección utilizando las imágenes encontradas en el diario “El Sur” correspondiente al día 6 de junio de 1969. Este material corresponde a dos fotografías tomadas al mediodía en las que se observa el sector denominado “isla Andalién” siendo el principal afectado por la inundación de este año.

La primera fotografía corresponde a una carreta que se encuentra cubierta por el agua hasta aproximadamente la mitad de la rueda (Anexo 35). Para este caso se calculó un diámetro

aproximado de 1 metro, por lo que se estima el valor de la columna de agua en 50 centímetros, siendo el valor de la columna de agua obtenido en la simulación de 53 centímetros.

En el caso de la segunda fotografía, ésta fue tomada en el canal secundario del río Andalién, que separaba el sector denominado “isla Andalién” del resto de Concepción (Anexo 36). En esta imagen se puede observar un hombre intentando cruzar dicho canal con el agua hasta la mitad de la pantorrilla. Para calcular la estatura de esta persona se tuvo en cuenta el promedio nacional para el año de 1970, correspondiente a 1,70 metros aproximadamente (Llorca-Jaña, 2018), considerando este promedio se estimó en 34 centímetros la columna de agua, siendo la obtenida en la simulación de 32 centímetros para el mismo punto.

Tabla 5.1: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1969.

Sector	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Carreta en Isla Andalién	18H 675.903,51 5.924.565,49	0,5	0,53
Hombre caminando Isla Andalién	18H 675.886,31 5.924.572,66	0,34	0,32

5.2.2. Inundación 1974

Para la corrección de la inundación de 1974 se consideraron las fotografías correspondientes al día 28 de junio de 1974 publicadas en el diario “El Sur”, junto a este material se tuvo en cuenta el relato entregado en la entrevista por Don Eduardo (Com, Verb.).

El primer punto corresponde a la descripción realizada por un periodista del diario “El Sur”, el cual describe el hogar en que se encuentra, en la dirección “General Novoa N°400”, el agua había entrado hasta una altura de 40 centímetros (Anexo 37), por este motivo fue necesario corregir en varias ocasiones los datos de precipitación, obteniendo en última instancia una cota de la columna de agua de 28 centímetros para este punto.

El segundo punto corresponde a la casa de los padres de Don Eduardo que se encontraba en valle Nonguén. Él relata que el agua inundó gran parte del sótano, llegando el agua hasta una altura aproximadamente de 1 metro según recuerda (Com. Verb.). Para este punto en la simulación se

obtuvo un valor de 1,02 metros.

El último punto del año 1974 se encuentra en la Isla Andalién, en la fotografía se observa un grupo de personas intentado construir una balsa (Anexo 38), mientras otros los observan desde la orilla cubiertos levemente por el agua. Entre estas últimas personas se encuentra un hombre adulto, para el cual se considera una altura aproximada de 1,70 metros (Llorca-Jaña, 2018), a partir de la estatura aproximada de este hombre se estima un valor de 37 centímetros para la cota del agua en este punto, siendo de 35 centímetros en la simulación.

Tabla 5.2: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1974.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías	Valor simulación
		(metros)	(metros)
General Novoa N° 400	18H 676.041,10 5.923.577,61	0,4	0,28
Valle Nonguén	18H 677.919,02 5.921.658,63	1	1,02
Isla Andalién	18H 675.916,15 5.924.557,11	0,37	0,35

5.2.3. Inundación 1987

En la inundación de este año el sector principalmente afectado corresponde a la población “Teniente Merino 2” (Anexo 39) según señala el diario publicado el 12 de julio de 1987, en la que en sectores más cercanos al río Andalién la cota del agua correspondía a aproximadamente 30 centímetros, siendo el valor obtenido en la simulación de 0,21 centímetros para este punto.

En esta misma noticia, se describe como una vivienda situada en el pasaje 9 de esta población, se encontraba inundada, estimándose un valor de 24 centímetros para la cota del agua en este punto, discrepando con el valor obtenido en la simulación. Finalmente, se consideró tomar en cuenta solo el primer punto para la calibración de ésta.

5.2.4. Inundación 1988

Para la corrección de la simulación de este año se utilizaron las fotografías obtenidas del diario “El Sur” de los días 29 y 30 de julio.

El primer punto de control corresponde a la calle General Novoa donde se encuentra un microbús que presenta la mitad de su rueda cubierta por agua (Anexo 40), para la medida del neumático se considera un aro de 16' siendo el más común en este tipo de transporte. A partir de esto, se considera una columna de agua de 21 centímetros; en la simulación se obtuvo un valor de 20 centímetros para el mismo punto.

Tabla 5.3: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1987.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Población Teniente Merino	18H 675.617,21 5.925.855,93	0,3	0,21

El segundo punto corresponde a la población Villa Huáscar, donde se observa una imagen de una persona con el agua hasta las rodillas (Anexo 41). Para calcular la estatura de esta persona nuevamente se considera una estatura promedio de 1,70 metros aproximadamente, de esta manera se obtiene que la columna de agua es de aproximadamente 34 centímetros, para este punto en la simulación se obtiene un valor de 31 centímetros.

Como último punto se considera la casa que se encuentra en la dirección “Santa Clara N°330” (Anexo 42), donde se observa una persona intentado cruzar por su patio, para este punto se estima una cota de la columna de agua de 63 centímetros, siendo el valor obtenido en la simulación de 59 centímetros.

Tabla 5.4: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 1988.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Calle General Novoa	18H 676.255,03 5.923.477,91	0,21	0,23
Población villa Huáscar	18H 676.801,28 5.923.022,80	0,34	0,31
Santa Clara N° 330	18H 675.900,73 5.925.113,95	0,63	0,59

5.2.5. Inundación 2000

En las fotografías publicadas por el diario “El Sur”, entre los días 14 y 30 de junio, es posible observar afectada en gran medida la población denominada “villa Napoli” que hoy en día ha sido

deshabitada debido a las inundaciones, aunque la crecida del río Andalién no causó daños en el sector conocido como “Collao”, en las imágenes se muestra a este río inundando el condominio “Los Conquistadores” que se encuentra al norte de dicho río (Anexo 43). Según las fotografías se estima en 20 centímetros la columna de agua para esta crecida en este condominio, siendo el valor obtenido en la simulación de 17 centímetros.

Tabla 5.5.: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2000.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Entrada a Condom. los Conquistadores	18H 676.115,38 5.924.622,87	0,2	0,17

5.2.6. Inundación 2001

Para corregir la simulación de este año se utilizaron las noticias del día 15 de junio publicadas por el diario “El Sur”. En éstas se describe las características de la inundación y también se adjuntan fotografías del área inundada, considerándose dos puntos de control:

El primero corresponde a la descripción del caudal del río Andalién en que se señala como este había alcanzado el punto crítico de los 4,7 metros a las 08:00 horas del día 14 de junio (Anexo44), para este mismo punto se obtuvo que el río llegaba a los 4,88 metros.

El segundo punto corresponde a la calle “los Acacios” en la población “Isla Andalién” donde luego de años nuevamente comienza a ser un área problemática (Anexo 45). En la fotografía se observa un niño de aproximadamente ocho años que tiene sus pies completamente cubiertos por el agua, pero la vereda se encuentra apenas cubierta, por lo que a partir de esta información se calcula una altura de la columna de agua de aproximadamente 12 centímetros, siendo el valor obtenido en la simulación de 0,10 metros.

5.2.7. Inundación 2002

La corrección realizada para la inundación de este año se hizo teniendo en cuenta las noticias correspondientes al diario “El Sur” del día 25 de agosto, para lo cual se utilizó tres puntos de control.

Tabla 5.6.: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2001.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Población “Isla Andalién”	18H 675.993,30 5.924.581,22	0,12	0,10
Cota del río Andalién	Ribera	4,7	4,88

Según lo relatado en las noticias del diario “El Sur” para este día, se describe como la cota del río Andalién superó niveles históricos alcanzando un valor de 5,4 metros (Anexo 46), siendo el valor obtenido en la simulación de 5,58 metros para este punto.

También es relatado como en la universidad del Biobío la cota del agua alcanzó 0,5 metros, obteniendo para este punto un valor de 0,54 metros en la simulación (Anexo 47).

El último punto de control corresponde a la población “Villa Huáscar”. En este sector se puede observar en las imágenes personas cargando una balsa con el agua hasta la parte inferior de la pantorrilla (Anexo 48), considerando una estatura promedio de 1,70 metros se estima en 20 centímetros la columna de agua, siendo el valor obtenido en la simulación de 0,18 metros.

Tabla 5.7.: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2002.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Cota del río Andalién	Ribera	5,4	5,58
Universidad del Biobío	18H 676.969,77 5.922.991,54	0,5	0,54
Población villa Huascar	18H 676.934,11 5.923.466,42	0,2	0,18

5.2.8. Inundación 2006

Siendo la inundación más reciente como también la más significativa del último tiempo. Es posible encontrar una gran cantidad de fotografías de la magnitud de esta inundación. A partir de las diferentes imágenes finalmente se consideró tres puntos de control que se encontraron en el diario “El Sur” correspondiente al día 12 de julio, ya que en este día se encuentran las consecuencias de las máximas precipitaciones en el área de estudio (Anexo 49 y 50), estos puntos

se detallan en la tabla 4.10. que se encuentra a continuación.

Tabla 5.8.: Puntos de referencia para la corrección de las simulaciones de 2006.

	Coordenadas WGS 84	Valor fotografías (metros)	Valor simulación (metros)
Avenida General Novoa	18H 676.211,30 5.923.616,35	0,25	0,14
Plaza Acevedo	18H 675.652,40 5.923.846,42	0,39	0,4
Universidad del Biobío	18H 676.961,10 5.922.979,51	0,5	0,47

5.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Determinada la veracidad de los datos de las inundaciones, al igual que puntos en los que éstas discrepan con las imágenes, fue momento de exportar los mapas al software QGIS para definir los parámetros bajo los que estas fueron analizadas, como también realizar las correcciones pertinentes.

5.3.1. Definición de Parámetros de la Inundación

Para realizar la comparación entre las diferentes inundaciones se construyeron cuatro clasificaciones en función de la altura de la columna de agua, los cuales son:

- I. Mayor a 10 cm: Ésta clasificación se definió con la finalidad de determinar la extensión de cada una de las inundaciones.
- II. Mayor a 20 cm: Parámetro definido para determinar zonas donde la inundación comenzaría a presentar un problema para el tránsito peatonal, considerando el desnivel de la vereda en aproximadamente 18 centímetros con respecto a la calle.
- III. Mayor a 50 cm: Considerado para definir aquellas zonas críticas donde el agua pudo entrar en las viviendas.
- IV. Mayor a 1 metro: Se definió para determinar puntos de alto riesgo donde el caudal fuese lo

suficientemente fuerte para arrastrar a una persona, como también puntos donde el agua anegada presentase un alto riesgo.

5.3.1.1. Inundación 1969

Para estos resultados no fue necesario crear modificaciones en las cuatro capas obtenidas de la simulación (Figura 5.9).

5.3.1.2. Inundación 1974

Para esta simulación no se realizó modificaciones, ya que el punto problemático presente en la Avenida Collao no alcanzó el valor de clasificación definido como mayor a 50 cm (Figura 5.10).

5.3.1.3. Inundación 1987

Para este año se realizó una modificación en el sector denominado población “Teniente Merino” donde, debido al estallido de los colectores de agua, se inundó esta zona del área de estudio, por lo que se obtuvo dos mapas, uno correspondiente al entregado por la simulación (Figura 5.11) y otro corregido (Figura 5.12).

5.3.1.4. Inundación 1988

La simulación de la inundación de este año no presenta diferencias con los valores obtenidos de las imágenes del diario “El Sur” (Figura 5.13).

5.3.1.5. Inundación 2000

Para este año se presenta una diferencia entre la simulación (Figura 5.14) y los datos obtenidos de las fotografías en el sector de la Isla Andalién (Figura 5.15), por este motivo se obtuvo dos mapas.

5.3.1.6. Inundación 2001

Al igual que la simulación del año 2000, esta presenta diferencias en el sector denominado Isla Andalién, por lo que se presentó los datos de la simulación (Figura 5.16.) y los corregidos según la información obtenida en los diarios (Figura 5.17.).

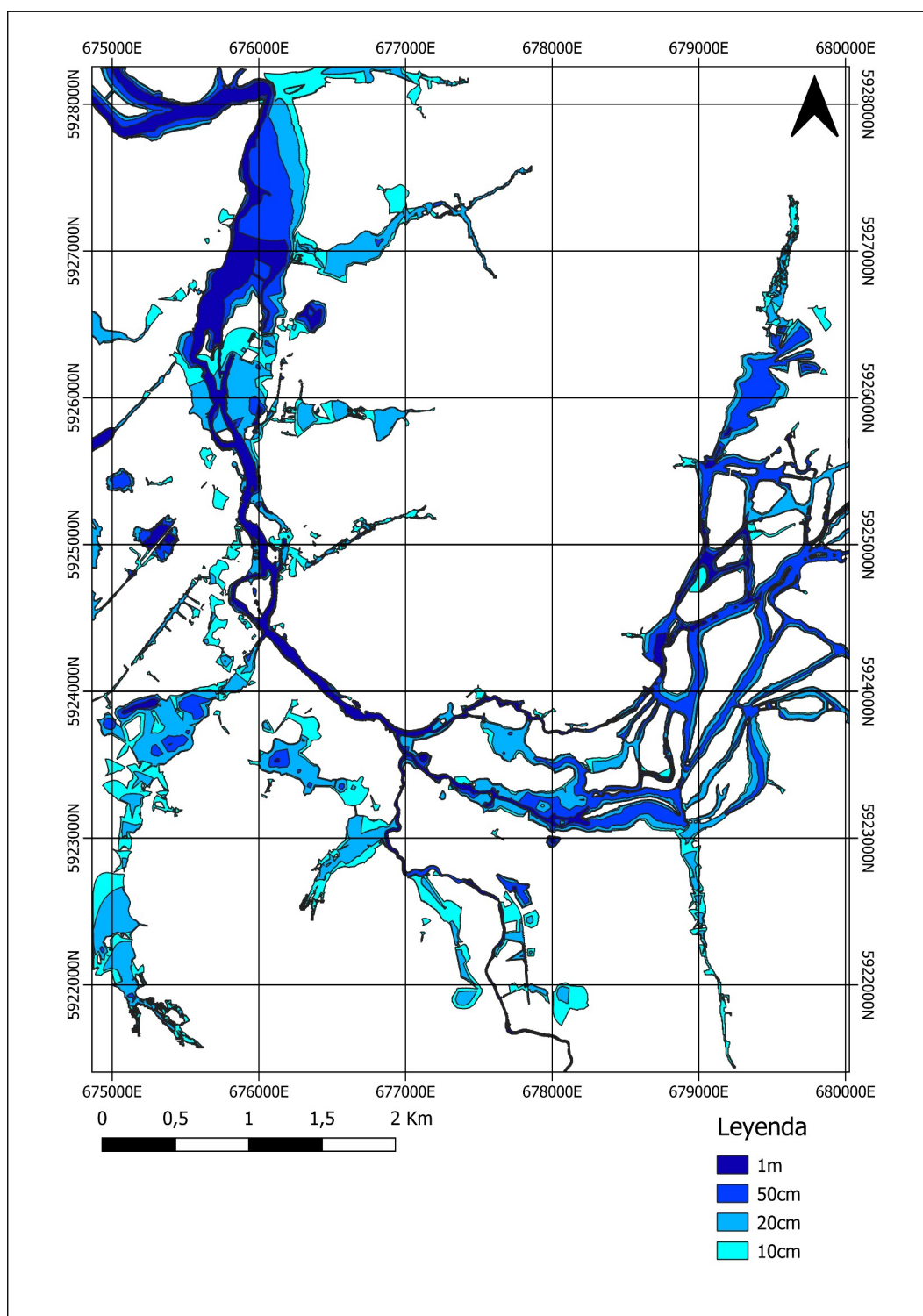


Figura 5.9: Mapa superficie inundada para el año 1969.

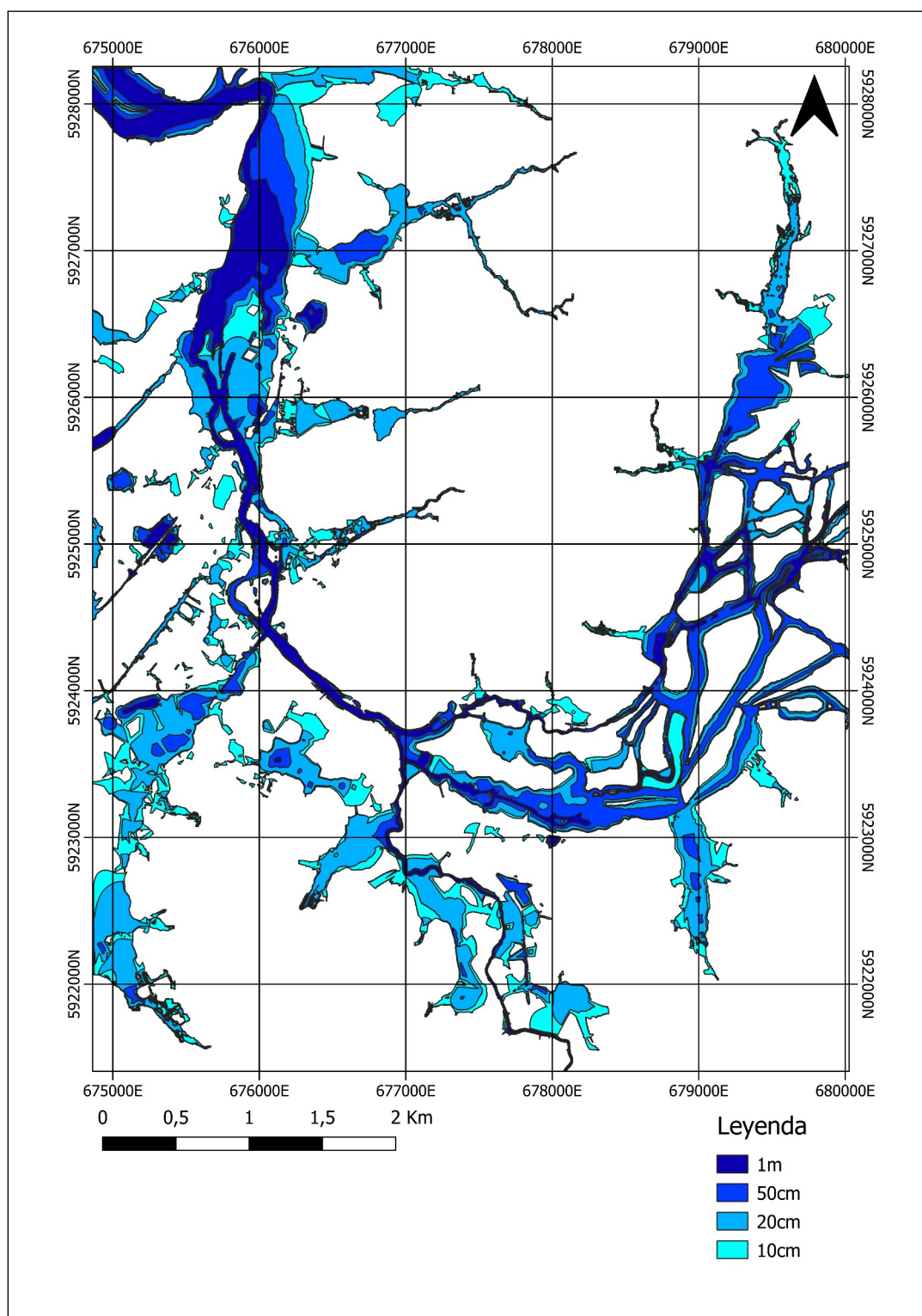


Figura 5.10: Mapa superficie inundada para el año 1974.

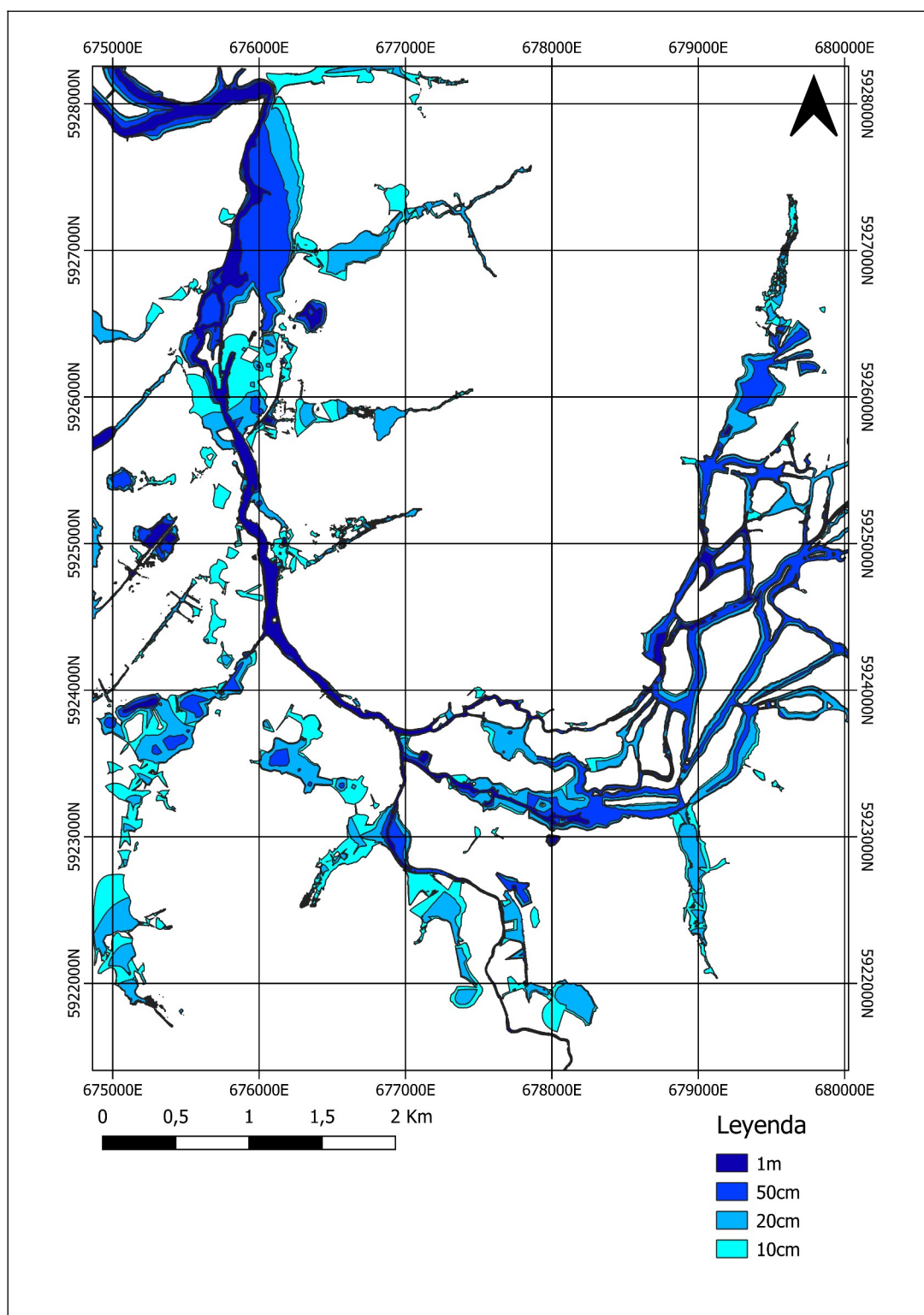


Figura 5.11: Mapa superficie inundada 1987 a partir de la simulación.

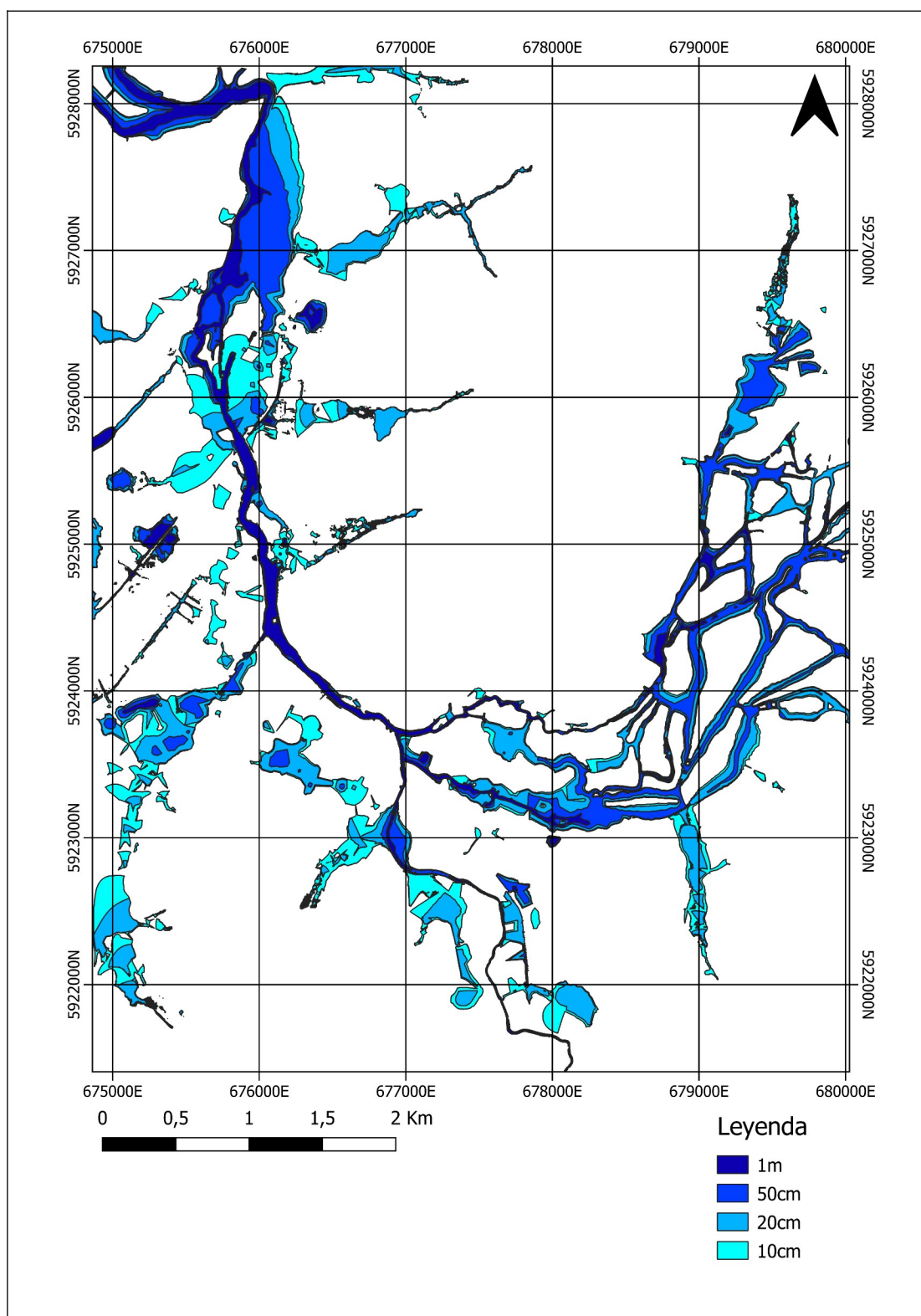


Figura 5.12: Mapa superficie inundada para 1987 corregido.

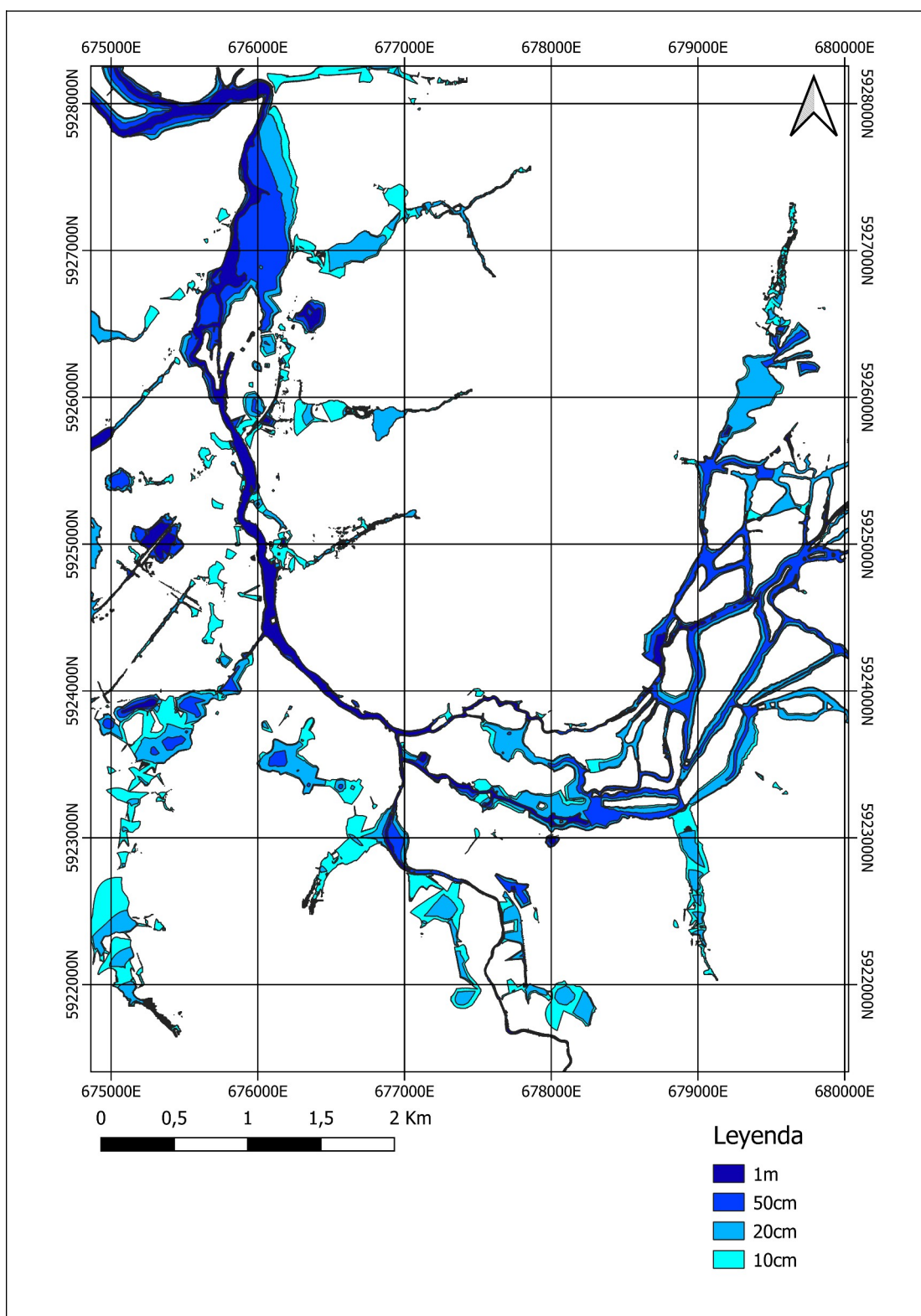


Figura 5.13: Mapa superficie inundada 1988 a partir de la simulación.

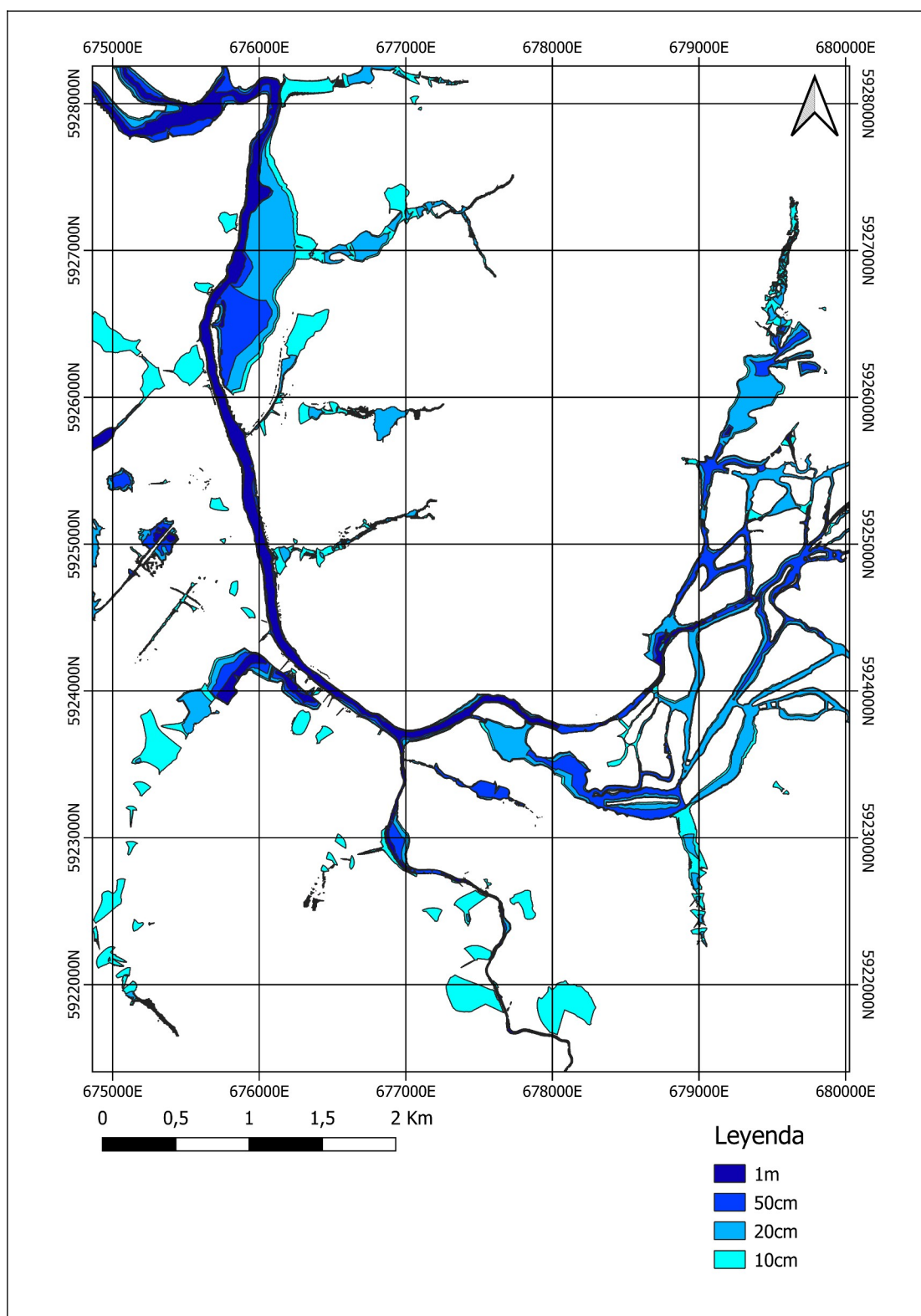


Figura 5.14: Mapa superficie inundada 2000 a partir de la simulación.

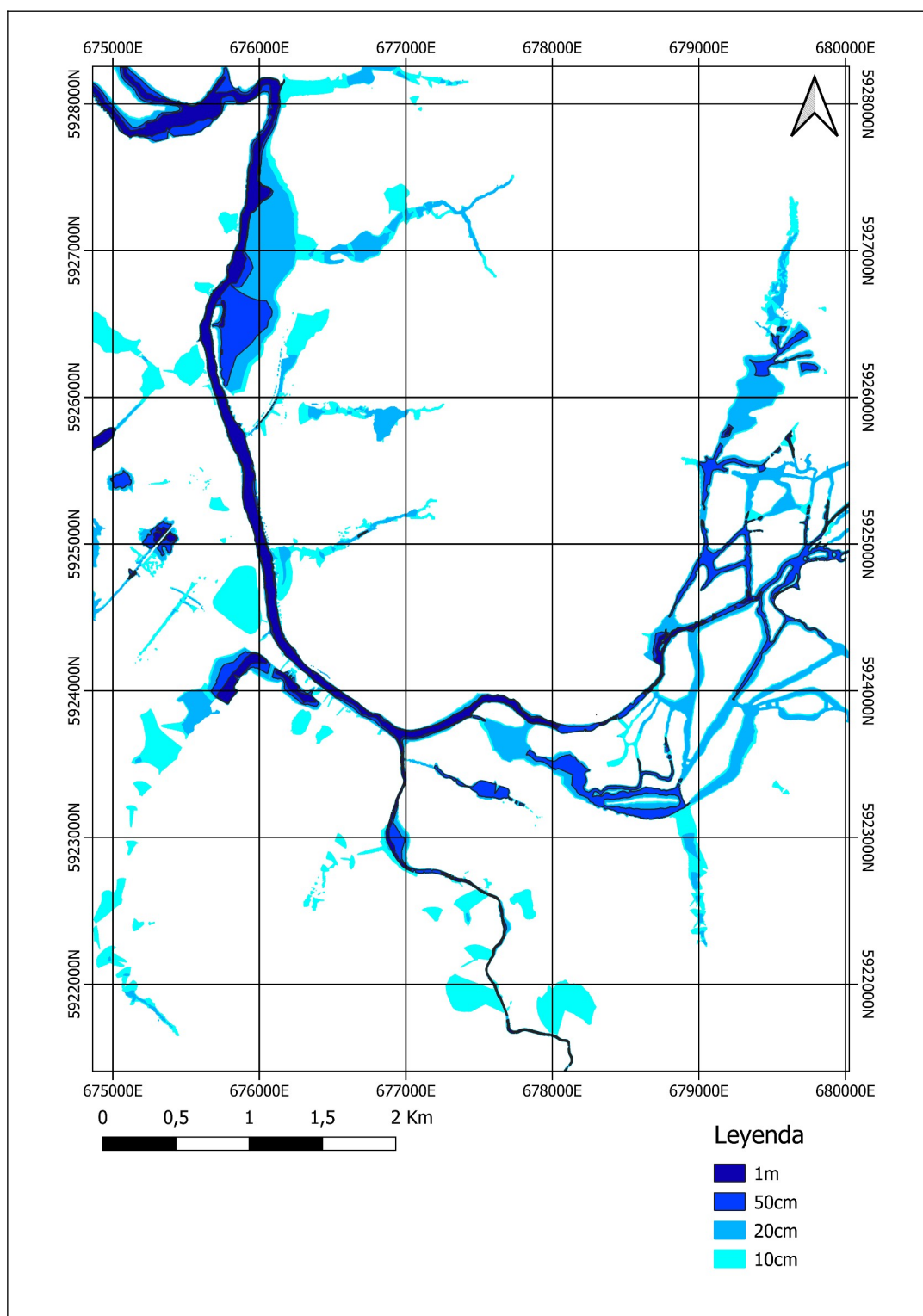


Figura 5.15: Mapa superficie inundada año 2000 corregido.

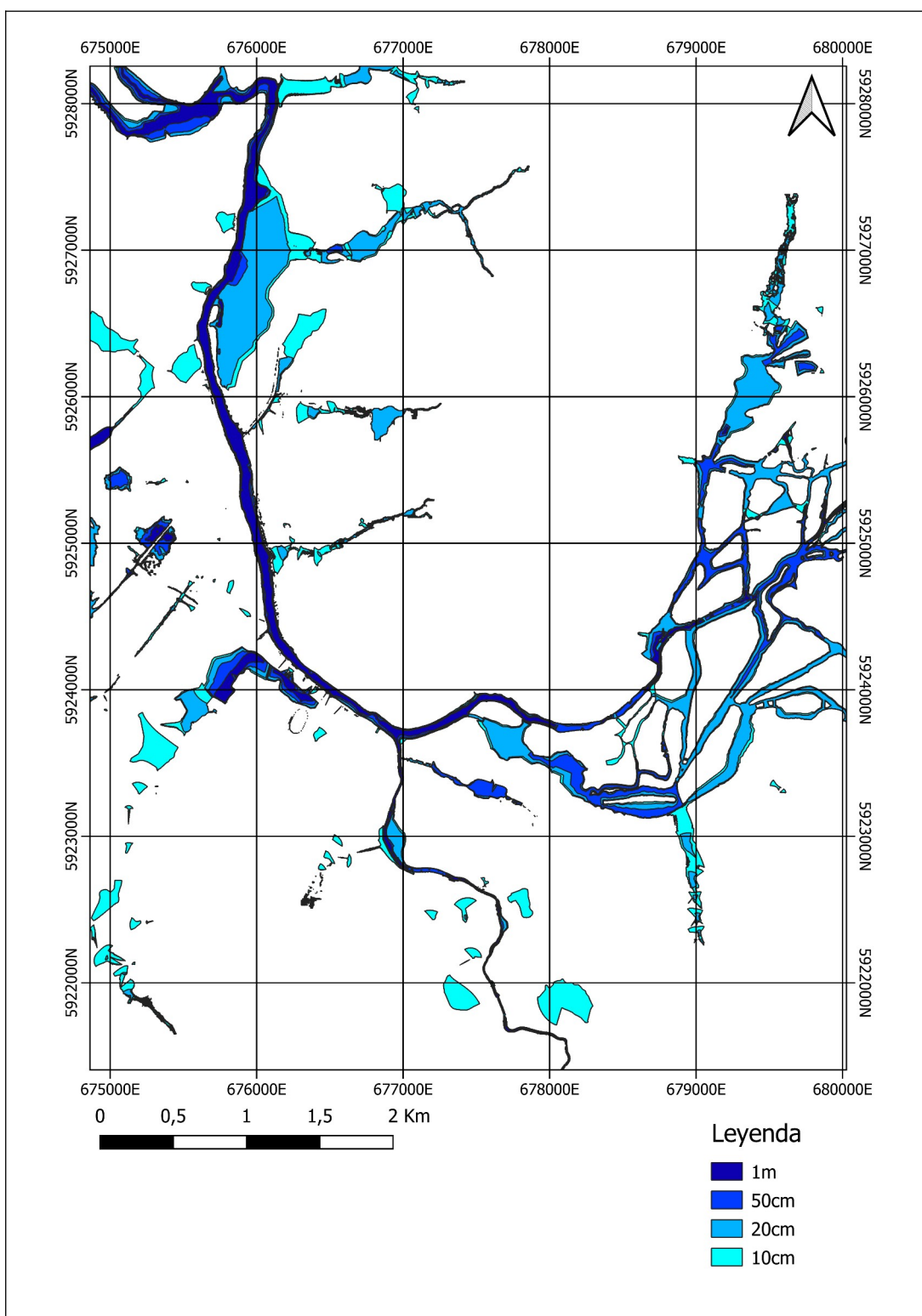


Figura 5.16: Mapa superficie inundada a partir de simulación del año 2001.

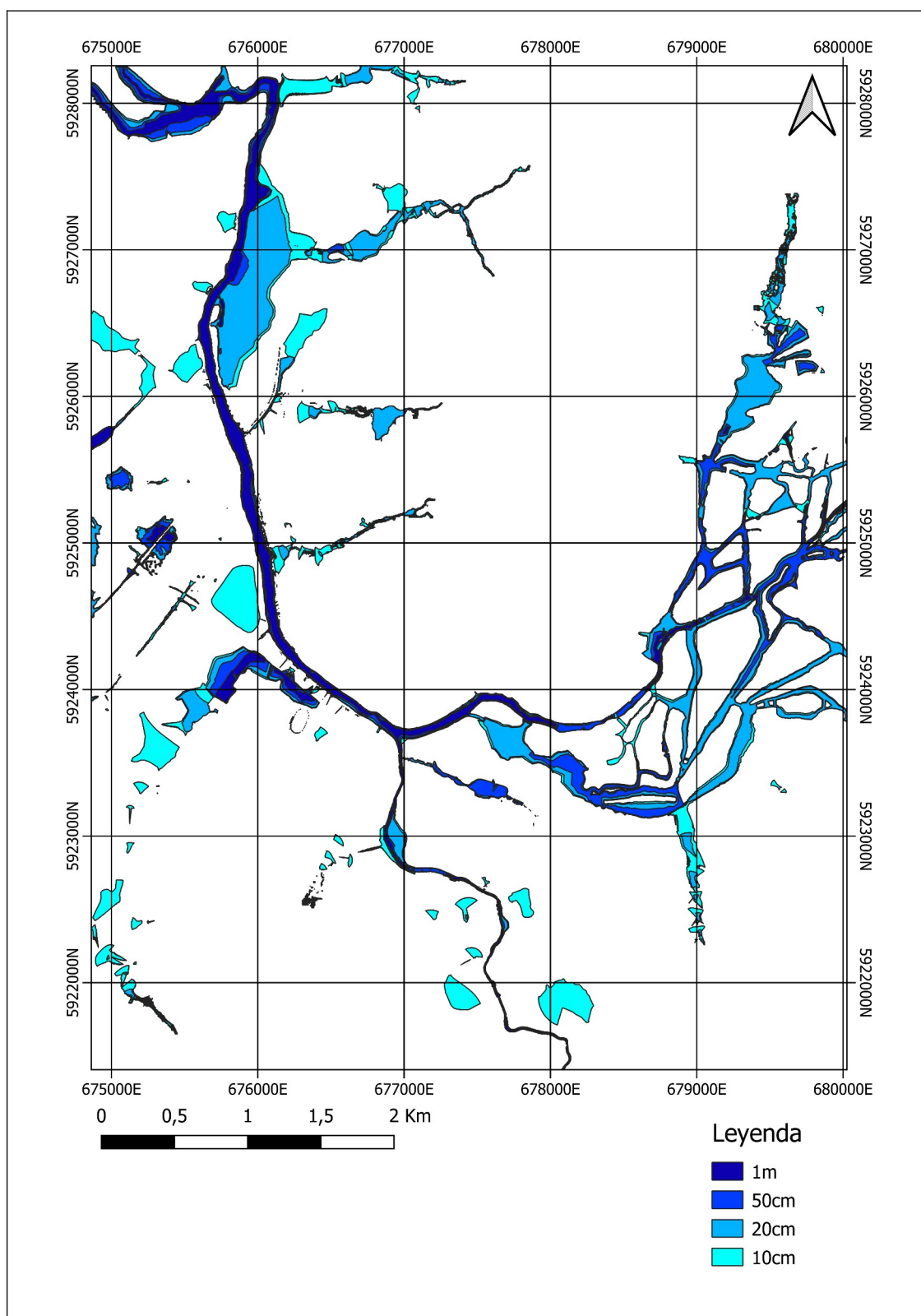


Figura 5.17: Mapa superficie inundada corregida correspondiente al año 2001.

5.3.1.7. Inundación 2002

En este año no se presentan mayores discrepancias entre la simulación y los datos obtenidos en el diario “El Sur” (Figura 5.18.).

5.3.1.8. Inundación 2006

En esta simulación (Figura 5.19.) existe una gran discrepancia entre esta con las imágenes presentes en el diario, al igual que las obtenidas de vuelos aéreos, por este motivo se realizó una corrección exhaustiva del área inundada en función de las imágenes, aumentando considerablemente el área inundada (Figura 5.20.).

5.3.2. Presentación Cuantitativa de los Resultados.

Considerando los datos obtenidos de las simulaciones en la metodología y las correcciones realizadas en el apartado 5.3.1., se presentan los resultados en las tablas 5.9 y 5.10 en función a la superficie en Km² cubierta por la columna de agua, en la figura 5.21 se presenta un gráfico de los datos para una mejor comprensión.

5.3.3. Definición Máxima Superficie Inundable

Finalmente, se determinó una superficie máxima inundable en función de las curvas de nivel, imágenes aéreas, satelitales, como también el área inundada presente en las simulaciones, esta área corresponde a 16,36 Km² de superficie inundable (Figura 5.22.). Para cada uno de los mapas se calculó el área en kilómetros cuadrados correspondiente a cada una de las capas para posteriormente comparar estas superficies en el análisis y considerar esta superficie como la máxima extensión de las inundaciones al construir un mapa de peligro de inundación.

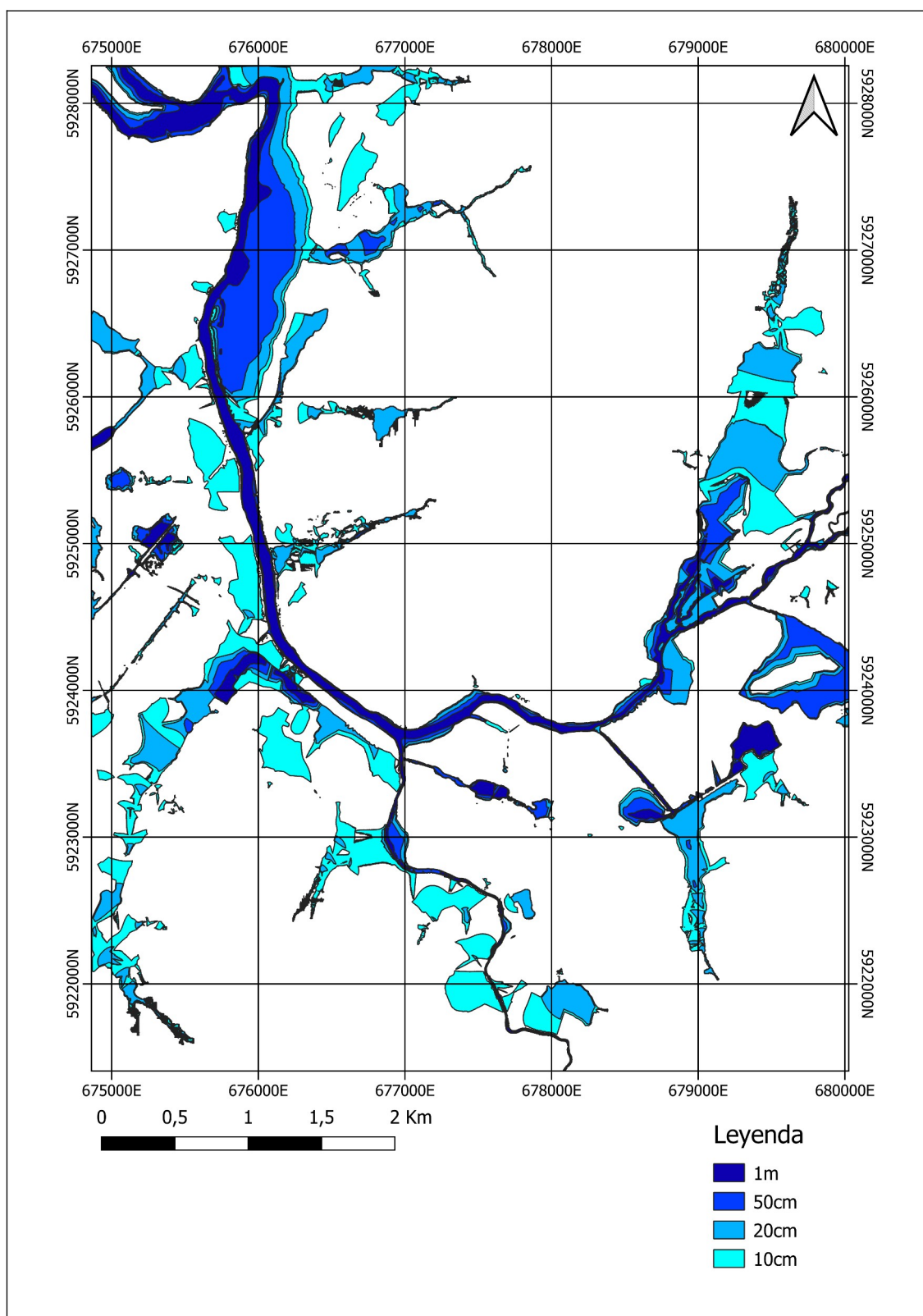


Figura 5.18: Mapa superficie inundada para el año 2002.

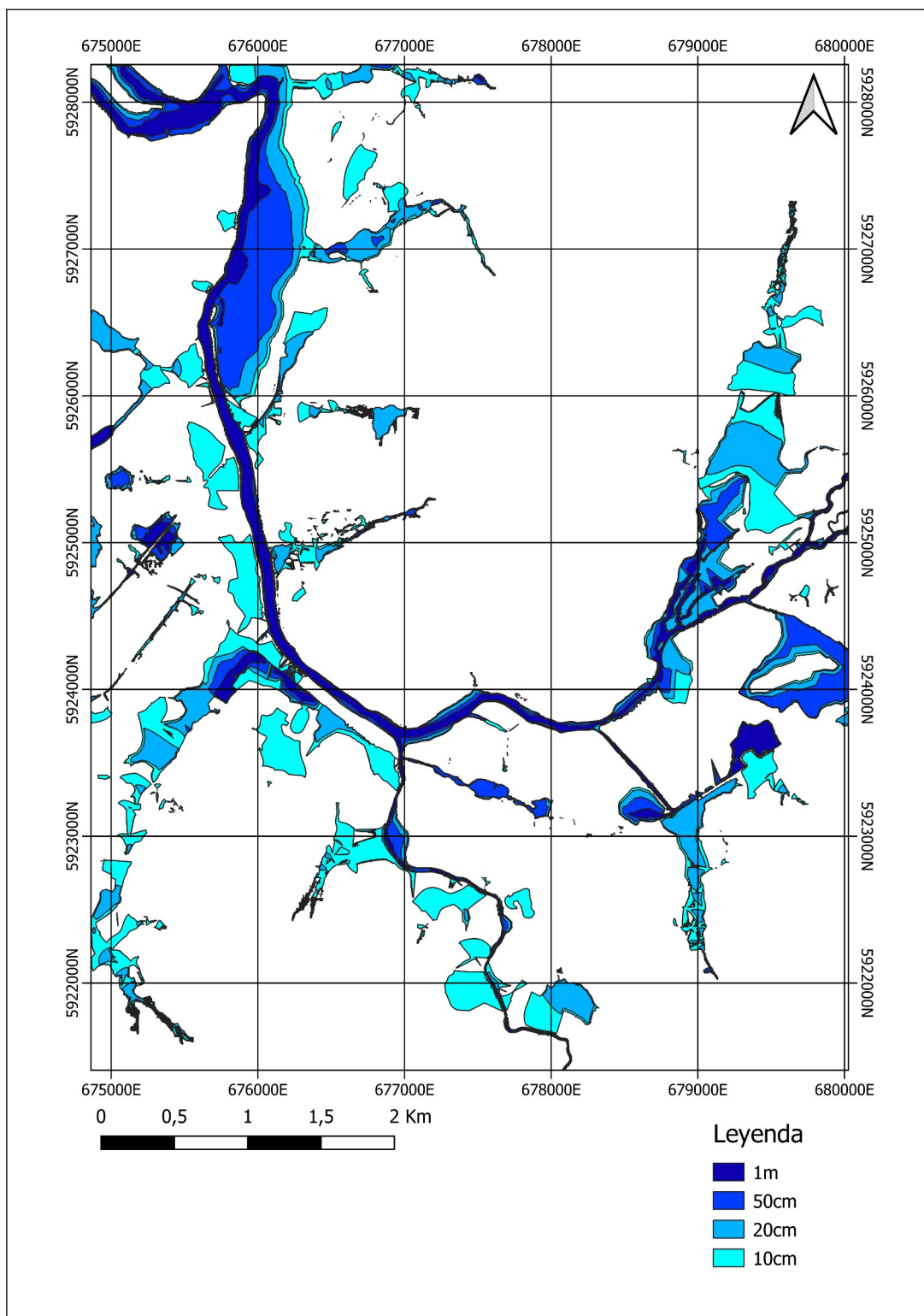


Figura 5.19: Mapa superficie inundada año 2006 entregado por la simulación.

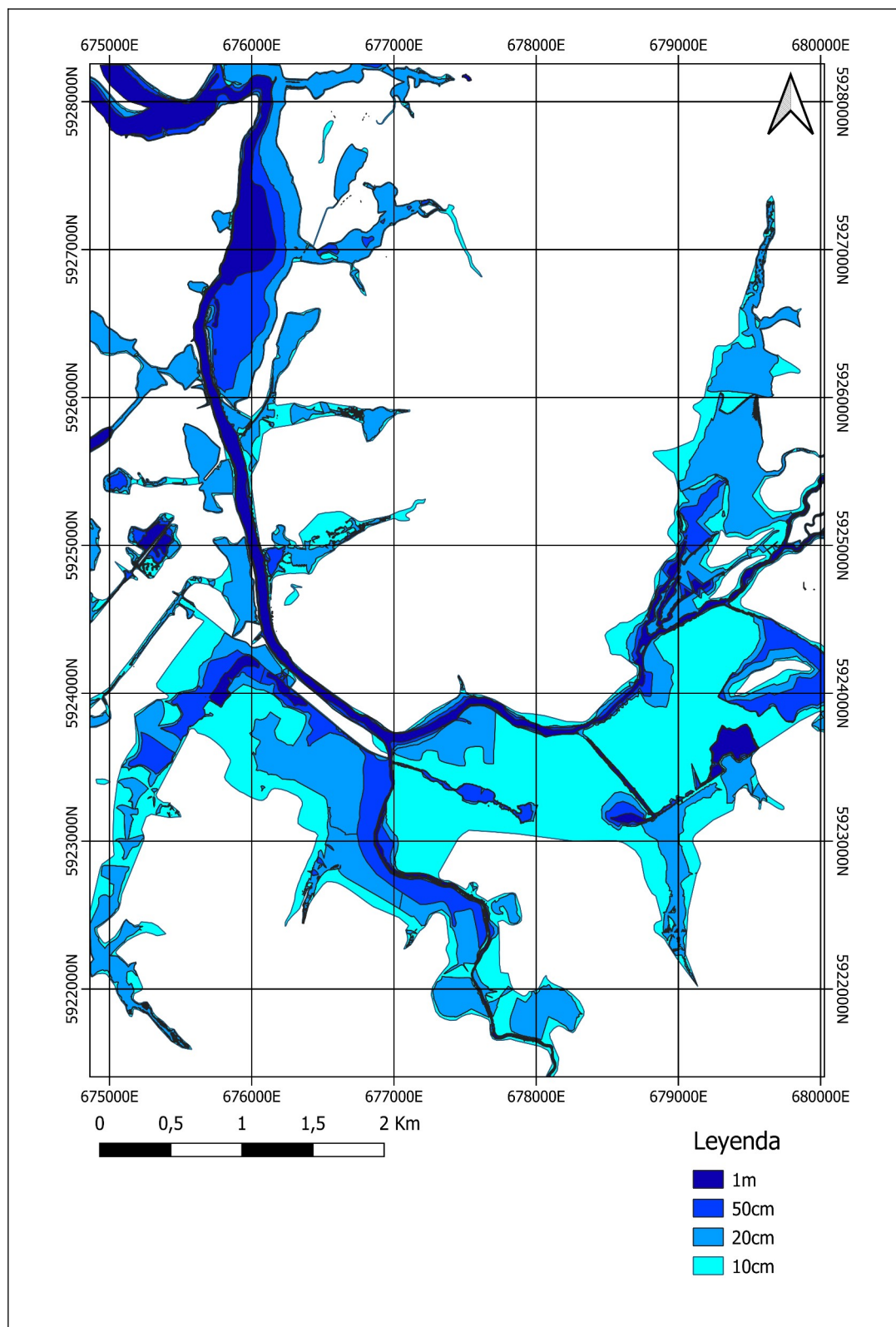


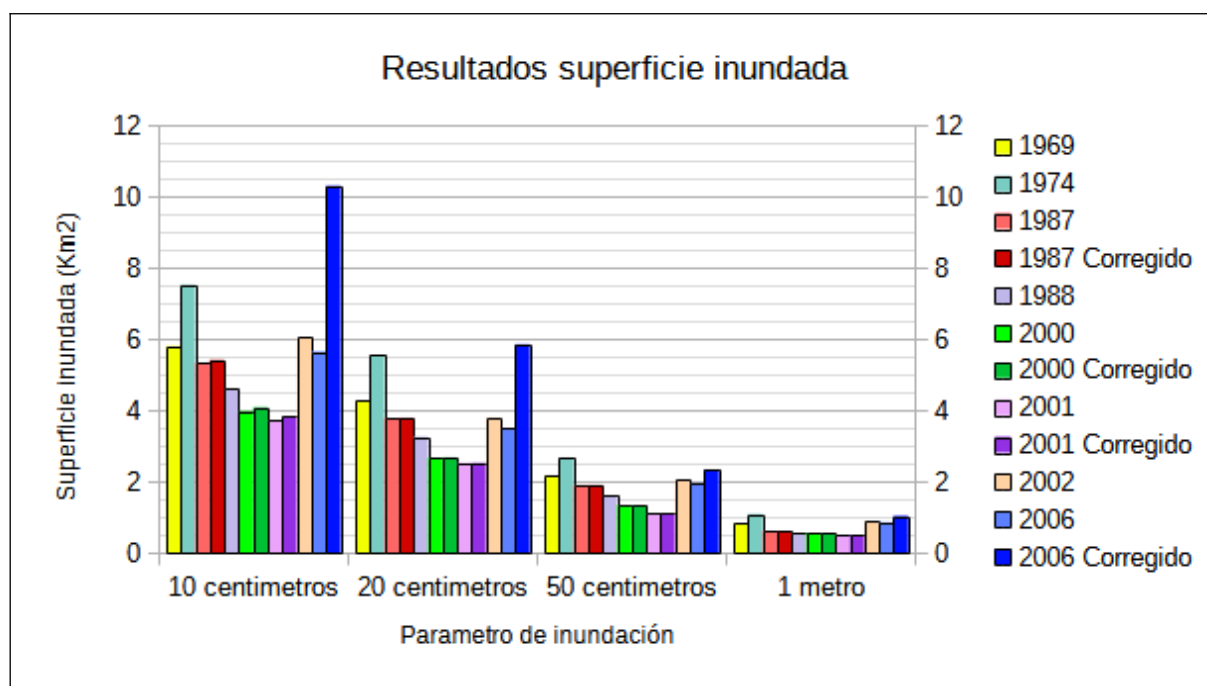
Figura 5.20: Mapa superficie inundada año 2006 corregida.

Tabla 5.9.: Resultados periodo 1969 a 2000. Corre = Corregido.

	1969	1974	1987	1987 corre	1988	2000
Mayor a 1 metro (Km ²)	0,82	1,08	0,61	0,61	0,55	0,56
Mayor a 50 cm (Km ²)	2,16	2,67	1,90	1,90	1,61	1,34
Mayor a 20 cm (Km ²)	4,26	5,54	3,78	3,79	3,25	2,67
Mayor a 10 cm (Km ²)	5,80	7,52	5,33	5,40	4,61	3,96

Tabla 5.10.: Resultados periodo 2000 a 2006. Corre = Corregido.

	2000 corre	2001	2001 corre	2002	2006	2006 corre
Mayor a 1 metro (Km ²)	0,56	0,50	0,50	0,89	0,85	1,03
Mayor a 50 cm (Km ²)	1,34	1,10	1,10	2,05	1,95	2,33
Mayor a 20 cm (Km ²)	2,67	2,52	2,52	3,79	3,49	5,85
Mayor a 10 cm (Km ²)	4,08	3,71	3,81	6,04	5,64	10,30

**Figura 5.21.: Presentación de resultados de la superficie inundada.**

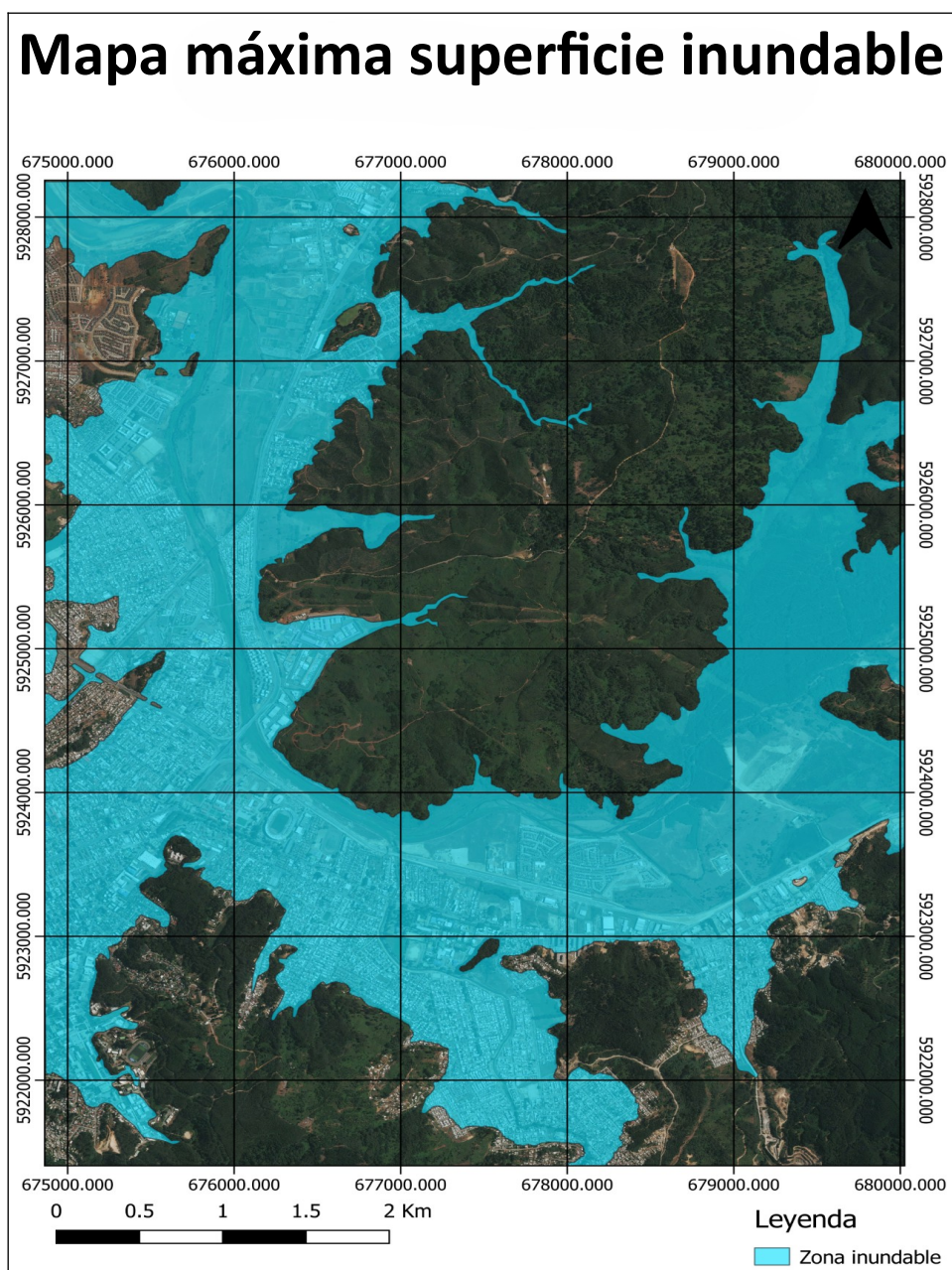


Figura 5.22: Mapa máxima superficie inundable del área de estudio.

6. DISCUSIÓN

6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

Antes de realizar un análisis de los factores humanos que, a través de sus intervenciones han modificado la cuenca, es necesario definir la principal característica asociada a la intensidad de las inundaciones; siendo este factor la baja pendiente, que se evidencia en dos puntos.

1) Debido a la baja pendiente el río presenta una forma meandriforme que deposita intercalaciones de sedimentos fino y gruesos, que durante el periodo de inundaciones extraordinarias de este río deposita materiales finos sobre las terrazas al igual que en el área de las marismas adyacente a la bahía de Concepción (Galli, 1967). Esta intercalación de sedimentos gruesos junto a sedimentos finos da como resultado un comportamiento de acuitardo a la cuenca, es decir, presenta una rápida absorción y un transporte lento.

2) Producto de la baja pendiente de la cuenca, ésta es afectada por las mareas, donde pequeños incrementos en dichas mareas transgreden varios kilómetros hacia la cuenca, siendo la máxima penetración de la marea de salinidad 3,5 Km y la marea dinámica de 5,9 Km; distancia medida desde la desembocadura para la inundación del año 2006 (Rojas, 2015).

6.2. ANÁLISIS INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

6.2.1. Análisis de Actas Municipales

Considerando los datos obtenidos en las actas se encontró información con respecto a las primeras inundaciones descritas en el área de estudio. Esta corresponde al año 1899 (Anexo 51), en la cual se señala que el agua llega aproximadamente hasta 1 metro en el antiguo matadero, donde hoy se encuentra el hospital de la Asociación Chilena de Seguridad. Extrapolando este valor se determina que las características de la inundación serían similares a las del año 2006. Dentro de esta misma reunión de la municipalidad se mencionan las inundaciones de 1848 y 1877 que presentarían características similares a la de 1899.

A partir de esta información es posible determinar que el fenómeno que causó la inundación del año 1899 y la inundación de 2006 presentan una extensión similar, por este motivo se considera que corresponden a un mismo fenómeno que presentaría periodos de retorno menores que los señalados por Rojas (2015), quien definió un periodo de retorno de 500 años para un fenómeno que en base a la información bibliográfica es posible caracterizar con una periodicidad de 125 años aproximadamente.

También en las actas municipales se encuentra información con respecto a la inundación del Río Andalién y el estero Nonguén correspondiente al día 31 de mayo de 1945, aunque no se describen características de ésta ni se encuentran datos de precipitación, por lo que no fue simulada.

6.2.2. Análisis Diarios y Datos de Precipitaciones

A partir de las imágenes obtenidas y de los datos de precipitaciones facilitados por la estación “Carriel Sur”, se analizan los casos correspondientes a los años 1967, 1970, 1972, 1980, 1981 y 1990, donde se registran intensas precipitaciones durante el mes de mayo y en el caso del año 1990 durante el mes de marzo. En estos casos, aunque las intensas precipitaciones tienen valores similares a las simulaciones de las inundaciones, no se observa una inundación del área de estudio y en los casos que sí se encuentran algunos sectores inundados, corresponden a calles y veredas, por lo que, para iguales valores de precipitaciones, existe un comportamiento diferente a los meses de junio a agosto.

Considerando que en un acuífero libre, un río corresponde a la parte de la cuenca con menor elevación, donde el nivel freático se encuentra por sobre el nivel topográfico, sería posible determinar que no se presentan inundaciones, a pesar de las intensas precipitaciones durante los meses de marzo a mayo, debido a que la cuenca no se encuentra saturada, por lo que el agua es absorbida con facilidad por ésta, a diferencia de los meses de invierno donde ya se encuentra saturada.

Por otra parte, aunque no se registran inundaciones asociadas a las crecidas del Andalién todos los años, sí se describen inundaciones locales que se comienzan a intensificar en el sector Collao a partir del año 1984, debido a la falta de aseo de los colectores de aguas lluvias principalmente.

6.3. ANÁLISIS SIMULACIONES REALIZADAS EN HEC-RAS

Para el análisis de los resultados se realizó una comparación de la superficie de las inundaciones de características similares desde el punto de vista del agua precipitada como principal factor y el intervalo de tiempo en días de duración como factor secundario.

6.3.1. Análisis 2000 y 2001 y Análisis 2000 y 2001 Corregidos

Para el año 2000 se presenta una diferencia en el área inundada según la simulación y los datos reales, principalmente en el área conocida como Isla Andalién, la principal zona afectada hoy en día no se encuentra habitada debido a que el 30 de junio del 2000 las personas que habitaban esta zona fueron desalojadas con la finalidad de evitar futuras catástrofes.

La inundación de 2001 también presenta diferencia entre la simulación y las imágenes presentes en el diario “El Sur”, la diferencia entre éstas se debe a que nuevamente se inundó el sector denominado Isla Andalién y zonas aledañas.

Los factores relacionados con la diferencia entre los datos reales y las simulaciones se deben a la presencia de colectores de agua que no fueron simulados, estos mismos colectores ya habían presentado problemas para el año 1987. El problema con los colectores de agua en esta área se debe principalmente a dos factores.

El principal factor corresponde a la baja pendiente que presenta la cuenca siendo de 0,00064 en la zona más distal, presentando el área de estudio valores de cota de un metro a 5,3 Kilómetros de la desembocadura. Esta característica de la cuenca conlleva a que, por ejemplo, factores como las mareas, afecten su drenaje, siendo un factor a tener en cuenta en casos como las inundaciones, donde la pleamar dificultaría el drenaje de la cuenca ante las crecidas del río Andalién (Rojas, 2015), como se señala en el punto 6.1. A la vez, el estancamiento del agua en la zona más

distal de la cuenca incrementaría la cota de la columna de agua hasta el punto que el nivel freático se encuentra por sobre el nivel de los colectores, ascendiendo de esta manera el agua por estos e inundando áreas que se encuentran protegidas por barreras, suceso que fue descrito en el diario “El Sur” correspondiente a los años 1987, 2000 y 2001.

El segundo factor corresponde a los rellenos realizados al canalizar el río Andalién con la finalidad de aumentar el área habitable de Concepción. Este problema se debe a que al realizar los rellenos sólo se niveló el terreno rellenando solo los canales secundarios, pero debido a que no se realizaron modificaciones en la llanura de inundación, estas zonas continuaron siendo parte de ésta, por lo que aunque ante las crecidas anuales no presentaban mayores problemas en estos sectores, cuando se presentaron intensas precipitaciones sobrepasando el punto crítico, sí se evidenciaron problemas por las crecidas del río Andalién.

6.3.2. Comparación Inundación 2006 y Datos Reales

La diferencia que se observa entre la simulación de la inundación del año 2006 y los datos reales, se debe a que en esta simulación no se contemplaron las mareas como un posible factor. Considerando los datos de las mareas para el día 11 de julio del 2006 descritos por Rojas (2015) que corresponde a 2,43 metros. Tomando en cuenta esta información se determina que las mareas pueden incrementar en un 83% el área inundada, y por este motivo, es posible precisar que la acción de las mareas durante la fase de sizigia incrementa en gran medida el área afectada.

6.3.3. Comparación Inundaciones 1969 y 1987.

Para esta comparación se tuvo en cuenta las precipitaciones, siendo para la simulación de 1969 de 125,6 milímetros y para 1987 de 128,6 milímetros de agua. Otra razón por la que se decidió realizar esta comparación es porque el tiempo de simulación fue igual para ambos años, siendo éste de dos días, la comparación de estos datos se observa en la tabla 6.1 y para una fácil comprensión se presentan en el gráfico de la figura 6.1.

La primera diferencia que se observa entre estas dos simulaciones corresponde a $0,47 \text{ Km}^2$ menos de superficie inundada igual o mayor a diez centímetros que presenta el año 1987, es

decir, existe una diferencia en la extensión de la inundación bajo condiciones similares. Esta diferencia se observa principalmente en el sector Palomares, donde posterior al año 1969 se construyó una carretera y junto a ésta, un canal que modificó los canales preexistentes, de esta manera, se disminuye la superficie inundable en esta zona. También se observa una disminución de la superficie inundada en el área de la Isla Andalién, ya que debido a los rellenos en el canal secundario del río Andalién se modificó la llanura de inundación. Además, es posible observar una disminución de la superficie en el sector de la población “HoChiMinh” en el cual se realizaron trabajos de rellenos ordenados por la municipalidad para habilitar nuevamente este sector como zona habitable.

Tabla 6.1: Tabla comparativa superficie 1969 y 1987 corregido.

	1969	1987 corre	Diferencia
Mayor a 1 metro (Km ²)	0,817728	0,611941	-0,205787
Mayor a 50 cm (Km ²)	2,164641	1,898022	-0,266619
Mayor a 20 cm (Km ²)	4,260839	3,787003	-0,473836
Mayor a 10 cm (Km ²)	5,802718	5,40132	-0,401398

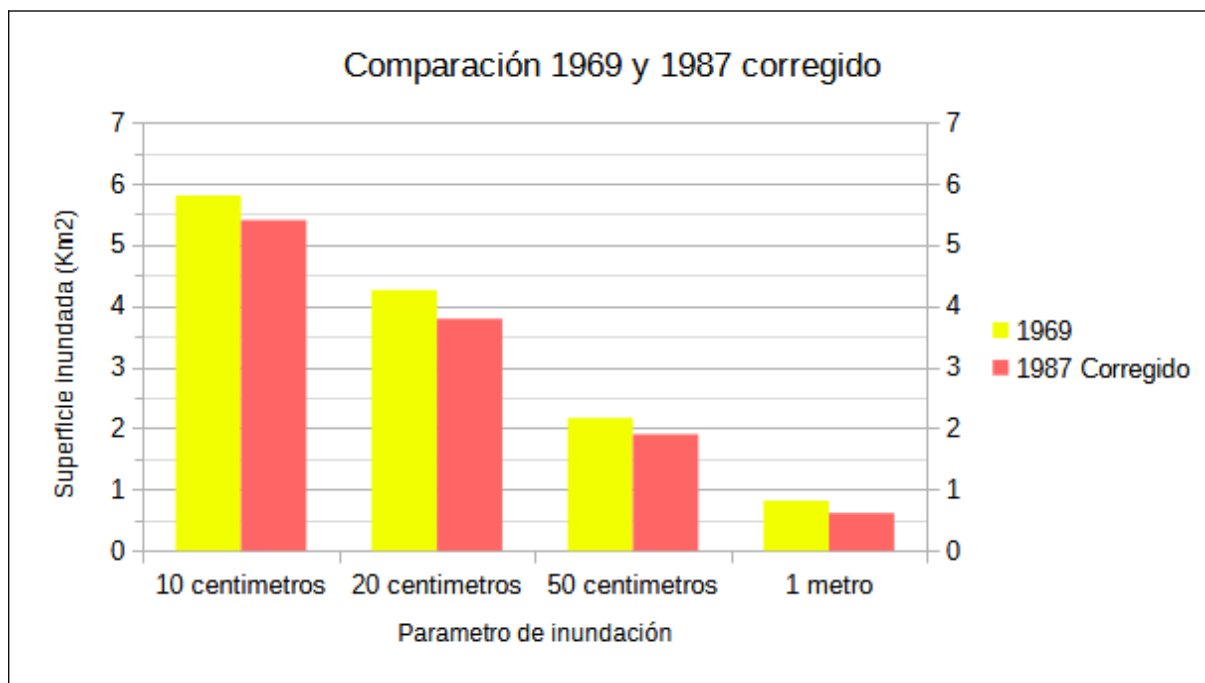


Figura 6.1.: Comparación entre inundación 1969 y 1987 corregido.

Se observa que en diferentes sectores de la zona más distal del río aumentó el área inundada para

el año 1987. Esto se debe principalmente a periodos más cortos de precipitación en la simulación, por lo que no son categóricos a la hora de determinar una variación entre estas simulaciones.

Para el año 1987 existe una discrepancia en los datos reales obtenidos de los diarios y la simulación, debido al estallido de los colectores de lluvia que inundó gran parte de la población “Teniente Merino”.

Finalmente, al comparar estas simulaciones es posible determinar que gran parte de los trabajos realizados en el área de estudio no conllevan un impacto negativo en ésta, principalmente porque esta zona aún no se encontraba tan desarrollada para el año 1987 y, por ende, gran parte de la llanura de inundación no se encontraba intervenida. Cabe mencionar la presencia de los colectores de lluvia que desembocan en el río Andalién, estos durante inundaciones asociadas a las intensas precipitaciones, donde el agua supera la altura de los colectores de lluvia, facilitarían que el agua ascienda por estos hasta que la cota de la columna de agua alcanza el nivel freático, inundando zonas que se encuentran protegidas por barreras, como fue descrito anteriormente en el punto 5.2.2.1.

6.3.4. Comparación Inundaciones 1987 Corregido y 1988.

Esta comparación se hizo en función de una misma topografía y un mismo coeficiente de rugosidad, comparando diferencias que podrían existir en función del agua precipitada y el intervalo de tiempo, es decir una comparación entre la intensidad de la lluvia versus una mayor cantidad agua precipitada en el tiempo. Para la inundación del año 1987 precipitó un total de 128,6 milímetros de agua en un intervalo de 12 horas. Mientras que para el año 1988 precipitó un total de 179,1 milímetros de agua en un intervalo de 48 horas, dentro de este intervalo de lluvias se registra un periodo de no precipitación durante 4 horas. La comparación de estos datos se observa en la tabla 6.2 y para una fácil comprensión se presentan en el gráfico de la figura 6.2.

En este caso es posible observar que la superficie inundada para 1987 corresponde a 5,33 km², mientras que la superficie de 1988 corresponde a 4,61 km², por lo que aunque exista una menor

cantidad de agua precipitada mientras el intervalo de tiempo sea corto, el área inundada será mayor. Esto se debe a que el principal factor que presenta la cuenca con respecto a las inundaciones que ocurren en ella es la baja pendiente que no permite un drenaje rápido, concluyendo así que es la intensidad y no la prolongación en el tiempo lo que traería problemas al área de estudio.

Tabla 6.2: Tabla comparativa superficie 1987 corregido y 1988.

	1987 corre	1988	Diferencia
Mayor a 1 metro (Km ²)	0,611941	0,553348	-0,058593
Mayor a 50 cm (Km ²)	1,898022	1,610793	-0,287229
Mayor a 20 cm (Km ²)	3,787003	3,253063	-0,53394
Mayor a 10 cm (Km ²)	5,40132	4,614336	-0,786984

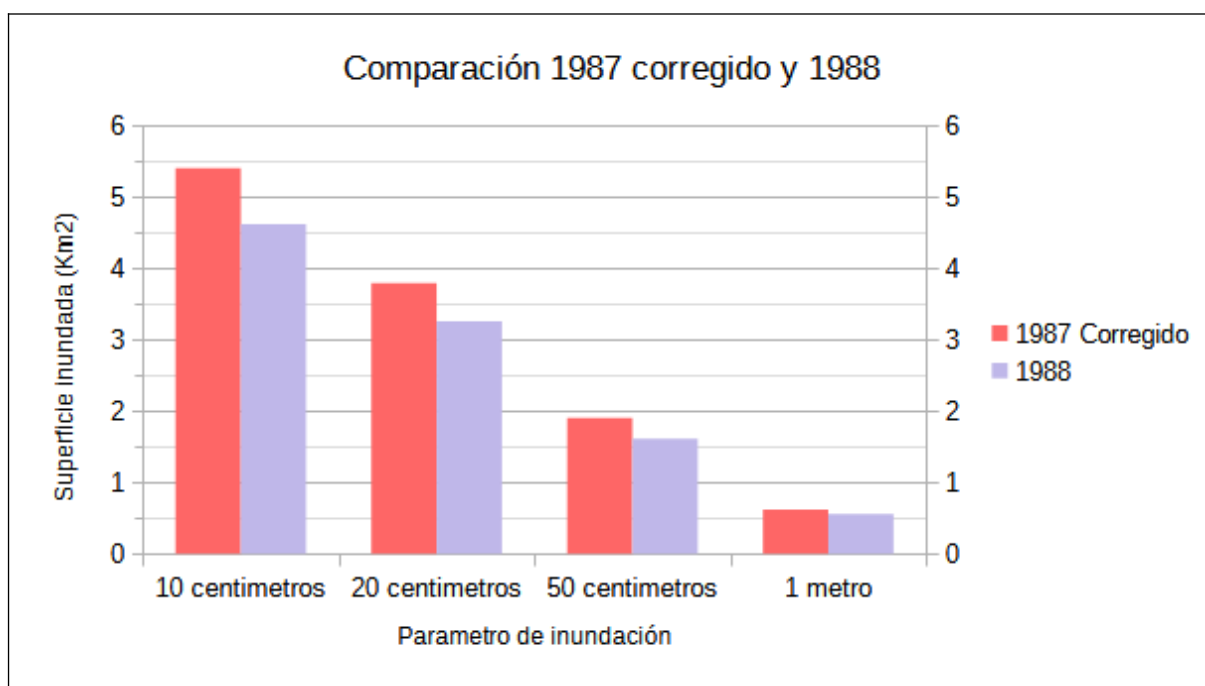


Figura 6.2.: Comparación entre inundación 1987 corregido y 1988.

6.3.5. Comparación Inundaciones 1988 y 2002

Las características consideradas corresponden a los días de duración de la simulación, ya que para ambos son de 3 días y las precipitaciones sobrepasan los 150 milímetros de agua. Al comparar el área inundada es posible observar que aunque las condiciones eran similares para el

año 2002 hubo un incremento de 1,43 km². La comparación de estos datos se observa en la tabla 6.3 y para una fácil comprensión se presentan en el gráfico de la figura 6.3.

Tabla 6.3: Tabla comparativa superficie 1988 y 2002.

	1988	2002	Diferencia
Mayor a 1 metro (Km ²)	0,553348	0,890321	+0,336973
Mayor a 50 cm (Km ²)	1,610793	2,051118	+0,440325
Mayor a 20 cm (Km ²)	3,253063	3,792557	+0,539494
Mayor a 10 cm (Km ²)	4,614336	6,042375	+1,428039

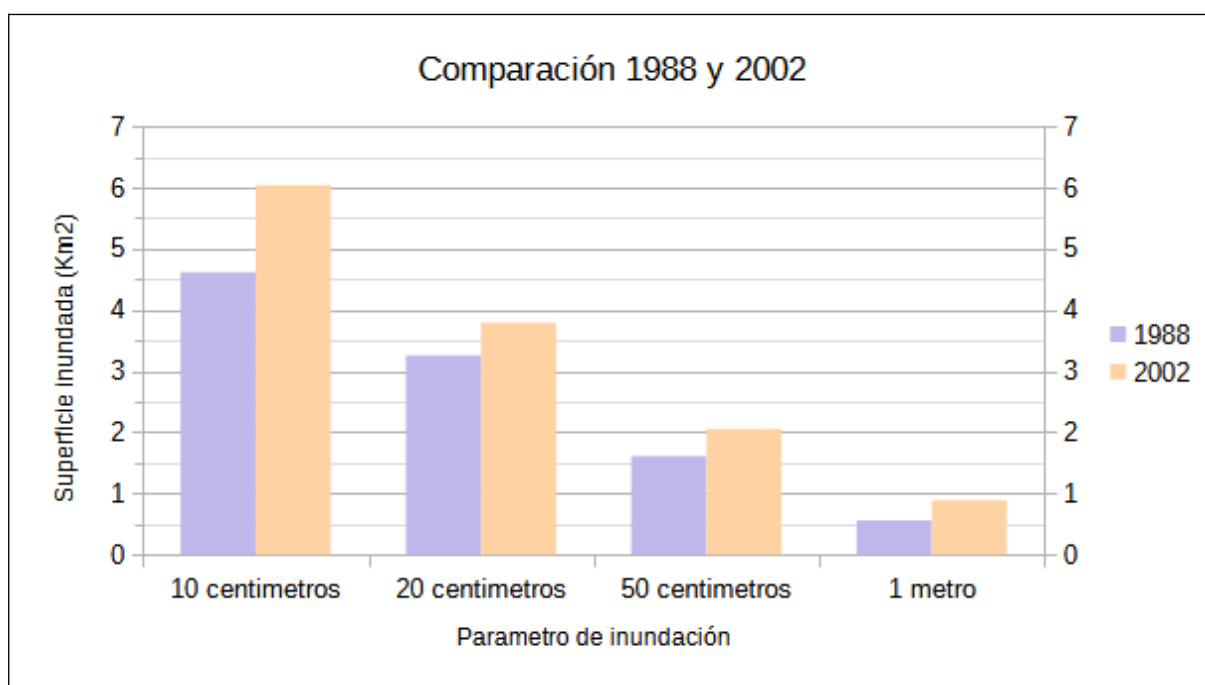


Figura 6.3.: Comparación entre inundación 1988 y 2002.

El principal cambio que se observa se encuentra en el sector este del área de estudio, esto se debe al relleno de los canales de regadío que existía anterior al año 2000. Estos canales permitían una distribución mayor de las aguas lluvias al ser transportadas por el canal principal del río Andalién, lo que ayudaba a disminuir la superficie inundada en esta zona del área de estudio.

Otra diferencia importante corresponde al segundo brazo del río Andalién que antiguamente se encontraba camino a Palomares, para el año 1988 se habían realizado trabajos en el área, aunque éstos fueron solo con la finalidad de construir la carretera hacia Cabrero, pero no con la

intención de separar completamente este brazo del río Andalién. Es así como, este canal secundario todavía podía ser inundado cuando las precipitaciones superaran el punto crítico, como lo observado en año 1988 donde debido a las fuertes precipitaciones el agua fluyó hacia este canal secundario y de esta manera inundó el sector denominado como Collao.

Por otra parte, para el año 2002 ya se habían realizado trabajos de relleno para contener el cauce de los canales de drenaje construidos a un lado de la carretera camino a Cabrero, siendo esto observable al comparar las curvas de nivel de ambos mapas, además del relleno del brazo secundario del río Andalién, lo que finalmente disminuyó el área afectada en esta zona.

Para el sector correspondiente a Collao existe un incremento en el área inundada para el año 2002, esto se debe principalmente al incremento en la cota correspondiente a las barreras del río Andalién, estas barreras bajo condiciones de bajas precipitaciones son muy efectivas, pero al aumentar el caudal y la intensidad de las precipitaciones dificultan el drenaje de las aguas lluvias, de esta manera aumentando el área inundada, mismo fenómeno se observa en el sector denominado Isla Andalién.

Al aumentar la columna de agua en el sector donde el estero Nonguén tributa al río Andalién, se va dificultando el drenaje de dicho estero, por lo que el agua transportada por el río Andalién avanza hacia la llanura de inundación del estero Nonguén incrementando el área inundada. A su vez, debido al aumento del nivel freático, esto comienza a producir un fenómeno en cadena que incrementa el área afectada aguas arriba. Para el resto del área de estudio es posible observar un fenómeno similar, dando paso a puntos críticos en aquellos sectores donde la topografía es mucho menor al nivel freático.

En el caso de valores iguales o mayores a un metro, no se observan mayores diferencias, además de las correspondientes a los trabajos realizados para canalizar el río Andalién, presentándose solo una diferencia significativa correspondiente a los trabajos realizados entre la Villa Universitaria y el sector Vilumanque, donde para el año 1988 se registró un zona inundada con cota mayor a un metro.

6.3.6. Comparación Inundaciones 1974 y 2006

Esta comparación corresponde a las simulaciones con mayor superficie inundada y valores similares de precipitaciones en un periodo de tiempo similar, debido a estas características se utilizan estas simulaciones como punto de comparación para observar cómo ha afectado la construcción de viviendas en esta zona a las características de las inundaciones. La comparación de estos datos se observa en la tabla 6.4 y para una fácil comprensión se presentan en el gráfico de la figura 6.4.

Tabla 6.4.: Tabla comparativa superficie 1974 y 2006 corregido.

	1974	2006 corre	Diferencia
Mayor a 1 metro (Km2)	1,082936	1,032312	-0,050624
Mayor a 50 cm (Km2)	2,673567	2,332253	-0,341314
Mayor a 20 cm (Km2)	5,538547	5,849471	+0,310924
Mayor a 10 cm (Km2)	7,521408	10,299559	+2,778151

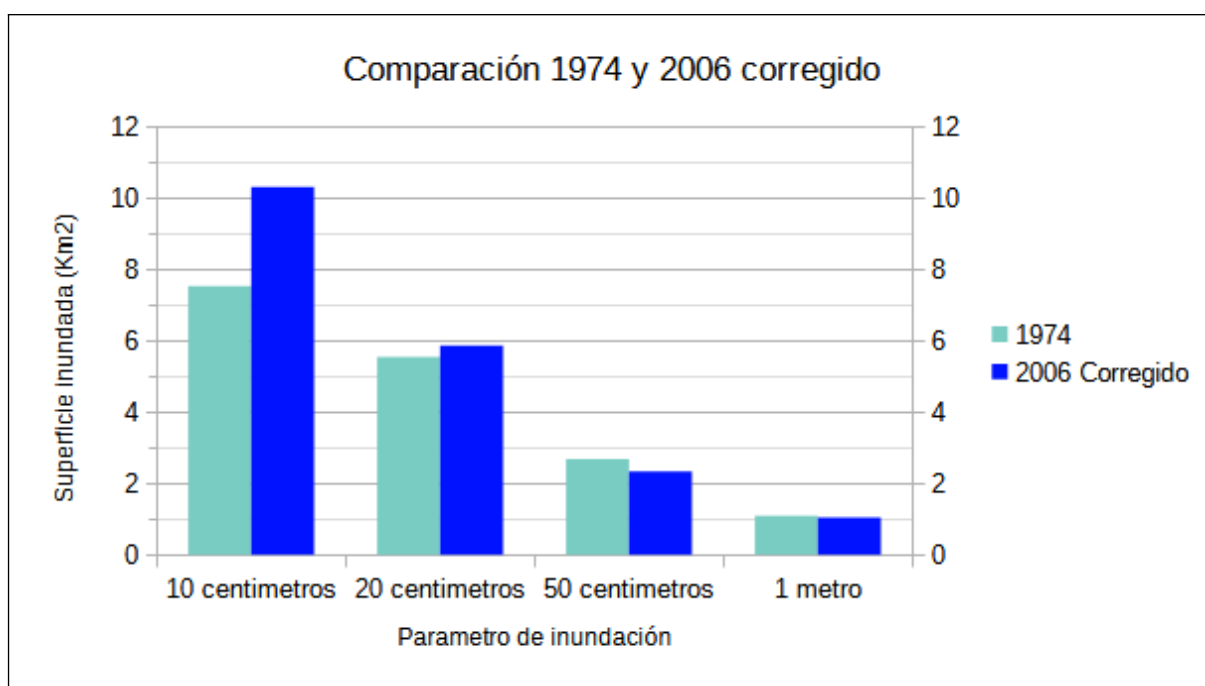


Figura 6.4.: Comparación entre inundación 1974 y 2006 corregido.

La diferencia con respecto a la extensión inundada corresponde a 2,18 km², donde las mayores discrepancias se encuentran en el sector Collao, Palomares y el sector noreste del área de

estudio, presentando valores más similares hacia el sector noroeste.

Al analizar las características de la llanura de inundación de 1974 y 2006 es posible observar la canalización en diferentes puntos del río Andalién, modificando el cauce de éste, pero no el área inundable, relleno solo canales secundarios y construyendo barreras que limitan el avance del agua en caso de inundaciones, pero que, a la vez, dificultan la retirada del agua de estos puntos conflictivos, esto sumado a la construcción en concreto que al ser impermeable no permite el vaciado de la cuenca luego de intensas lluvias, dan como resultado el anegamiento de diferentes puntos del área de estudio que posteriormente es necesario drenar con bombas de agua.

Debido a la intensidad de las lluvias del 2006 no se observa una particular diferencia de una inundación con respecto a la otra, sino que se observa el comportamiento natural al aumentar la intensidad de las precipitaciones. Esto permite determinar que aunque se han realizado diferentes trabajos en el área de estudio desde el año 1974 al 2006 estos no han disminuido los problemas causados por las inundaciones en el área e incluso al observar la zona inundada es posible señalar que éstas han sido intensificadas debido a la construcción de barreras y la falta de nivelación del terreno. Un ejemplo de cómo los trabajos bien elaborados disminuyen la vulnerabilidad corresponde a la población “HoChiMinh”, donde luego de la inundación de 1974 construyeron rellenos de más de un metro en los cuales hoy en día el sector ya no es afectado por las intensas lluvias.

6.4. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES.

Posterior a la inundación del año 2006 se realizaron diferentes trabajos en el tramo medio del estero Nonguén, se construyeron diferentes defensas, junto a una canalización del río Andalién estas modificaciones es posible observarlas en las diferencias entre las imágenes satelitales del año 2002 y el año 2020 (Anexo 3), como también en el ráster DEM del año 2011 donde se observan curvas de nivel que representan defensas construidas para estos canales.

Como se señaló con anterioridad las defensas protegen diferentes sectores problemáticos, solo siendo útiles durante fenómenos de menor magnitud en que las mareas altas no son un factor a

tener en cuenta, pero que en eventos de mayor magnitud podrían incrementar el área inundada; un ejemplo de lo descrito corresponde a la canalización del río Andalién el año 1974, en el sector Isla Andalién, siendo hoy en día una zona problemática debido a los anegamientos.

En el caso específico del estero Nonguén este fenómeno de incremento del área afecta producto a la intervención humana ya se encuentra registrado, ya que como señaló Don Eduardo Repeto, luego del terremoto del año 1960, se rellenó diferentes puntos de la llanura de inundación del estero Nonguén, lo que incrementó el área inundada aguas abajo.

Considerando lo anteriormente expuesto se puede inferir que para el caso del estero Nonguén luego de los trabajos realizados posteriores al año 2006, podrían incrementar la superficie inundada en situaciones donde se presenten factores similares a una inundación de la magnitud observada el año 2006, estos son; precipitaciones mayores a 100 milímetros de agua en 2 a 3 días durante los meses de invierno, donde las mareas sean considerablemente altas, en el caso del 2006 siendo de 2,43 metros (Rojas, 2015).

7. CONCLUSIONES

Primero es necesario caracterizar aquellos factores asociados a fenómenos naturales que afectan a la cuenca, este corresponde a la baja pendiente de ésta, que trae características subyacentes. Debido a la baja pendiente, el río presenta una forma meandriforme que con el tiempo deposita intercalaciones de sedimentos finos y gruesos que conllevan un comportamiento de acuitardo a la cuenca, es decir, una absorción rápida y un transporte lento. Por otra parte, también trae como consecuencia que factores como las mareas influyan en la cuenca, ya que en mareas altas que son intensificadas por periodos de sizigia dificultan el transporte del agua por ésta, siendo un factor crítico junto a las intensas precipitaciones para las inundaciones.

Descritos los factores naturales, es posible determinar aquellos factores humanos que han intensificado las inundaciones del río Andalién. El principal factor humano ha sido la expansión de la ciudad en esta dirección, lo que trae consigo trabajos que modificaron la llanura de inundación.

Primero se encuentra el relleno de antiguos canales del río Andalién, los cuales fueron realizados sin una correcta nivelación del terreno, pareciendo terrenos seguros ante las lluvias anuales correspondientes a los meses de invierno y sólo presentando algunas anegamientos mínimos en ciertos puntos. Es por este motivo que diferentes grupos de personas construyeron poblaciones en estos lugares con rellenos, urbanizando el sector con materiales impermeables. Estas construcciones no se encontraban protegidas ante las crecidas del río Andalién, por lo que cuando las crecidas periódicas de este río se volvieron a presentar, estas áreas que parecían ser seguras se inundaron debiendo construirse barreras y colectores de lluvias como método de mitigación, que ante crecidas eran muy eficaces, pero que ante situaciones de precipitaciones intensas, con crecidas de río Andalién y con transgresión de mareas, no permitirían el correcto drenaje de la cuenca.

Según lo anteriormente expuesto, es posible concluir que ante un fenómeno natural las diferentes medidas de mitigación no han modificado en gran medida la manera en que éstas afectan el área

en eventos de mayor magnitud, esto se evidencia en sectores antiguamente problemáticos como Isla Andalién o el sector Collao, los cuales hoy presentan los mismos problemas a pesar de las medidas de mitigación. La canalización del estero Nonguén como método de mitigación ha llevado a un incremento de la zona inundada aguas abajo, debido a la intervención de su llanura de inundación, esto conlleva el incremento del área afectada en el sector Collao, por lo que como se indico anteriormente, los métodos de mitigación implementados no han resuelto el problema, sino que lo han trasladado hacia otros sectores.

Considerando los factores descritos, se proponen dos métodos de mitigación: (a) la nivelación de aquellos lugares que se encuentran topográficamente bajo el nivel de las barreras y que han presentado problemas a lo largo de los años, como por ejemplo la Isla Andalién; y (b) la recomendación de no permitir nuevos proyectos inmobiliarios en la ribera del río Andalién, ni en su llanura de inundación, la que se define a partir de los datos de precipitación del año 2006.

Finalmente para exponer de manera gráfica el peligro de inundación presente en el área de estudio se construyó un mapa en el cual se evidencia las zonas afectadas en caso de una inundación (Figura 7.1), mediante el cual sería posible adoptar medidas de mitigación, esto con la finalidad de disminuir el impacto de las inundaciones en el área ya habitada.

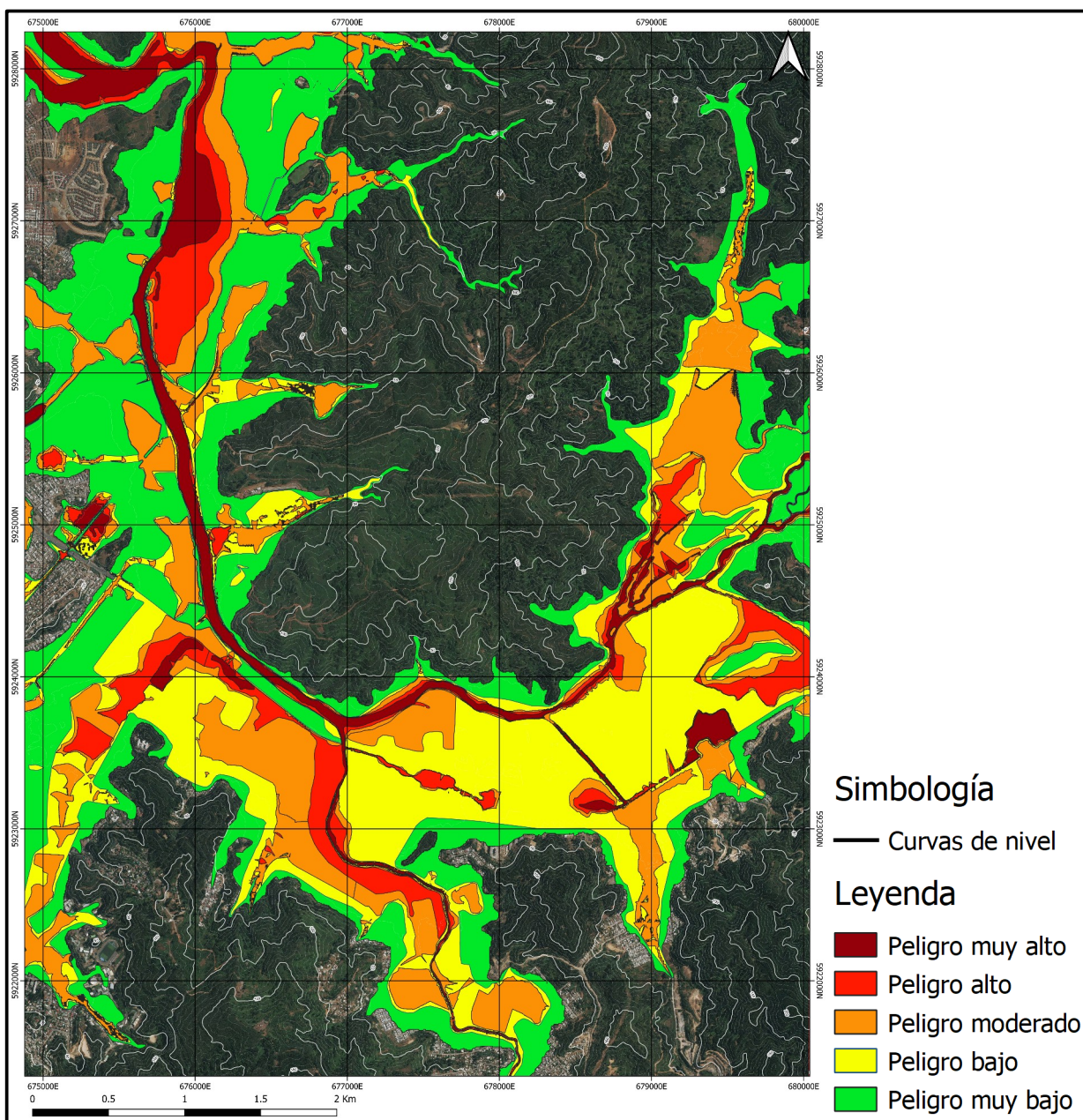


Figura 7.1: Mapa de peligro geológico.

8. REFERENCIAS

- BIRÓ-BAGÓCZKY, L. 1982. Revisión y redefinición de los Estratos de Quiriquina, Campaniano-Maastrichtiano, en su localidad tipo, en la Isla Quiriquina a 36°27' latitud Sur, Chile, Sudamérica, con su perfil complementario en Cochoyue. *Congreso Geológico Chileno* . Vol. 1, N° 3: 29-64 p. Concepción
- CAMUS, F. 2003. Geología de Los Sistemas Porfíricos en Los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería: 267 pp.
- CHARRIER, R.; PINTO, L. y RODRÍGUEZ, M. P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The geological Society*: 21-114 p. London.
- CREIXELL, C. 2001. Petrología y Geotermobarometría de las Rocas Intrusivas de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' y 38°00'S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 149 pp. Concepción.
- DECKART, K.; HERVÉ, F.; FANNING, M.; RAMÍREZ, V.; CALDERÓN, M. y GODOY, E. 2014. U-Pb Geochronology and Hf-O Isotopes of zircons from the Pennsylvanian Coastal Batholith, South-Central Chile. *Andean Geology*. Vol. 41, N°1: 49-82. Santiago.
- DEL REY, A.; ARRIAGADA, C.; DEKART, K.; MARTÍNEZ, F. 2016. Resolving the paradigm of the late Paleozoic-Triassic Chilean magmatism: Isotopic approach. *Gondwana*. Vol. 37:172-181 p.
- GALLI, C. 1967. Geología urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Universidad de Concepción, Departamento de Geología y Mineralogía. Informe final de Proyecto de Investigación N° 75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción, (Inédito): 248 pp. Concepción.

GARCÍA, F. 1968, Estratigrafía del Terciario de Chile central. Santiago, Empresa Nacional del petróleo. (Inédito): 25-58 p.

HERVÉ, F.; FAÚNDEZ, V.; CALDERÓN, M.; MASSONNE, H.J. y WILLNER, A.P. 2007. Metamorphic and plutonic basement complexes. The Geology of Chile. *The Geological Society*: 5-19 p. London.

KENDRICK, E., BEVIS, M., SMALEY, R.J., BROOKS, B.A., BARRIGA, R., LAURÍA, E. y SOUTO, L.P. 2003. The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *J. South Am. Earth Sci.*, Vol **16** N.º 2: 125–131.

LAVENU, A. 2006. Neotectónica de los Andes entre 1°N y 47°S (Ecuador, Bolivia y Chile): una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* Vol. **61** N.º 4: 504-524 p.

LÉPEZ, L. 2002. Análisis Estructural del Triásico de Santa Juana al sur y occidente del Río Biobío, VIII Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 118 pp. Concepción.

LLORCA-JANA, M; ARAYA, R, NAVARRETE-MONTALVO, J. Antropometría histórica de Chile: evolución de la estatura de la población en el largo plazo, siglos XVIII-XX. *Estud. Atacam.* 2018, Vol. **60**: 161-191 p.

MARTÍNEZ ALFARO, P; MARTÍNEZ SANTOS, P; CASTAÑO CASTAÑO, S. 2006. Fundamentos de hidrogeología: 284pp.

MUÑOZ-CRISTI, J. 1960. Contribución al conocimiento geológico de la Cordillera de la Costa de la zona central. *Minerales*. Vol. **69**: 28-47.

NIEMEYER 1984 - NIEMEYER, H., y CERECEDA, P. (1984). Hidrografía. *Geografía de Chile*. Vol. **8**: 1-320 p.

PINEDA, V. 1986. Evolución paleogeográfica de la cuenca sedimentaria Cretácico-Terciaria de Arauco. En Geología y recursos minerales de Chile, Frutos, J., Oyarzún, R. and Pincheira, M., Eds., Universidad de Concepción: 375-390 p. Concepción.

QUEZADA, J. 1996. Geología urbana y ambiental de la ciudad de Concepción. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 143 p. Concepción.

ROJAS, O. 2015. Cambios Ambientales y Dinámica de Inundaciones Fluviales en una Cuenca Costera del Centro Sur de Chile. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción, Centro EULA (Inédito): 152 pp. Concepción.

SÁNCHEZ, F. 2022. Hidrología Superficial y Subterránea. 2ª ed. Kindle Direct Publishing.: 440 pp.

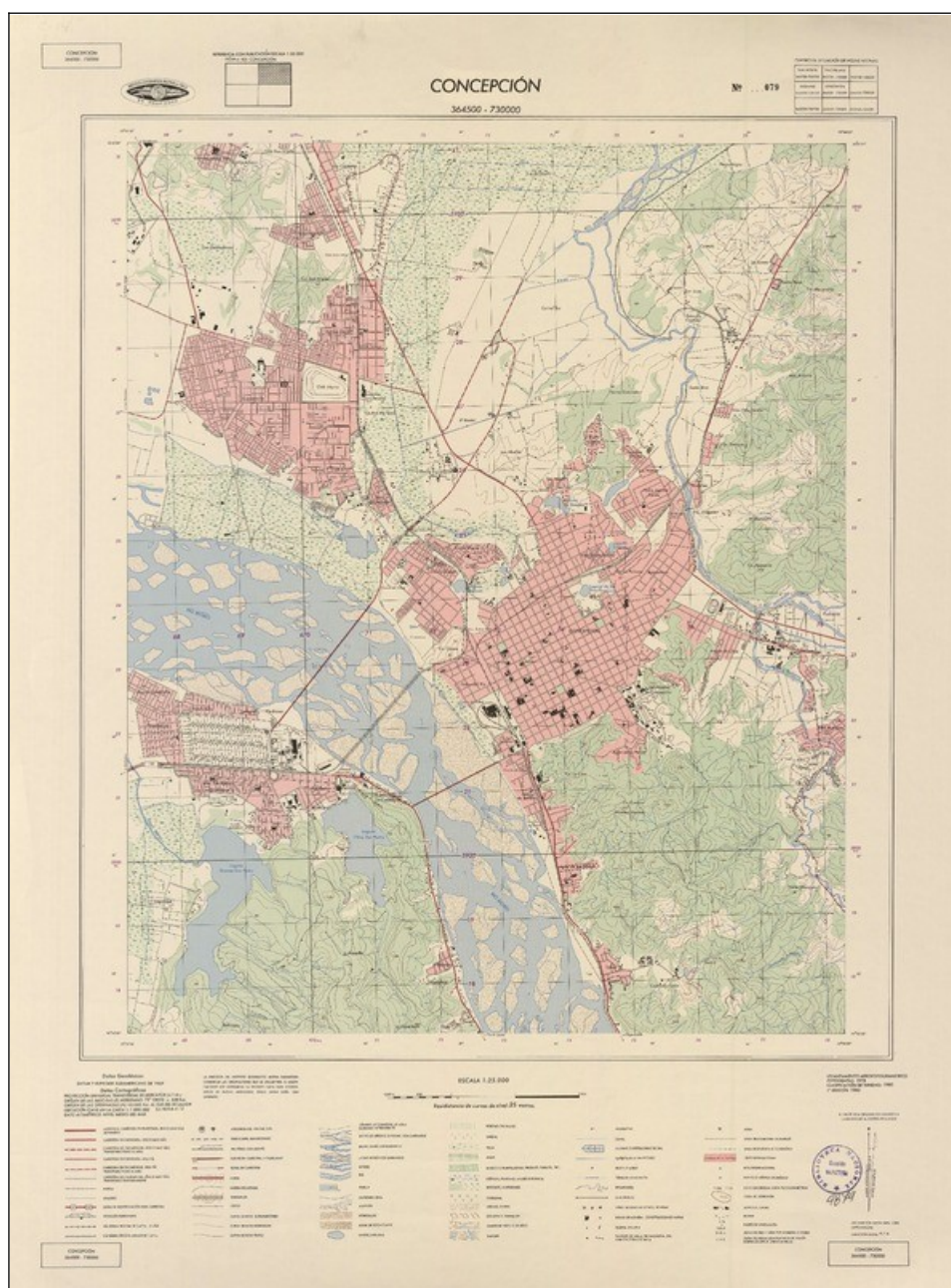
ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1A. Mapa 1892.....	87
1B. Mapa 1920.....	87
1C. Mapa 1932.....	88
1D. Mapa 1976.....	88
1E. Carta geológica Concepción 1987.....	89
1F. Mapa 1993.....	90
2A. Mapa 1863.....	90
2B. Mapa 1895.....	91
3A. Imagen satelital 2002.....	92
3B. Imagen satelital 2007.....	93
3C. Imagen satelital 2012.....	94
3D. Imagen satelital 2020.....	95
4. Meses con precipitaciones anómalas para cada año 1990 – 2020.....	96
5. Anomalías periodo 1966 – 1989.....	97
6A. Primera sección base de datos sobre inmediaciones del río Andalién periodo 1860 –1899	98
6B. Segunda sección base de datos sobre inmediaciones del río Andalién periodo 1900 – 1958.....	99
7. Inundaciones en el área de estudio periodo 1966 – 1989.....	100
8. Inundaciones en el área de estudio periodo 1990 – 2009.....	101
9. Mapa de canal secundario con leves modificaciones a través de los años.....	102
10. Mapa curvas de nivel reconstrucción 1967 – 1974.....	103
11. Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1969-1974..	104
12. Mapa curvas de nivel reconstrucción 1974 – 1987.....	105
13. Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1974-1987..	106
14. Mapa curvas de nivel reconstrucción 1987 – 1997.....	107
15. Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1987-1997..	108
16. Mapa curvas de nivel reconstrucción 1997 – 2002.....	109
17. Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1997- 2002.	110
18. Mapa curvas de nivel reconstrucción 2002 – 2006.....	111
19. Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 2002-2006..	112
20. Esquema de las curvas de nivel modificadas para la construcción del ráster DEM correspondiente al año 1969.....	113
21. Curvas de nivel del área modificada de la zona de estudio sobre en archivo interpolado obtenido de éstas.....	114
22. Segmentos del ráster DEM de 2011 utilizados para construir la superficie correspondiente a la reconstrucción de 1969.....	115
23. Representación de segmentos del ráster DEM de 2011 junto al área reconstruida correspondiente al año 1969.....	116

24. Superficie importada desde QGIS a HEC-RAS.....	117
25. Superficie importada a HEC-RAS con los valores de coeficientes de rugosidad.....	118
26A. Ventana “Geometric Data” del software HEC-RAS correspondiente al año 1969.....	119
26B. Opciones de enmallado.....	120
26C. Acercamiento al enmallado definido para la simulación de la inundación de 1969.....	120
27. Ventana “Unsteady flow Data” correspondiente a la simulación de 1969.....	121
28. Datos de BC Line: Andalién periodo 1969-2002	122
29. Datos de BC Line: Estero Nonguén.....	123
30. Datos correspondiente a “BC Line: Tributario Menor 1”.....	124
31. Datos de pendiente correspondiente a las salidas de agua de la simulación.....	125
32. Datos de precipitaciones correspondiente a la simulación del año 1969.....	126
33. Ventana “Perform an unsteady flow simulation”.....	127
34A. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1969.....	128
34B. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1974.....	129
34C. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1987.....	130
34D. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1988.....	131
34E. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2000.....	132
34F. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2001.....	133
34G. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2002.....	134
34H. Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2006.....	135
35. Carreta en isla Andalién.....	136
36. Hombre cruza canal secundario del río Andalién.....	137
37. Noticia inundación en calle General Novoa número 400.....	138
38. Balsa destruida al intentar cruzar el río Andalién.....	139
39. Habitante de población Teniente Merino.....	139
40. Microbús transitando por calle General Novoa.....	140
41. Residente de villa Huáscar fuera de su hogar.....	140
42. Hombre cruza por los bordes del río Andalién, fuera de su hogar.....	141
43. Fotografía crecida del río Andalién.....	142
44. Extracto noticia caudal de 4,70 metros.....	143
45. Niño camina por calle Los Acacios, fotografía de Cesar Jara.....	144
46. Descripción de zonas afectadas en la portada de diario “El Sur” del día 25 de agosto de 2002.....	145
47. Inundación de biblioteca de la universidad de Biobío, fotografía Cesar Jara.....	146
48. Personal de rescate carga a persona damnificada, fotografía Cesar Jara.....	147
49. Imagen aérea del día posterior a la inundación del día 11 de julio de 2006.....	148
50. Fragmento de reportaje correspondiente a la inundación del día 11 de julio de 2006.....	148

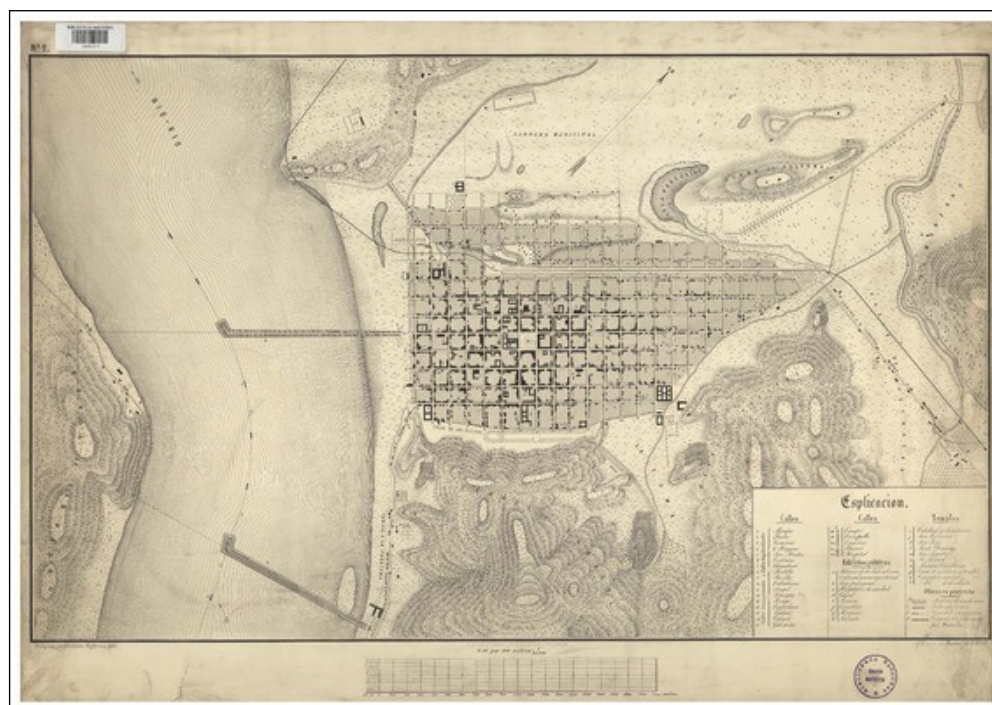
	86
51. Fragmento del Acta Municipal volumen 60.....	149



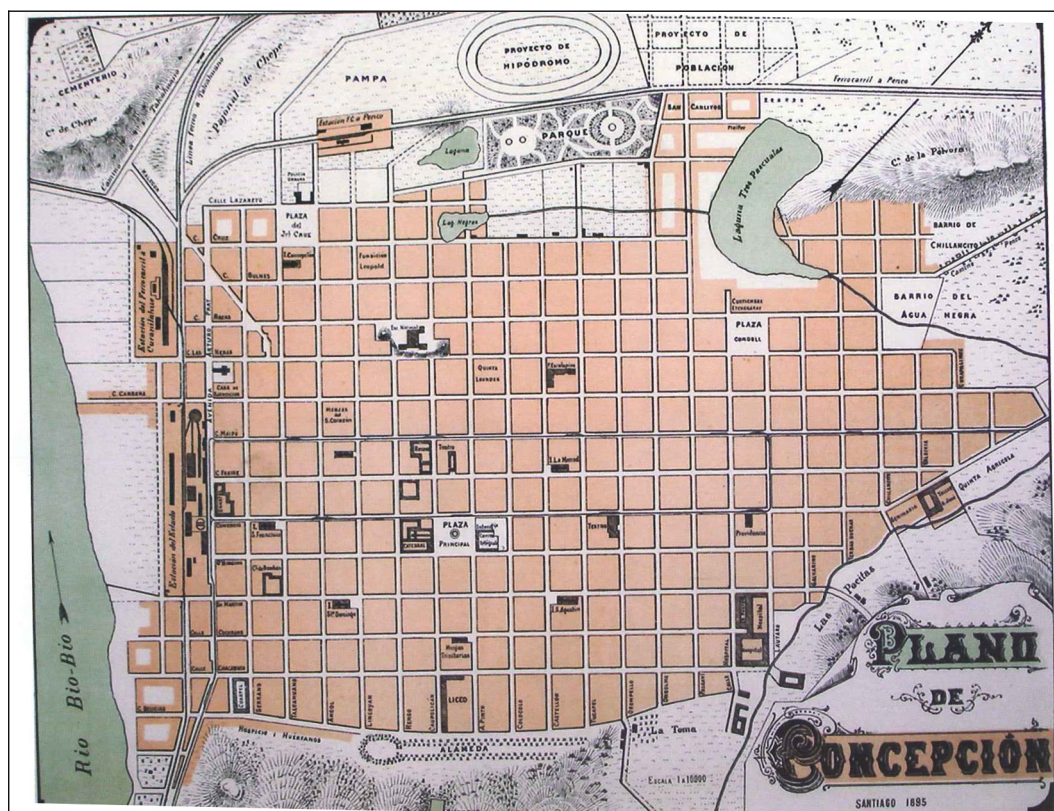
Anexo 1E: Carta geológica Concepción 1987. Obtenido de la Biblioteca Nacional Digital de Chile.



Anexo 1F: Mapa 1993. Obtenido de la Biblioteca Nacional Digital de Chile.



Anexo 2A: Mapa 1863. Facilitado por el Instituto Geográfico Militar.



Anexo 2B: Mapa 1895. Facilitado por el Instituto Geográfico Militar.



Anexo 3A: Imagen satelital 2002.



Anexo 3B: Imagen satelital 2007.



Anexo 3C: Imagen satelital 2012.



Anexo 3D: Imagen satelital 2020.

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic
pp. totales mensuales Promedio 1961-1990	24,9	56	178,3	218,2	222,1	153,2	87,6	64,9	41,1	28,2
Pp. Mensuales 1990	126,80	50,40	97,30	104,50	98,10	134,60	114,80	50,70	27,20	4,50
Pp. Mensuales 1991	9,00	115,50	267,30	142,80	234,20	87,70	62,40	64,00	50,60	97,10
Pp. Mensuales 1992	48,20	112,70	449,70	293,50	100,50	166,00	122,90	56,50	15,30	71,90
Pp. Mensuales 1993	17,40	96,70	283,10	309,00	210,10	99,50	21,00	45,40	40,00	21,30
Pp. Mensuales 1994	9,00	123,80	71,90	202,60	177,10	21,90	139,00	44,60	17,70	34,60
Pp. Mensuales 1995	14,40	139,20	57,00	219,10	252,90	197,30	9,90	55,60	3,30	0,00
Pp. Mensuales 1996	12,80	65,40	66,20	151,50	77,90	173,20	6,70	25,10	19,10	20,60
Pp. Mensuales 1997	0,30	239,30	218,70	360,40	231,60	127,50	82,70	162,40	89,40	3,60
Pp. Mensuales 1998	8,70	33,90	149,60	141,90	78,00	94,70	57,60	0,10	29,80	4,30
Pp. Mensuales 1999	20,80	21,10	198,80	273,00	148,60	213,90	155,80	15,50	1,80	11,90
Pp. Mensuales 2000	6,10	46,20	58,80	565,70	81,10	218,50	257,50	33,00	27,40	15,20
Pp. Mensuales 2001	44,30	40,00	293,70	235,80	375,50	195,40	49,60	24,40	34,50	0,00
Pp. Mensuales 2002	90,70	84,60	180,90	114,40	158,20	300,70	116,50	182,30	51,50	15,40
Pp. Mensuales 2003	9,20	18,60	73,10	309,50	109,80	64,40	129,60	60,80	76,70	11,00
Pp. Mensuales 2004	49,20	127,00	64,00	255,00	205,90	145,60	73,60	126,40	47,10	19,20
Pp. Mensuales 2005	22,80	9,40	357,50	431,90	165,80	177,70	74,40	28,60	48,60	64,80
Pp. Mensuales 2006	10,20	120,80	107,40	309,60	312,30	235,80	41,30	90,00	3,00	53,90
Pp. Mensuales 2007	9,00	132,80	73,00	89,20	175,90	118,80	58,40	31,70	4,00	25,60
Pp. Mensuales 2008	3,80	53,20	323,00	95,60	290,40	237,80	80,00	30,20	11,60	5,40
Pp. Mensuales 2009	6,80	14,20	133,20	280,30	118,20	215,40	51,40	52,00	43,80	0,60
Pp. Mensuales 2010	5,80	7,20	37,20	186,00	248,20	133,20	21,20	43,40	17,20	14,60
Pp. Mensuales 2011	33,00	82,20	31,60	143,80	124,00	190,20	71,40	30,00	27,60	2,00
Pp. Mensuales 2012	9,20	3,80	131,60	206,80	51,00	130,60	15,00	37,40	33,80	70,20
Pp. Mensuales 2013	2,40	10,00	195,80	102,00	79,80	103,40	45,40	25,00	11,00	0,00
Pp. Mensuales 2014	66,80	66,60	114,20	266,40	223,80	108,40	98,40	12,60	3,20	9,20
Pp. Mensuales 2015	1,20	27,80	56,40	107,00	165,00	177,00	115,20	42,20	17,20	4,40
Pp. Mensuales 2016	14,20	67,20	117,60	3,40	189,40	54,00	49,80	71,80	14,40	32,40
Pp. Mensuales 2017	31,80	71,60	96,20	156,80	90,20	277,40	72,00	75,80	29,20	7,60
Pp. Mensuales 2018	59,20	74,60	146,80	87,10	106,20	55,60	129,40	63,80	31,80	8,40
Pp. Mensuales 2019	8,40	4,20	135,40	251,20	105,40	65,00	79,40	43,80	13,40	0,00
Pp. Mensuales 2020	42,40	53,60	58,00	344,80	157,00	79,40	29,60	21,60	0,60	7,00

Anexo 4: Meses con precipitaciones anómalas para cada año 1990 – 2020.

Fecha	Precipitaciones (mm de agua)	Comentario
13/06/1966	115.4	153.6 en 3 días, 118.1 entre 9-11 Julio
21/05/1967	142	185.9 en 3 días
13/06/1968	119.9	138.9 en 2 días
06/06/1969	109.2	140 en 3 días
28/05/1970	81.2	-
22/08/1971	68	-
26/05/1972	63.3	127.7 en 3 días
20/10/1973	49	-
26/06/1974	115.2	193.7 en 3 días
02/07/1975	65.7	-
14/10/1976	42.8	-
29/06/1977	80	104 en 2 días
17/07/1978	101.2	147.6 en 3 días
01/06/1979	72	-
12/05/1980	58.5	120 aprox en 2 días
06/05/1981	92.8	115 aprox en 3 días
28/06/1982	63	-
16/06/1983	66.8	116.9 en 3 días
02/05/1984	91	115.1 en 3 días
01/07/1985	45.7	70 aprox en 2 días
25/11/1986	161	184.4 en 3 días
12/07/1987	85.7	-
27/07/1988	124.4	178.9 en 3 días
06/06/1989	89.6	103.6 en 2 días

Anexo 5: Anomalías periodo 1966 – 1989.

Código	Nombre	Suceso	Fecha
Vol. 001	Solicitudes 1860-1869	Portazgo río Andalién	
Vol.005	Tesorería Mun 1870 – 1879	Reconstrucción puente Andalién	10/1883
		Limitación Departamento Andalién	
Vol. 006	Notas varias 1870 - 1879	Reparación Puente Andalién	05/03/1870
		Creación cargo mayordomo de Matadero 7/3/1870	03/06/1870
Vol. 007	Solicitudes 1880-1885	Proyecto agua potable, Chaimavida, Troncon	3/5/1880
		Muerte de ganado, fuertes lluvias	12/11/1880
		Lluvias casi cortan lado norte del puente R.A.	12/11/1880
		Proyecto agua potable en Puchacay	21/9/1881
		Delimitaciones distritos	3/8/1881
		Intervención riachuelo cerro Caracol	22/1/1885
		Proyecto agua potable en Puchacay	21/9/1881
Vol. 008	Tesorería 1880-1885	Adoquinado Concepción Centro	5/10/1880
Vol. 009	Notas varias 1880-1889	Insalubridad de Concepción	29/12/1881
		Reconstrucción Puente Andalién	10/1883
		Delimitación Puchacay	
Vol. 015	Solicitudes 1890-1891	Alcantarillado de Concepción	
		Adoquinado de Concepción	
Vol. 028	Notas Varias 1895-1896	Arreglo puente Andalién	9/1/1895
Vol. 032	Varios 1896	Balseadero Andalién, camino a Penco	18/6/1896
Vol. 045	Defensa 1897-1899	epidemias e inundaciones en Concepción	3/7/1899
		Higiene después de inundaciones de ríos	1/8/1899
		deshabita y Demoler casas siniestradas, medidas de aseo	9/8/1899
Vol. 056	Varios 1899-1900	Zonas inundadas	12/6/1899
		28/8/1899 evacuación barrio matadero, feria, barrio norte Chillancito, barrio Puchacay entre Molino Puchacay y Antigua Quinta Agrícola	30/8/1899
		Desbordado en establo fiscal, camino hacia Puchacay inundado, agua proveniente de la quebrada	24/6/1899
		29/8/1899 2 horas después de comenzar lluvia se inundó el matadero 1 metro de agua	30/8/1899
Vol. 057	Varios II 1899	Brazo Tres Pascualas conecta con río Andalién, Puente el matadero	26/7/1899

Anexo 6A: Primera sección base de datos sobre inmediaciones del río Andalién periodo 1860 – 1899.

Código	Nombre	Suceso	Fecha
Vol. 060	Solicitud y nota 1900	Canal frente a la feria Concepcion, entre av. Puchacay	12/06/1900
		Zanja en carrera evitaba las inundaciones, se tapo en abril	10/07/1900
		Inundación 19, 20, 21 Julio 1899, 1848 y 1877, 12 Julio 1900	06/08/1900
Vol. 088	Solicitudes 1902	Utilización de malecones desde el seminario hasta el matadero y casas batallón Chacabuco	28/06/1902
		Mitigación inundación río Andalién	22/06/1902
Vol. 110	Sol. Y Notas 1904	Av. Collao, ayudo a construir calles	
		Inundaciones provocadas por río Andalién y río Biobío	16/07/1904
Vol. 212	Varios 1912	Reconstrucción puente Andalién	18/04/1912
		Construir casa av. Camilo Henriquez	14/02/1914
		Construcción casa en barrio Andalién	18/02/1914
Vol. 358	Sep-Dic 1945	Regulación de las aguas del Río Andalién	
	Boletín Mun	31/5/1945 Salida del río Andalién y estero Nonguén,	
Vol. 398	May-Sep1957	Población Andalién	
	Boletín Mun		
Vol. 401	May-Ag 1958	Inundación en la Av. Pedro de Valdivia y Lo Pequen	
	Boletín Mun	Inundaciones río Biobío	
Vol. 440	Sesiones Ord	Quinta Agrícola, Matadero	
	1900		

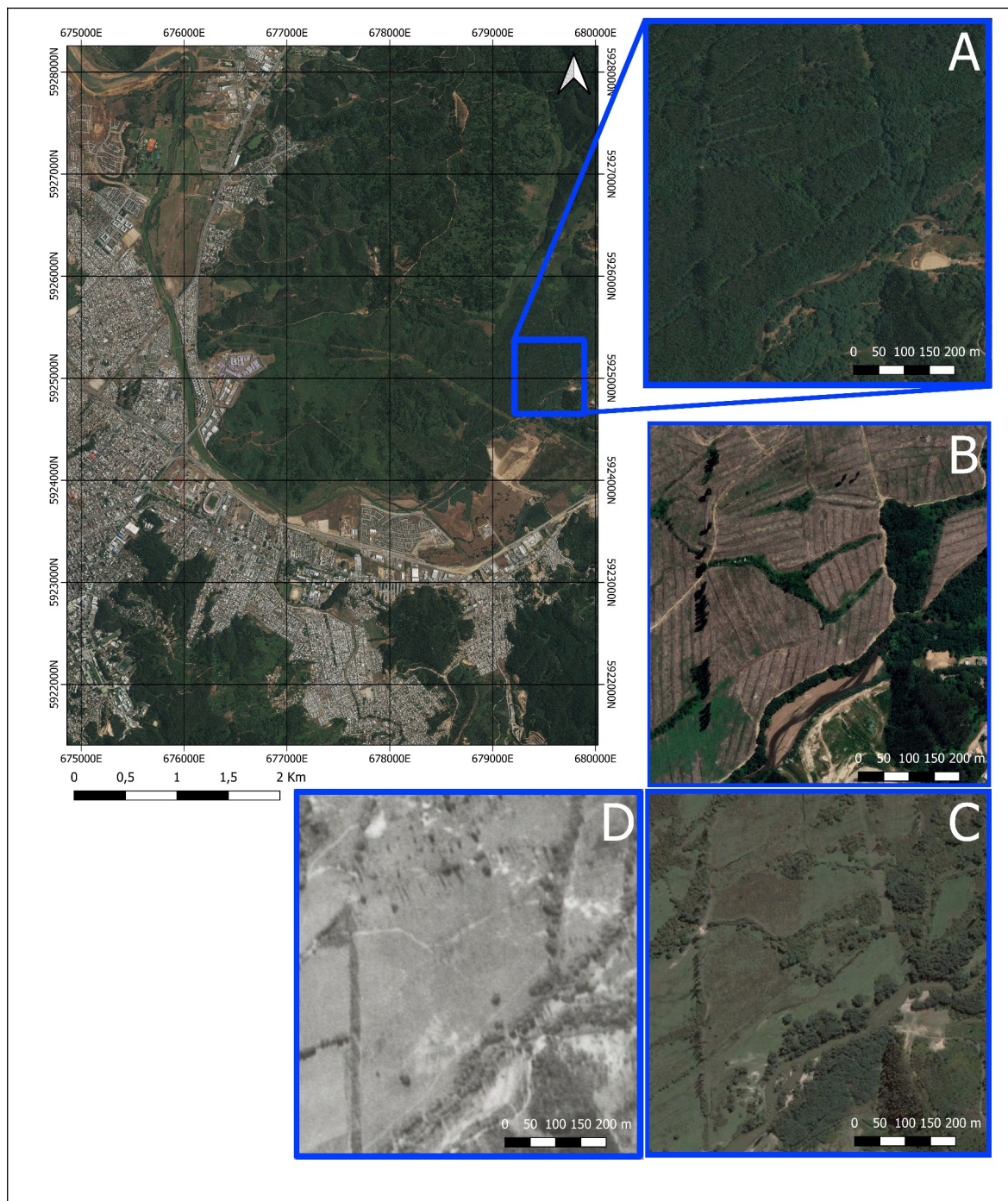
Anexo 6B: Segunda sección base de datos sobre inmediaciones del río Andalién periodo 1900 – 1958.

año	Fecha	Lugar inundado
1966	13/jun	Ejercito esquina con Carriel Sur
	14/jun	Chiguayante, Juan de Dios Rivera, UdeC, Av. Collao Inundada 40 cm en 60 m
1967	23/may	Calle Galvez, Talcahuano remoción en masa
1968	14/jun	Ester Roa
1969	08/jun	Pobl. Alfonso Urrejola en isla Andalién
	09/jun	
1970	29/may	Barrio U.
1971	23/ago	Club Hípico, Pobl. Teniente Merino, Pobl Camilo Olavarria
1972	21/may	Pedro de Valdivia
1973	09/jul	Ester Roa, Av. Collao
1974	27/jun	Ester Roa, Av. Collao, Calle Puchacay, Plaza Acevedo
	28/jun	Puente Ferroviario, Isla Andalién, Chillancito, Puchacay
	29/jun	La Mochita, pobl. Ríos de Chile, Villa capataces CAP
1975	04/jul	Camino a Bulnes, Barrio Universitario, Sector Palomares (San Ramón)
	06/jul	"Montañas de agua"
1978	18/jul	Inundaciones por río Biobío
	19/jul	Av. Collao
	20/jul	Inundación río Biobío
1979	04/jun	Nonguén reparaciones cañería agua potable
1981	07/may	Talcahuano, colectores de agua llenos de hojas
	08/may	Villa Nonguén, Hospital psiquiátrico, pobl. Ríos de Chile
	09/may	Hualqui, Chiguayante,
1982	05/jun	Lorenzo Arenas solución problemas
	30/jun	Costanera, Palomares
1983	19/jul	Rio Biobío, río Itata, Tres Pascualas, Pedro de Valdivia Bajo
1984	03/may	Av. Irrarazabal
1985	03/jul	Chiguayante, Valle Nonguén, Calle Venecia frente al canal el Morro
1986	26/nov	Av. Collao, Villa Huascar, Barrio Universitario, Carrera con Orompello, Vega Monumental
	27/nov	Palomares (Canal Blacaman),
	28/nov	Cosmito, mismas lluvias en 1901 y 1938
1987	11/jul	Hualqui
	12/jul	Pobl Teniente Merino 2, Puente 4 ruta hacia Bulnes, desborde Andalién.
1988	29/jul	Pedro de Valdivia, Las Higueras, P. Ecuador, Los Notros, Av Gral Novoa, Villa Huascar, Huachicoop
	30/jul	Gral. Bonilla, Isla Andalién (Sta Clara), Km 4 hundimiento losa mala evacuación aguas lluvias, Venecia.
	31/jul	proyecto mejora canal río Andalién
1989	08/jun	Calle 21/may

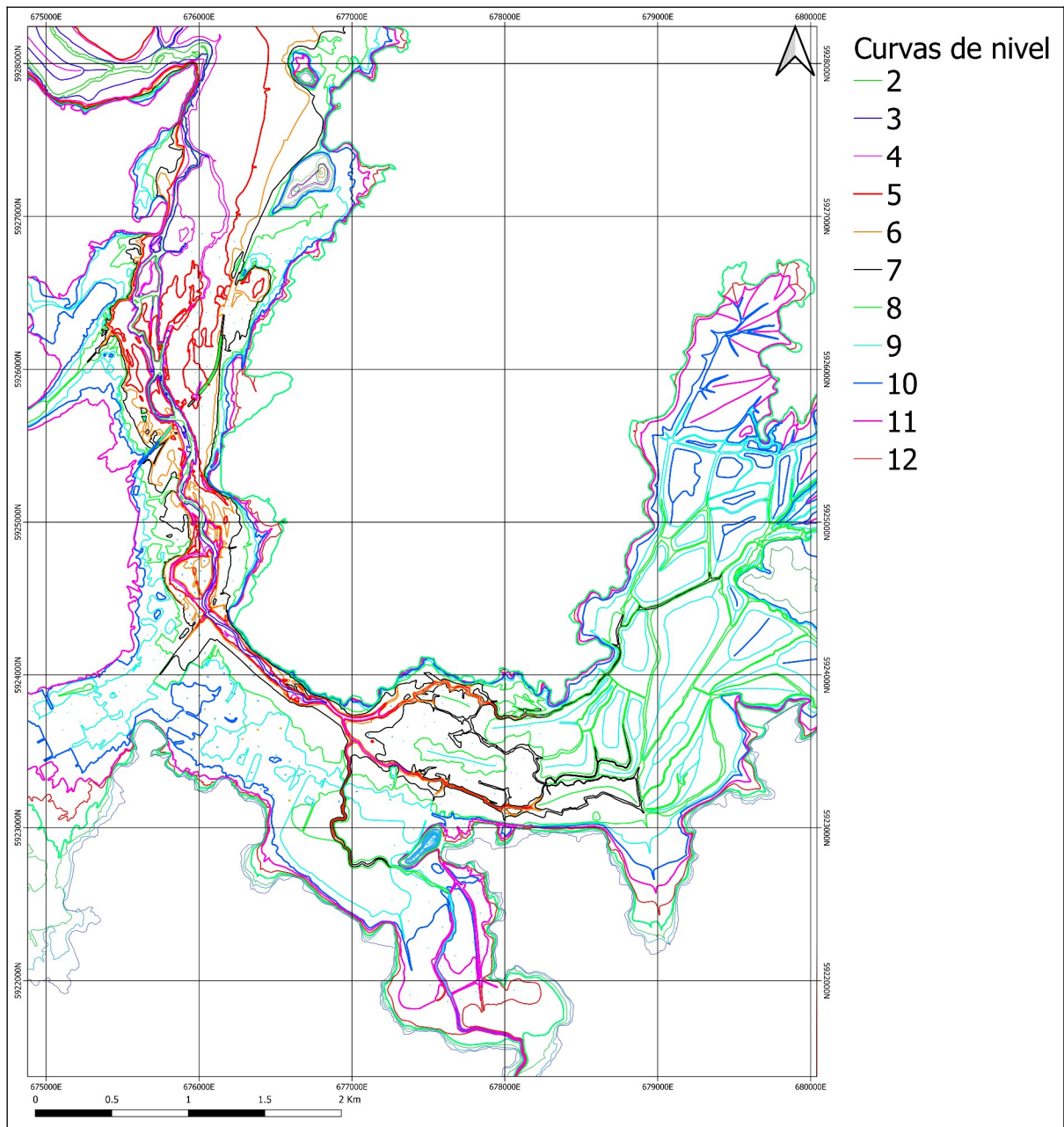
Anexo 7: Inundaciones en el área de estudio periodo 1966 – 1989.

Año	Fecha	Lugar inundado
1990	29/mar	Shell frente estadio Ester Roa
	17/jun	Zona Nonguén
	18/jun	Zona Nonguén
1991	15/may	Avenida Collao
	27/may	Salida río Biobío
	28/may	Calles Nonguén agrietadas
	30/may	Salida río Biobío
	03/jun	Quinta Agrícola, Juan de Dios Vial, final de Gorostiaga
	26/dic	Zona Talcahuano
	27/dic	Zona Talcahuano
1992	04/may	Irrarazabal entre Diego de Oro y Baquedano, Av. Collao, H. Trabajador, Los Lirios
	28/may	Entrada valle Nonguén
	11/jun	Pasaje 44, Los Lirios Puchacay. Harto barro
1993	04/jun	H. Trabajador, Isla Andalién, río Andalién
	05/jun	Isla Andalién (pobl. rot gral Bonilla-el río), Av. Andalién y Los Acacios, Irrarazabal.
	07/jun	Los Acacios, estero Nonguén, toda la calle Los Lirios, caj Puchacay con Gral Novoa, Collao con Irrarazabal, Villa Huascar
1994	05/may	Camino a Nonguén
	07/jun	Villa Nonguén
	20/jun	Nonguén verduras en aguas lluvias
1995	14/jun	Camino Nonguén
	05/jul	av. Gral Novoa, calle Caleuche, Av. Collao,
1997	17/may	Baquedano con Irrarazaval
	20/may	Villuco, Victor Lamas
	21/jun	Villa San Francisco en Chillancito, Chaimavida, Las Cabañas Nonguén Tierra
2000	14/jun	Los Lirios sedimentos
	23/jun	Villa Napoli, puente viejo, Cosmito
	29/jun	Crecida Andalién
	30/jun	Villa Napoli
	09/sep	Av. Collao
2001	28/may	Villa Nápoli, Isla Andalién, Juan Riquelme, Chaimávida
	15/jun	Los Acacios, Isla Andalien, villa Napoli, Collao, Pobl. Santa Clara, Villa O'higgins, pase bajo nivel villa CAP
	30/ago	Chillancito
2002	25/ago	Los Lirios, Collao, Los Fresnos, Palomares, Cosmito, villa U, Gral Bonilla, Chaimavida, granja Coalivi, pje Chiloe
	27/ago	U. Biobio
2004	13/jul	Tucapel Bajo
2005	25/jul	Rotonda gral Bonilla, Collao, Los Lirios, Villa Huascar, Ester Roa
	27/jul	Concepcion centro, foto 1966
2006	12/jul	E. Nonguén, villa Huascar, Gral. Novoa, Collao
	13-14/jul	Los Lirios, Collao, I. Andalien, H. Trabajador, U. Biobío.
2009	18/jun	Crecida Nonguén

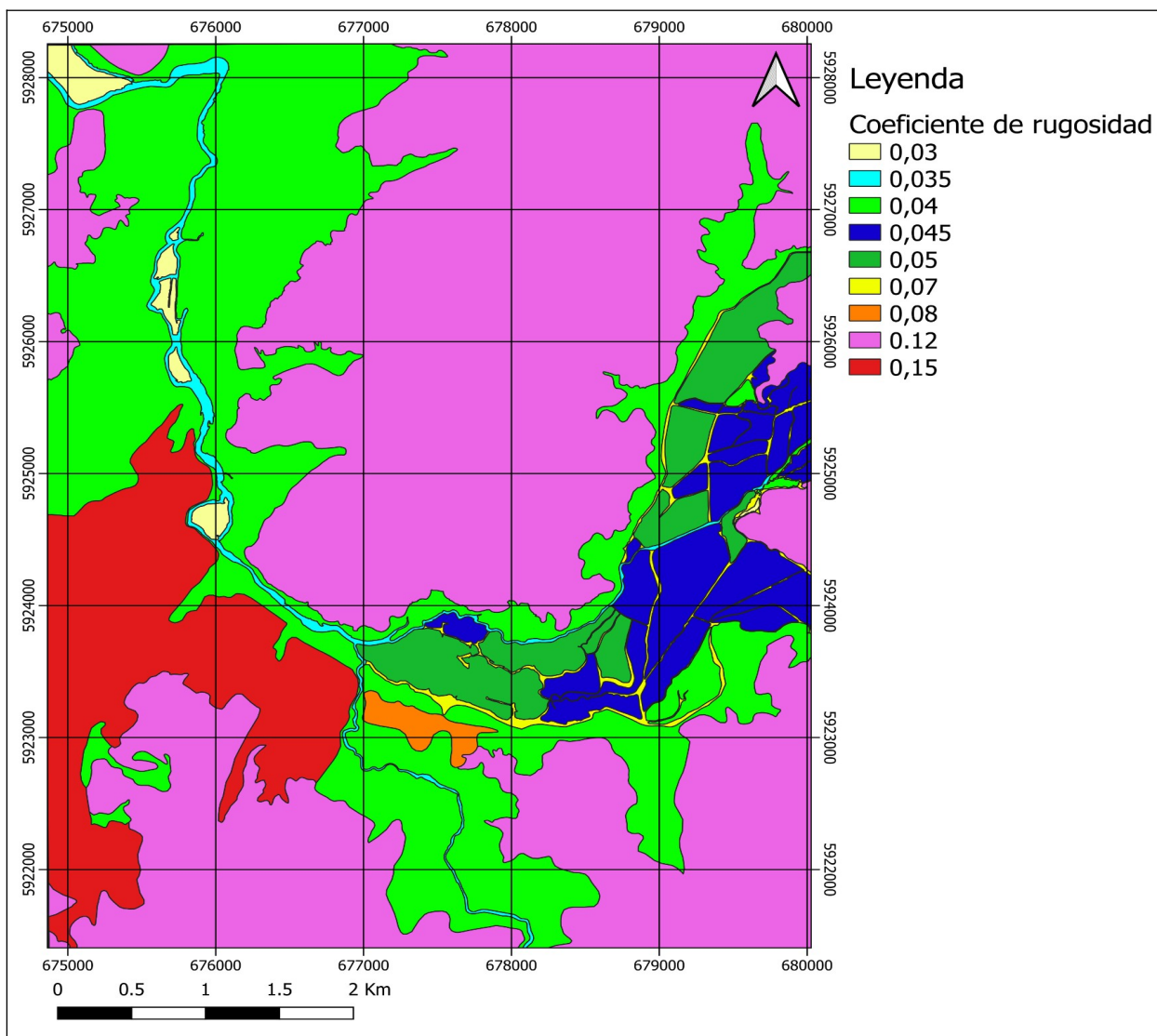
Anexo 8: Inundaciones en el área de estudio periodo 1990 – 2009.



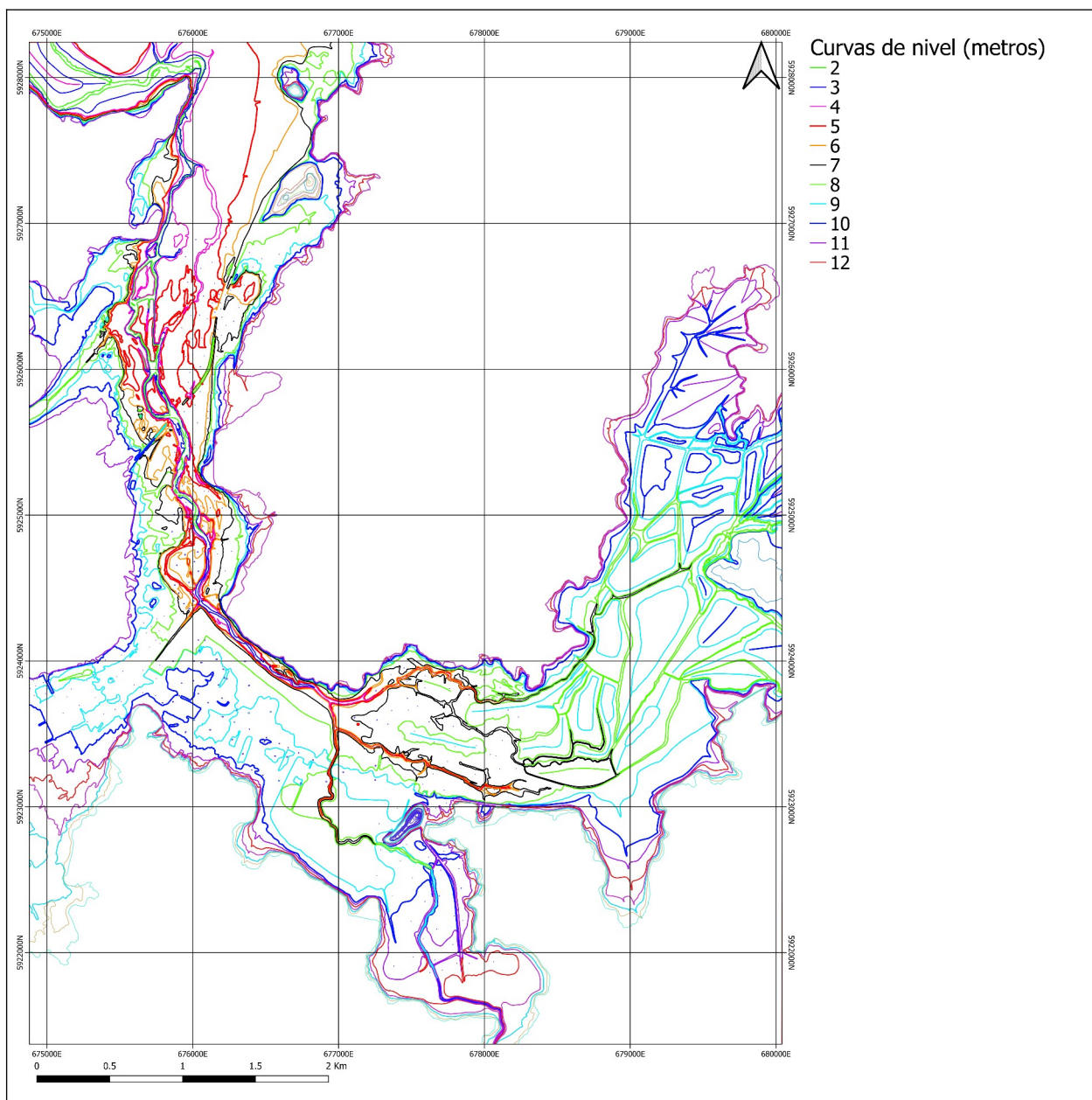
Anexo 9. Mapa de canal secundario con leves modificaciones a través de los años. A. año 1918, B. año 1922, C. Año 1902, D. año 1945.



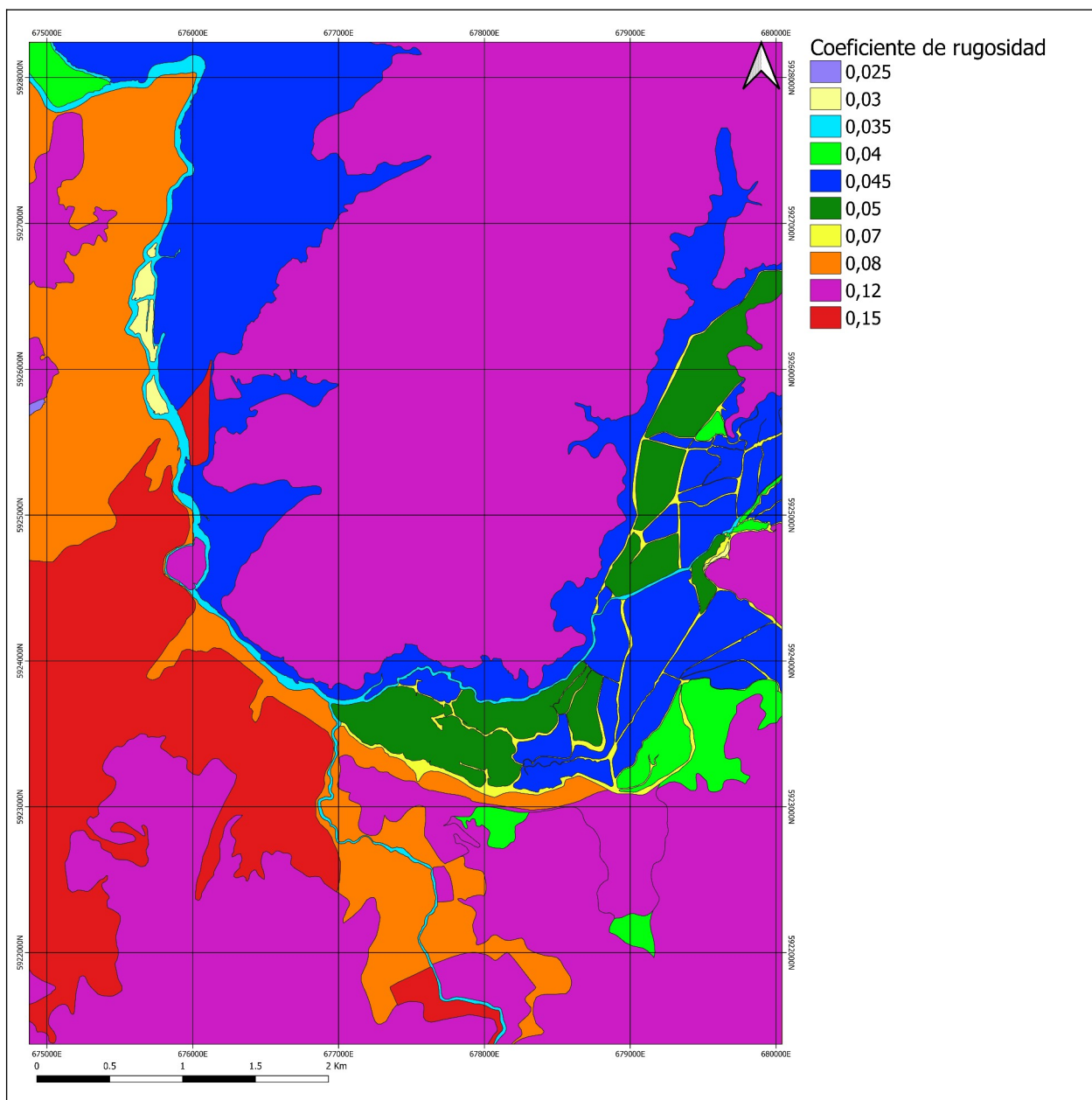
Anexo 10: Mapa curvas de nivel reconstrucción 1967 – 1974.



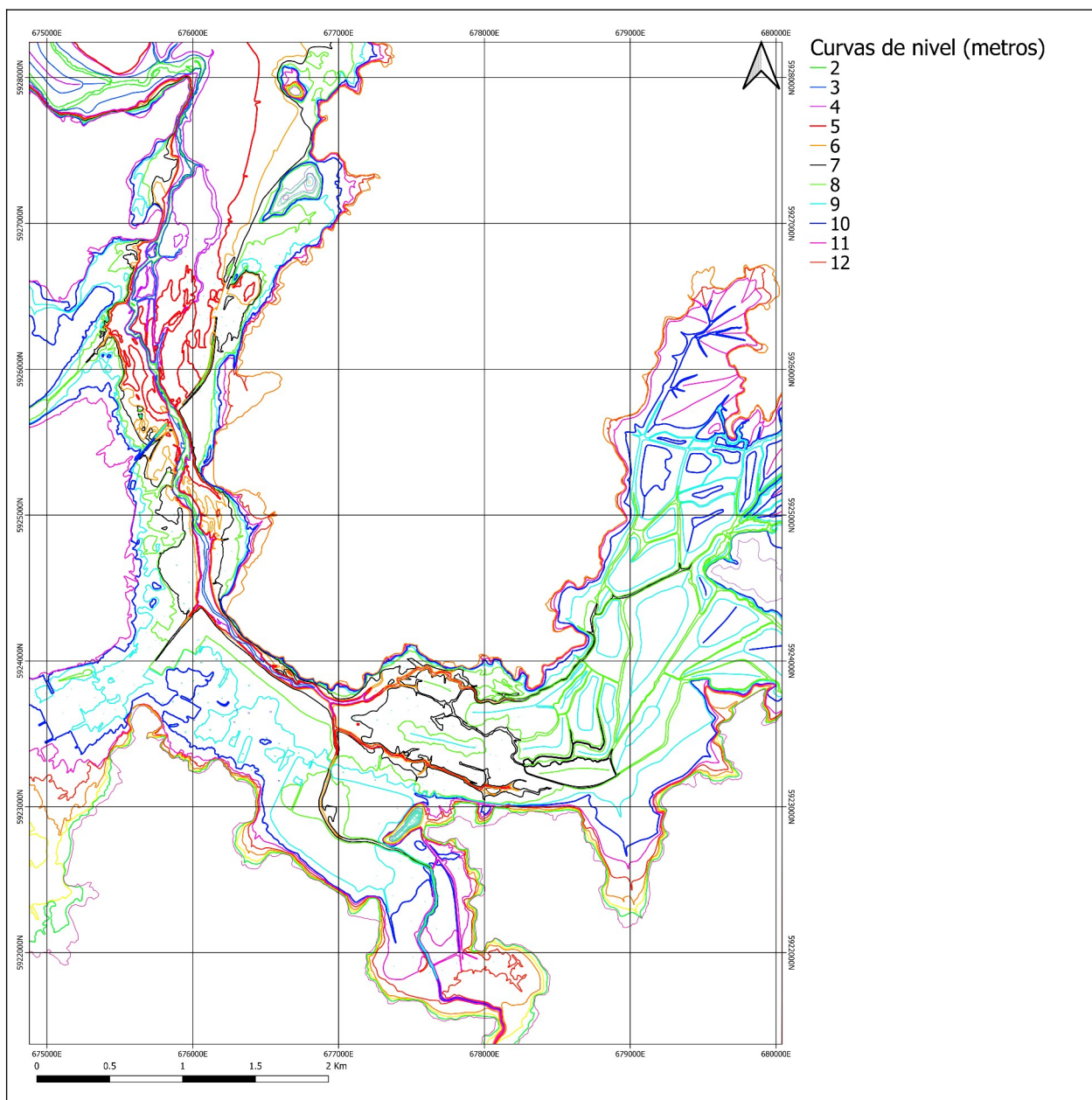
Anexo 11: Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1967 - 1974.



Anexo 12: Mapa curvas de nivel reconstrucción 1974 – 1987.



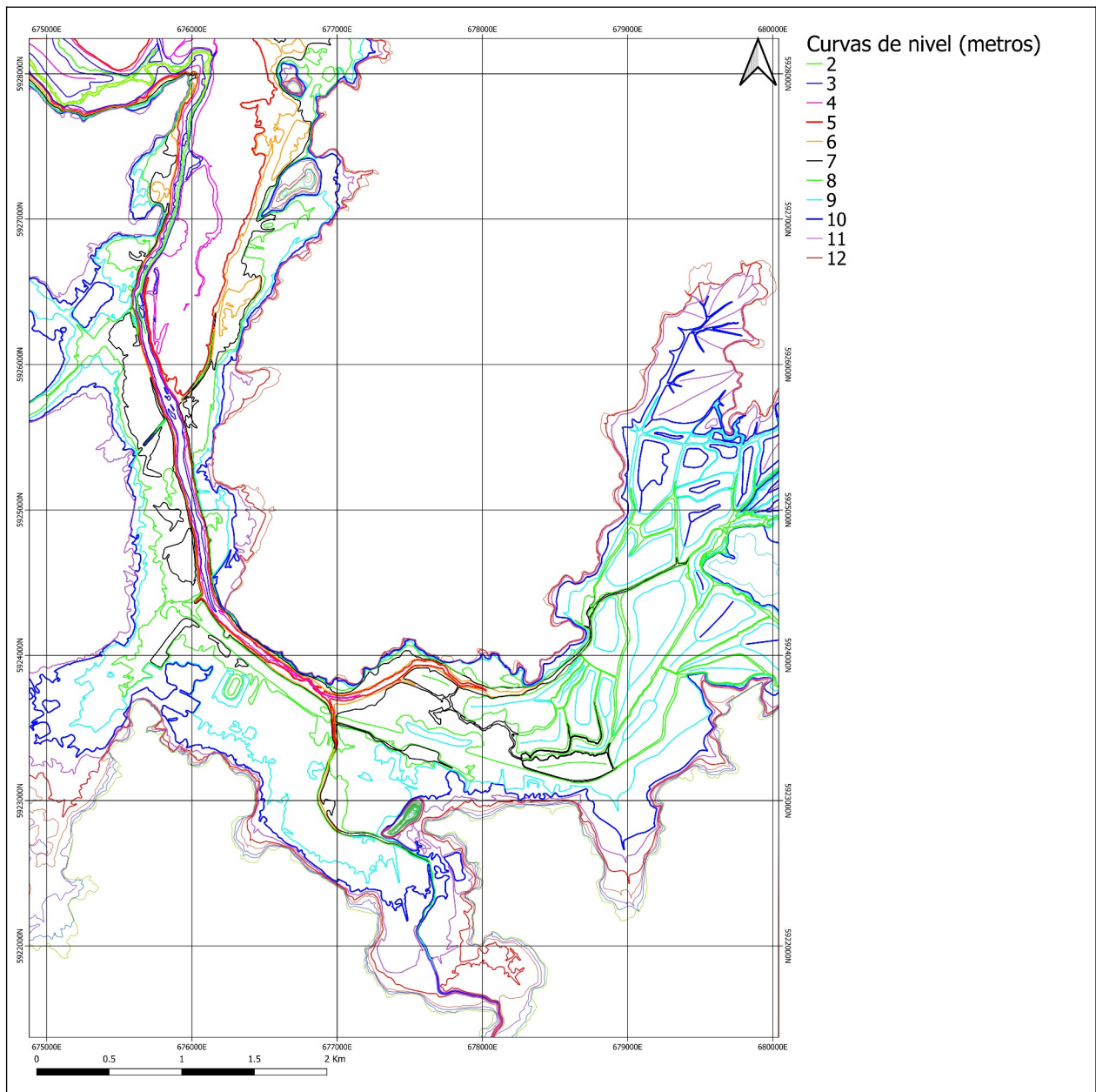
Anexo 13: Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1974 - 1987.



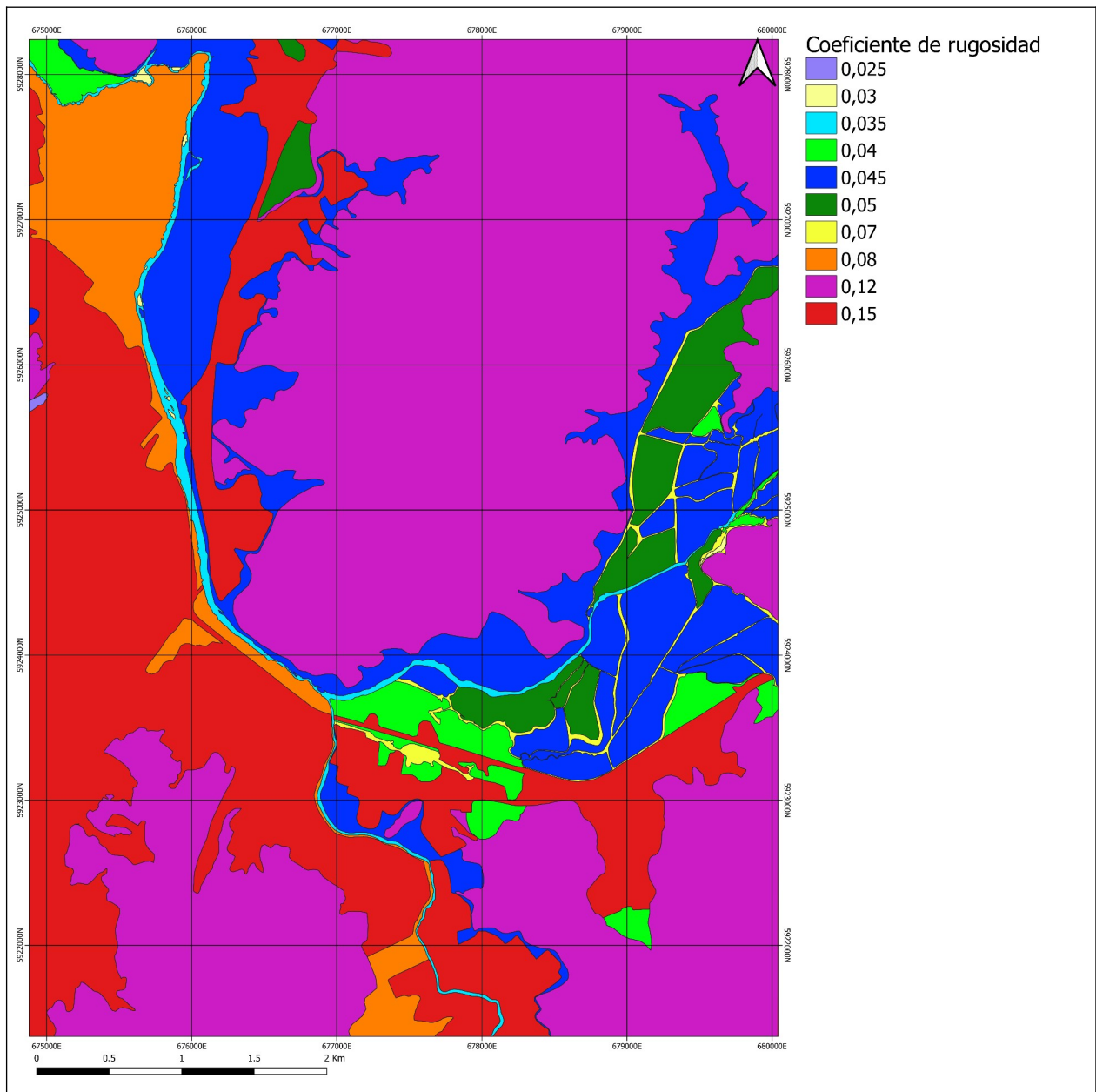
Anexo 14: Mapa curvas de nivel reconstrucción 1987 – 1997.



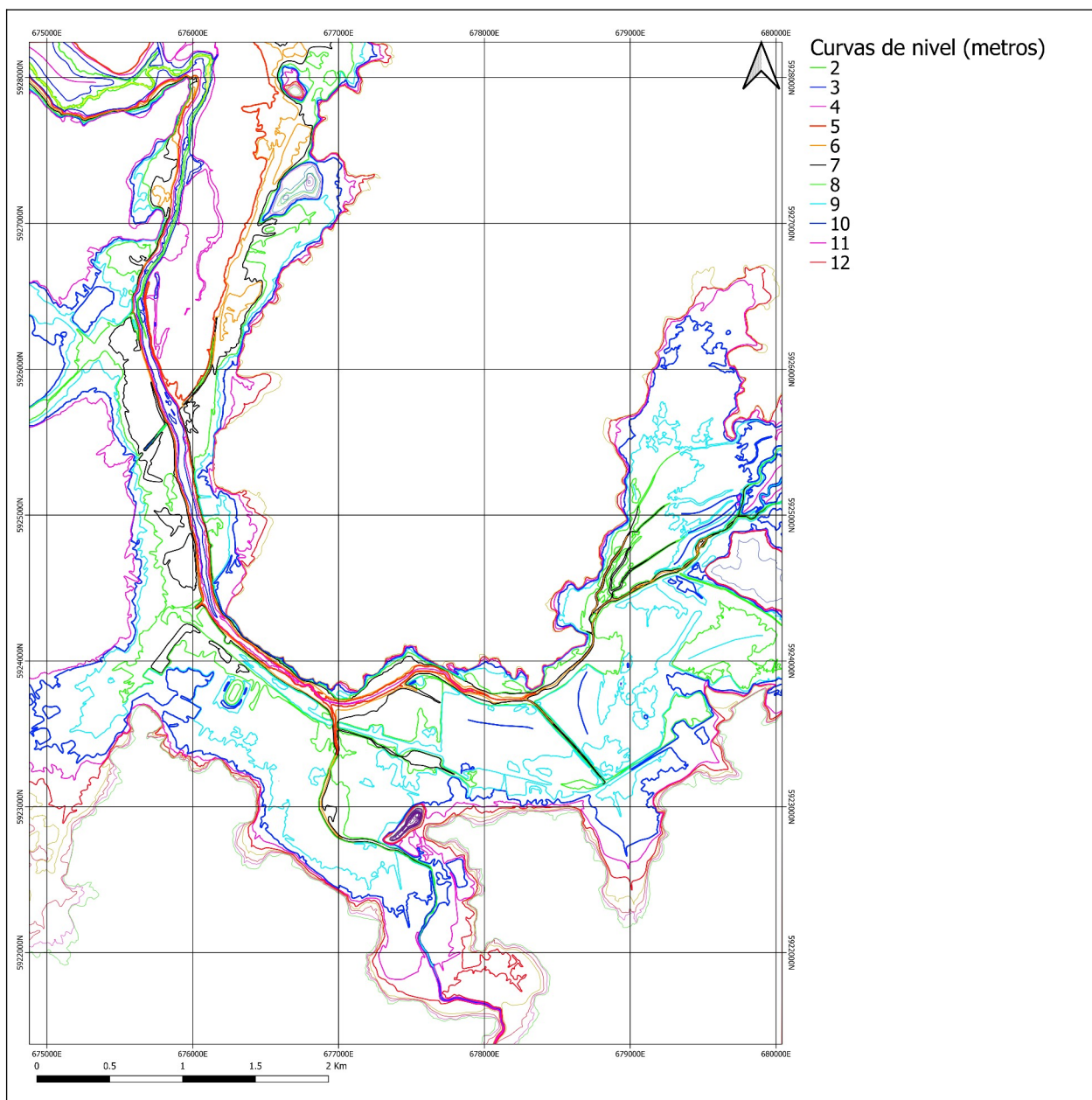
Anexo 15: Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1987 - 1997.



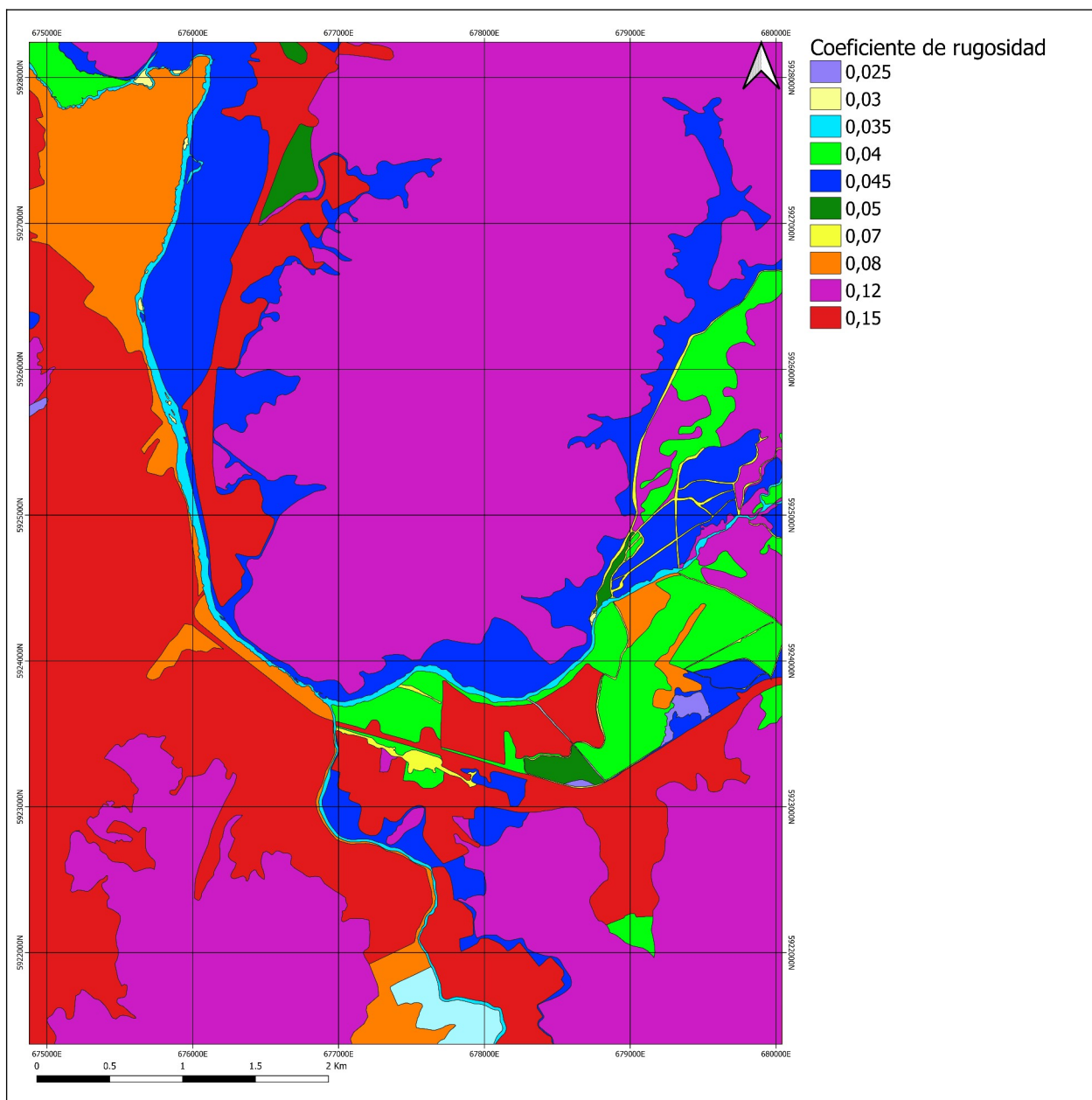
Anexo 16: Mapa curvas de nivel reconstrucción 1997 – 2002.



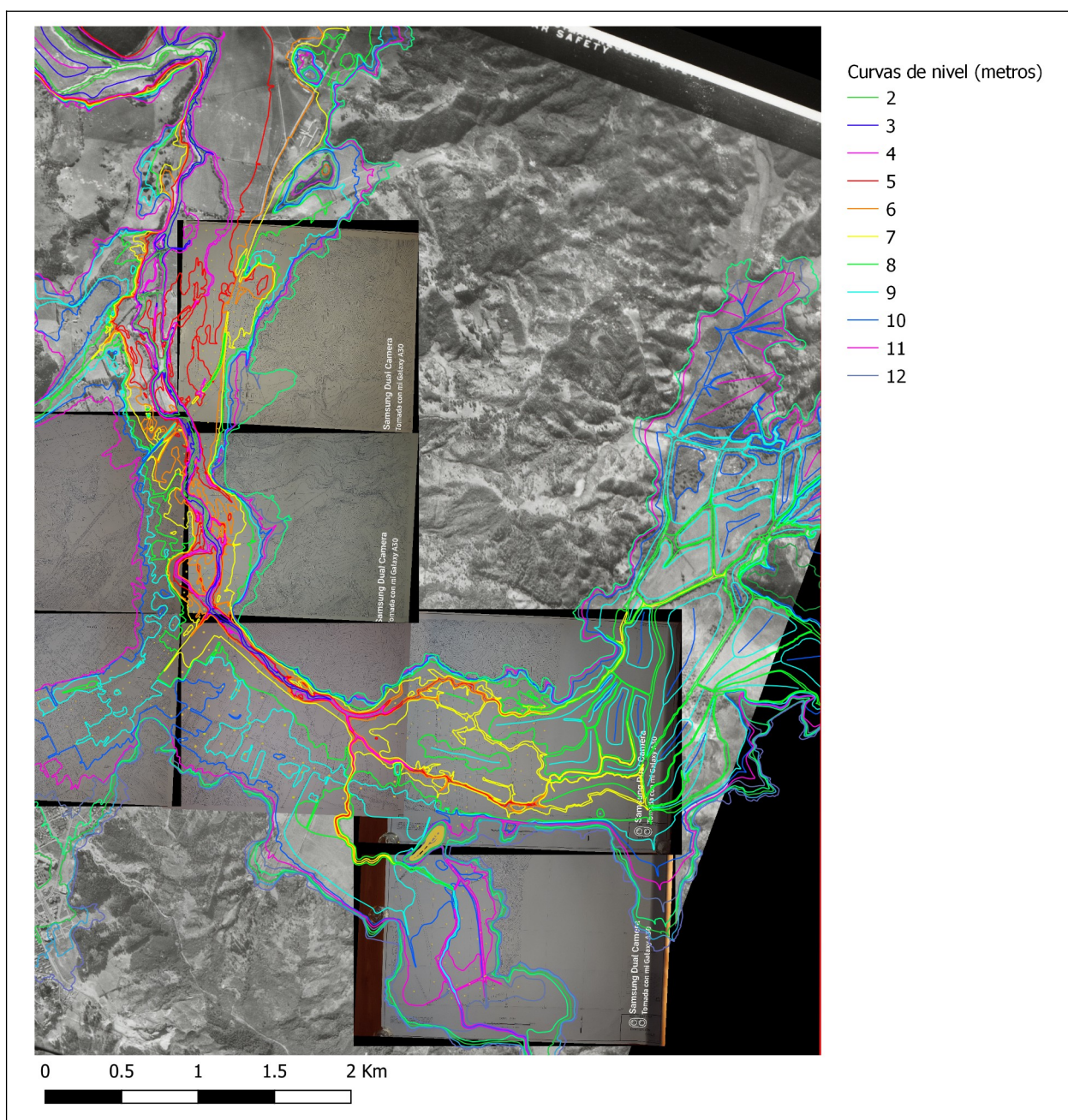
Anexo 17: Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 1997 - 2002.



Anexo 18: Mapa curvas de nivel reconstrucción 2002 – 2006.

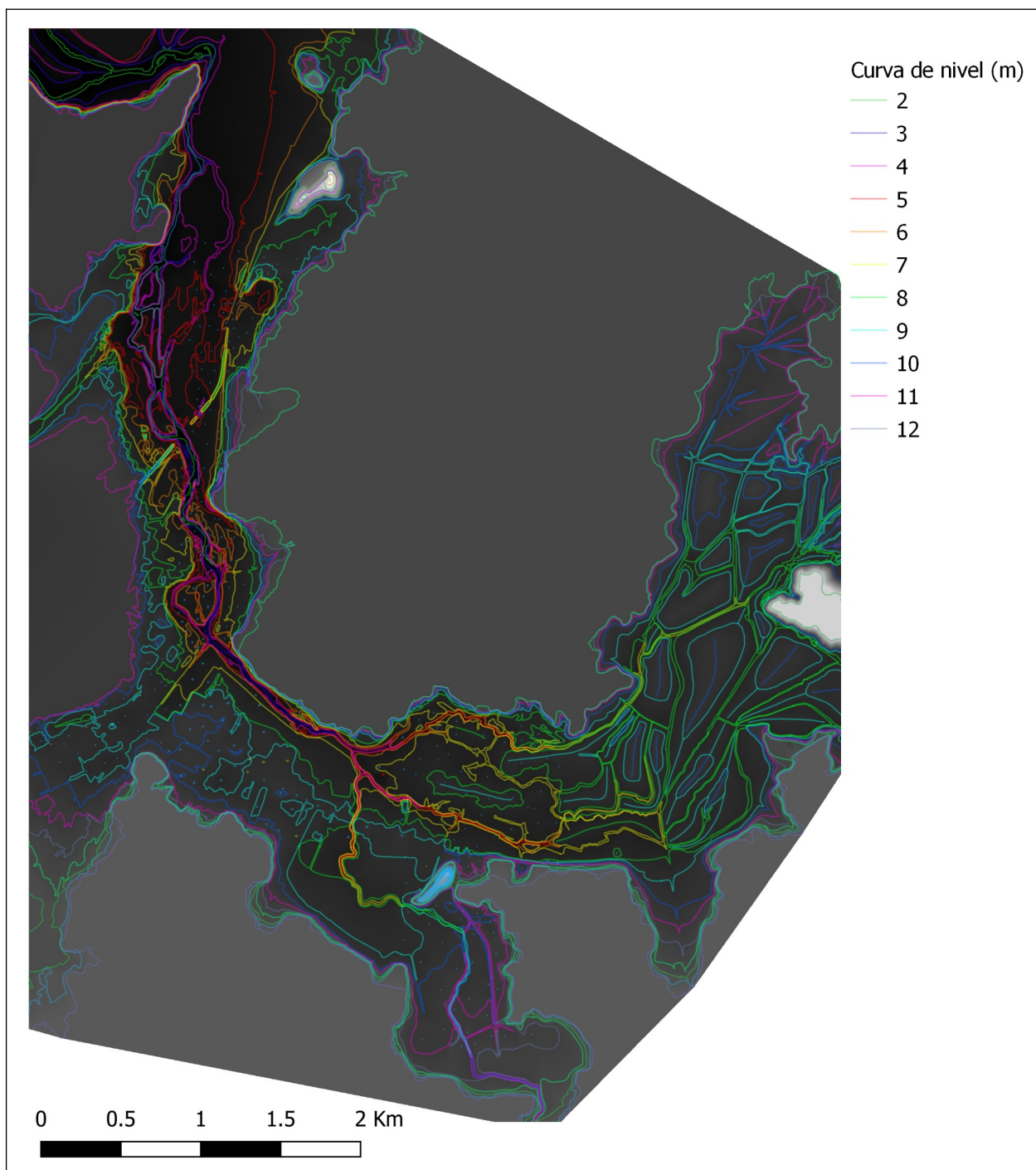


Anexo 19: Mapa de coeficiente de rugosidad correspondiente a la reconstrucción de 2002 - 2006.

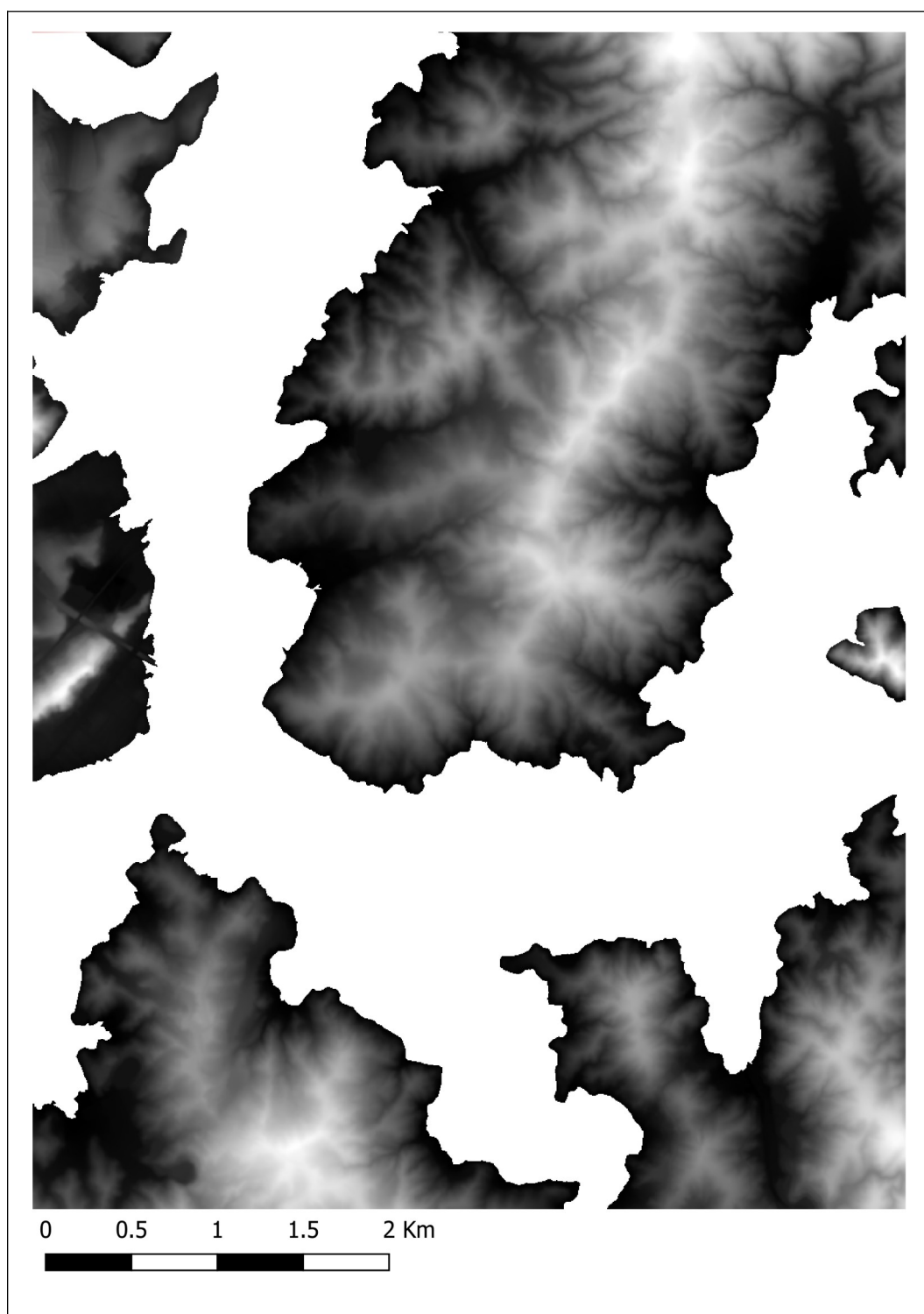


Anexo 20: Esquema de las curvas de nivel modificadas para la construcción del ráster DEM correspondiente al año 1969.

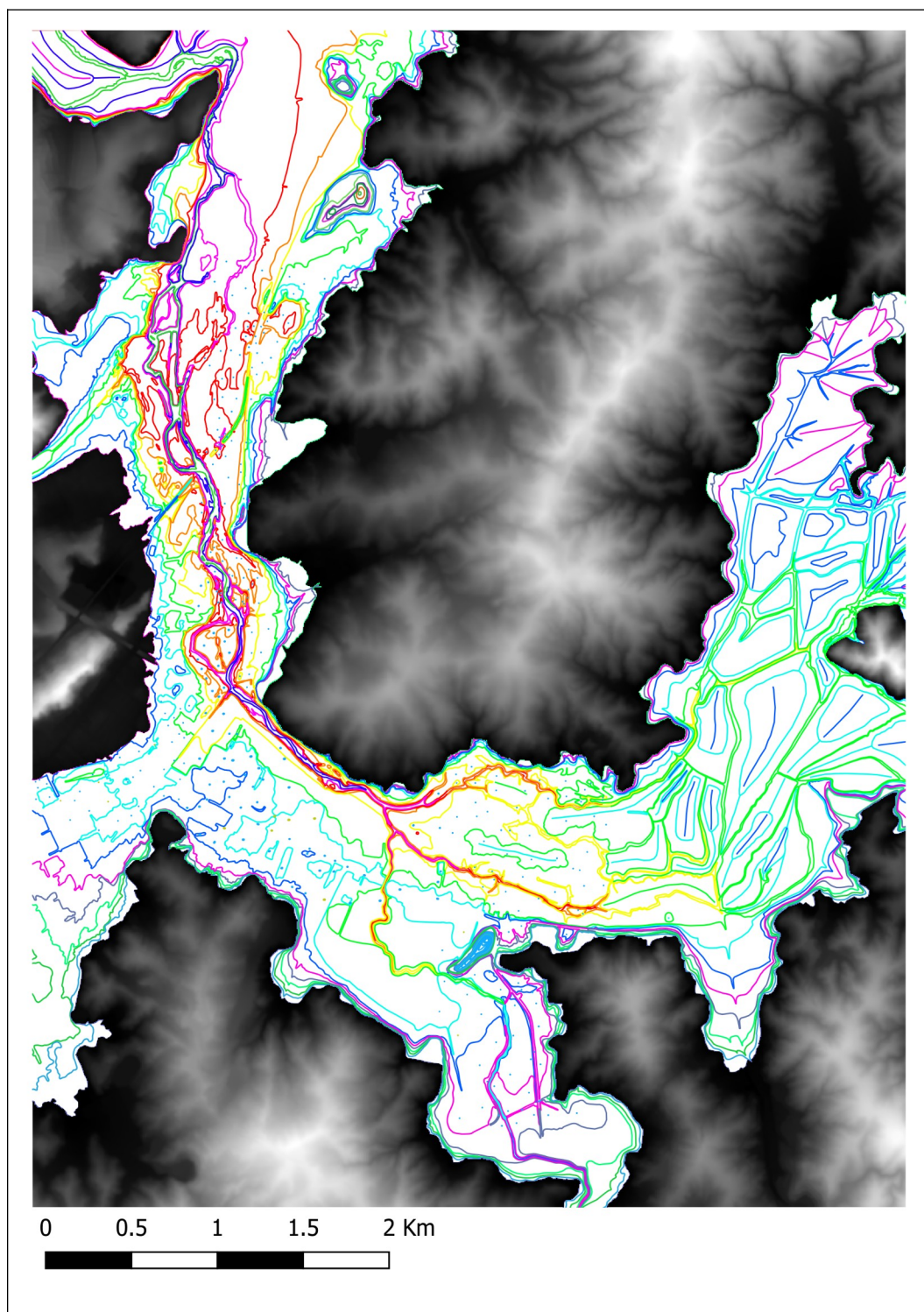
Debajo de las curvas de nivel se observan los mapas georreferenciados correspondientes al año 1961 digitalizados para reconstruir principalmente la zona al este del área de estudio, en el fondo se encuentra la fotografía aérea del año 1945 utilizada para reconstruir el área no poblada al oeste del área de estudio.



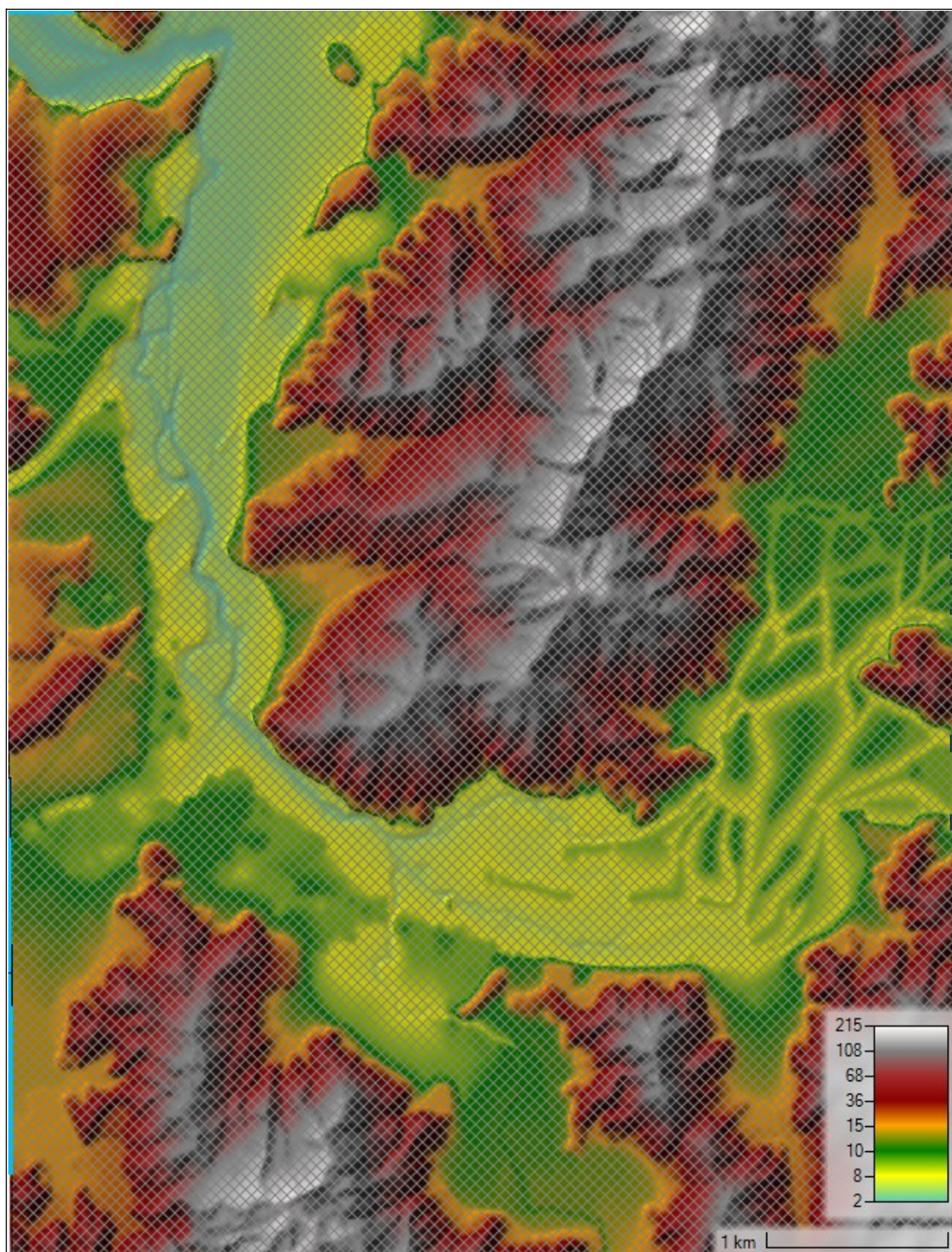
Anexo 21: Curvas de nivel del área modificada de la zona de estudio sobre el archivo interpolado obtenido de éstas.



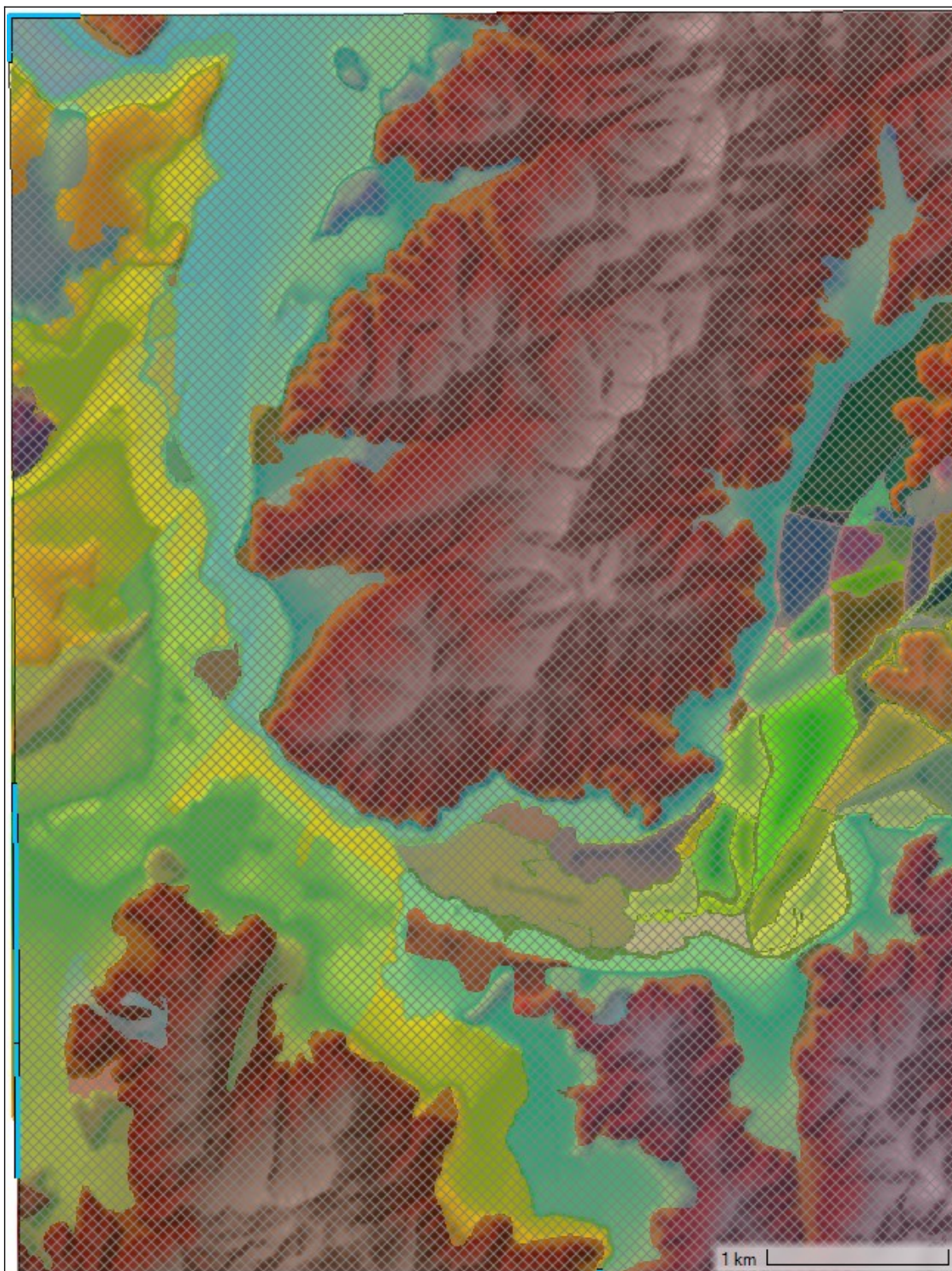
Anexo 22: Segmentos del ráster DEM de 2011 utilizados para construir la superficie correspondiente a la reconstrucción de 1969.



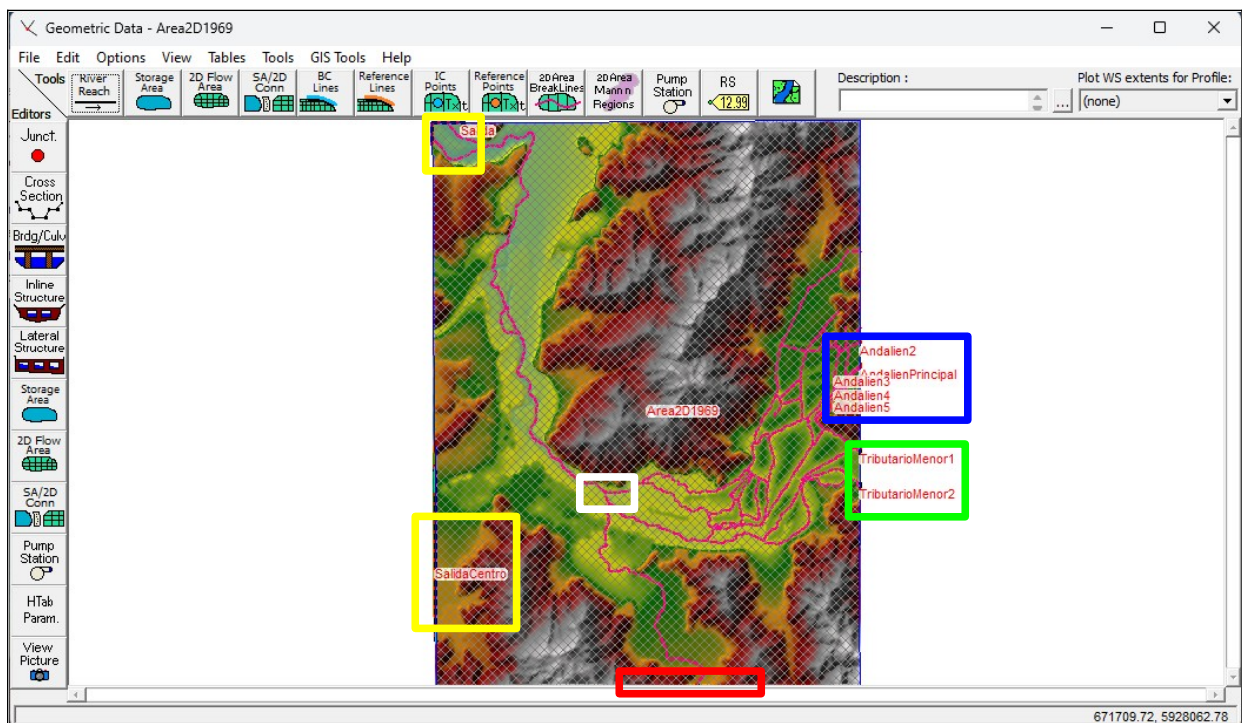
Anexo 23: Representación de segmentos del ráster DEM de 2011 junto al área reconstruida correspondiente al año 1969.



Anexo 24: Superficie importada desde QGIS a HEC-RAS.

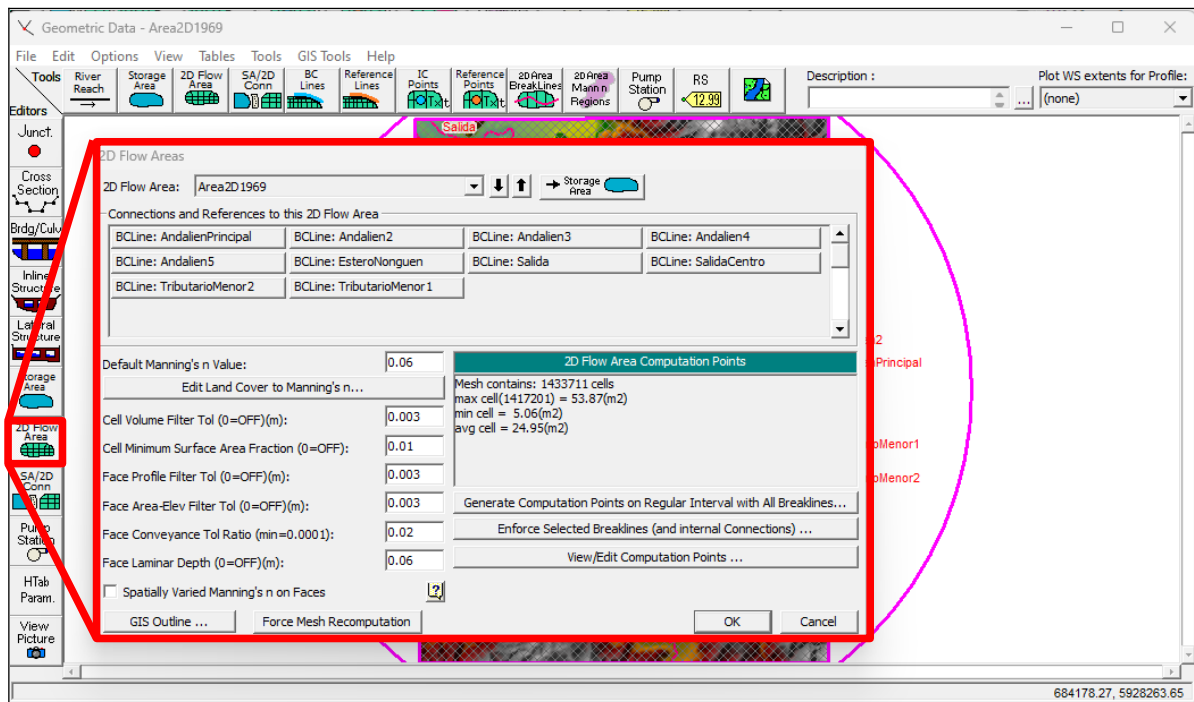


Anexo 25: Superficie importada a HEC-RAS con los valores de coeficientes de rugosidad.

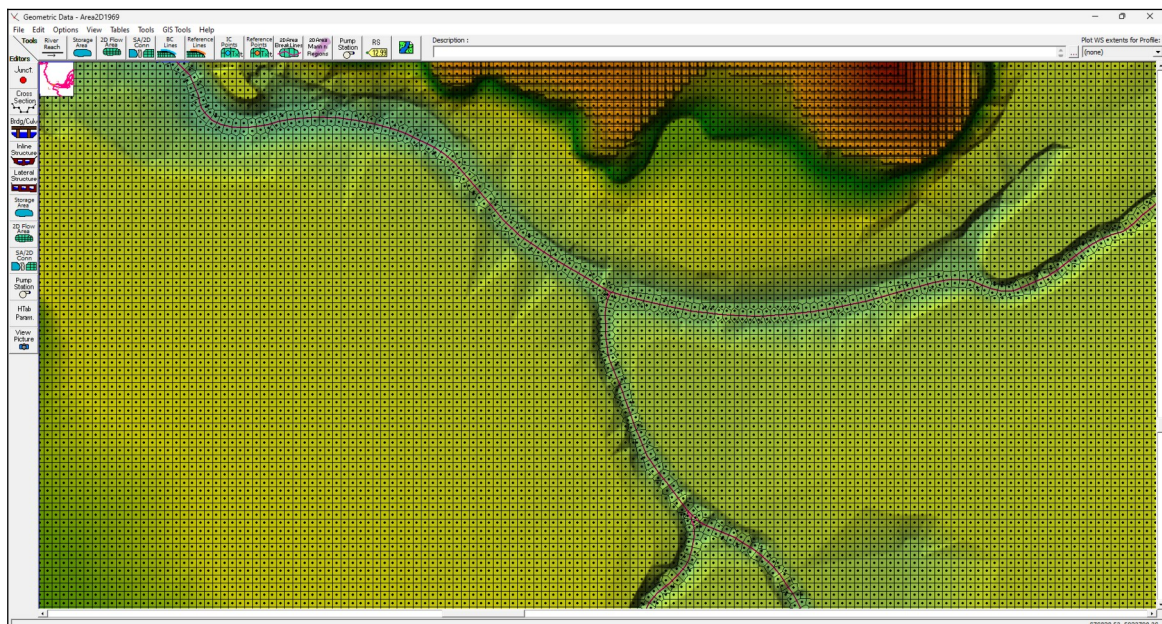


Anexo 26A: Ventana “Geometric Data” del software HEC-RAS correspondiente al año 1969.

Lineas rojas corresponden a los canales definidos como “Brake Lines”, rectángulo azul corresponde al río Andalién junto a sus afluentes, en verde esteros tributarios menores, rectángulo rojo corresponde al estero Nonguén, rectángulo amarillo inferior izquierdo “Salida Centro” y rectángulo superior izquierdo “Salida” correspondiente a la zona mas distal del río Andalién en la simulación. En blanco sección del enmallado que se observa en el anexo 14C.



Anexo 26B: Opciones de enmallado. En la parte superior de la ventana se observan las condiciones definidas para el enmallado, en la sección inferior izquierda se encuentran las características del coeficiente de rugosidad de este, importadas desde QGIS, en el recuadro de la derecha se detallan las características de dicho enmallado con el tamaño de celda máximo y mínimo.



Anexo 26C: Acercamiento al enmallado definido para la simulación de la inundación de 1969. Se observa el enmallado alterado por las “Brake Lines”, la línea NW-NE corresponde al canal del río Andalién, mientras que la línea N-S corresponde al estero Nonguen, éstas líneas fueron definidas para que la simulación se ajustara a la topografía de estos canales y los asociara a un área donde el agua fluye con mayor facilidad.

Unsteady Flow Data - Inundacion1969

File Options Help

Description:

Boundary Conditions | Initial Conditions | Meteorological Data | Observed Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T,S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add Conn ... Add Pump Sta ... Add Pipe Node ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

River	Reach	RS	Boundary Condition
Storage/2D Flow Areas			
1	Area2D 1969	BCLine: TributarioMenor2	Stage Hydrograph
2	Area2D 1969	BCLine: AndalienPrincipal	Stage Hydrograph
3	Area2D 1969	BCLine: TributarioMenor1	Stage Hydrograph
4	Area2D 1969	BCLine: Andalien5	Stage Hydrograph
5	Area2D 1969	BCLine: EsteroNonquen	Stage Hydrograph
6	Area2D 1969	BCLine: Andalien3	Stage Hydrograph
7	Area2D 1969	BCLine: Andalien4	Stage Hydrograph
8	Area2D 1969	BCLine: Andalien2	Stage Hydrograph
9	Area2D 1969	BCLine: SalidaCentro	Normal Depth
10	Area2D 1969	BCLine: Salida	Normal Depth
11	Area2D 1969		Precipitation

Anexo 27: Ventana “Unsteady flow Data” correspondiente a la simulación de 1969. En verde datos de flujo de los tributarios menores; en azul parámetros pertenecientes al río Andalién y sus afluentes; en rojo apartado del flujo del estero Nongué; en amarillo datos de pendiente de las áreas de salida y en morado información correspondiente a las precipitaciones.

Stage Hydrograph

2D: Area2D1969 BCLine: AndalienPrincipal

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 30 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☒ Use Simulation Time: Date: 05JUN1969 Time: 0:00

☐ Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Stage (m)
24	05jun1969 1130	11:30:00	9.2
25	05jun1969 1200	12:00:00	9.2
26	05jun1969 1230	12:30:00	9.2
27	05jun1969 1300	13:00:00	9.2
28	05jun1969 1330	13:30:00	9.2
29	05jun1969 1400	14:00:00	9.2
30	05jun1969 1430	14:30:00	9.2
31	05jun1969 1500	15:00:00	9.2
32	05jun1969 1530	15:30:00	9.2
33	05jun1969 1600	16:00:00	9.2
34	05jun1969 1630	16:30:00	9.2
35	05jun1969 1700	17:00:00	9.2
36	05jun1969 1730	17:30:00	9.2
37	05jun1969 1800	18:00:00	9.2
38	05jun1969 1830	18:30:00	9.2
39	05jun1969 1900	19:00:00	9.2
40	05jun1969 1930	19:30:00	9.2
41	05jun1969 2000	20:00:00	9.217
42	05jun1969 2030	20:30:00	9.233
43	05jun1969 2100	21:00:00	9.25
44	05jun1969 2130	21:30:00	9.267
45	05jun1969 2200	22:00:00	9.283
46	05jun1969 2230	22:30:00	9.3
47	05jun1969 2300	23:00:00	9.317
48	05jun1969 2330	23:30:00	9.333
49	05jun1969 2400	24:00:00	9.35
50	06jun1969 0030	24:30:00	9.367
51	06jun1969 0100	25:00:00	9.383
52	06jun1969 0130	25:30:00	9.4
53	06jun1969 0200	26:00:00	9.4
54	06jun1969 0230	26:30:00	9.4
55	06jun1969 0300	27:00:00	9.4
56	06jun1969 0330	27:30:00	9.4

☐ Use Initial Stage (recommended) Plot Data OK Cancel

Anexo 28: Datos de BC Line: Andalién periodo 1969-2002. Corresponde al caudal del río Andalién en función de la elevación de la columna de agua para el año 1969, presenta un incremento a partir de las 20:00 horas del día 5 junio asociado a las precipitaciones.

Para introducir estos datos se accede desde la ventana del anexo 15 presionando una de las opciones en azul.

Stage Hydrograph

2D: Area2D 1969 BCLine: EsteroNonguen

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 30 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☒ Use Simulation Time: Date: 05JUN1969 Time: 0:00

☐ Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Stage (m)
24	05jun 1969 1130	11:30:00	11.8
25	05jun 1969 1200	12:00:00	11.8
26	05jun 1969 1230	12:30:00	11.8
27	05jun 1969 1300	13:00:00	11.8
28	05jun 1969 1330	13:30:00	11.8
29	05jun 1969 1400	14:00:00	11.8
30	05jun 1969 1430	14:30:00	11.8
31	05jun 1969 1500	15:00:00	11.8
32	05jun 1969 1530	15:30:00	11.8
33	05jun 1969 1600	16:00:00	11.8
34	05jun 1969 1630	16:30:00	11.8
35	05jun 1969 1700	17:00:00	11.8
36	05jun 1969 1730	17:30:00	11.8
37	05jun 1969 1800	18:00:00	11.8
38	05jun 1969 1830	18:30:00	11.8
39	05jun 1969 1900	19:00:00	11.8
40	05jun 1969 1930	19:30:00	11.8
41	05jun 1969 2000	20:00:00	11.817
42	05jun 1969 2030	20:30:00	11.833
43	05jun 1969 2100	21:00:00	11.85
44	05jun 1969 2130	21:30:00	11.867
45	05jun 1969 2200	22:00:00	11.883
46	05jun 1969 2230	22:30:00	11.9
47	05jun 1969 2300	23:00:00	11.917
48	05jun 1969 2330	23:30:00	11.933
49	05jun 1969 2400	24:00:00	11.95
50	06jun 1969 0030	24:30:00	11.967
51	06jun 1969 0100	25:00:00	11.983
52	06jun 1969 0130	25:30:00	12
53	06jun 1969 0200	26:00:00	12
54	06jun 1969 0230	26:30:00	12
55	06jun 1969 0300	27:00:00	12
56	06jun 1969 0330	27:30:00	12

☐ Use Initial Stage (recommended) Plot Data OK Cancel

Anexo 29: Datos de BC Line: Estero Nonguén. Datos de la elevación de la columna de agua correspondiente al estero Nonguén para el periodo 1969-2002, en este caso particular a partir de las 20:00 horas del día 5 de junio se observa un incremento de la elevación asociado a las precipitaciones de la simulación. Para insertar estos datos se accede desde la ventana del anexo 15 presionando la opción en rojo.

Stage Hydrograph

2D: Area2D1969 BCLine: TributarioMenor1

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 30 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☒ Use Simulation Time: Date: 05JUN1969 Time: 0:00

☐ Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Stage (m)
23	05jun1969 1100	11:00:00	8.2
24	05jun1969 1130	11:30:00	8.2
25	05jun1969 1200	12:00:00	8.2
26	05jun1969 1230	12:30:00	8.2
27	05jun1969 1300	13:00:00	8.2
28	05jun1969 1330	13:30:00	8.2
29	05jun1969 1400	14:00:00	8.2
30	05jun1969 1430	14:30:00	8.2
31	05jun1969 1500	15:00:00	8.2
32	05jun1969 1530	15:30:00	8.2
33	05jun1969 1600	16:00:00	8.2
34	05jun1969 1630	16:30:00	8.2
35	05jun1969 1700	17:00:00	8.2
36	05jun1969 1730	17:30:00	8.2
37	05jun1969 1800	18:00:00	8.2
38	05jun1969 1830	18:30:00	8.2
39	05jun1969 1900	19:00:00	8.2
40	05jun1969 1930	19:30:00	8.2
41	05jun1969 2000	20:00:00	8.217
42	05jun1969 2030	20:30:00	8.233
43	05jun1969 2100	21:00:00	8.25
44	05jun1969 2130	21:30:00	8.267
45	05jun1969 2200	22:00:00	8.283
46	05jun1969 2230	22:30:00	8.3
47	05jun1969 2300	23:00:00	8.317
48	05jun1969 2330	23:30:00	8.333
49	05jun1969 2400	24:00:00	8.35
50	06jun1969 0030	24:30:00	8.367
51	06jun1969 0100	25:00:00	8.383
52	06jun1969 0130	25:30:00	8.4
53	06jun1969 0200	26:00:00	8.4
54	06jun1969 0230	26:30:00	8.4
55	06jun1969 0300	27:00:00	8.4

☐ Use Initial Stage (recommended) Plot Data OK Cancel

Anexo 30: Datos correspondiente a “BC Line: Tributario Menor 1”. Datos de la columna de agua perteneciente a uno de los dos canales presentes en la inferior derecha del área de estudio, estos canales posteriormente fueron intervenidos en el año 2002. Para introducir estos datos se accede mediante la ventana del anexo 15 seleccionando una de las opciones en verde.

Normal Depth Downstream Boundary

2D: Area2D 1969 BCLine: SalidaCentro

Friction Slope: 0.004

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

☒ Compute separate water surface elevation per face along BC Line

☐ Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

Normal Depth Downstream Boundary

2D: Area2D 1969 BCLine: Salida

Friction Slope: 0.00064

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

☒ Compute separate water surface elevation per face along BC Line

☐ Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

Anexo 31: Datos de pendiente correspondiente a las salidas de agua de la simulación. Recuadro superior pendiente “Salida Centro” de Concepción, recuadro inferior pendiente de la “Salida” del río Andalién. Para acceder a este apartado se presiona cada una de las opciones en amarillo en el anexo 15.

Precipitation Hydrograph

2D: Area2D 1969

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 30 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☒ Use Simulation Time: Date: 05JUN1969 Time: 0:00

☐ Fixed Start Time: Date: 06JUN1969 Time: 24:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data

	Date	Simulation Time (hours)	Precipitation (mm)
30	05jun1969 1430	14:30:00	0
31	05jun1969 1500	15:00:00	0
32	05jun1969 1530	15:30:00	0
33	05jun1969 1600	16:00:00	0
34	05jun1969 1630	16:30:00	0
35	05jun1969 1700	17:00:00	0
36	05jun1969 1730	17:30:00	0
37	05jun1969 1800	18:00:00	0
38	05jun1969 1830	18:30:00	0
39	05jun1969 1900	19:00:00	0
40	05jun1969 1930	19:30:00	0
41	05jun1969 2000	20:00:00	0.07
42	05jun1969 2030	20:30:00	0.14
43	05jun1969 2100	21:00:00	0.29
44	05jun1969 2130	21:30:00	0.58
45	05jun1969 2200	22:00:00	1.15
46	05jun1969 2230	22:30:00	2.3
47	05jun1969 2300	23:00:00	4.6
48	05jun1969 2330	23:30:00	9.2
49	05jun1969 2400	24:00:00	10.63
50	06jun1969 0030	24:30:00	12.91
51	06jun1969 0100	25:00:00	14.31
52	06jun1969 0130	25:30:00	15.12
53	06jun1969 0200	26:00:00	14.31
54	06jun1969 0230	26:30:00	12.97
55	06jun1969 0300	27:00:00	10.63
56	06jun1969 0330	27:30:00	9.2
57	06jun1969 0400	28:00:00	4.6
58	06jun1969 0430	28:30:00	2.3
59	06jun1969 0500	29:00:00	1.15
60	06jun1969 0530	29:30:00	0.58
61	06jun1969 0600	30:00:00	0.29
62	06jun1969 0630	30:30:00	0.14

Plot Data OK Cancel

Anexo 32: Datos de precipitaciones correspondiente a la simulación del año 1969. Para insertar los datos de precipitación se accedió a la opción “precipitation” que se encuentra señalada en lila en el anexo 15.

Unsteady Flow Analysis

File Options Help

Plan: Inundacion1969 Short ID: Inundacion1969

Geometry File: Area2D 1969

Unsteady Flow File: Inundacion 1969

Programs to Run

- ☒ Geometry Preprocessor
- ☒ Unsteady Flow Simulation
 - ☐ Sediment
- ☒ Post Processor
- ☒ Floodplain Mapping

Plan Description

Simulation Time Window

Starting Date: 05JUN1969 Starting Time: 0:00

Ending Date: 07JUN1969 Ending Time: 0:00

Computation Settings

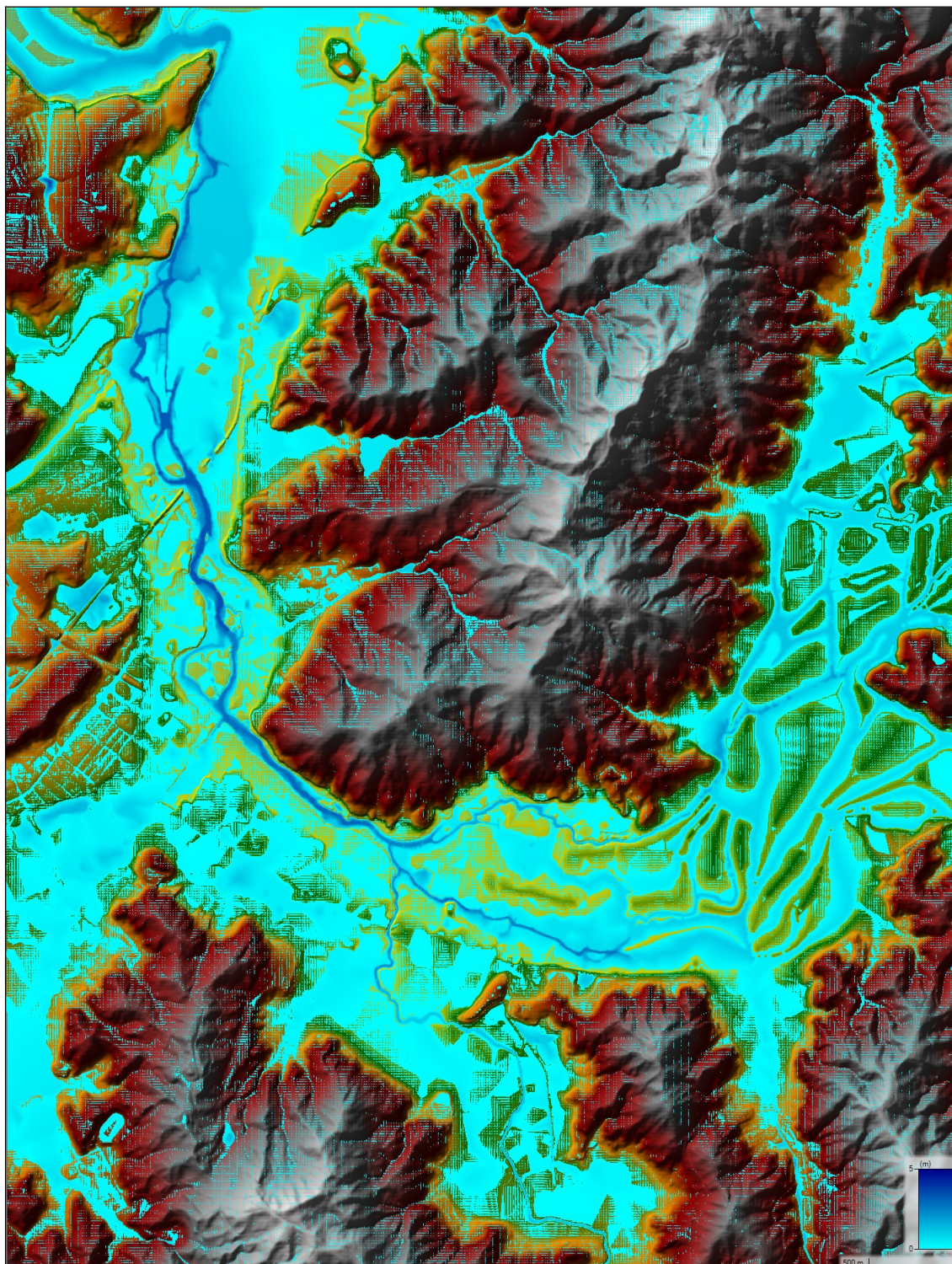
Computation Interval: 1 Second ... Hydrograph Output Interval: 30 Minute

Mapping Output Interval: 30 Minute Detailed Output Interval: 30 Minute

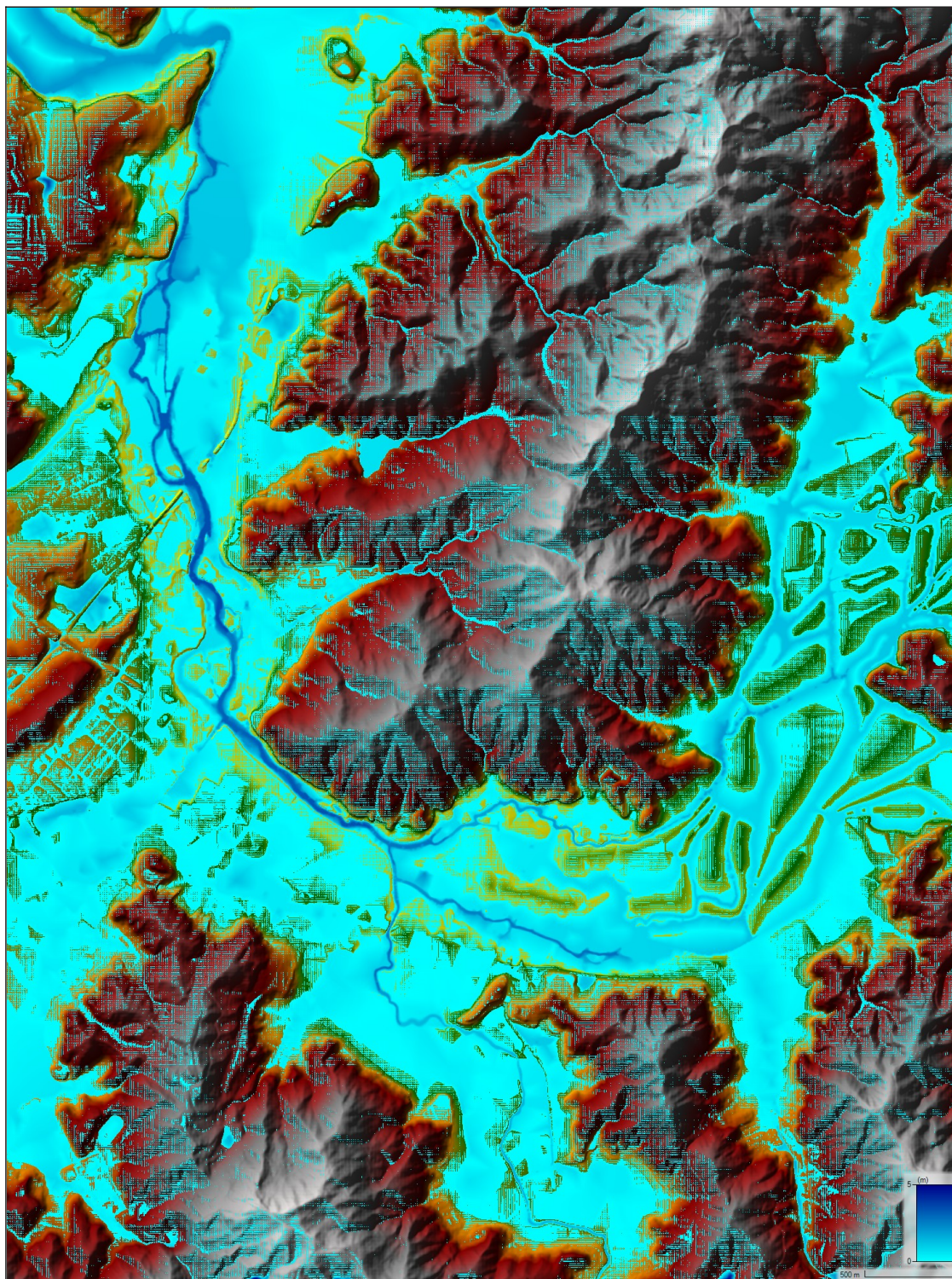
Project DSS Filename: C:\ProyectosHECRAS\Inundacion1969.dss

Compute

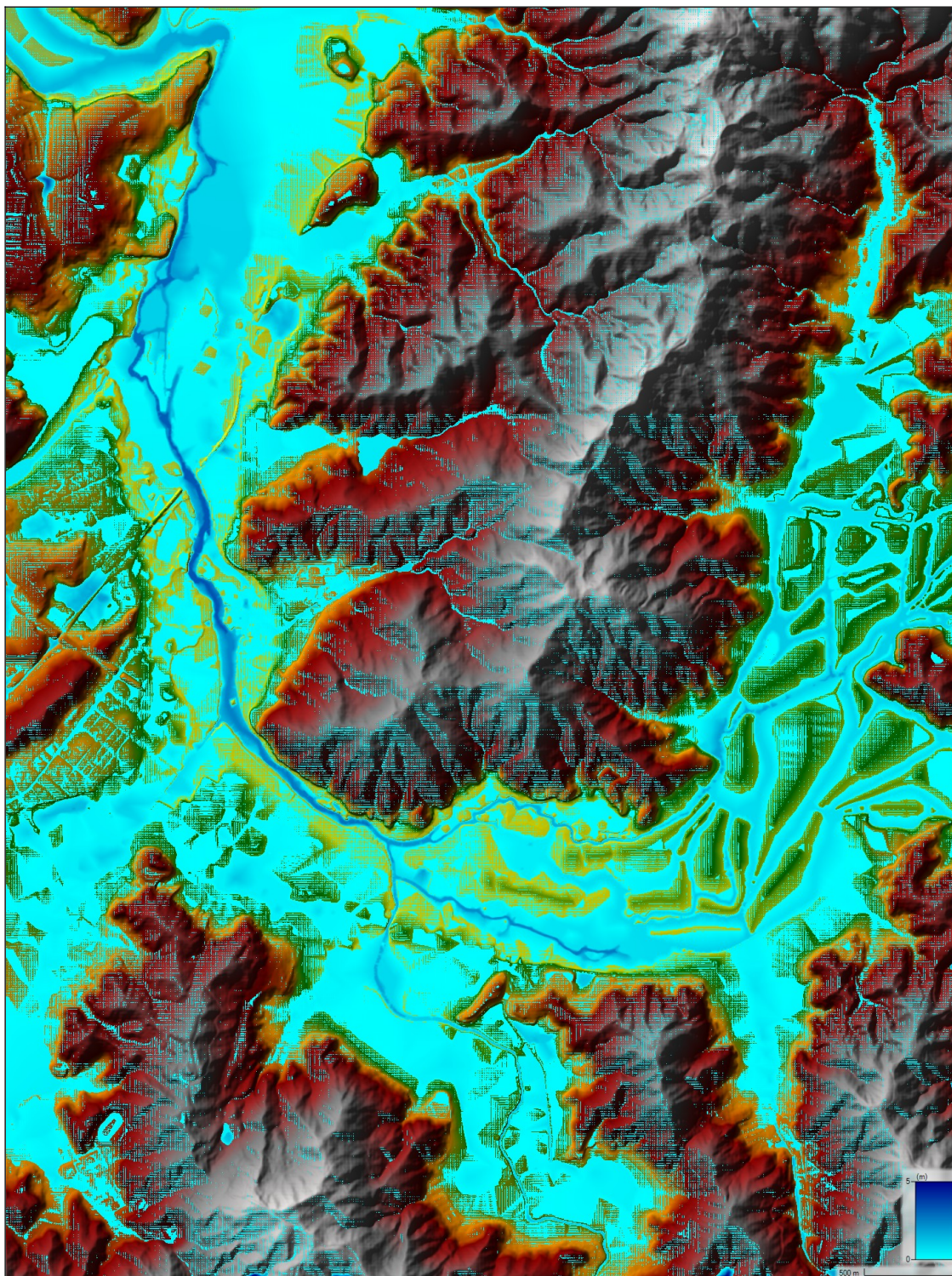
Anexo 33: Ventana “Perform an unsteady flow simulation”. En rojo se observa el periodo de tiempo definido para la simulación, en verde se encuentra el intervalo de cálculo utilizado por la simulación correspondiente a 1 segundo, finalmente en azul es posible observar el tiempo de intervalo de entrega de datos de la simulación, es decir cada cuantos minutos la simulación entrega un nuevo mapa.



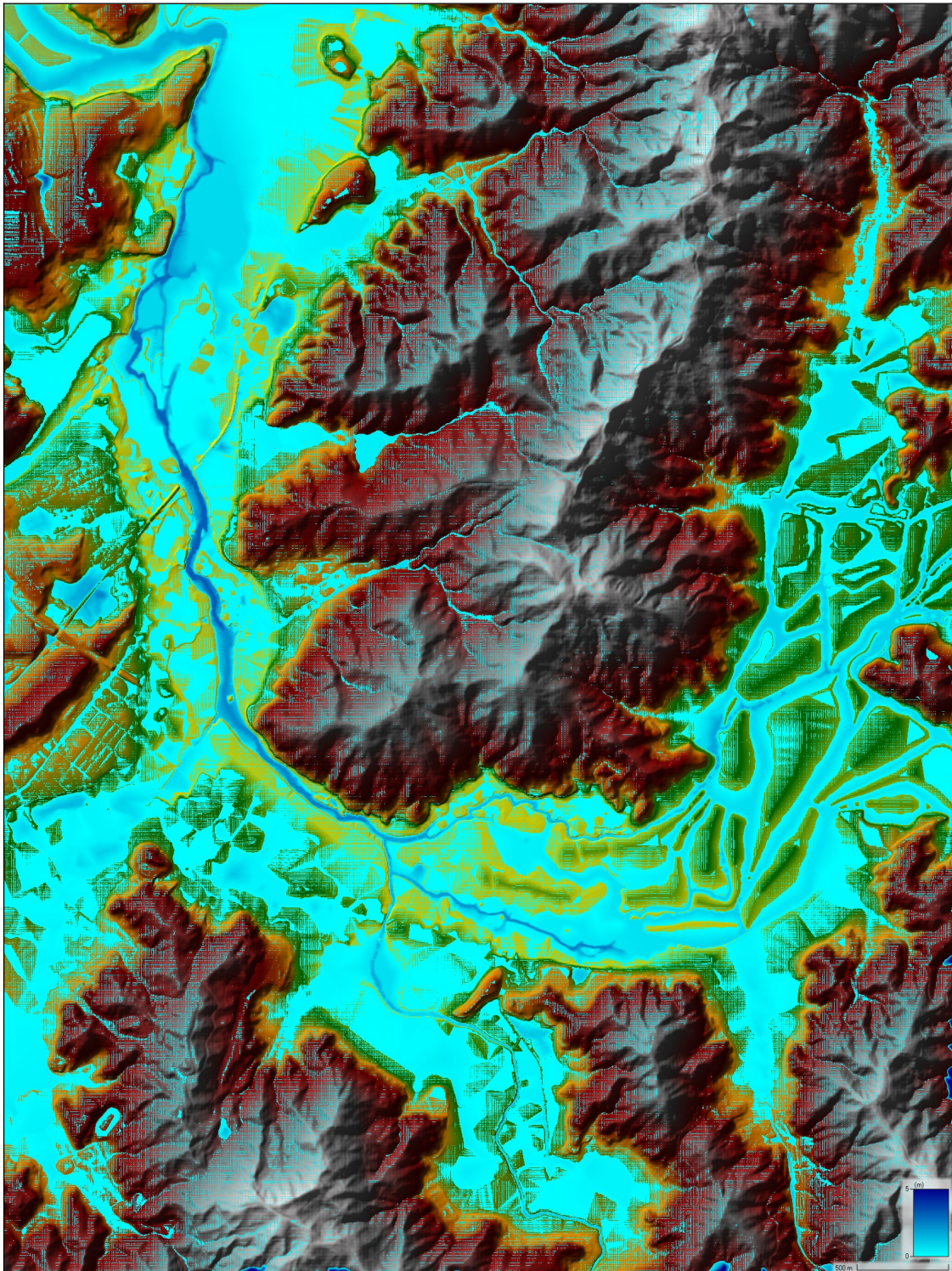
Anexo 34A: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1969.



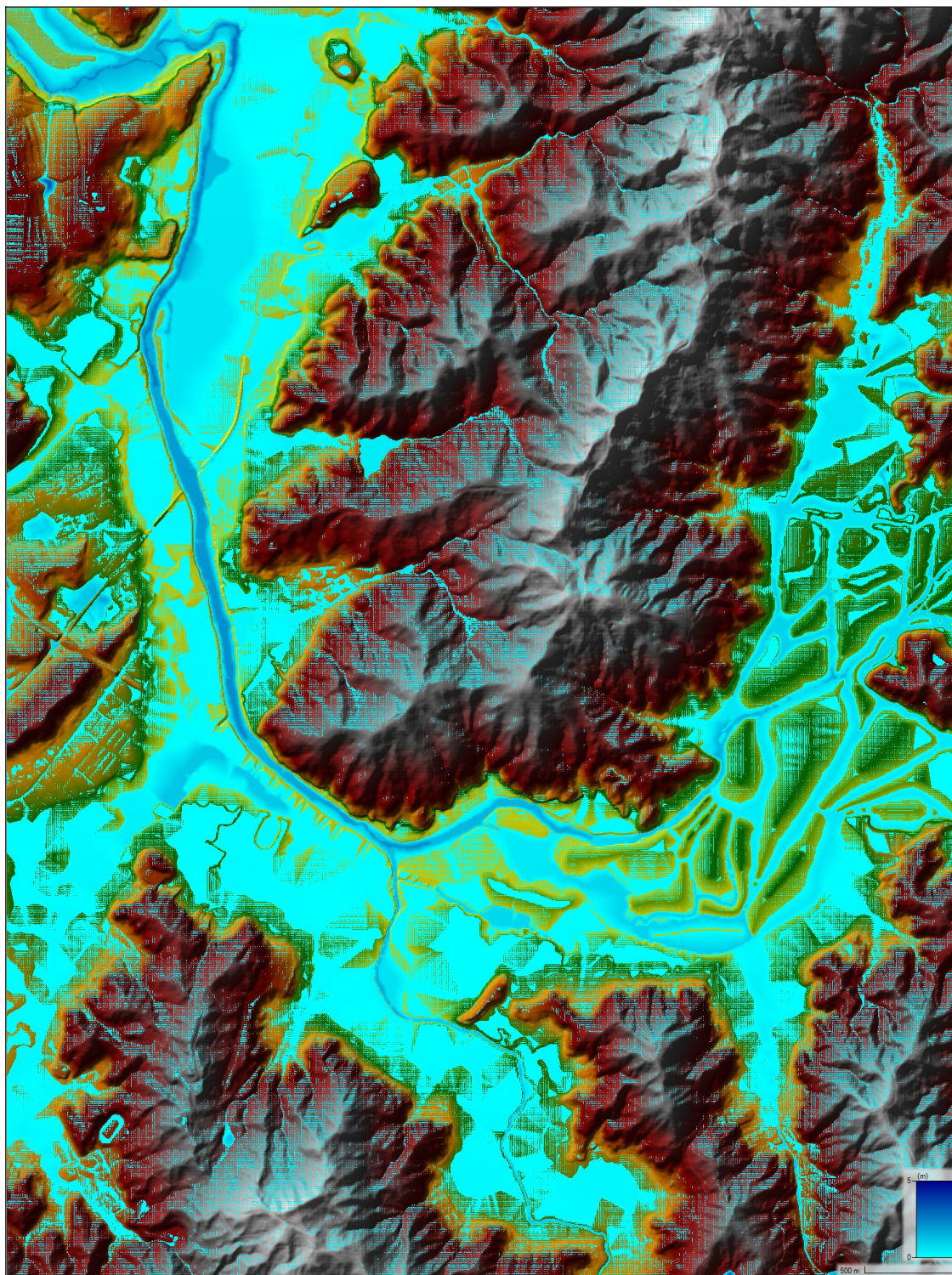
Anexo 34B: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1974.



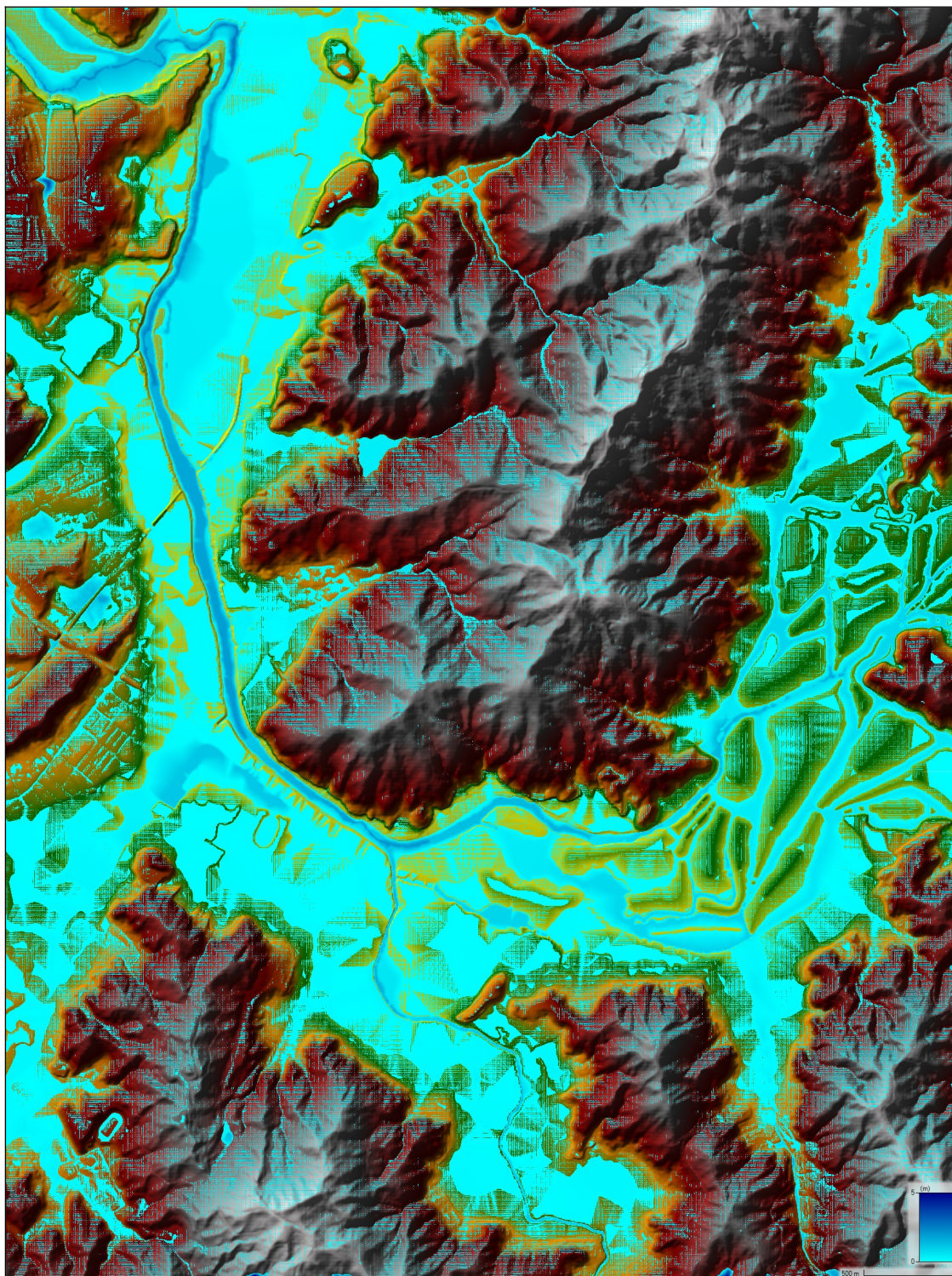
Anexo 34C: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1987.



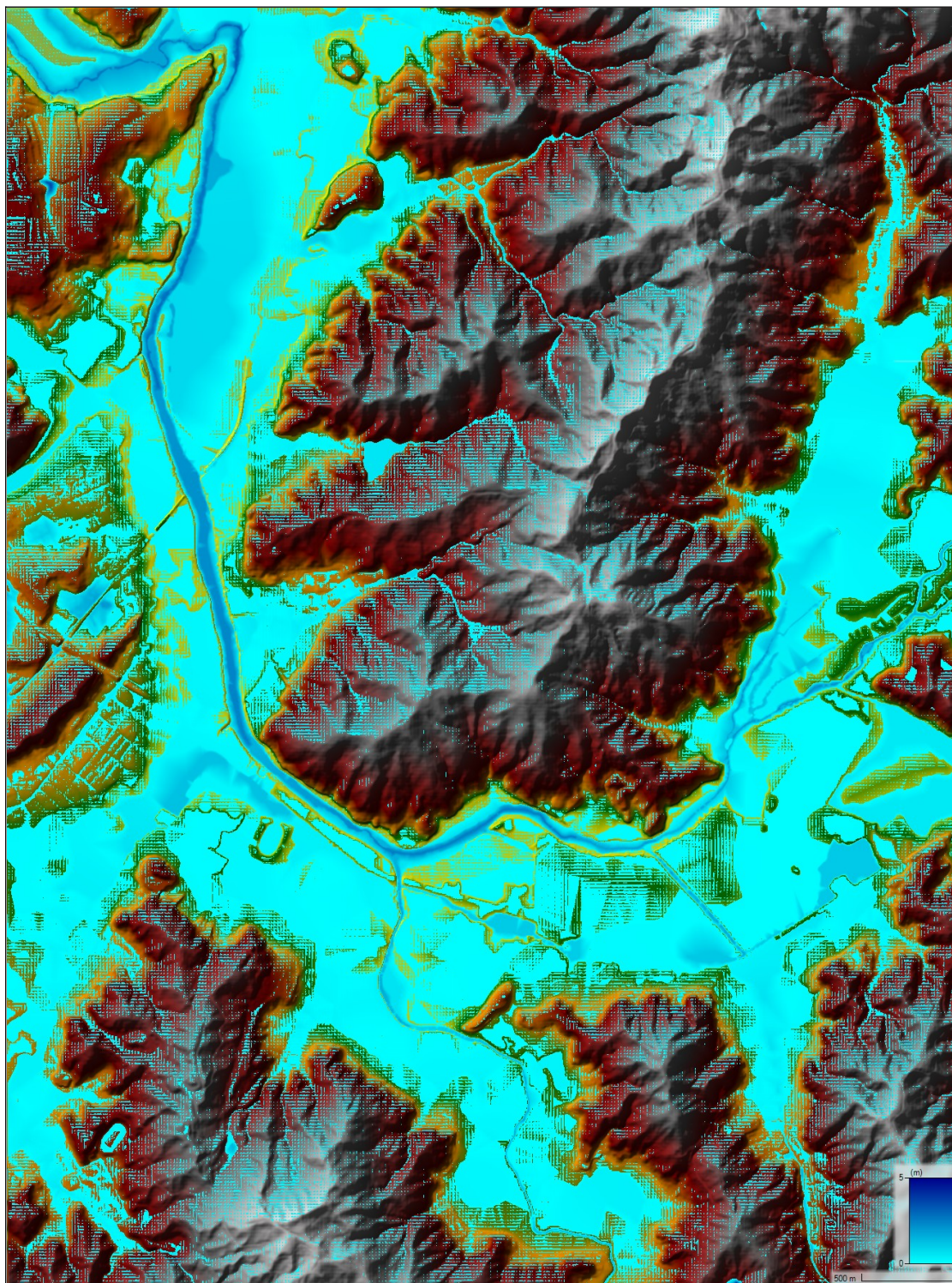
Anexo 34D: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 1988.



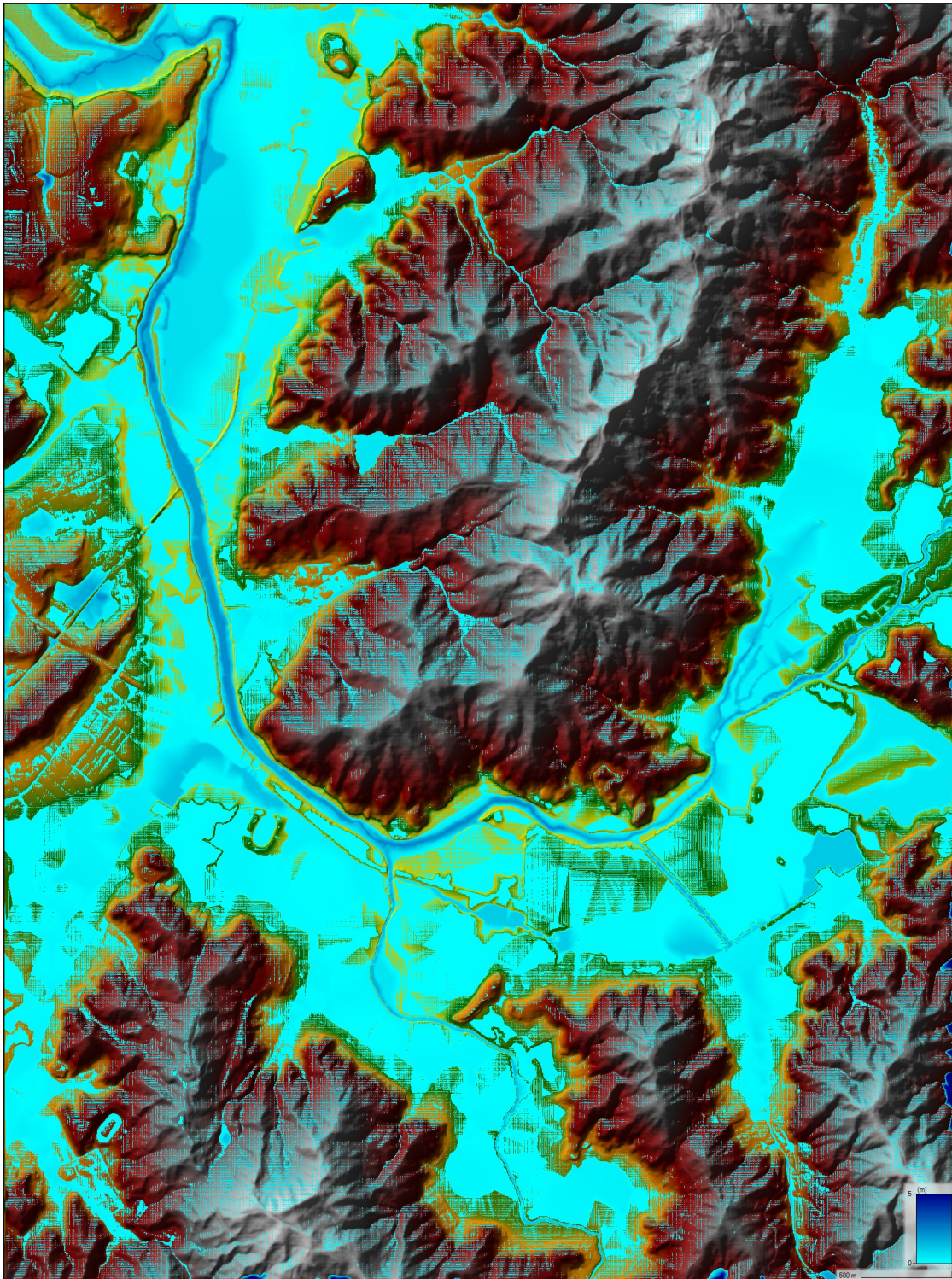
Anexo 34E: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2000.



Anexo 34F: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2001.



Anexo 34G: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2002.



Anexo 34H: Mapa de la simulación del software HEC-RAS con valores máximos de la columna de agua para la inundación de 2006.



Anexo 35: Carreta en isla Andalién, año 1969.



Anexo 36: Hombre cruza canal secundario del río Andalién, año 1969.

Temporal Deja Secuela de Daños

Una secuela de daños materiales ha provocado el violento temporal que golpea a Concepción en las últimas 48 horas. Las víctimas que ha dejado la serie de inundaciones en el sector periférico de esta ciudad, sin ser una cifra oficial, alcanza, aproximadamente, a unas 500 entre adultos y menores, que debieron ser evacuadas por personal de Carabineros y voluntarios de Compañías de Bomberos. Los puntos mayormente afectados, donde varios inmuebles quedaron bloqueados, están radicados en el sector Puchacay, Barrio Universitario, Avenida Roosevelt, Edmundo Larenas y Lonco Norte.

Reporteros de EL SUR efectuaron un recorrido desde la mañana hasta las 18 horas, captando imágenes de los daños causados por las inundaciones. Un panorama desolador. Vehículos abandonados en medio de las calles (frente al Estadio Regional un microbús interurbano, patente TVX-36; otro camión en el mismo lugar). La locomoción de servicio público debió circular en doble sentido por calle General Novoa, donde, a la altura del 400, los moradores de una casa estaban completamente aislados. El agua alcanzaba una altura superior a los 40 centímetros.

En el Barrio Universitario, especialmente en Edmundo Larenas, poco menos que los estudiantes precisaban de un bote para transitar. Frente a la Plaza Perú, la misma visión de vehículos detenidos y abandonados, momentáneamente. En calle Lientur, un carrobomba de la Séptima Compañía de Bomberos, "achicaba" el agua depositada en el inmueble signado con el número 580.

En Paicavi, desde el bloque 1044 "volaron" prácticamente siete planchas de zinc que fueron a caer en los prados, sin que se registraran, afortunadamente, víctimas.

Siete familias damnificadas, con 32 menores y adultos, debieron ser erradicadas en el sector Chillancito. La labor de evacuación estuvo a cargo del Comité de Emergencia.

Posteriormente, Carabineros del retén Chillancito dieron cuenta que, en la calle Santa Clara, sin número se detectaron otras dos familias más afectadas por el temporal de agua y viento, compuestas en tres adultos y nueve menores. Las indicadas familias quedaron instaladas en la Iglesia Evangélica Pentecostal.

En Villa Nonguén, cerca de noventa familias fueron

evacuadas por estudiantes universitarios luego que el agua subiera más de un metro de su nivel normal en los inmuebles. El grupo de familias que totalizan más de 400 personas, quedó ubicado en casas de vecinos del mismo sector.

Lonco Norte también sufrió los efectos del agua que se escurre del Cerro Caracol. Las casas en situación conflictiva eran unas diez, situadas en las calles 4 Poniente y Jaime Eyzaguirre.

Los vecinos, por propia iniciativa, lograron contratar los servicios de dos bulldozer pertenecientes a la firma Acosta. Con dichas máquinas se trató de habilitar un canal para ayudar al escurrimiento de las aguas estancadas y que impedían la salida de los moradores y de los mismos vehículos, dado que el agua tenía un nivel superior a los 40 centímetros.

El río Bío Bío aumentó considerablemente su normal nivel de agua. Sin embargo, en consulta hecha a Carabineros de servicio en el puente carretero, se informó que "todo era normal en el sector Costanera". El dique de contención que se construyó ha impedido que las casas ribereñas sufran de inundaciones, como en años anteriores.



Anexo 38: Bala destruida al intentar cruzar el río Andalién, año 1974.



Anexo 39: Habitante de población Teniente Merino, año 1987.



Anexo 40: Microbús transitando por calle General Novoa, año 1988.



Anexo 41: Residente de Villa Huáscar fuera de su hogar, año 1988.



Anexo 42: Hombre cruza por los bordes del río Andalién, fuera de su hogar, año 1988.



Anexo 43: Fotografía crecida del río Andalién, año 2000.

Fuertes lluvias causan desborde del río Andalién

• *Torrente inundó calles y casas de varias poblaciones ribereñas en Collao y Barrio Norte.*

Las persistentes lluvias de las últimas horas causaron el desborde del río Andalién en distintos sectores ribereños de Concepción, que alcanzó su máxima cota del año al llegar a los 4,70 metros a las 8 horas de ayer, provocando además de anegamientos en calles, la inundación de 45 viviendas, cuyos habitantes debieron ser trasladados momentáneamente.

Se trata de familias de Collao, de la población Isla Andalién, del campamento Villa Nápoli, de la población Santa Clara y de la Villa O'Higgins, esta última en el sector Barrio Norte, donde además se inundó el paso bajo nivel de acceso a la Villa CAP.

En la población Santa Clara, el agua mezclada de lluvias y lo que transporta el Andalién ingresó a una decena de casas a las 20 horas del miércoles, ya que el colector de aguas lluvia que usualmente sirve de desagüe hacia el río, cumplió esta vez la función inversa, al ser

superado por el caudal del río.

Marta Ortiz señaló que esta es la segunda vez que ocurre en este periodo y es cuestión de todos los años. Su casa era habitable sólo en el segundo piso.

En el acceso a la Villa CAP, junto a la Villa O'Higgins, los vecinos observaban con una acostumbrada resignación el anegamiento del "paso de los burros", ocasionado según su dirigente, Juan Polizzi, por la acumulación de aguas lluvia proveniente de distintos sectores de la ciudad y por el desborde del Andalién, que usó el canal Mackenna para ingresar sus contaminadas aguas.

La alcaldesa Jacqueline Van Rysselberghe visitó los lugares afectados al mediodía. La municipalidad entregó carbón a las familias para que sequen sus casas y colaboró en el traslado de los damnificados a viviendas de vecinos y familiares.



Anexo 45: Niño camina por cale Los Acacios. Fotografía de César Jara, año 2001.

- *Inundación dañó cientos de viviendas. Hay 2 mil 600 personas afectadas y 101 damnificadas y albergadas.*
- *El río Andalién alcanzó un nivel desconocido de 5,40 metros. Sus aguas inundaron sectores habitacionales de Los Lirios, Collao, Los Fresnos, Palomares, Cosmito y la Villa Universitaria.*
- *Acceso a Chaimávida y a carreteras que conducen a Cabrero (Ruta 5) y Florida está cortado en General Bonilla y Chaimávida. Suspendido tránsito vehicular. También cerró el Terminal de Buses de Collao.*
- *En Agüita de la Perdiz se produjeron dos nuevos derrumbes que comprometieron a dos viviendas.*
- *El 70 por ciento de los habitantes de Tomé está sin agua potable. Descontrol de estero destruyó ducto que alimenta el estanque de la comuna.*

Anexo 46: Descripción de zonas afectadas en la porta de diario El Sur del día 25 de agosto de 2002.



Anexo 47: Inundación de Biblioteca de la Universidad de Biobío. Fotografía de César Jara, año 2002



Anexo 48: Personal de rescate carga a persona damnificada, fotografía Cesar Jara, año 2002.



Anexo 49: Imagen aérea del día posterior a la inundación del día 11 de julio de 2006.

Cerca de un centenar de viviendas resultaron completamente anegadas, mientras otras tantas sufrieron daños menores, por el ingreso del agua a habitaciones específicas. Victor Hernández Henríquez, vecino de General Novoa, explicó que el agua "entró al comedor, cocina, baños, las piezas, está todo lleno de agua. La otra vez tuvimos que cambiar todo el piso, refrigerador, lavadora, y ahora estamos exactamente en las mismas, y no tenemos solución para esto".

Anexo 50: Fragmento de reportaje correspondiente a la inundación del día 11 de julio de 2006.

320

Obras de defensa en el
 río Bio-Bio i Andalién
Sociedad
Defensora de Inundaciones

Las últimas grandes creces del
 17, 20 i 21 de Julio i las de los años de
 1848 i 1847, además de otras no tan al-
 tas de todos los inviernos, deben ha-
 cernos pensar seriamente en fundar una
 o mas sociedades protectora de los pue-
 blos en las ocasiones terribles de las
 inundaciones periódicas. (Esto se escribió en 1899)

Anexo 51: Fragmento del Acta Municipal volumen 60. En ésta se especifica obras de defensa para el río Andalién, junto a fechas correspondientes a antiguas inundaciones.