



Máster Oficial

Agua. Análisis Interdisciplinario y Gestión Sostenible

Universitat de Barcelona

Trabajo de Investigación

Curso 2010/2012

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE EVENTOS EXTREMOS
DE PRECIPITACIÓN EN LA ZONA CENTRO Y SUR DE CHILE
CONTINENTAL**

Karla Ávila Parra

Trabajo dirigido por: Dr. Javier Martín Vide

Barcelona, 18 de Junio de 2012

*“En memoria de mi querida mami, gracias
por todos los momentos vividos...”*

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible la realización de esta investigación.

Expresar mi gratitud en primer lugar al Dr. Javier Martín Vide, por su dirección y colaboración en el desarrollo de esta investigación y que junto con la Dra. Luci Hidalgo ser los responsables de motivarme en seguir trabajando en estas temáticas en el futuro.

A la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) por su generosa financiación para realizar este Máster.

Agradecer a La Dirección General de Aguas y Dirección Meteorológica de Chile el material para la realización de esta investigación.

A Pablo Sarricolea, la ayuda facilitada y por sus consejos en el uso de programas proporcionada para este trabajo.

A Nivaldo Fernandes, Aziz Benhamrouche y al resto de miembros del Laboratorio de Climatología de la UB.

A mis amigos que fueron parte de esta linda etapa, Enrique Lillo, Nelson López y Luís Ramírez, gracias por los momentos vividos que serán inolvidables y espero que nuestras vidas sigan unidas por muchos años más.

A Joanna Villarroel, por su amistad y apoyo, durante este proceso; como también por la revisión y aportes entregados a esta investigación.

A mi familia, que ha sido una parte fundamental a lo largo de mi vida y ha estado siempre con su constante e incondicional apoyo.

RESUMEN

Los eventos pluviométricos extremos son episodios lluviosos de gran intensidad capaces de desencadenar procesos geomorfológicos de notable magnitud e importantes consecuencias en pérdidas económicas y humanas.

En este estudio, se profundiza en el conocimiento de la variabilidad espacial de la precipitación, con énfasis en los extremos, definidos a partir de diferentes umbrales. Analizando el comportamiento pluviométrico de 46 estaciones, pertenecientes a la red de estaciones pluviométricas de la Dirección Meteorológica de Chile y Dirección General de Aguas, distribuidas entre las regiones Quinta y Undécima del territorio continental chileno, con registros en el período 1980 -2010.

Para el análisis de estos episodios se ha empleado un procedimiento objetivo de análisis; revisando la metodología estadística habitual en el estudio de los eventos extremos (mediante el ajuste de los datos a una ley de probabilidad y cálculos de períodos de retorno). Para realizar una cartografía de precipitaciones de eventos máximos anuales se han utilizado técnicas estadísticas y SIG.

Existe una gran variabilidad de las precipitaciones, las más altas se presentan en la precordillera Andina, disminuyendo progresivamente al pasar por la depresión Intermedia y volviendo a aumentar en la cordillera de la Costa. Los resultados mostraron que las áreas donde se puede esperar un máximo de precipitaciones diarias extremas se localiza en la región del Bío-Bío. De los percentiles máximos podemos destacar que los rangos obtenidos para la probabilidad de superar las precipitaciones intensas varían entre los 60 mm a 240 mm.

La base de datos de precipitación estimada en este trabajo se convierte en una importante fuente de consulta y abre las puertas para futuros trabajos de investigación relacionados en el entendimiento de los eventos extremos climáticos de Chile.

Palabras claves: Climatología, Precipitación, Eventos pluviométricos extremos, Períodos de retorno.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. OBJETIVOS..... | 1 |
| 1.1. Estructura del Trabajo | 2 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2.1. Justificación | 4 |
| 2.2. Antecedentes..... | 5 |
| 2.2.1 Eventos extremos | 5 |
| 2.2.2 Cantidad mensual de precipitación según cada estación..... | 6 |
| 2.2.3 Distribución espacial y temporal de las precipitaciones | 6 |
| 2.2.4 Tratamiento Probabilístico de la Información Hidrológica..... | 7 |
| 2.2.5 Análisis de Frecuencia..... | 7 |
| 2.2.6 Ajuste mediante las funciones de distribución..... | 8 |
| 2.2.7 Características de las precipitaciones en Chile | 8 |
| 3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 9 |
| 3.1. Marco Geográfico y Climático | 9 |
| 3.2. Caracterización Hidrológica de la zona de estudio..... | 10 |
| 4. METODOLOGÍA | 13 |
| 4.1. Recopilación de la información pluviométrica | 13 |
| 4.2. Selección de estaciones pluviométricas | 13 |
| 4.3. Tratamiento de la información..... | 16 |
| 4.3.1 Estimación de datos faltantes | 16 |
| 4.3.2 Regionalización..... | 16 |
| 4.3.3 Variabilidad de las precipitaciones totales mensuales..... | 17 |
| 4.4. Tratamiento de registros de precipitaciones máximas en 24 horas..... | 17 |
| 4.4.1 Distribución y calendarios pluviométricos..... | 17 |
| 4.4.2 Definición de umbrales..... | 18 |
| 4.4.3 Ajustes a una función de distribución de probabilidad (FDP) | 18 |
| 4.4.4 Cálculo de precipitaciones máximas diarias para distintos períodos de retorno..... | 20 |
| 4.4.5 Representación espacial de precipitaciones máximas para distintos períodos de retorno..... | 21 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 22 |
| 5.1. Variabilidad de la precipitación | 22 |
| 5.1.1 Nivel anual | 22 |
| 5.1.2 Nivel mensual | 27 |
| 5.2. Análisis de las precipitación máximas en 24 horas..... | 30 |
| 5.2.1 Distribución de los valores máximos diarios | 30 |
| 5.2.2 Calendario de ocurrencia..... | 38 |
| 5.2.3 Percentiles de precipitación máximo | 39 |
| 5.2.4 Distribución de probabilidad, cálculo y representación espacial de los distintos períodos de retornos..... | 42 |
| 5.3. Relación de evento meteorológico (inundación) con los umbrales detectados | 56 |
| 6. CONCLUSIONES | 58 |

| | |
|---|----|
| 7. PERSPECTIVAS FUTURAS | 60 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| Anexo 1. Datos de precipitaciones anuales. | 64 |
| Anexo 2. Datos de precipitaciones máximas en 24 horas. | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. ESQUEMA DE LAS ETAPAS METODOLÓGICAS. | 2 |
| FIGURA 2. MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA SOBRE IMAGEN BASE ARCGIS). | 10 |
| FIGURA 3. MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS PARA EL PERÍODO 1980 – 2010. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... | 14 |
| FIGURA 4. GRÁFICAS DE PRECIPITACIÓN ANUAL DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DURANTE LOS PERÍODOS 1980-2010. (A) HUAQUÉN, (B) HACIENDA, SAN JAVIER, (C) NUEVA IMPERIAL, (D) SAN PABLO. CON INCLUSIÓN DE MEDIA ANUAL, (LÍNEA SEGMENTADA ROJA), (NARANJO Y SEGMENTADA) VALOR DE MEDIA MÁS SU DESVIACIÓN TIPO, Y (VERDE SEGMENTADA) VALOR PROMEDIO MENOS LA DESVIACIÓN TIPO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). | 25 |
| FIGURA 5. ISOYETAS DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA ANUAL ENTRE LAS REGIONES V-XI DE CHILE CONTINENTAL (PERÍODO 1980-2010). (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... | 27 |
| FIGURA 6. GRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR MES DE LA LLUVIA PARA CUATRO ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS:..... | 29 |
| FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS. (EN BARRA NEGRA FRECUENCIA CON QUE SE PRESENTAN EN CADA MES PARA EL PERÍODO DE ANÁLISIS 1980-2010). (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... | 33 |
| FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS. (EN BARRA NEGRA FRECUENCIA CON QUE SE PRESENTAN EN CADA MES PARA EL PERÍODO DE ANÁLISIS 1980-2010). (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... | 34 |
| FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS. (EN BARRA NEGRA FRECUENCIA CON QUE SE PRESENTAN EN CADA MES PARA EL PERÍODO DE ANÁLISIS 1980-2010). (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... | 35 |
| FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS. (EN BARRA NEGRA FRECUENCIA CON QUE SE PRESENTAN EN CADA MES PARA EL PERÍODO DE ANÁLISIS 1980-2010). (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). | 36 |
| FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS MÁXIMOS PLUVIOMÉTRICOS EN LOS MESES CON MAYOR PORCENTAJE DE CASOS. PERÍODOS DE ANÁLISIS 1980-2010. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). | 38 |
| FIGURA 12. CALENDARIO DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS..... | 39 |
| FIGURA 13. VALOR DE EVENTO EXTREMO PARA LOS PERCENTILES 90, 95 Y 99 DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES MÁXIMAS EN MILÍMETROS. PERÍODO DE ANÁLISIS 1980-2010. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). | 41 |
| FIGURA 14. HISTOGRAMA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD ANUAL CON UN INTERVALO DE CLASE DE 10MM Y AJUSTE PROBABILÍSTICO MEDIANTE LAS DISTRIBUCIONES DE GUMBEL MAX, WEIBULL Y LA MEJOR SEGÚN EL PAQUETE ESTADÍSTICO DE LOS MÁXIMOS ANUALES DE PRECIPITACIÓN PARA EL PERÍODO DE 1980-2010. EL EJE X REPRESENTA PRECIPITACIÓN ALCANZADA PARA UNA PROBABILIDAD INDICADA POR EJE Y. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). | 44 |
| FIGURA 15. Distribución espacial de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 5 y 10 años en las zonas centro y sur de Chile..... | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS LAS REGIONES DE ESTUDIO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, A PARTIR DE DATOS DE KÖPPEN). | 9 |
| TABLA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS, CON INDICACIÓN DE LA NUMERACIÓN DE ESTACIÓN, LATITUD, LONGITUD Y ELEVACIÓN. | 15 |
| TABLA 3. VALORES ESTIMADOS DE LA CANTIDAD MÁXIMA ANUAL EN 24 HRS, CALCULADOS A PARTIR DE LAS MEJORES DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE AJUSTE DE 46 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS. | 49 |
| TABLA 4. PRECIPITACIONES MÁXIMAS OCURRIDAS EN EL ÁREA ESTUDIADA. (FUENTE: ELABORADO MEDIANTE BASE DE DATOS EM - DAT Y DESINVENTAR), CON INDICACIÓN DE LA FECHA EN QUE TUVIERON LUGAR Y LA REGIÓN DONDE SE REGISTRARON. ... | 57 |
| TABLA A2. 1 SERIE DE DATOS UTILIZADOS PARA ESTE TRABAJO. NUMERACIÓN DE LAS ESTACIONES EN LA FIGURA 3. | 66 |
| TABLA A2. 2 VALORES DE LOS PERCENTILES 90,95 Y 99 CALCULADOS PARA LAS 46 ESTACIONES SELECCIONADAS. | 67 |
| TABLA A2. 3 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE AJUSTE DE LAS ESTACIONES ESTUDIADAS. | 68 |

El presente trabajo se realiza para la obtención del título de Máster Oficial: Agua. Análisis Interdisciplinar y Gestión Sostenible de la Universidad de Barcelona.

1. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar espacial y temporalmente la intensidad de la precipitación en las zonas centro y sur de Chile continental, con énfasis en los eventos extremos, definidos a partir de diferentes umbrales, con la finalidad futura de la incorporación de esta variable en la gestión del riesgo de desastres.

Objetivos específicos

1. Analizar la variabilidad de la precipitación mensual y anual.
2. Caracterizar las lluvias intensas ocurridas en el período 1980-2010, estableciendo su distribución mensual y el calendario de ocurrencia de las cantidades de precipitaciones máximas en 24 horas.
3. Calcular los valores máximos probables de precipitación diaria para diferentes períodos de retorno, analizando y valorando las cantidades máximas de precipitación en 24 horas.
4. Regionalizar el área de estudio en función de los períodos de retornos de los eventos diarios máximos anuales.

1.1. Estructura del Trabajo

Este estudio se ha organizado de acuerdo a las siguientes secciones: en el apartado 2, se justifica el estudio y se describe el estado del arte. En apartado 3 se detalla de forma sucinta el marco Geográfico, Climático e Hidrológico de la zona de estudio. Posteriormente en apartado 4, se realiza una descripción de las metodologías usadas y cómo han sido utilizadas (Figura 1). En apartado 5, se detallan los resultados obtenidos. En apartado 6 se presentan las conclusiones. Luego se realiza una delineación de las proyecciones futuras de este estudio en (apartado 7) y Referencias bibliográficas (apartado 8).

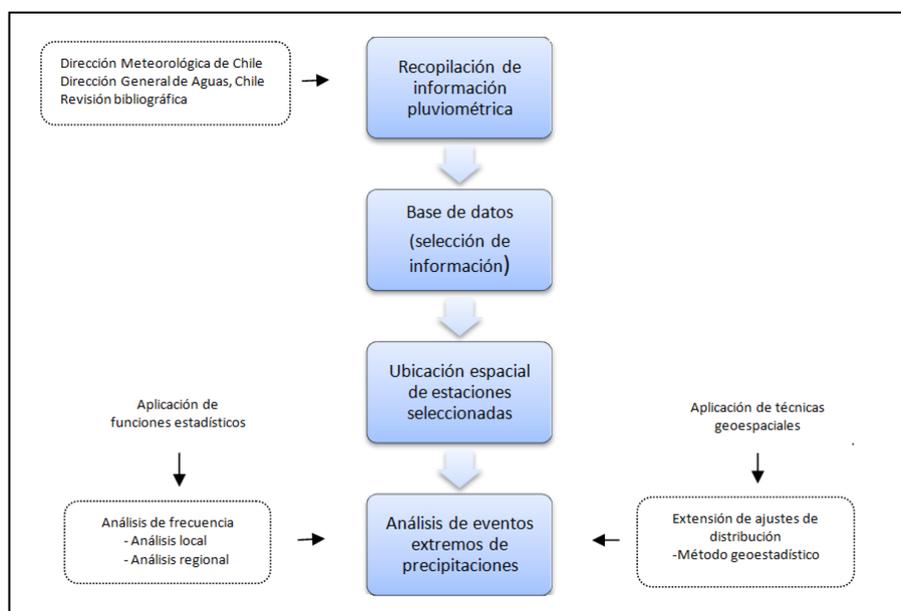


Figura 1. Esquema de las etapas metodológicas.

2. INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos climáticos más importantes que caracterizan un lugar, es sin duda, su régimen pluviométrico. Para conocer la periodicidad con que ciertas cantidades de lluvia pueden registrarse en cualquier punto de una determinada región, suele recurrirse al análisis de las cantidades obtenidas a partir de las series de datos disponibles de las estaciones meteorológicas o pluviométricas ubicadas en las distintas zonas y realizar ajustes mediante funciones de distribución apropiadas. Este análisis debe realizarse con prudencia, dada la incertidumbre asociada a la propia naturaleza de los fenómenos meteorológicos que originan la lluvia, como por la recurrencia temporal de los casos extremos registrados en los observatorios. Precisamente los eventos extremos, con intensidades de precipitaciones muy altas y baja frecuencia, pueden provocar desastres tales como inundaciones, generadas principalmente por colapsos en los sistemas de drenaje urbano, desbordes de ríos y también deslizamientos de laderas en casos más severos.

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de las precipitaciones en las zonas centro y sur de Chile continental, analizando el comportamiento de 46 estaciones pluviométricas distribuidas desde la V hasta la XI región del país; y cuya finalidad será la de aportar una data de análisis con componentes atmosféricos o pluviométricos mediante el uso de una herramienta integrada (Sistema de Información Geográfica y técnicas estadísticas), las cuales en el futuro puedan formar parte de la evaluación de los riesgos y vulnerabilidad de las poblaciones en cuanto a la gestión de desastres. En el mismo sentido, se buscan interrelacionar los comportamientos pluviométricos con patrones geográficos, tal que permita la realización de cartografías de precipitaciones extremas y resolver problemas de planificación y gestión geográfica.

2.1. Justificación

Las características geográficas de Chile, permiten que en el país exista una gran diferencia en cuanto a cantidad y distribución de las precipitaciones, que aumentan considerablemente de norte a sur. Según Fernández (1995) las precipitaciones corresponden a uno de los elementos climáticos que de manera más directa influye en la configuración del medio natural, siendo la principal aportación de agua a una cuenca, donde su distribución, tanto temporal como espacial, condiciona los ciclos productivos, por lo que es un elemento vital para el asentamiento de poblaciones humanas, que basan su quehacer productivo en ellas.

En el ámbito de la Hidrología es necesario conocer de qué manera se está produciendo la precipitación en cada momento, para así poder gestionar de la mejor forma posible el agua una vez se encuentre en el suelo. En el campo de la Edafología es necesario conocer qué comportamiento pluviométrico ha tenido cada episodio lluvioso, ya que la pérdida de suelos y la desertificación se encuentra muy ligada a esta variable pluviométrica (López Bermúdez, 2002).

En el campo de la teledetección se hace necesario clasificar la tipología de la lluvia, con el fin de entender mejor las relaciones con otros factores físicos, como la reflectividad a las microondas de la precipitación. En Climatología también existe un interés por relacionar el tipo de precipitación con factores geográficos como la continentalidad o la altura, entre otras relaciones.

Su conocimiento es necesario para la planificación de obras hidráulicas, carreteras, redes de alcantarillado, el diseño de los sistemas de drenaje de las aguas pluviales, la optimización de recursos hidráulicos en cuencas hidrográficas y la prevención de avenidas. Además, el comportamiento de esta variable puede ser de gran utilidad tanto para la detección del cambio climático como en la evaluación de sus posibles efectos sobre un territorio.

2.2. Antecedentes

El desarrollo económico de un país se encuentra íntimamente ligado al conocimiento de sus recursos hídricos y de sus distintas características.

Por ello la Dirección General de Aguas, se le han conferido las atribuciones y funciones de planificar el desarrollo del recurso agua, así como su investigación y medición, fue la Institución encargada de realizar en 1987 un estudio sobre el balance hidrológico de Chile, con el fin de conocer la distribución temporal y espacial de los elementos principales que componen el ciclo hidrológico. Este estudio se llevo a cabo dentro del acuerdo que establecieron los Comités Nacionales del Programa Hidrológico Internacional para ejecutar el balance hídrico de América del Sur.

Por su parte la Dirección Meteorológica de Chile presenta su primer estudio en el año 2006 referente a la temática de eventos meteorológicos severos ocurridos en Chile continental, en el cual se analizan estadísticamente los eventos de precipitación y temperatura del aire extremas en las principales ciudades del país.

Haylock M. R., Peterson T., Abreu de Sousa J. R., Alves L. M., Ambrizzi T., Anunciação Y. M. T., y otros analizaron las tendencias de precipitaciones extremas en Sudamérica en el período de 1960-2000

2.2.1 Eventos extremos

En la bibliografía se han reportado diferentes definiciones para caracterizar un evento extremo de precipitación. Por ejemplo Haylock y Nicholls (2000) examinaron tres índices de lluvia extrema: el número de eventos por encima de un extremo umbral (frecuencia extrema); la intensidad promedio de precipitaciones de eventos extremos (extrema intensidad), y la proporción de precipitación total de eventos extremos (extrema por ciento).

Según Carvalho (2002) un evento extremo es cuando el 20% o más de la precipitación climática total de una localidad caen en un día.

Los eventos meteorológicos extremos tales como huracanes, inundaciones, ondas de calor, sequías y otros, pueden causar muerte y destrucción de alcances catastróficos. A nivel mundial, las pérdidas económicas relacionadas con eventos extremos se han incrementado

significativamente en los últimos 50 años, y Chile no ha estado ajeno al daño causado por el efecto de los eventos extremos (Dirección Meteorológica de Chile, 2006).

Las precipitaciones extremas pueden representar uno de los peligros naturales climáticos más importantes en las zonas afectadas, condicionando el rendimiento de la actividad agrícola (Vargas y Núñez, 1989,1990, Núñez y Vargas, 1998).

La Organización Meteorológica Mundial ha incorporado y está impulsando un Programa sobre desastres naturales ocasionados por eventos meteorológicos. Entre otros objetivos, se propone desarrollar metodologías para mejorar la relación entre las bases de datos climáticos y de desastres, con el fin de establecer criterios de análisis para estudios de riesgos y vulnerabilidad ante eventos extremos, así como para su pronóstico.

2.2.2 Cantidad mensual de precipitación según cada estación

Lo primero que se debe considerar en el estudio de las precipitaciones es la cantidad media que se recibe por años, meses y a veces por estaciones, pues su valor y comportamiento tiene el máximo interés geográfico, si se quieren relacionar e interpretar correctamente los resultados a obtener en el análisis de las precipitaciones de eventos extremos. Estas medias deben ser calculadas a partir de una serie extensa de datos, debido que las cantidades de lluvias mensuales registradas son muy variables de un año a otro. Por lo tanto hay que fijar un número de meses y de años mínimos, a partir del cual se pueda disponer de medias validas.

En este sentido La Organización Meteorológica Mundial (OMM o WMO) aconseja elaborar las medias mensuales o anuales en períodos de 30 años; así estos registros meteorológicos y los demás índices estadísticos tendrán significación climática.

2.2.3 Distribución espacial y temporal de las precipitaciones

Según Hufty (1984), las lluvias provenientes de frentes cálidos (lluvias finas) se distribuyen con bastante regularidad y aumentan con el relieve, mientras que la distribución de los chubascos (lluvias de tormentas) es mucho más aleatoria. La variabilidad regional de las precipitaciones depende entonces, y al mismo tiempo, de la topografía y de las frecuencias de los tipos de perturbaciones que afectan a una determinada región.

Con respecto a lo anterior, Fernández (1995) establece que la variabilidad de las precipitaciones es el rasgo que mejor define a este elemento climático y que adquiere una mayor importancia en climas de transición como lo es el clima mediterráneo. De acuerdo al autor, la variabilidad tanto espacial como temporal está en relación a la dinámica general de la atmósfera, de la cual dependen el régimen pluviométrico anual y las oscilaciones interanuales, que sumados a la topografía y el relieve introducen desequilibrios muy marcados en la distribución espacial de las precipitaciones.

2.2.4 Tratamiento Probabilístico de la Información Hidrológica

Siguiendo a Chow (1994), un conjunto de observaciones de x_1, x_2, \dots, x_n , de una variable aleatoria se denomina muestra. Una muestra es sacada de una población hipotéticamente infinita, que posee propiedades estadísticas constantes. Las propiedades de una muestra pueden cambiar, de una muestra a otra, y el conjunto de todas las muestras posibles que pueden extraerse de una población se conoce como espacio muestral, y un evento es un subconjunto muestral. Si las observaciones de una muestra están idénticamente distribuidas, éstas pueden ordenarse para formar un histograma de frecuencia. Ahora bien, si el número de observaciones n_i en el intervalo i que cubre un cierto rango se divide por el número total de observaciones n , el resultado se conoce como frecuencia relativa (Chow, 1994). Asimismo, la suma de los valores de la frecuencia relativa hasta un punto dado, es la función de frecuencia acumulada, y en su límite, cuando $n \rightarrow \infty$ y $\Delta x \rightarrow 0$, se denomina función de distribución de probabilidad.

2.2.5 Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia es un método basado en procedimientos estadísticos, que permite calcular la magnitud asociada a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones a períodos de retorno mayores que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante, mientras que en interpolaciones, la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar; en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles (Ashkar, 1993).

2.2.6 Ajuste mediante las funciones de distribución

En Hidrología los riesgos suelen establecerse a partir de los llamados períodos de retorno o intervalos de recurrencia, que no son sino la inversa de la probabilidad. A un evento con una probabilidad de ocurrencia de, por ejemplo, un año en 100, o $1/100$, le corresponde un período de retorno de 100 años. A otro con una probabilidad de 0,2 le corresponde un período de retorno de 5 años. La aproximación se considera estadístico-frecuentista, por tanto a partir de los registros de precipitación existentes se hacen las estimaciones de los períodos de retorno. Normalmente se utiliza la máxima precipitación en 24 horas de cada año, lo cual asegura la independencia de los sucesos, y la serie resultante se ajusta a una distribución de probabilidad de valores máximos: log-Logistic, log-Pearson 3, Gumbel, Weibull, Gamma, etc. (Chow, 1994; Llamas, 1993; Jones, 1997; Custodio y Llamas, 1996; Aparicio, 1997).

2.2.7 Características de las precipitaciones en Chile

En Chile, la precipitación presenta una gran variabilidad en la distribución, tanto espacial como temporal. Se pueden distinguir tres tipos de regímenes de precipitación: el primero de ellos se presenta a partir de los 26° hacia el sur, de origen frontal; el segundo ubicado en el altiplano chileno, de origen convectivo, entre los 18° y 24°S , y finalmente el menos importante por la cantidad de agua que precipita es el ubicado en la costa norte del país, asociado al Anticiclón del Pacífico Sur (Dirección Meteorológica de Chile, 2011).

El régimen de precipitaciones en ocasiones presenta fenómenos hidrometeorológicos extremos, provocando grandes flujos desde los sectores altos hacia los sectores bajos, lo que se refleja en el aumento de los caudales y, con ello, en la generación de posibles inundaciones.

Estos acontecimientos ocurren principalmente en los sectores más urbanizados, generando pérdidas económicas asociadas, así como también problemas sociales. A su vez, el comportamiento de las precipitaciones se ve afectado por diversos factores, entre ellos la latitud y la altitud, aunque esta última es considerada como secundaria en relación a la primera, por la gran variedad latitudinal de climas que abarca el país, debido a que se extiende entre los 18° y los 55° de latitud sur en el continente Sudamericano y hasta los 90° de latitud sur, si se considera el territorio antártico Chileno.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Marco Geográfico y Climático

El área de estudio comprende nueve regiones de Chile continental, distribuidas entre los 32°18' y 44°19' latitud Sur; que corresponden al territorio de las regiones Valparaíso, Metropolitana, Libertador General Bernardo O'Higgins, Maule, Bío-Bío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (Figura 2).

Esta zona de estudio, como consecuencia de su extensión territorial, presenta una gran variedad de climas (Tabla 1), lo que se manifiesta en marcadas diferencias respecto a la humedad, precipitaciones, temperaturas y vientos. Un aspecto importante de la caracterización de dicha área lo constituye el relieve. Al respecto, presenta una geografía muy particular conformada por cuatro unidades bien definidas: las planicies litorales, que se localizan entre el Océano Pacífico por el oeste y la cordillera de la Costa por el este; a continuación, la cordillera de la Costa, que se inicia al norte del país, formando una cadena montañosa alta que declina a medida que avanza hacia el sur y que constituye una importante barrera contra las influencias oceánicas o masas de aire; la depresión intermedia, también llamada valle central, que corresponde a una faja de relieve que se extiende latitudinalmente, entre ambas cordilleras, y por último, la cordillera de los Andes que se presenta a lo largo de todo Chile. Estas unidades de relieve determinan, en gran medida, las características climáticas del área de estudio.

Tabla 1. Clasificación de las condiciones climáticas las regiones de estudio. (Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Köppen).

| Zona Climática | Capital |
|----------------------------|------------|
| Región | |
| Mediterránea (Csa,Csb) | |
| V. Valparaíso | Valparaíso |
| R. Metropolitana | Santiago |
| VI. O'Higgins | Rancagua |
| VII. Maule | Talca |
| VIII. Bío-Bío ¹ | Concepción |
| Templada H. Oceánica (Cfb) | |
| VIII. Bío-Bío ¹ | Concepción |
| IX. Araucanía | Temuco |
| XI. Los Ríos | Valdivia |
| X. Los Lagos | Pto. Montt |
| XI. Aysén | Coyhaique |

¹Norte Bío-Bío (Csa,Csb) y Sur Bío-Bío (Cfb).

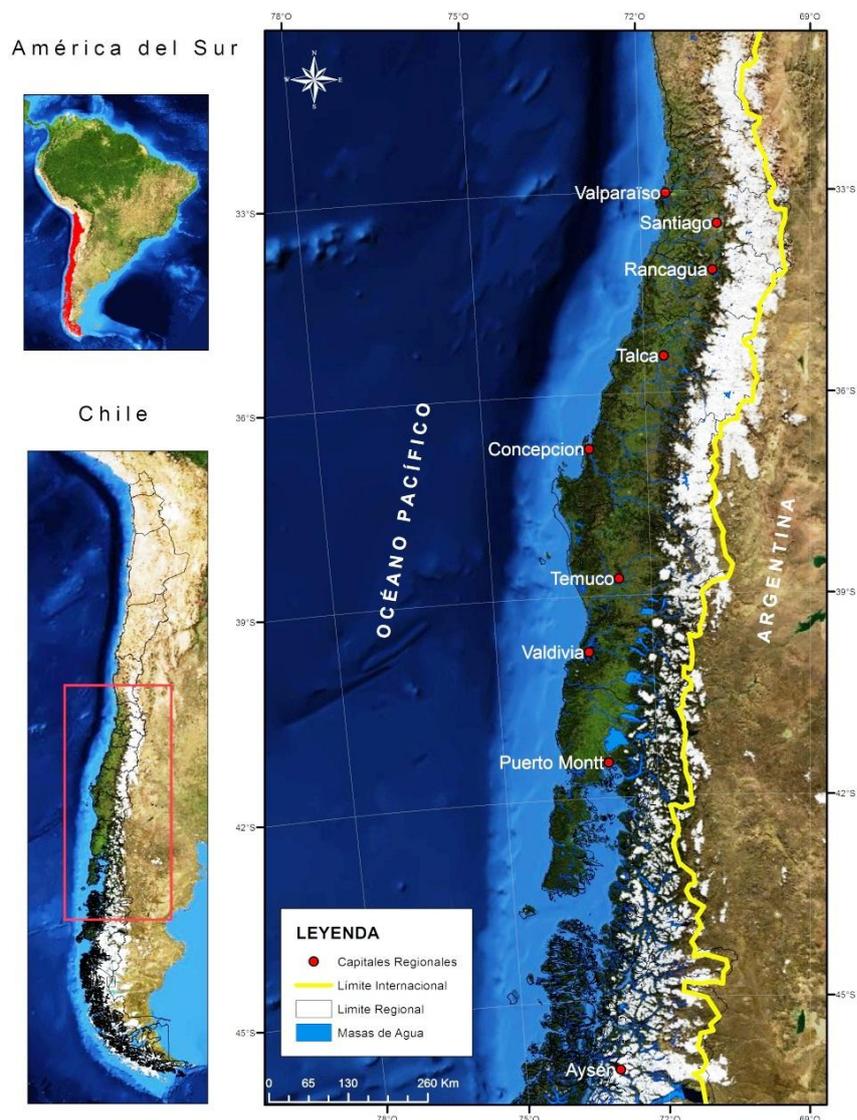


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio. (Fuente: Elaboración propia sobre imagen base ArcGis).

3.2. Caracterización Hidrológica de la zona de estudio

A continuación, se realiza una breve caracterización hidrológica por regiones, de norte a sur. La región de Valparaíso presenta numerosos cursos de agua, debido principalmente a su relieve y precipitaciones. Los cursos principales que se identifican por su importancia en el sistema hidrográfico regional son los ríos Petorca, La Ligua, Aconcagua y la desembocadura del río Maipo, en el extremo meridional de la región de Valparaíso.

En la región Metropolitana los recursos superficiales están constituidos por el río Maipo y sus tributarios, entre los cuales se incluye el río Mapocho, cuya cuenca andina es independiente.

El principal sistema colector de aguas superficiales es la cuenca del Maipo, cuya vertiente de captación coincide por el este con el límite de Argentina; drena una superficie de 15.000 kilómetros cuadrados, y su cauce principal presenta un recorrido de 250 kilómetros desde su nacimiento hasta las laderas del volcán Maipo y hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Más hacia el sur, en la región de O`Higgins el sistema hidrográfico está constituido por el sistema del río Rapel y sus afluentes más importantes, los ríos Cachapoal y Tinguiririca; ambos en su confluencia, en el sector denominado La Junta dan origen al embalse Rapel. El embalse Rapel posee una capacidad de almacenamiento de 433 millones de metros cúbicos. El aprovechamiento de las aguas del sistema Rapel-Cachapoal-Tinguiririca se basa en el riego, la producción de energía eléctrica, la industria, la minería y el consumo por parte de la población.

Por su parte, la región del Maule posee una hidrografía de régimen mixto, perteneciente a la zona subhúmeda; las cuencas andinas que se encuentran en la región corresponden a dos importantes cursos de agua, los ríos Mataquito por el norte en la provincia de Curicó, y Maule por el centro en la provincia de Talca. Las cuencas costeras presentes en la región son los interfluvios Rapel-Mataquito, Mataquito-Maule y Maule-Itata (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011). En la Cuenca del Maule se encuentran los embalses Bullileo, Colbún, Laguna del Maule, Digua y Tutuvén, con una capacidad de 60, 1.544, 1.420, 220 y 15 millones de m³, respectivamente. Las aguas de la región del Maule se destinan al riego de cultivos agrícolas, la producción de energía hidroeléctrica, los usos industriales y el agua potable.

La región del Bío-Bío presenta dos grandes cuencas hidrográficas: la del río Itata y la del río Bío-Bío, ambos nacidos en la cordillera de Los Andes. La cuenca del río Itata alcanza una superficie de 11.100 km² y está formada por dos cursos principales de agua: los ríos Ñuble e Itata. Este posee una longitud de 180 km y su régimen es mixto, y un caudal medio de 57m³/s.

Por su parte, el río Bío-Bío posee una de las cuencas más extensas del país, con 24.029 km²; su longitud alcanza a los 380 km, un caudal medio de 900 m³/s, y su régimen de alimentación

también es mixto con crecidas en invierno-primavera (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2011).

La región de La Araucanía se caracteriza por la presencia de dos cuencas hidrográficas: el río Imperial, al norte, y el río Toltén, al sur. El primero cuenta con una extensión de 12.054 km², es de régimen mixto y sus mayores aportes de agua se producen en invierno; el caudal medio del río Imperial es de 240 m³/s. El río Toltén, a su vez, presenta una cuenca de 7.886 km² y nace en el extremo poniente del lago Villarrica, abarcando una longitud de 123 km, con un caudal medio de 52 m³/s; su régimen también es mixto (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2011). Una de las principales características de la geografía de la región de Los Ríos corresponde a los cursos hidrográficos, dos cuencas dominan la región: la del río Valdivia y la del río Bueno. Dichos ríos se originan en la zona cordillerana y debido a la acumulación de morrenas de origen glacial que han detenido el paso de las aguas se han formado diversos lagos (Gobierno regional de Los Ríos, 2011).

La región de Los Lagos se caracteriza por presentar una gran cantidad de ríos de régimen mixto. Las cuencas hidrográficas más importantes son las de los ríos Maullín, Petrohué, Puelo y Yelcho. El primero posee una longitud de 85 km, su caudal medio es de 100 m³/s, y tiene un régimen de alimentación netamente pluvial; el segundo posee una longitud de 36 km, nace en el extremo occidental del lago Todos los Santos y desemboca en el fiordo de Reloncaví, en la bahía de Ralún, siendo su régimen de alimentación pluvial y está regulado por el lago Todos los Santos. El río Puelo tiene un régimen de alimentación pluvial y su caudal medio es de 670 m³/s. El río Yelcho nace en el lago Yelcho y desemboca en la ensenada de Chaitén, en el golfo de Corcovado, siendo alimentado por los ríos Futalelfú, Correntoso, Cascada, Enredadera y Malito, tiene una extensión de 246 km, su régimen de alimentación es pluvial y su caudal medio es de 360 m³/s.

En la región de Aysén los ríos se caracterizan por su gran caudal, debido a la permanente alimentación por el deshielo y las precipitaciones. Los principales sistemas los forman los ríos Palena, Cisnes y Aysén con sus cuencas transandinas, a las que se les suman el Bravo y el Pascua.

4. METODOLOGÍA

4.1. Recopilación de la información pluviométrica

Para llevar a cabo el estudio se empleó los datos de la red de pluviómetros que posee la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile, la cual mantiene una red de cobertura nacional con respaldo de la información en el Banco Nacional de Aguas. En este organismo se puede obtener información tanto sobre la ubicación de las estaciones, como sobre los datos históricos registrados. Asimismo, la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) controla otra red de cobertura nacional. Los datos de esta red pueden conseguirse en los Boletines Meteorológicos de Chile, que incluyen información sobre las principales estaciones. De este modo, la información obtenida fue almacenada en una base de datos creada para tal fin, con la finalidad de que pueda ser utilizada para futuros proyectos. Dos cuestiones a considerar:

- ☞ El total diario de precipitación, de acuerdo a lo establecido internacionalmente, corresponde al agua caída en 24 horas, entre las 12 horas de un día y las 12 horas GMT del día siguiente. De ese mismo modo la máxima en 24 horas corresponde a la producida dentro de ese intervalo de horas.
- ☞ La unidad de medida de las precipitaciones es milímetros (un milímetro equivale a un litro de agua caída sobre una superficie de 1m^2).

4.2. Selección de estaciones pluviométricas

Mediante la elaboración de una línea de tiempo, se realizó un primer análisis de la existencia de información. Con esta herramienta se logró visualizar una alta irregularidad de los períodos de registro de precipitación. Debido a esto, se implantó un primer criterio de selección que permitiera escoger las estaciones más representativas de cada región. Este se basó en la cantidad de años de información que posee cada estación, 128 estaciones inicialmente, aunque no todas suministran una continuidad temporal. Por consiguiente, se estableció un criterio de selección que determinó considerar solo las estaciones que contasen con períodos continuos de igual o superior a 30 años, y en su defecto con lagunas iguales o inferiores a tres. A continuación, con esta selección se trató de optimizar la mayor cobertura espacial de las estaciones, junto a la máxima extensión temporal. El período de estudio

óptimo resultó ser 1980 - 2010. De este modo, fueron seleccionadas 46 estaciones pluviométricas, lo que supone un 56% del total de estaciones para este período.

En la Figura 3 se puede apreciar la localización de las estaciones ubicadas en las zonas centro y sur de Chile continental, de las cuales nueve se localizan en la región de Valparaíso, cuatro en la región Metropolitana, ocho en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, nueve en la región del Maule, cinco en la región del Bío-Bío, seis en la región de La Araucanía, tres en la región de Los Ríos, una en la región de Los Lagos y una en la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

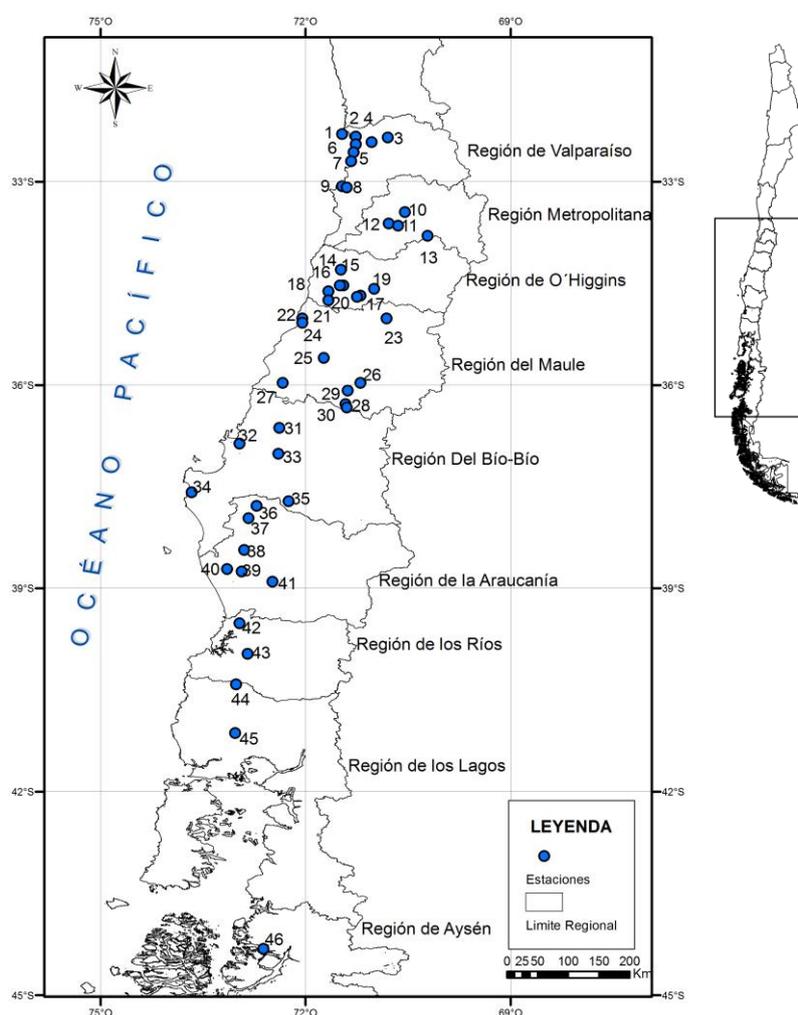


Figura 3. Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas para el Período 1980 – 2010. (Fuente: Elaboración propia).

En la Tabla 2, se presenta la numeración y la estación correspondiente, así como la latitud, longitud y elevación de la misma.

Tabla 2. Ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas, con indicación de la numeración de estación, latitud, longitud y elevación.

| Región | Nº | Estación | Latitud Sur | Longitud Oeste | Elevación mts |
|--|----------------|-------------------------------|--------------------------|----------------|---------------|
| Valparaíso (V) | 1 | Huaquén Hacienda | 32°18' | 71°28' | 200 |
| | 2 | Trapiche Longotoma | 32°20' | 71°16' | 600 |
| | 3 | Las Casas de Alicahue | 32°21' | 70°48' | 1000 |
| | 4 | La Vega Fundo | 32°25' | 71°02' | 370 |
| | 5 | La Ligua | 32°27' | 71°16' | 58 |
| | 6 | Catopilco | 32°34' | 71°18' | 95 |
| | 7 | La Canela | 32°42' | 71°20' | 450 |
| | 8 | Quilpué | 33°04' | 71°28' | 101 |
| | 9 | Marga-Marga | 33°05' | 71°24' | 160 |
| Metropolitana (XIII) | 10 | Tobalaba | 33°27' | 70°33' | 650 |
| | 11 | Calera de Tango | 33°37' | 70°47' | 500 |
| | 12 | Central los Morros | 33 39' | 70°39' | 605 |
| | 13 | Central Queltehue | 33°48' | 70°13' | 1290 |
| Lib. Gral. Bernardo | 14 | San José de Marchigüe | 34°18' | 71°29' | 113 |
| O'Higgins (VI) | 15 | Lihueimo Fundo | 34°32' | 71°27' | 150 |
| | 16 | San Diego de Puquillay | 34°32' | 71°30' | 330 |
| | 17 | San Fernando | 34°35' | 71°00' | 350 |
| | 18 | Pumanque Hacienda | 34°37' | 71°40' | 112 |
| | 19 | Nancagua | 34°41' | 71°12' | 370 |
| | 20 | Las Arañas | 34°42' | 71°15' | 334 |
| | 21 | Lolol Hacienda | 34°45' | 71°40' | 170 |
| Maule (VII) | 22 | Licantén | 35°01' | 72°03' | 464 |
| | 23 | Los Queñes | 35°01' | 70°49' | 671 |
| | 24 | Curepto | 35°05' | 72°03' | 60 |
| | 25 | San Javier | 35°36' | 71°44' | 80 |
| | 26 | Longaví | 35°58' | 71°12' | 145 |
| | 27 | Cauquenes | 35°58' | 72°20' | 142 |
| | 28 | Achibueno | 36°05' | 71°23' | 585 |
| | 29 | Bullileo Embalse | 36°17' | 71°25' | 600 |
| | 30 | Digua Embalse | 36°20' | 71°24' | 300 |
| | Bío-Bío (VIII) | 31 | San Ignacio de Palomares | 36°38' | 72°23' |
| 32 | | Nonquen | 36°52' | 72°58' | 145 |
| 33 | | Cabrero | 37°01' | 72°24' | 130 |
| 34 | | Lebu | 37°35' | 73°40' | 50 |
| 35 | | Mulchen | 37°43' | 72°15' | 125 |
| La Araucanía (IX) | 36 | La Araucanía | 37°47' | 72°43' | 70 |
| | 37 | Los Sauces | 37°58' | 72°50' | 107 |
| | 38 | Curacautín | 38°26' | 72°54' | 571 |
| | 39 | Carahue | 38°43' | 73°09' | 10 |
| | 40 | Nueva Imperial | 38°45' | 72°56' | 26 |
| | 41 | La Torcaza | 38°54' | 72°29' | 120 |
| Los Ríos (XIV) | 42 | San José de la Mariquina | 39°31' | 72°58' | 40 |
| | 43 | Reumen | 39°58' | 72°51' | 70 |
| | 44 | San Pablo | 40°25' | 73°01' | 60 |
| Los Lagos (X) | 45 | Frutillar Centro Experimental | 41°08' | 73°02' | 80 |
| Aysén del Gral. Carlos Ibañez del Campo (XI) | 46 | Puyuhuapi | 44°19' | 72°37' | 5 |

4.3. Tratamiento de la información

4.3.1 Estimación de datos faltantes

Después de seleccionar las estaciones que cumplieran con los criterios aplicados, se procedió a estimar los datos mensuales faltantes de cada estación, el método utilizado implica en primer lugar identificar el año y mes faltante de la estación correspondiente, luego se visualizó mediante cartografía las estaciones más cercanas. Una vez obtenida dicha información, se buscaron las estaciones que presentaron el dato pluviométrico a ser estimado. En los casos donde se presentaron más de una estación que contaban con dicho dato, se seleccionó la estación más cercana, de preferencia aquellas que se encontraban en la misma unidad de relieve que la estación a ser estimada. Por el contrario, de no existir estaciones con dicho dato pluviométrico, se buscaron en las estaciones restantes más cercanas. Una vez seleccionada la estación, se consideró como si no se hubiera producido fenómeno de precipitación cuando la estación que posee la información tuviese un registro inferior a 15 mm; por el contrario, si el registro era superior a los 15 mm, el dato faltante se sustituyó por 0 mm, este criterio es aplicable desde la región de Valparaíso hasta la región del Maule.

Sin embargo, para el resto de las regiones se adopta la misma metodología, solo que el umbral cambia a 30 mm. En las estaciones que presentaron años con más de cinco datos faltantes, se decidió suprimir el año correspondiente a fin de minimizar los errores de estimación. Es de notar que el procedimiento para la estimación de datos faltantes es heurístico, pues existen en la bibliografía procedimientos y programas óptimos para la estimación de datos faltantes. Dado que este no es el tema central del trabajo, se consideró el uso de estrategias más sencillas para facilitar el análisis.

4.3.2 Regionalización

Tanto en la elaboración como en la representación espacial de los escenarios pluviométricos, fue necesario que las estaciones seleccionadas estuvieran bajo un mismo sistema de referencia, ya que provenían de diferentes fuentes de información. Por esta razón, dicha información se homogenizó bajo el sistema de referencia WGS84.

4.3.3 Variabilidad de las precipitaciones totales mensuales

En primer lugar se realizó el análisis de variabilidad para las 46 estaciones seleccionadas, no obstante a modo de ejemplificar se profundizó en cuatro estaciones pluviométricas, estableciendo como criterio de selección la periodicidad de los datos, la cantidad y una alta representatividad geográfica, considerando el efecto orográfico y el patrón pluviométrico de la zona en estudio; las observaciones se efectuaron a dos niveles de discretización, anual y mensual. Con esta elección el objetivo ha sido mostrar la variabilidad de la precipitación a lo largo de la región estudiada. Igualmente han servido para representar los regímenes característicos de las zonas centro y sur del territorio nacional.

Posteriormente, para estas estaciones se representaron de manera gráfica las cantidades anuales de precipitación correspondiente al período de análisis. Finalmente, para el total de las estaciones estudiadas se calcularon los valores del coeficiente de variación ($CV = \text{desviación tipo}/\text{media} (\%)$), debido a que complementa y facilita la interpretación de la variabilidad pluviométrica, por tratarse de un parámetro de dispersión relativa, el cual permite comparar pluviometría de valores diferentes.

4.4 Tratamiento de registros de precipitaciones máximas en 24 horas

4.4.1 Distribución y calendarios pluviométricos

En el presente subapartado se tiene el interés de caracterizar las estaciones pluviométricas no sólo considerando sus valores de frecuencia sino también por fecha. De esta manera, se construyeron gráficas de distribución mensual de la precipitación referente a los períodos lluviosos en 24 horas, para cada estación se contabilizó el número de veces que hubo un evento máximo por mes, dividiéndose luego por el número de años del período del cual se posee información. Los calendarios de variables climáticas, es decir, de sus valores característicos para cada día del año, resultan de una notable utilidad en la planificación temporal de actividades socioeconómicas muy diversas, en especial, las desarrolladas total o parcialmente al aire libre. Tales calendarios, con resolución diaria, precisan mucho la distribución temporal que supone el llamado régimen o ritmo mensual, es decir, el reparto medio mensual de la variable considerada (Martín Vide, 2003).

En el caso de la estación Tobaraba, debido a que se disponía con las fechas concretas de sus eventos extremos, se creó una muestra de la construcción de un calendario

pluviométrico a resolución diaria precisando la distribución temporal que supone el régimen mensual, es decir, el reparto medio mensual de la variable considerada. De esta manera, se puede expresar la probabilidad de ocurrencia de valores extremos, y se sabrá cuándo a lo largo del año es más probable la presencia de lluvias abundantes.

4.4.2 Definición de umbrales

Las características de los extremos de precipitación sobre la zona de estudio son muy diferentes de acuerdo al área y época del año que se analice. Aquí se sigue la línea de trabajo de Bardossy & Hundecha, 2003; Alexander, 2006 y otros, que plantean obtener umbrales climáticos derivados de datos máximos diarios de precipitación.

En este trabajo se define un día de lluvia cuando la precipitación caída es igual o superior a 0,1 mm, mientras que un día con precipitación extrema es aquel en que la precipitación máxima anual en 24 horas es superior a un determinado umbral. Este umbral corresponde a los percentiles 90, 95 y 99 (de aquí en adelante PE90 para el percentil 90, para el percentil 95, PE95 y para el percentil 99, PE99). Estos percentiles se calculan en base a las distribuciones empíricas registradas para cada estación.

Se estableció como parámetro de comparación la probabilidad de excedencia, es decir que los valores calculados para las precipitaciones de 5 años (P_5) y 10 años de retorno (P_{10}) superen su valor.

4.4.3 Ajustes a una función de distribución de probabilidad (FDP)

En este subapartado se ha realizado un análisis probabilístico de las lluvias diarias extremas a partir de las series de máximos anuales de precipitación en 24 horas registradas en las estaciones pluviométricas. Se ensayaron diferentes métodos de ajuste a funciones teóricas de distribución mediante el programa EasyFit v.5.3. Esta herramienta permite seleccionar la distribución de probabilidades que mejor se ajustan a los datos considerados.

Se ensayaron ajustes mediante las funciones de distribución estadística de Gumbel Max, Weibull (las dos ampliamente utiliza para cuantificar el riesgo asociado a valores extremos de precipitación) y también una tercera función, aquella que el programa indicó

como la de mejor ajuste estadístico. Las ecuaciones de las funciones de distribución Gumbel Max y Weibull son:

La distribución de valores extremos tipo 1 de Fisher y Tippett, también conocida como distribución Gumbel Max, es una distribución de asimetría constante e igual a 1,139547, con función de distribución de probabilidades:

$$P = (X \leq x) = e^{-e^{-\frac{(x-b)}{a}}} \quad (4.1)$$

Está definida para $-\infty < x < \infty$, donde a es un parámetros de escala y b es la moda de la distribución. La estimación de parámetros por el método de los momentos resulta de las siguientes expresiones

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \quad (4.2a)$$

$$b = \mu - k \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \quad (4.2b)$$

Donde:

μ : media de la población.

σ : desviación estándar de la población, y

k : constante de Euler.

En cuanto a la función de distribución Weibull, es la técnica mayormente elegida para la estimación de probabilidades para todas las distribuciones, se caracteriza por ser insesgada es decir que el sesgo tiende a cero, lo cual le proporciona una propiedad deseable como de estimador.

$$F(X) = 1 - \exp[-(x/\beta)^\alpha] \quad (4.3)$$

Donde:

α : es un parámetro de forma continua mayor a cero, y

β : de escala continua mayor a cero.

Una vez verificada la bondad de ajuste es posible interpolar y extrapolar información, con lo cual se puede predecir el comportamiento de la variable en estudio. El software utilizado trae incorporado tres test de bondad de ajuste, comúnmente utilizados en

Hidrología, Kolmogorov-Smirnov, Anderson- Darling y Chi-cuadrado. Puesto que no es el objetivo del trabajo, solo indicar que el test Kolmogorov-Smirnov es una prueba de normalidad basada en el valor absoluto de la máxima diferencia entre la distribución acumulada observada y la teórica, siendo utilizado para verificar la hipótesis de que cierta muestra procede de una distribución particular. La Prueba Chi-cuadrado permite probar si existen diferencias significativas entre un número dado de valores observados clasificados en categorías y el respectivo número de valores esperados, determinados a partir de la distribución en estudio. La prueba de Anderson-Darling es usada para probar si una muestra viene de una distribución específica. Esta prueba es una modificación de la prueba de Kolmogorov - Smirnov. En estadística, es una prueba no paramétrica sobre si los datos de una muestra provienen de una distribución específica. En cuanto a los números de clases, se utiliza el que propone el programa por defecto.

4.4.4 Cálculo de precipitaciones máximas diarias para distintos períodos de retorno

Se tomó como punto de partida la lectura directa de los valores extractados de la base de datos creada a partir de la información de DMC y DGA, por lo que no se precisa su determinación revisando los valores diarios que toda la serie disponible. A partir de los datos para cada una de las estaciones seleccionadas en la zona del proyecto y teniendo en cuenta algunas características hidrológicas de las regiones investigadas y una vez seleccionadas las funciones de distribución, se calcularon las precipitaciones máximas diarias para los diferentes períodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 200 y 500 años. Para ello se utilizó la siguiente relación:

$$T(X) = \frac{1}{1-F(X)} \quad (4.4)$$

Siendo:

$T(x)$: tiempo de retorno de una precipitación de x mm, en años;

$F(x)$: probabilidad de ocurrencia anual de un evento inferior a x mm.

Con esto, es posible tener un horizonte probabilístico de planificación, dentro del cual no debería, teóricamente, presentarse un evento con precipitaciones superiores a la calculada (Pizarro y Novoa, 1986).

4.4.5 Representación espacial de precipitaciones máximas para distintos períodos de retorno

4.4.5.1 Generación y trazado de isoyetas

Con las estaciones pluviométricas distribuidas según su ubicación dentro de la zona de estudio (Figura 3), se generó una cartografía para la representación espacial del coeficiente de variación ($CV\%$) antes mencionado, como también para la representación de los distintos períodos de retornos calculados.

4.4.5.2 Interpolación ráster de las cartas de isoyetas

Con el fin de distribuir y representar la información de forma continua sobre la zona de estudio, se realizó la interpolación de las cartas de isoyetas. Sin embargo, debido a la gran variedad de posibles métodos de interpolación disponibles, se analizaron algunos criterios con la finalidad de elegir el mejor método a implementar. En primer lugar, se identificó qué programas poseen la capacidad de realizar la interpolación. Tomando en cuenta las exigencias que posee cada uno de los métodos, se optó por el programa ArcGis v.10.

Una vez realizadas las interpolaciones, según las posibilidades y métodos que ofrece el programa, se observó la cantidad de errores o defectos en cada interpolación. De este modo, con el fin de corregir dichos errores, se modificaron los parámetros de interpolación en aquellos métodos que ofrecían esta posibilidad. Finalmente se eligió aquella configuración que presentó una distribución espacial con mayor resolución. Así, se utilizó una técnica de Distancia Inversa Ponderada (IDW). Este método se basa en la idea intuitiva de que las observaciones más cercanas al punto de interpolación deben tener una mayor influencia sobre los valores estimados en ese punto que las más distantes.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variabilidad de la precipitación

Como se ha señalado, la compleja distribución espacial de la precipitación total mensual para el período analizado en la zona de estudio se ve influenciada principalmente por factores geográficos muy diversos, en especial por el relieve y el área montañosa del país.

El comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio se ilustra mediante gráficas de cuatro estaciones: Huaquén Hacienda, San Javier, Nueva Imperial y San Pablo, con regímenes de precipitación propios de las zonas centro y sur del área en estudio.

5.1.1 Nivel anual

En el anexo A1, se entregan los valores anuales de precipitación de las cuatro estaciones seleccionadas.

Con la información del anexo A1, se obtuvieron las gráficas correspondientes a las Figuras 4 en donde se muestran los valores de precipitación anual de las estaciones en estudio, de acuerdo a los 31 años de información que éstas poseen.

En la Figura 4a, correspondiente a la estación Huaquén Hacienda, vemos que la precipitación máxima de toda la serie se anotó en el año 2002, en el cual se alcanzó un valor de 765,3 mm; el siguiente año más lluvioso fue 1997, en que se alcanzaron 760,1 mm; mientras que el año más seco fue 1998, con 32,5 mm, al que le siguen los de 1990 (77 mm) y 1985 (87,5 mm).

Lo anterior parece sugerir que la variabilidad asociada al ENSO explica un porcentaje significativo de la precipitación en Chile central. El recorrido para la serie (diferencia entre el valor máximo y mínimo) es de 732,8 mm y el coeficiente de variación de 62%.

Además se concluye que para los 31 datos analizados la estación adquiere una media de 296 mm y una desviación tipo de 182 mm. Se puede observar también que en las décadas previas a 2002 se evidencia una acentuada variabilidad de la precipitación para el período analizado, destacando el año 2002 como punto de inflexión, puesto que desde entonces no se supera la media anual de la serie, con lo cual se advierte una clara tendencia a la

disminución en las precipitaciones. Se sugiere que la disminución de la precipitación en la región centro-sur del país durante los años más recientes se asocia con una disminución de la frecuencia de días con precipitación, así como de la intensidad de la precipitación en los días con lluvias.

Si se avanza hacia latitudes mayores, encontramos la estación San Javier, ubicada en la región del Maule (Figura 4b) que presenta para el período analizado el valor máximo de 1298 mm, en el año 1982, coincidiendo con un año con presencia del fenómeno del Niño; el siguiente año más lluvioso fue 1984 seguido por el año 1992, los cuales alcanzaron precipitaciones de 1269,2 mm y 1148,6 mm, respectivamente; El año 1998 fue el más seco con 217,7 mm. La gráfica insinúa que el año 2002, con registro de 1127,3 mm, ha sido el último año donde se anotó valores sobre los 1000 mm, mostrando una marcada tendencia a la disminución con años bajos de los 550 mm y otros sobre los 765 mm correspondiente al valor medio de la serie. Destaca la variación entre el año 1980, el cual registró 1015,7 mm y el año 1990, con 480,3 mm; y el posterior aumento a 794,4 mm en el año 2000. La relación porcentual entre la desviación estándar (tipo) y el promedio es de 34,7%.

En la estación Nueva Imperial (Figura 4c), se encontró que para los 31 datos analizados en el período 1980-2010 se tiene una media de 838 mm, con un monto de coeficiente de variación de 0,26 y una desviación tipo de 218,6 mm. Del mismo modo, cabe señalar que la precipitación máxima ocurrió en el año 2005 que registró 1268,6 mm; por contraparte el año en que se registraron las cantidades mínimas fue 1998 con 430,5 mm. En esta misma figura, se puede observar que a lo largo de la serie también hay un valor que destaca, en el año 1993, por encima de los 1000 mm, lo cual pareciera sugerir que en esta región se presentan períodos secuenciales de precipitaciones máximas aproximadamente cada trece años.

En la Figura 4d correspondiente a San Pablo, se observa la precipitación máxima de los cuatro casos analizados que fue de 2799,6 mm en el año 1993; el segundo año más lluvioso ocurrió en el año 1994 con 2067,3 mm; el año más seco fue 1988 con 698,5 mm y le sigue 1989 con 914,3 mm. Existe una probabilidad del 25% de que las precipitaciones en la estación San Pablo sean inferiores a 1043,8 mm y un 75% de que sean menores de 1644,0 mm.

Naturalmente, el 100% de las precipitaciones registradas son iguales o menores al año más lluvioso registrado, pero no se puede asegurar que a futuro, se vaya a presentar un año con precipitación superior a 2799,6 mm. En este caso, no se observa un comportamiento regular en los valores de las precipitaciones.

Tanto en la región de La Araucanía representada por la estación Nueva Imperial, como en la región de Los Ríos representada por la estación San Pablo, la evolución de las precipitaciones a lo largo del período no se puede atribuir al fenómeno del Niño, pues, este afecta desde la III hasta la VII región del país.

Frente a estos mismos conceptos, para Huaquén Hacienda (Figura 4a) existe una probabilidad del 25% de que las precipitaciones sean inferiores a 160,4 mm, mientras que para San Javier (Figura 4b) la probabilidad corresponde a valores inferiores a los 562,8 mm; con probabilidad del 0,75 en montos menores a 949,3 mm. En cambio para Nueva imperial presenta una probabilidad del 25% de que los valores inferiores sean de 707,2 mm; la probabilidad del 75% de que sean menores de 357 mm para Huaquén, se corresponde en Nueva Imperial con 1003,1 mm.

En la estación Nueva Imperial (Figura 4c), el número de años que supera el valor medio del conjunto de datos alcanza el 48%, mientras que para la región de Valparaíso, en la estación Huaquén Hacienda, dicho porcentaje disminuye a un 39%. Lo mismo ocurre hacia algunas zonas con latitudes más elevadas, como es el caso de San Pablo, región de Los Ríos, en que dichos registros no superan el 40% del valor medio.

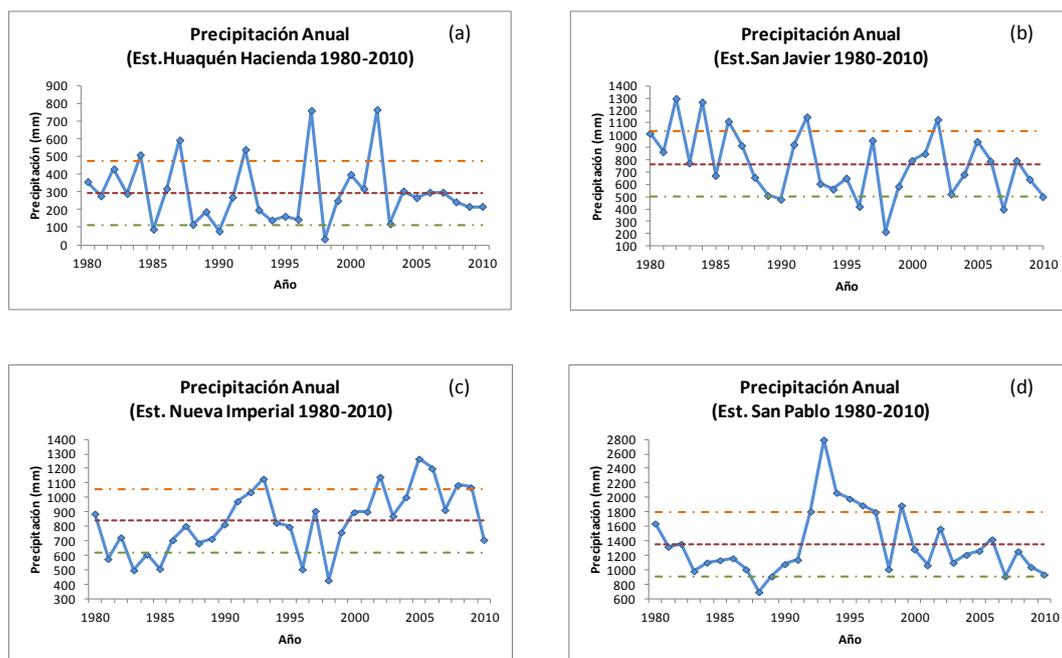


Figura 4. Gráficas de precipitación anual de estaciones pluviométricas durante los períodos 1980-2010. (a) Huaquén, (b) Hacienda, San Javier, (c) Nueva Imperial, (d) San Pablo. Con inclusión de media anual, (línea segmentada roja), (naranja y segmentada) valor de media más su desviación tipo, y (verde segmentada) valor promedio menos la desviación tipo. (Fuente: Elaboración propia).

Entonces, es claro que la precipitación promedio aumenta a medida que nos acercamos hacia el sur (a mayores latitudes), sin embargo las precipitaciones más intensas se registran en Chile central (36°S aprox.). Por consiguiente, quizás el rasgo más irregular de la precipitación se da en las regiones donde su clima es mediterráneo (Tabla 1), donde se evidencia su alta variabilidad interanual, con años muy contrastados en sus totales pluviométricos.

Uno de los parámetros más utilizados en Climatología es el coeficiente de variación, que toma valores tanto más grandes cuanto mayor es la variabilidad. Los valores de este coeficiente para algunas estaciones son los siguientes: 61% para Huaquén Hacienda, 46% para Tobaraba, 38% para San Diego de Puquillay, 29% para Digua Embalse, 18% en Curacautín, un 26% la estación Nueva Imperial, 33% para San Pablo y un 17% en el caso de Puyuhuapi. Valores superiores al 40% pueden considerarse muy elevados (Martín Vide, 2003).

Se entienden mejor estas cifras ayudados por la Figura 5, que muestra el mapa del coeficiente de variación. Se observa que la variabilidad de los datos de las estaciones ubicadas al norte de la zona de estudio es mayor a la de las estaciones ubicadas más al sur. Asimismo, es posible apreciar que la estación Huaquén Hacienda es la que presenta mayor

valor, lo que se debe a que en los años 1997 y 2002 se registró un evento extremo, que dista bastante de los otros valores registrados en dicha estación.

Puede observarse también en la Figura 5, una cierta pauta espacial de incremento en el sentido oeste-este, pasando de un 24% a 30% en la región del Bío-Bío, de 21% a 30% en la región de La Araucanía y en la región de Los Ríos de un 24% a un 30%.

El coeficiente de variación de la precipitación anual es un buen índice para distinguir el clima mediterráneo existente entre la Quinta y el norte de la Octava región; así, la zona centro norte del estudio entre Valparaíso y Santiago, se caracteriza por una precipitación con una notable variabilidad, producto del contraste entre años relativamente lluviosos y otros secos; donde el efecto del anticiclón del Pacífico es alterado en época de invierno por la migración hacia el norte de los sistemas frontales. En conjunto registra precipitaciones menores a 350 mm anuales. En la zona centro sur en la época de invierno predomina la presencia de los sistemas frontales más activos e intensos.

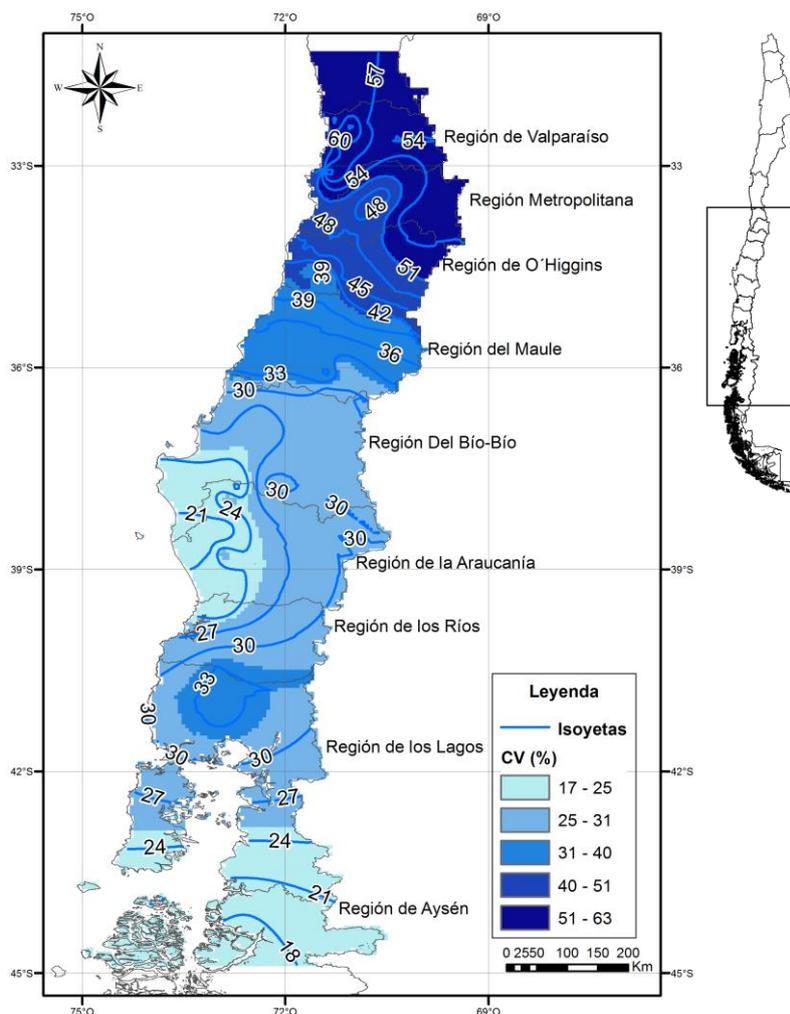


Figura 5. Isoyetas de los valores del coeficiente de variación de la pluviometría anual entre las regiones V-XI de Chile continental (período 1980-2010). (Fuente: Elaboración propia).

5.1.2 Nivel mensual

Se tiene que a nivel mensual, representado mediante el porcentaje de la cantidad de lluvia anual por mes del período 1980-2010, existe una gran variedad entre las cuatro ejemplificaciones escogidas. La diversa distribución que poseen las gráficas se debe principalmente a los factores geográficos regionales, muy influyentes en el territorio.

Se observa para Huaquén Hacienda (Figura 6a) que el mes de junio es el más lluvioso y los meses de diciembre, enero y febrero los más secos. La época de lluvias empieza en mayo y la época seca en octubre; dentro de la época de lluvias los meses de mayo, junio, julio y agosto son los más lluviosos aportando en promedio alrededor del 88% de la precipitación anual. En la estación San Javier (Figura 6b) el porcentaje de precipitación durante los meses de verano presenta valores por debajo del 1%; presenta un núcleo de máximas intensidades

en mayo, junio, julio y agosto y en conjunto los valores medios para los meses señalados presenta un monto de 567 mm; durante el mes que muestra la máxima persistencia (junio) toma valores que van desde los 40 mm registrados en 1990 hasta los 449 mm ocurridos el 2000; comenzando la época seca en septiembre, la media disminuye a montos inferiores a 62,8mm.

En la época de lluvia, Nueva Imperial (Figura 6c) aporta en promedio entre los meses de mayo-agosto un 59% de la precipitación anual, mientras que la época seca empieza en septiembre extendiéndose hasta abril, aportando en promedio el 40% de la precipitación total anual. Además, la variabilidad no es igual de importante en los doce meses del año. Así, mientras que junio presenta una dispersión máxima desde tan sólo 109,8 mm recogidos en 1980, hasta 286,6 mm en 2003; mayo le sigue con valores que van desde 9,9 mm recogidos en el año 2004, hasta 326,8 mm ocurridos en el año 2005. Igualmente destacan precipitaciones mensuales superiores a 300 mm, las que se han registrado dos veces en el mes de mayo y una vez en agosto.

A partir de los 40°S, representado por San Pablo (Figura 6d), se presenta un régimen lluvioso mas repartido por todo el año, con un máximo en invierno. Posee una media anual de 1352 mm para la serie estudiada. San Pablo durante los meses de invierno aporta un 58% de la precipitación anual. Al igual que en las tres estaciones antes mencionadas, junio es el mes más lluvioso, donde sus valores van desde 93,4 mm en 1987 hasta alcanzar 599,3 mm en 1993. Sin embargo, de acuerdo a las cantidades máximas mensuales registradas y el mes de ocurrencia para toda la serie de San Pablo, su máxima corresponde al mes de mayo de 1993 con 622,9 mm; en el lado opuesto, la precipitación mínima anual se registró en el mes de junio de 1988, con 136,5 litros por metro cuadrado. Una buena parte de las precipitaciones máximas mensuales se han producido en los meses de mayo y junio (32%); seis en julio, dos en agosto y septiembre, y tan sólo una ocasión en octubre.

En un 25% de los casos la precipitación máxima anual en San Pablo es inferior a los 226,9 mm mientras que existe un 75% de probabilidad de que sea inferior a 349,0 mm. Se ha observado también que los valores se concentran en grupos bien diferenciados, el primero de ellos corresponde a precipitaciones que oscilan entre los 136 y 191 mm; un segundo grupo aglutina los valores máximos mensuales en un rango que oscila entre 210 y 257 mm; el grupo

tres contiene precipitaciones de 275 a 290 mm; las agrupación siguiente es la precipitaciones más elevadas que 300 y 400 mm.

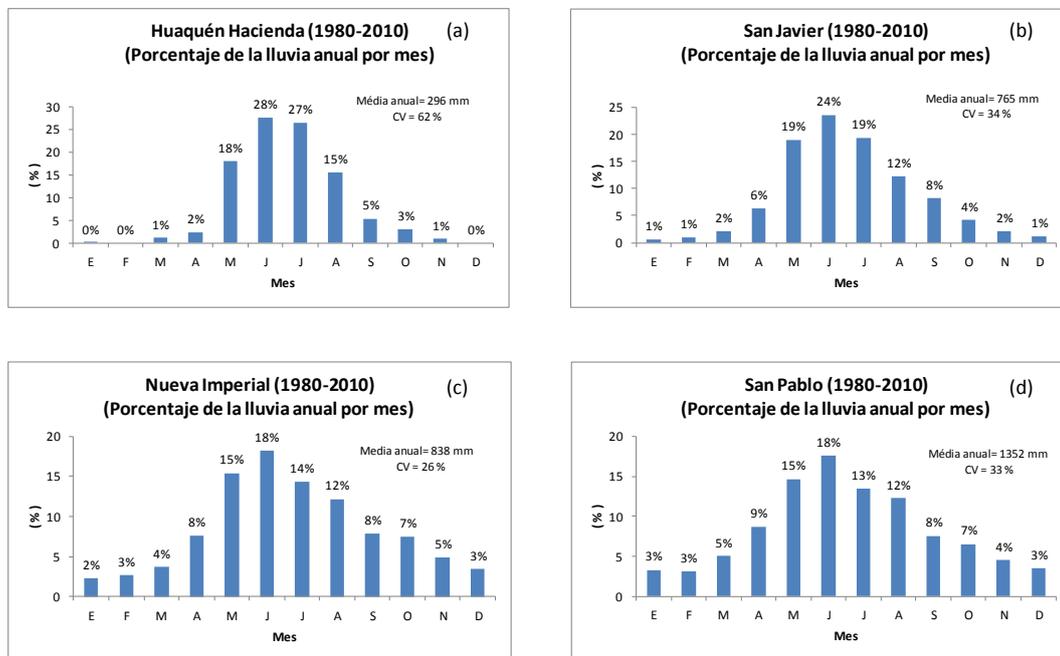


Figura 6. Gráficas de distribución porcentual por mes de la lluvia para cuatro estaciones pluviométricas: (a) Huaquén Hacienda, (b) San Javier, (c) Nueva Imperial y San Pablo (d). (Período 1980-2010). (Fuente: Elaboración propia).

5.2 Análisis de las precipitación máximas en 24 horas

5.2.1 Distribución de los valores máximos diarios

En este apartado se ha realizado un análisis de las lluvias diarias extremas a partir de las series de valores máximos anuales de precipitación en 24 horas correspondiente a las 46 estaciones estudiadas.

Cabe señalar que la precipitación es la variable que presenta mayor oscilación en el transcurso del tiempo, por lo tanto estas series no siguen un patrón constante aunque a partir de ellas se pueden diferenciar los períodos más lluviosos o los más secos dentro de una escala de tiempo; las precipitaciones máximas están sujetas a múltiples factores, chubascos cortos pero intensos o también un largo período de días de lluvias.

En las Figuras 7, 8, 9 y 10 se muestran las precipitaciones máximas en 24 horas caídas a lo largo de la serie de acuerdo a su distribución, para cada uno de los meses del año. Realizando el análisis por regiones y continuando con el esquema anterior en función del incremento latitudinal se tiene que en la región de Valparaíso al norte de la zona estudiada, el comportamiento de las precipitaciones se presenta de manera uniforme en la mayoría de las estaciones, extendiéndose desde el mes de abril hasta el mes de septiembre con máximos claramente definidos durante los meses de junio, julio y agosto. Tal es el caso de la estación Huaquén Hacienda (Figura 7) donde el 32% de los años estudiados la cantidad más elevada se registra en el mes de junio, iniciándose el incremento pluviométrico en el mes de abril con una frecuencia del 3% y extendiéndose hasta el mes de septiembre también con un 3%.

Tomando como referencia, el conjunto de estaciones analizadas en la región Metropolitana (XIII), se puede ver que en la distribución de las precipitaciones hay un desplazamiento temporal del final de la época lluviosa de septiembre hacia noviembre, con relación a la zona de Valparaíso, pudiendo estar influenciado por la ubicación geográfica de dichas estaciones hacia la zona este próximas a la cordillera de los Andes. Es importante destacar, el caso de la estación Tobalaba (Figura 7) ubicada en la región Metropolitana que cuenta con una data de registros diarios de precipitaciones máximas, en ella se observa que el 32% de los años estudiados la cantidad más elevada se evidencia en el mes de julio y un 12% aparece en los meses de mayo y junio.

En cuanto a las estaciones ubicadas en la Sexta región (Libertador General Bernardo O'Higgins) se puede observar que a diferencia de la tendencia de la región Metropolitana el período pluviométrico se inicia en algunas zonas en el mes de febrero y se extiende hasta septiembre (ver Figura 8), como ocurre en la estación Las Arañas, donde el 23% de los años estudiados la cantidad más elevada se registra en el mes de julio, seguido por mayo y agosto con un 19%, iniciándose el período de lluvias en el mes de febrero con una frecuencia del 3%.

Una vez que se avanza hacia latitudes mayores, en la región del Maule (VII) se observa que la distribución de la precipitación no sigue un patrón definido en las nueve estaciones estudiadas (ver Figura 8 y 9), solo en dos de ellas las ubicadas más hacia el sur que presentan una amplia distribución de las lluvias a lo largo del año pero con diferencia en su frecuencia que se concentra en el mes de junio con valores mayores al 35%; las cuales se inicia en el mes de febrero y se extienden hasta los meses de noviembre y diciembre para Bullileo Embalse y Digua Embalse respectivamente; este tipo de distribución también puede observarse en el caso de la estación San Javier donde predomina el mes de junio con un 26% de frecuencia, sin embargo los valores de frecuencia son mayores en relación a los casos mencionados anteriormente. La región del Bío-Bío (VIII) también presenta un comportamiento similar a la región del Maule, donde la variación en la amplitud no sigue un patrón en su comportamiento.

En las Figuras 9 y 10 en relación a las estaciones de la región de La Araucanía (IX), se advierte un comportamiento de aumento en la amplitud de la distribución de las precipitaciones a medida que aumenta la latitud. Este misma situación recae para las regiones de Los Ríos (XIV), Los Lagos (X) y de Aysén (XI), donde la amplitud se extiende desde el mes de enero hasta el mes de diciembre. Para el caso de la estación Nueva Imperial, ubicada en la Novena región (Figura 10) se puede notar que la amplitud en el período lluvioso se extiende desde el mes de marzo hasta el mes de noviembre, presentando la mayor frecuencia durante los meses de mayo y junio, siendo el máximo el mes de junio con un valor de 35%. Coincidentemente, en la zona sur, específicamente en la estación San Pablo, ubicada en la decimo Cuarta región (Figura 10) se observa que el mes de junio corresponde al de mayor precipitación con un 26%, las precipitaciones se inician en el mes de enero con un 3% y se extienden hasta diciembre con un 6% de frecuencia, con una interrupción durante los meses

de octubre y noviembre, lo que implica un período pluviométrico que se prolonga durante todo el año en esa región.

En términos generales, las Figuras 7, 8, 9 y 10 advierten que en la zona central las precipitaciones se producen de forma casi exclusiva en la estación invernal (junio, julio y agosto), coincidiendo con informaciones que indican que los temporales de gran magnitud en el país se registran aproximadamente al sur de los 28° de latitud sur, y especialmente en los meses de otoño e invierno; también se observa que a medida que disminuye el efecto orográfico hacia el sur, debido a la disminución de altura de ambas cordilleras en el territorio nacional; las precipitaciones siguen siendo intensas, pero uniformes.

El aumento de las precipitaciones es la causa más general de las inundaciones súbitas, y junto con los deshielos, de los desbordes de ríos. Un ejemplo de esto es lo ocurrido en 1997 producto del fenómeno El Niño, donde las intensas e inusuales lluvias provocaron numerosos y diversos daños, especialmente en la agricultura en la zona central de Chile (Curihuinca y Piuzzi, 2004).

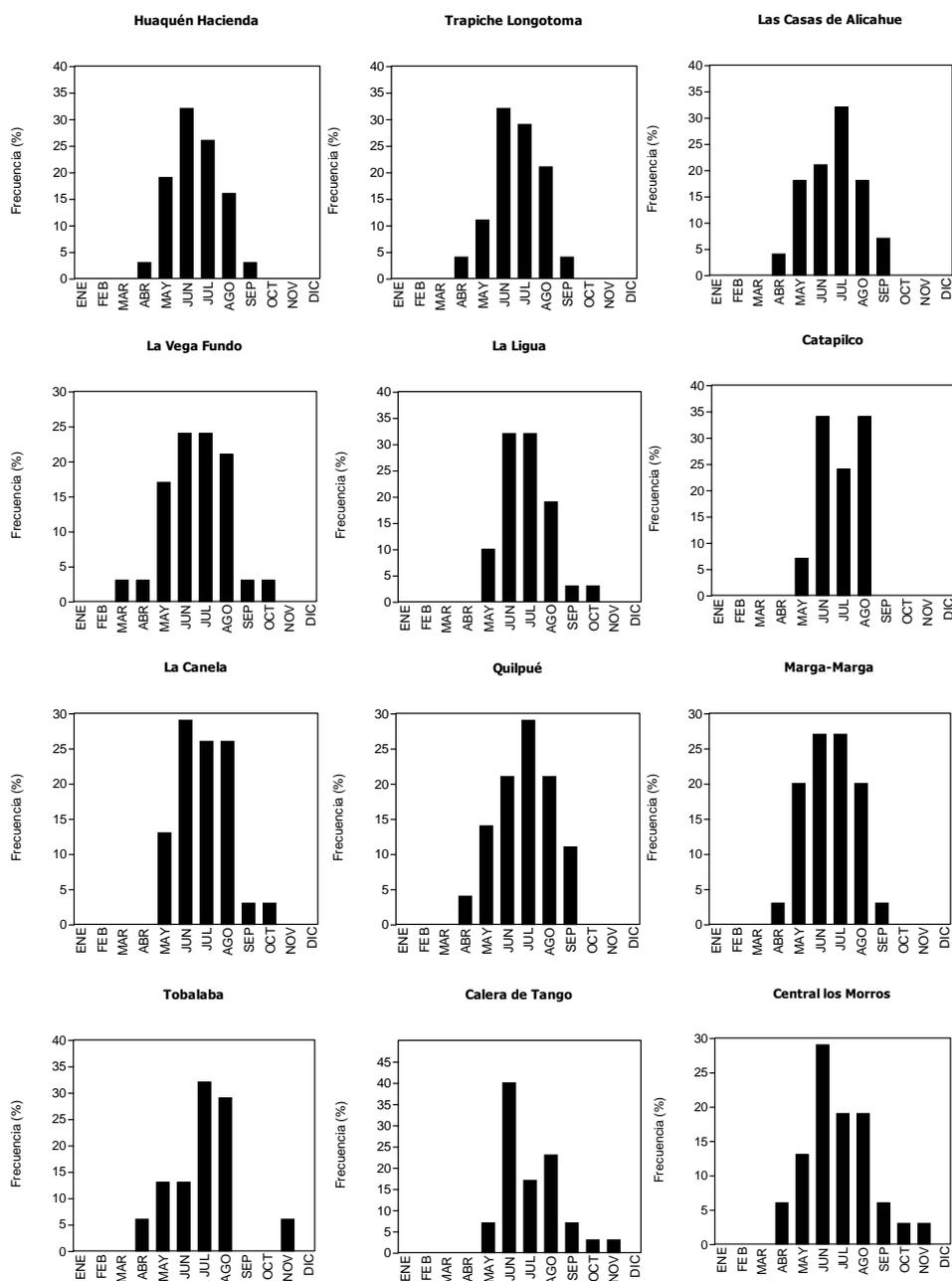


Figura 7. Distribución mensual de las precipitaciones máximas en 24 horas. (En barra negra frecuencia con que se presentan en cada mes para el período de análisis 1980-2010). (Fuente: Elaboración propia).

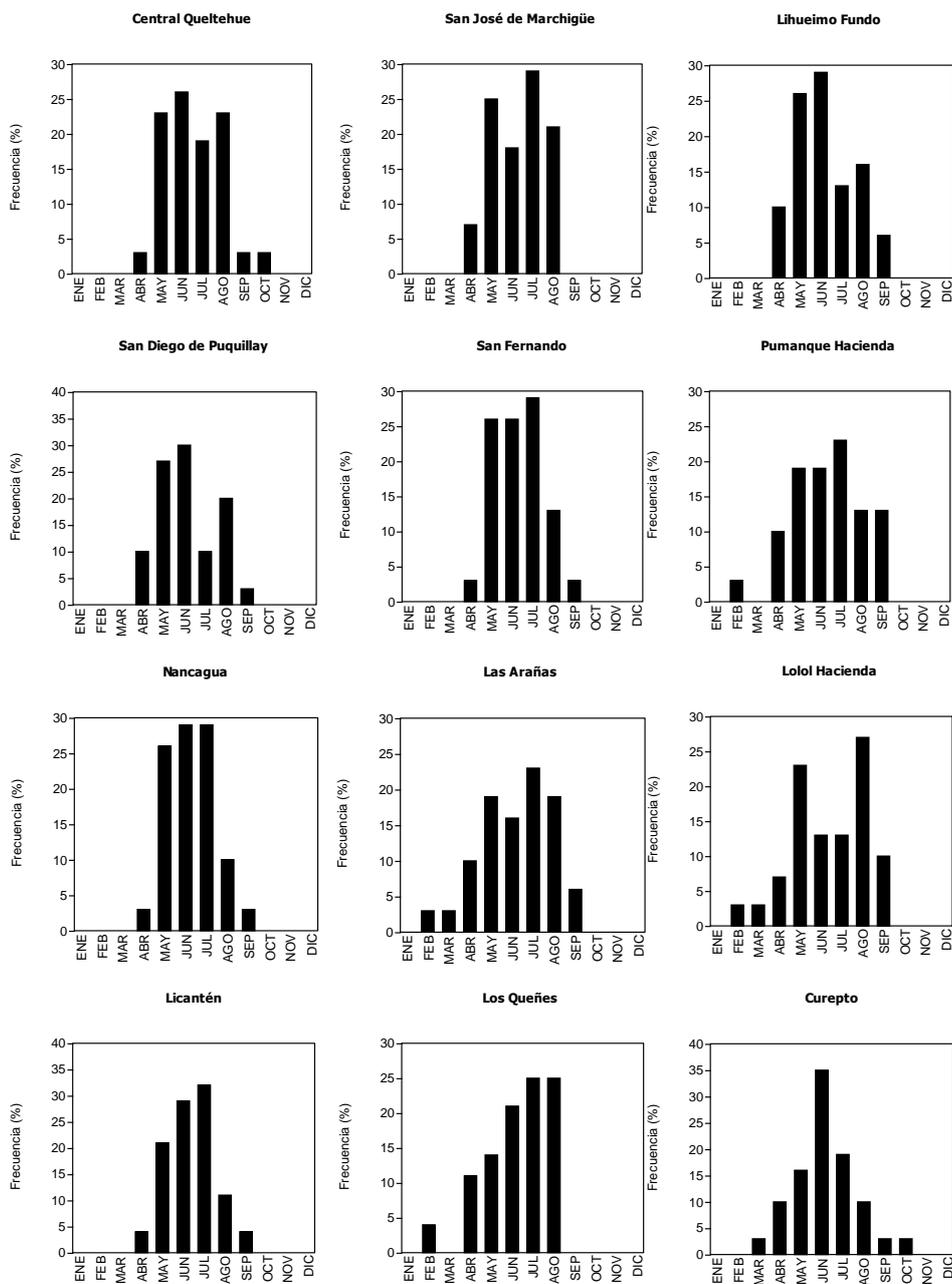


Figura 8. Distribución mensual de las precipitaciones máximas en 24 horas. (En barra negra frecuencia con que se presentan en cada mes para el período de análisis 1980-2010). (Fuente: Elaboración propia).

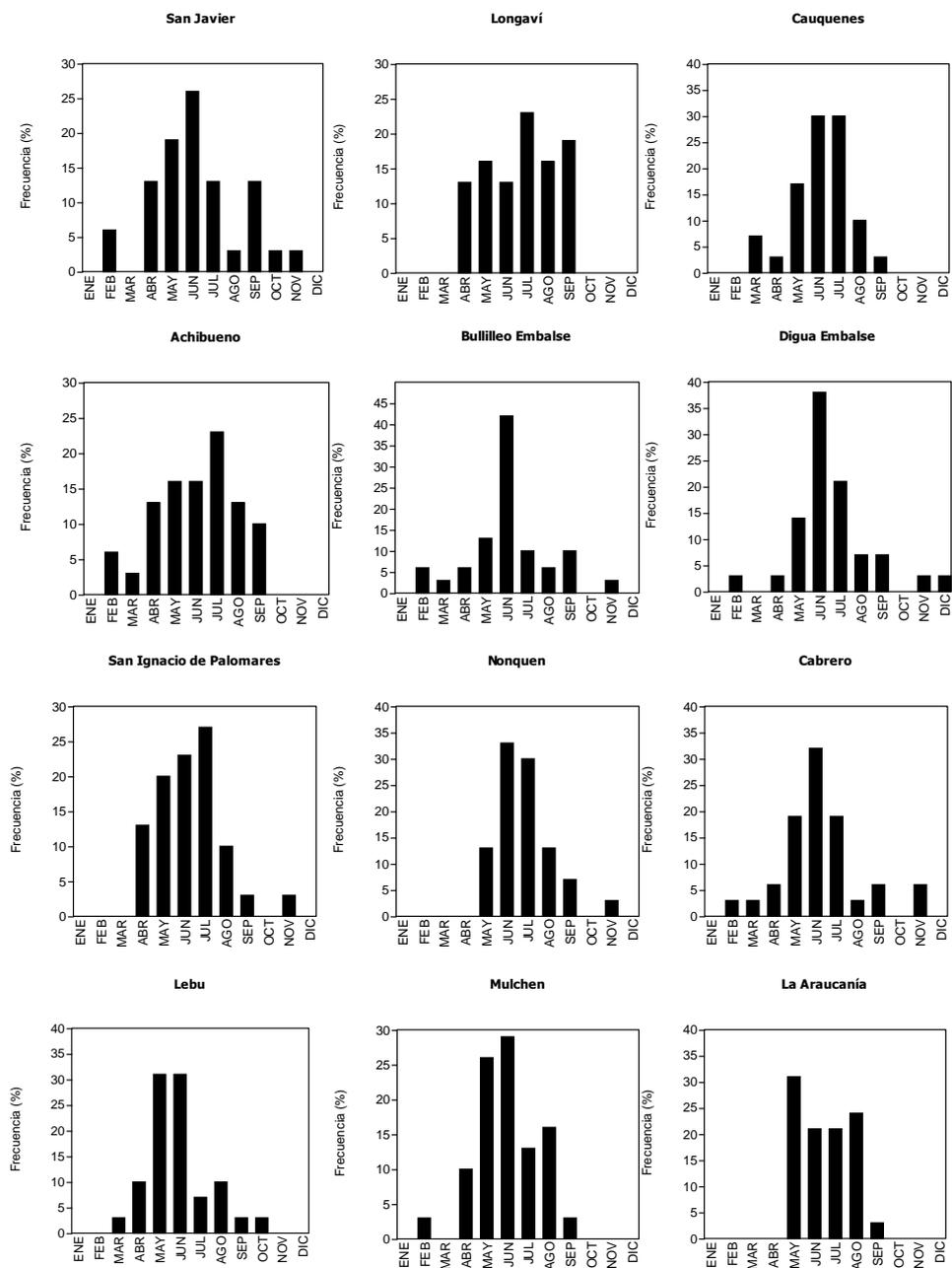


Figura 9. Distribución mensual de las precipitaciones máximas en 24 horas. (En barra negra frecuencia con que se presentan en cada mes para el período de análisis 1980-2010). (Fuente: Elaboración propia).

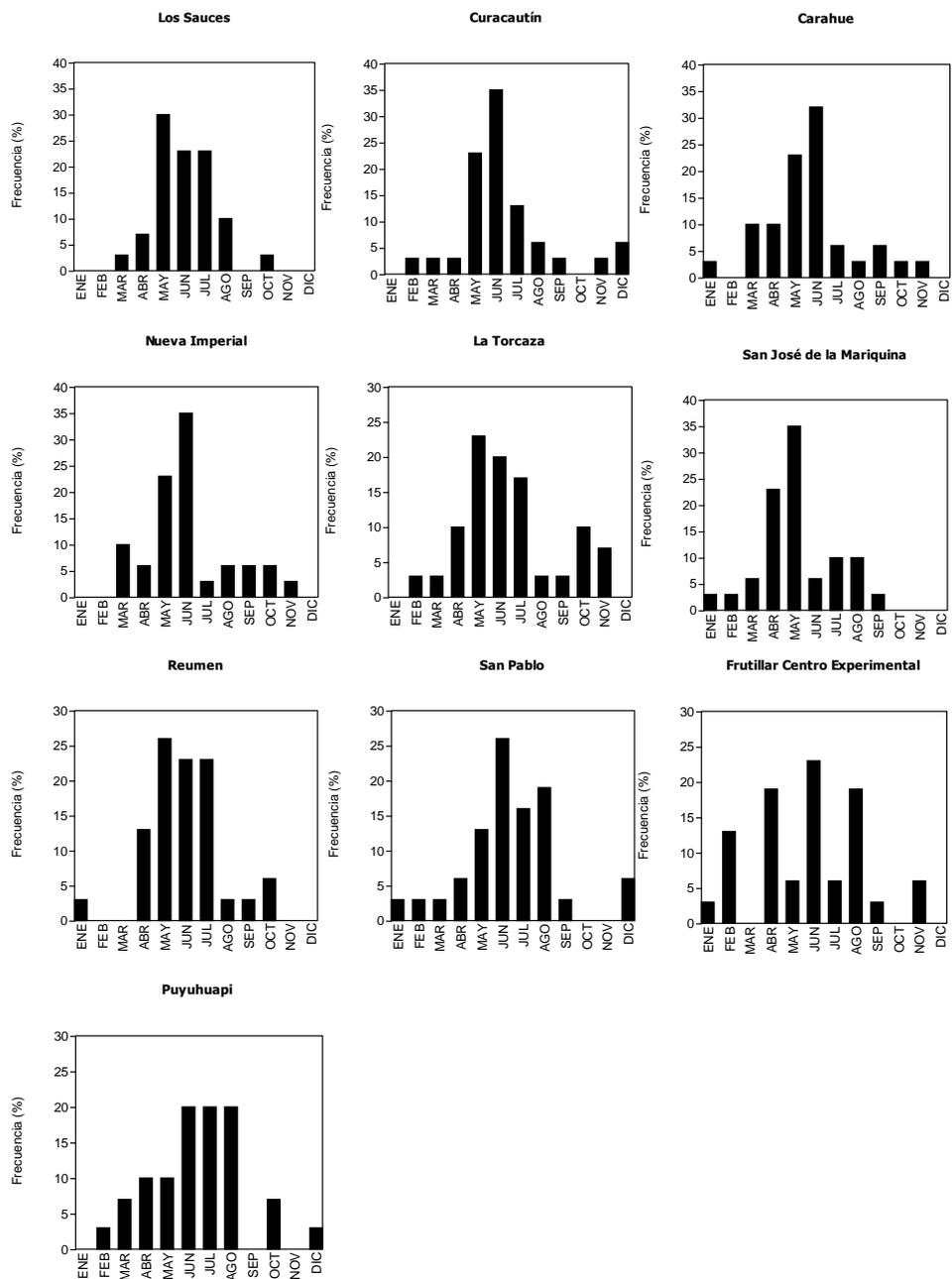


Figura 10. Distribución mensual de las precipitaciones máximas en 24 horas. (En barra negra frecuencia con que se presentan en cada mes para el período de análisis 1980-2010). (Fuente: Elaboración propia).

Para completar el presente análisis de los regímenes de precipitación mensual en la Figura 11 se ilustra de forma esquemática el área de estudio comprendida en función al mes de máximas intensidades.

El mes de mayo se observa en un área centrada aproximadamente entre las latitudes 38°a 40°sur, la zona agrupa la cordillera de los Andes, depresión intermedia y planicies litorales en la región de La Araucanía, mientras que en la región de Los Ríos cubre casi la totalidad.

La distribución de precipitaciones máximas en el mes de junio se extiende a diferentes sectores de toda el área de estudio; al norte prevalece en tres sectores (planicies, depresión intermedia y cordillera de los Andes) de las tres regiones más meridionales (Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins); al oeste de la región del Maule sobre la depresión intermedia y planicies litorales, al este y parte del sur-oeste de región del Bío-Bío y una zona hacia el oeste de la Araucanía, de igual manera el mes de junio presenta predominio en la totalidad de la región de Los Lagos.

El mes de julio cubre mayormente la zona norte del área de estudio, en el sector de la cordillera de los Andes y parte de la depresión intermedia en las regiones Metropolitana y Valparaíso (incluyendo parte del litoral) y en gran parte de la región de O'Higgins. En la zona sur precordillerano de la región del Maule y en un sector de las planicies del litoral al norte de la región del Bío-Bío también despunta el mes de julio.

En la Figura 11 se puede observar, que en el caso de la región de Aysén el mes predominante es agosto en la totalidad de su superficie; también se destaca este mes al norte de la cordillera de la región del Maule, en parte de la región de O'Higgins y en parte del valle central de la región del Valparaíso.

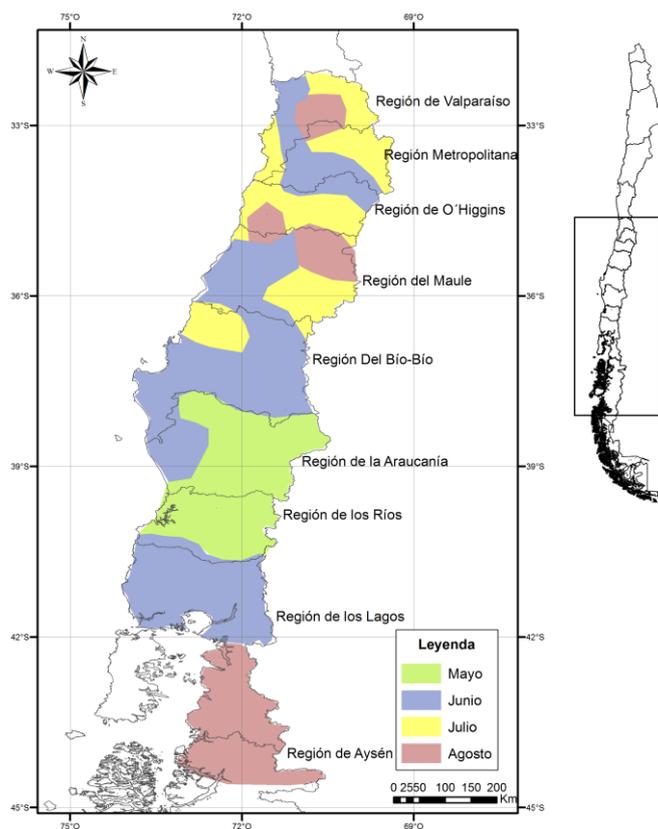


Figura 11. Distribución esquemática de los máximos pluviométricos en los meses con mayor porcentaje de casos. Períodos de análisis 1980-2010. (Fuente: Elaboración propia).

5.2.2 Calendario de ocurrencia

En pluviometría tiene interés no sólo considerar la cantidad de precipitación por frecuencia, sino también por la fecha, por tal motivo se ha construido un calendario pluviométrico de las precipitaciones máximas en 24 horas para la estación Tobaraba, debido a que se cuenta tanto con los registros diarios como con las fechas concretas de sus eventos extremos.

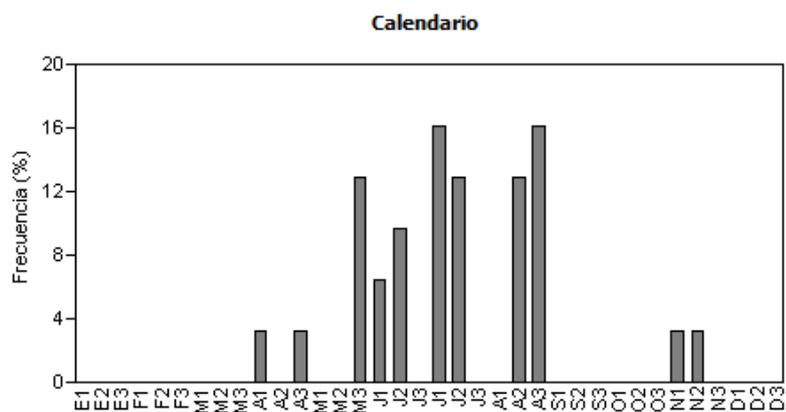


Figura 12. Calendario de las precipitaciones máximas diarias.

En la Figura 12, se observa la existencia de un régimen con doble máximo en el período invernal con frecuencias más altas durante la primera decena de julio y la tercera decena del mes de agosto con un 16%, seguido por el mes de mayo, donde se alcanzó durante la segunda decena, con un 12,9%, siendo entonces los períodos de mayor riesgo pluviométrico.

5.2.3 Percentiles de precipitación máximo

El análisis de la distribución de los percentiles se muestra a través de mapas de isoyetas con equidistancia de 10 mm. En el anexo A2.2 se dispone de los valores de percentiles calculados en base a las distribuciones empíricas registradas para cada estación.

En la Figura 13 se puede notar que en el 10% de los años la lluvia máxima anual sobrepasa los 61 mm principalmente en la región de Los Lagos, lo que quiere decir que en el 90% queda por debajo de esa cantidad; En el PE90 las precipitaciones máximas van desde menos de 90 mm hasta un máximo de 185 mm. Las zonas con mayores niveles de precipitación extremas se concentran en las cercanías a la cordillera de los Andes en la región del Bío-Bío donde existe una probabilidad de un 10% que los 185 mm sean superados; en tanto en la región de Valparaíso y región de Los Ríos encontramos que hay un 90% de probabilidad que las precipitaciones extremas no superen los 100 mm.

Al analizar los PE90 y PE95 se observan diferencias en la ubicación de las máximas, puesto que para el PE90 la zona que en consecuencia abarcaría mayor riesgo comprende parte de la cordillera Andina al norte de la región del Bío-Bío en las cercanías de latitud 37°S,

con una intensidad que puede superar los 185 mm, en tanto para PE95 la zona de mayor riesgo se encontraría concentrada en la cordillera de la Costa de esta misma región.

Se evidencia un área localizada de las precipitaciones en el litoral de la región de Valparaíso que varían entre los 120 y 140 mm para el decil 9, y entre 140 y 170 mm para PE90 y PE95.

El PE95 presenta cuatro áreas definidas, la primera en el litoral de Valparaíso donde se observa que las precipitaciones no superan los 140 mm, a diferencia de las regiones Metropolitana y O'Higgins las cuales en un 5% sobrepasarían los 100 mm. Avanzando hacia latitudes mayores se encuentra que para la región del Bío-Bío a la altura de la cordillera de la Costa el 5% de los umbrales sobrepasaría los 220 mm coincidiendo con ser la región en consecuencias abarcaría mayor riesgo; al sur de los 39° de latitud sur se observa umbrales menores respecto a la zona de estudio las cuales presentarían valores por debajo de los 100 mm.

Las mayores diferencias se observan en el PE99 con valores superiores a los 240 mm para las regiones del Maule, Bío-Bío, y el litoral de la región de Valparaíso y van desde menos de 70 mm sobre el suroeste de La Araucanía y en gran parte de la región de Los Lagos

Por ello es de esperar que en las distintas regiones los umbrales de lluvia extrema sean diferentes, así se sugieren dos umbrales para los dos extremos encontrado en el PE90, el primero con 60 mm en 24 horas y el segundo con 120 mm en 24 horas.

A partir de los percentiles calculados se evaluó el porcentaje con precipitación para los casos totales de eventos contenidos en el percentil 95 (PE95). Desde la región de Valparaíso hasta la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, en el período de análisis se observó que un 6,14% de los máximos valores se encuentran por sobre el umbral, en tanto entre las latitudes 35°S a 38°S, correspondiente a las regiones del Maule y el Bío-Bío se observan que los eventos que superan el umbral representan a un 6,7%; mientras que entre los 38° a 45° de latitud sur se observa que el 7% que las máximas anuales del período superan los valores calculados para el PE95.

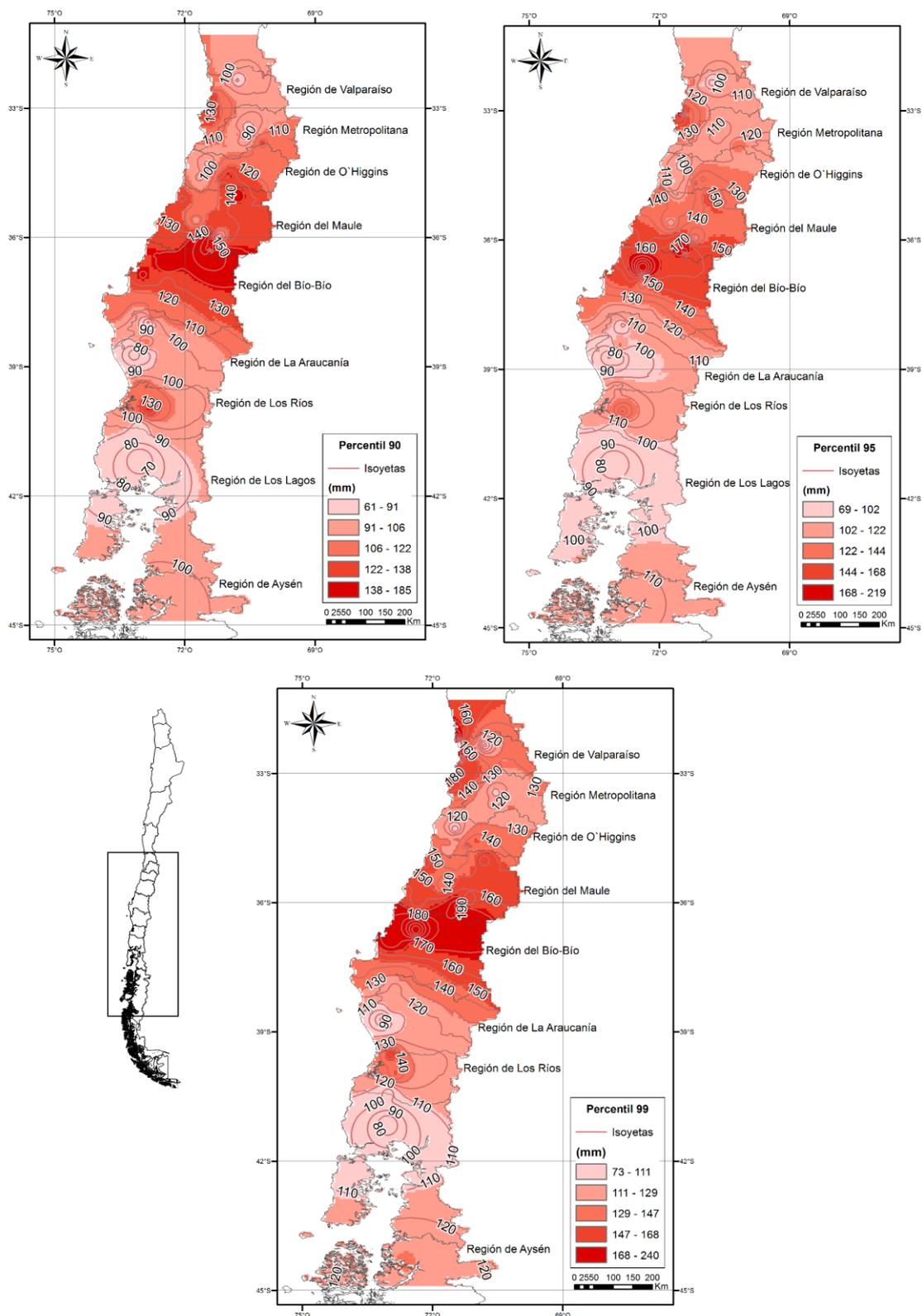


Figura 13. Valor de evento extremo para los percentiles 90, 95 y 99 de las precipitaciones anuales máximas en milímetros. Período de análisis 1980-2010. (Fuente: Elaboración propia).

5.2.4 Distribución de probabilidad, cálculo y representación espacial de los distintos períodos de retornos

5.2.4.1 Ajuste de datos a una distribución de probabilidades

En las Figuras 14 se muestran histogramas obtenidos a partir de las informaciones de las máximas precipitaciones diarias anuales para las 46 estaciones de la serie 1980-2010 (ver anexo A2.1) organizadas de norte a sur. Se obtuvo que 42 estaciones poseen sesgo positivo (cola a la derecha), tal como corresponde a valores de extremos máximos; con excepción de las estaciones Central Queltehue, Los Queñes, Reumen y Puyuhuapi, las cuales poseen curva de asimetría negativa (sesgo a la izquierda). Esto significa que es más probable la ocurrencia de años por debajo de la media.

Cabe señalar que entre los distintos ajustes de distribución de probabilidad utilizados para cada estación se encuentran: Log-Pearson tres parámetros, Burr cuatro parámetros, Inverso Gaussian tres parámetros, Dagum, y Rice entre otros; sin embargo se determinó que las distribuciones propuesta por el programa EasyFit con mejor ajuste a los datos fueron Gumbel Max y Weibull, la primera se ajusta satisfactoriamente a la gran mayoría de estaciones de este trabajo, resultando consistente con lo señalado por Garrido (1992) y Koutsoyiannis (2003), quienes citan que para valores extremos esta función es una de las más adecuadas. Por su parte la función Wakeby se sitúa como una de las funciones más aceptadas del conjunto estadístico para las estaciones La Vega Fundo, La Ligua, Marga-Marga, ubicadas en la región de Valparaíso; Lihueimo, San Diego de Puquillay, Pumanque Hacienda, en la región de Lib. Gral. Bernardo O'Higgins; Curepto, San Javier, Cauquenes, Bullileo Embalse, región del Maule; San Ignacio de Palomares, región del Bío-Bío; Los Sauces, en la región de La Araucanía y Reumen, en la región de Los Ríos.

Cabe señalar que para las estaciones Central Queltehues ($33^{\circ}48'S$), Las Arañas ($34^{\circ}42'S$), Los Queñes ($35^{\circ}01'S$) y Puyuhuapi ($44^{\circ}19'S$) sólo se muestran las funciones de distribución de ajuste de Gumbel Max y de Weibull; se aprecia que la distribución log normal propuesta por el programa no presenta una respuesta o representación adecuada para estos casos. Esto fue posible concluirlo por medio de la observación directa de los resultados que se presentaron para esta distribución; para tales efectos, aun cuando puedan considerarse estos

resultados de carácter sólo referencial, se excluyeron los resultados entregados por dicha distribución para hallar el período de retorno.

Una situación similar ocurre con la estación Lolol Hacienda (34°45'S) y Cauquenes (35°58'S), presentando en común la función de distribución Gumbel Max, con diferencia en la función Rice y Wakeby respectivamente.

Se observa para las estaciones Las Casas de Alicahue (32°21'S), Tobalaba (33°27'S) Calera de Tango (33°37'S) y Longaví (35°58'S) que las tres distribuciones empleadas poseen una representación de ajuste similar; donde un 16% de las fechas máximas diarias anuales en la estación Las Casas de Alicahue región de Valparaíso tiene una precipitación entre 30 mm y 40 mm y un 2% no superan los 80 mm. Mientras que en la estación Calera de Tango un 18% de las fechas máximas diarias anuales tiene una precipitación entre 40 y 60 mm y un 5% no superan los 110 mm. A diferencia de Las Casas de Alicahue, la estación Longaví presenta un 22% de precipitaciones entre los 60 mm y 70 mm, sin embargo el 3% no superan los 120 mm.

Se visualiza que los valores comprendidos entre los 40 mm a 60 mm son predominantes en las estaciones Huaquén Hacienda (32°18'S), La Ligua (32°27'S), Catapilco (32°34'S), Calera de Tango (33°37'S), Tobalaba (33°27'S) y Central los Morros (33°39'S), de las cuales las tres primeras se ubican en la región de Valparaíso y las tres restantes en la región Metropolitana. Esto coincide con los resultados de los máximos valores de los coeficientes de variación de la pluviometría anual (Figura 5).

En las gráficas (Figura 14) los valores de precipitación más frecuentes se agrupan en torno a los 60 y 80 mm, incumbiendo a un número considerable del área de estudio. Entre los valores de 80 mm a 100 mm, se encuentra las estaciones Nancagua, ubicadas en la región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins; Digua Embalse y Achibueno, región del Maule; San Ignacio de Palomares, región del Bío-Bío y San José de la Mariquina, región de Los Ríos.

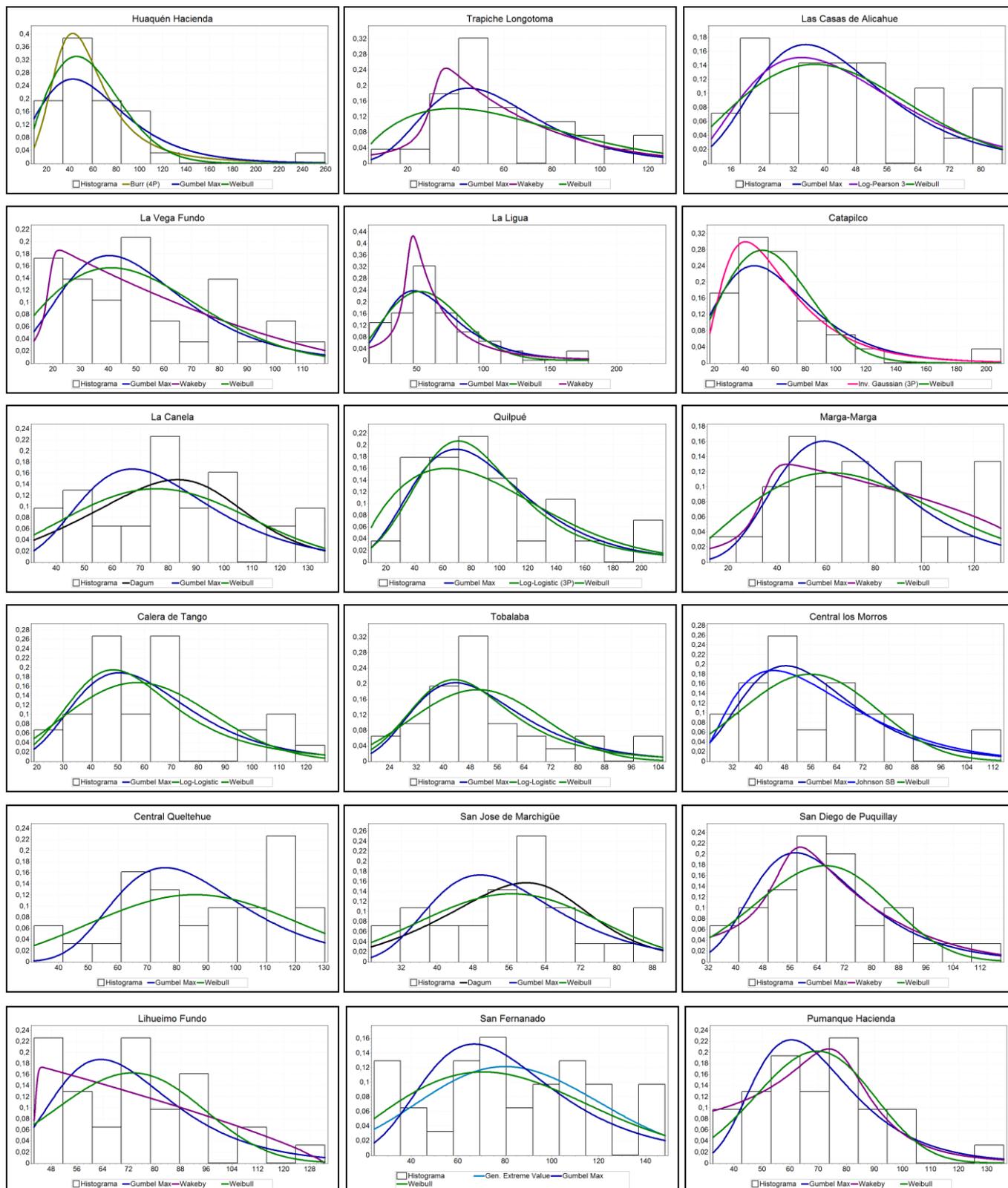


Figura 14. Histograma función de distribución de probabilidad anual con un intervalo de clase de 10mm y ajuste probabilístico mediante las distribuciones de Gumbel Max, Weibull y la mejor según el paquete estadístico de los máximos anuales de precipitación para el período de 1980-2010. El eje X representa precipitación alcanzada para una probabilidad indicada por eje Y. (Fuente: Elaboración propia).

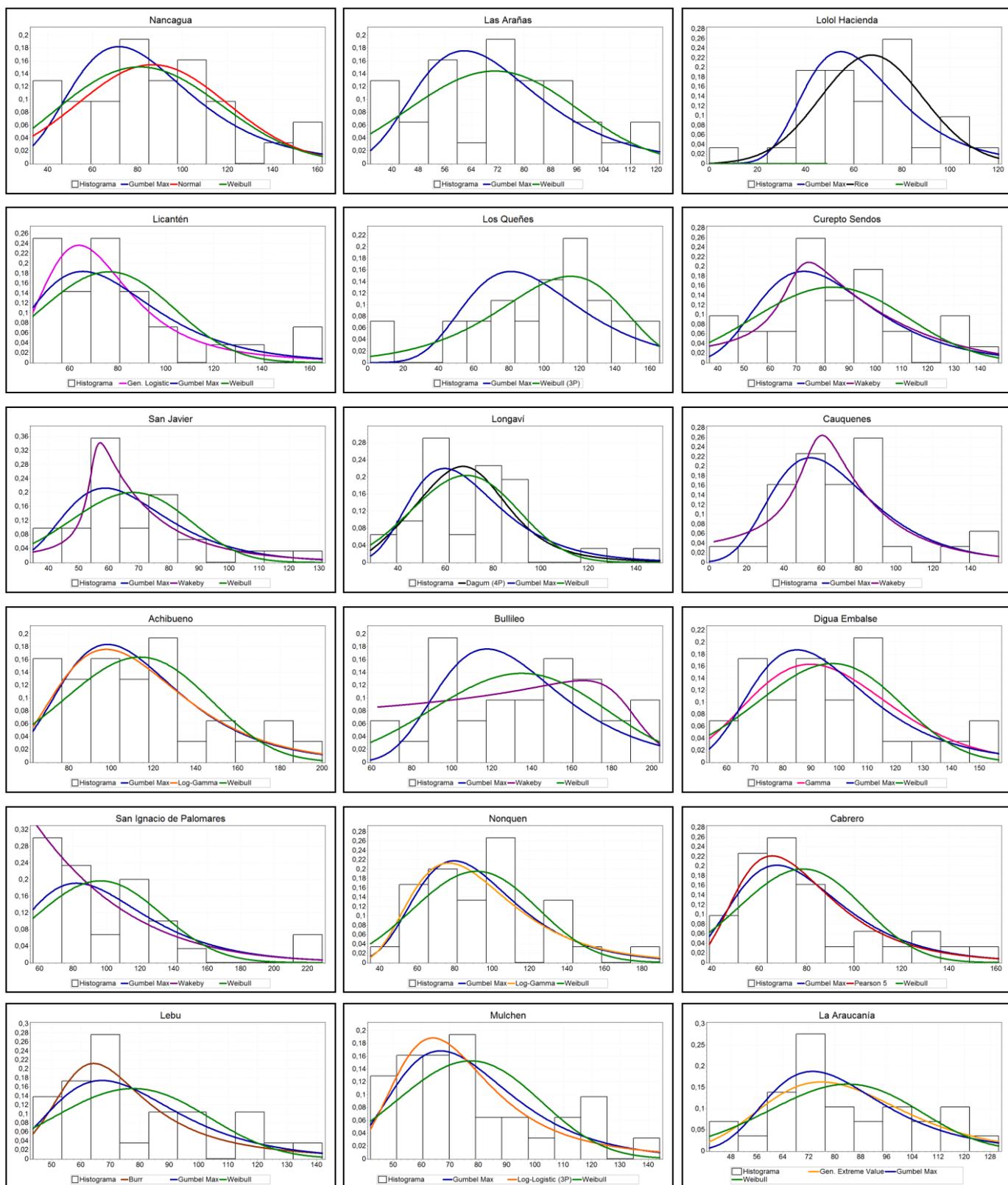


Figura 14. Histograma función de distribución de probabilidad anual con un intervalo de clase de 10mm y ajuste probabilístico mediante las distribuciones de Gumbel Max, Weibull y la mejor según el paquete estadístico de los máximos anuales de precipitación para el período de 1980-2010. El eje X representa precipitación alcanzada para una probabilidad indicada por eje Y (Fuente: Elaboración propia).

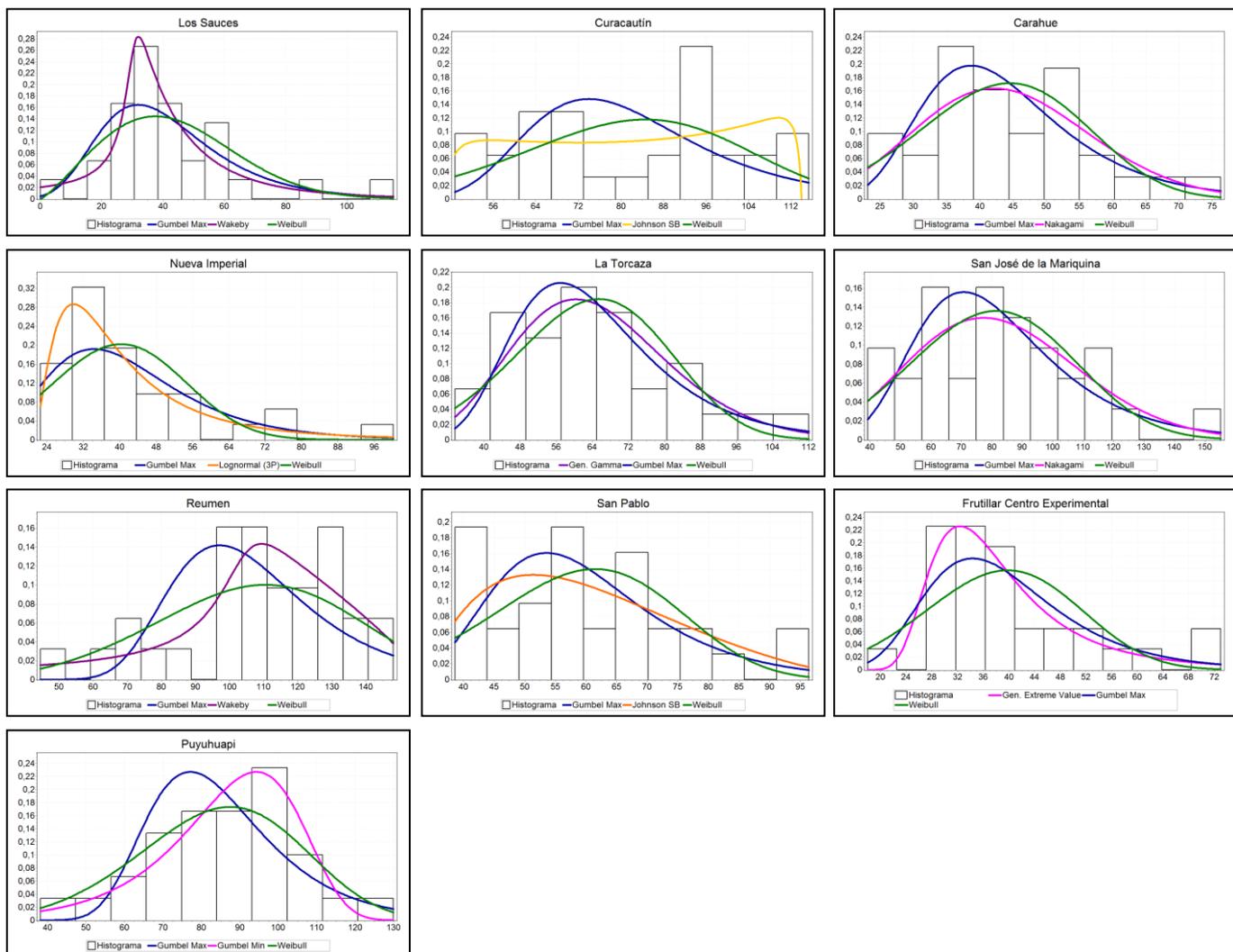


Figura 14. Histograma función de distribución de probabilidad anual con un intervalo de clase de 10mm y ajuste probabilístico mediante las distribuciones de Gumbel Max, Weibull y la mejor según el paquete estadístico de los máximos anuales de precipitación para el periodo de 1980-2010. El eje X representa precipitación alcanzada para una probabilidad indicada por eje Y. (Fuente: Elaboración propia).

De igual manera se puede ver que las estaciones de Quilpué, Huaquén Hacienda y Catapilco ubicadas al norte del área de estudio presentan una mayor dispersión en comparación con el conjunto de las estaciones analizadas, ya que a mayor valor de la desviación estándar (50, 45 y 38 respectivamente) mayor es la dispersión de los datos, concordando con la variabilidad multianual observada en la Figura 4 relativa a la precipitación anual del período.

Por el contrario las estaciones que presentan una menor dispersión se encuentran en la zona sur, que corresponden a Frutillar, Carahue, San Pablo y Nueva Imperial, con valores de desviación estándar que van desde los 12 a los 17.

5.2.4.2 Períodos de retornos de las precipitaciones máximas

En el anexo A2.3 constan los parámetros necesarios para conocer la probabilidad de ocurrencia teórica de un evento específico a través de las funciones de distribución de probabilidades antes citadas; además del análisis de bondad de ajuste.

Sobre la base de lo anterior y dado que cada distribución posee su propia dispersión, se hace necesario realizar un promedio de los tres mejores ajustes. Así se realiza el cálculo de los diferentes períodos de retorno.

En la Tabla 3 se observa que en la mayoría de los casos los eventos estimados se sitúan entre 80 mm y 100 mm para 5 años de recurrencia; entre 90 mm y 130 mm para los 10 años de recurrencia; entre 120 y 160 mm para los 50 años de recurrencia; 130 mm y 170 mm para los 100 años de recurrencia, 140 mm y 190 mm para los 200 años de recurrencia, 170 mm y 230 mm para los 500 años de recurrencia.

El valor para el período de retorno de 100 años, puede interpretarse como un estimador del riesgo de precipitaciones extremas en un lugar, y se considera un importante umbral para la activación de procesos de envergadura como la aplicación en cauces, entre otros (García Ruiz, 2003).

Podemos apreciar que las precipitaciones intensas ocurren con cierta frecuencia, ya que en un corto período de 5 años encontramos para 13 estaciones cantidades superiores a 100 mm, lo que equivale al 28% del total de estaciones del área de estudio, por señalar algunas, Quilpué, ubicada en la región de Valparaíso; San Fernando y Nancagua, en la región del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, y Curepto, en la región del Maule.

En el análisis del evento estimado de 5 años, el valor máximo se encuentra en la región del Maule en la estación Bullileo Embalse, con 166,7 mm, mientras que el mínimo se encuentra en la estación Frutillar, en la región de Los Lagos, con 48,3 mm. Con respecto al período de retorno de 50 años se encuentra una magnitud máxima estimada que va desde los 70,3 mm hasta 230 mm, mientras que para los 100 años la magnitud estimada va desde 77 mm hasta 263,3 mm; y entre los 81,3 a 300 mm para un período de 200 años.

Para el período de 500 años se halla que la estación Quilpué presenta la precipitación extrema más alta llegando a 350 mm, por contraparte en la estación Carahue la precipitación extrema se mantiene baja respecto a las otras con 86,7 mm.

Se observa que hasta el período de retorno de 100 años las estaciones Los Queñes, Achibueno, Bullileo Embalse y San Ignacio de Palomares sobrepasan los 200 mm, mostrando ser los lugares donde ocurren las precipitaciones más intensas, mientras que las Casas de Alicahue, San José de Marchigüe, Los Sauces, Carahue, Nueva Imperial, La Torcaza, San Pablo, y Frutillar se mantienen por debajo de los 110 mm, siendo las estaciones donde se observa la menor precipitación extrema.

Podemos destacar la similitud de valores de intensidades entre estaciones como es el caso de la estación Carahue, región de La Araucanía y Frutillar, región de Los Lagos, las que presentan intensidades de 77,7 mm para un período de retorno de 100 años; como también para valores de 120 mm en el período de retorno de 10 años para la estación La Canela, región de Valparaíso, y Curepto, región del Maule.

La mayor cantidad de estaciones se ubica en el intervalo de 101 a 200 mm para los períodos de retorno de 50 y 100 años. El evento más extremo lo representa el intervalo de 301 a 350 mm de precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 500 años. Para un período de 10 años se observa un total de 19 estaciones ubicadas entre los 51 mm a 100 mm, le sigue el intervalo 101 mm a 150 mm, con 23 estaciones, y el máximo oscila entre los 151 a 200 mm con solo cuatro estaciones.

Para los períodos de 50 años, 24 estaciones toman valores de 101 a 150 mm, seguido por magnitudes de 151 a 200 mm para 13 estaciones. Con respecto al período de retorno de 100 años; son 21 las estaciones que adquieren valores de 151 a 200 mm, además este período estimado posee una estación en un rango elevado de lluvias máximas (251-300 mm), adjudicada a la estación Quilpué, lo que es coherente con lo antes expuesto para el período de 500 años.

Tabla 3. Valores estimados de la cantidad máxima anual en 24 hrs, calculados a partir de las mejores distribuciones de probabilidad de ajuste de 46 estaciones pluviométricas.

| Región | Estación | FDP | T 5 | T 10 | T 50 | T 100 | T 200 | T 500 |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|
| | | | P 0,8 | P 0,9 | P 0,98 | P 0,99 | P 0,995 | P 0,998 |
| Valparaíso (V) | Huaquén Hacienda | Burr (4p) | 87,0 | 109,3 | 166,7 | 196,7 | 226,7 | 273,3 |
| | | Weibull | | | | | | |
| | Trapiche Longotoma | Gumbel Max | 83,3 | 102,3 | 143,3 | 156,7 | 173,3 | 190,0 |
| | | Wakeby | | | | | | |
| | | Weibull | | | | | | |
| | Las Casas de Alicahue | Gumbel Max | 60,0 | 72,3 | 95,3 | 105,7 | 113,3 | 126,7 |
| | | Log-Pearson 3 | | | | | | |
| | | Weibull | | | | | | |
| | La Vega Fundo | Gumbel Max | 74,7 | 90,3 | 120,0 | 130,0 | 140,0 | 153,3 |
| | | Wakeby | | | | | | |
| | | Weibull | | | | | | |
| | La Ligua | Gumbel Max | 82,3 | 98,3 | 143,3 | 160,0 | 183,3 | 213,3 |
| | | Wakeby | | | | | | |
| | | Weibull | | | | | | |
| Catapilco | Inv. Gaussian (3p) | 86,0 | 104,7 | 146,7 | 163,3 | 183,3 | 203,3 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Dagum | | | | | | | |
| La Canela | Weibull | 100,0 | 120,0 | 150,0 | 160,0 | 176,7 | 193,3 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Log-Logistic (3p) | | | | | | | |
| Quilpué | Weibull | 130,0 | 160,0 | 230,0 | 263,3 | 300,0 | 350,0 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Wakeby | | | | | | | |
| Marga-Marga | Weibull | 98,7 | 116,7 | 150,0 | 160,0 | 170,0 | 183,3 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Log-Logistic | | | | | | | |
| Metropolitana (XIII) | Tobalaba | Weibull | 63,3 | 77,7 | 106,0 | 117,7 | 129,0 | 146,7 |
| | | Gumbel Max | | | | | | |
| | Calera de Tango Chacra Soloa | Log-Logistic | 81,7 | 97,3 | 133,3 | 153,3 | 173,3 | 203,3 |
| | | Weibull | | | | | | |
| | | Gumbel Max | | | | | | |
| Central los Morros | Johnson SB | 73,3 | 85,0 | 105,0 | 113,3 | 123,3 | 133,3 | |
| | Weibull | | | | | | | |
| Central Queltehue | Gumbel Max | 110,0 | 125,0 | 155,0 | 165,0 | 180,0 | 195,0 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| Lib. Gral. Bernardo O'higgins (VI) | San José de Marchigüe | Dagum | 71,3 | 80,3 | 97,0 | 103,0 | 110,0 | 126,7 |
| | | Weibull | | | | | | |
| | | Gumbel Max | | | | | | |
| | Lihueimo Fundo | Wakeby | 91,7 | 103,0 | 120,0 | 130,0 | 140,0 | 150,0 |
| | | Weibull | | | | | | |
| | | Gumbel Max | | | | | | |
| | San Diego de Puquillay | Wakeby | 81,3 | 92,0 | 113,3 | 120,0 | 126,7 | 133,3 |
| | | Weibull | | | | | | |
| | | Gumbel Max | | | | | | |
| | San Fernando | Gen.Extreme Value | 110,0 | 130,0 | 166,7 | 176,7 | 190,0 | 210,0 |
| | | Weibull | | | | | | |
| | | Gumbel Max | | | | | | |
| | Pumanque Hacienda | Wakeby | 85,7 | 96,7 | 120,0 | 130,0 | 140,0 | 153,3 |
| | | Weibull | | | | | | |
| Gumbel Max | | | | | | | | |
| Nancagua | Normal | 110,0 | 130,0 | 160,0 | 170,0 | 183,3 | 196,7 | |
| | Weibull | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| Las Arañas | Weibull | 90,0 | 100,0 | 125,0 | 135,0 | 145,0 | 160,0 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Rice | | | | | | | |
| Lolol Hacienda | Weibull | 83,5 | 95,0 | 120,0 | 130,0 | 140,0 | 150,0 | |
| | Gumbel Max | | | | | | | |

T = Período de retorno; P Probabilidad asociada a T definida por $F(X) = (1-1/T)$.

Tabla 3. Valores estimados de la cantidad máxima anual en 24 hrs, calculados a partir de las mejores distribuciones de probabilidad de ajuste de 46 estaciones pluviométricas.

| Región | Estación | FDP | T 5 | T 10 | T 50 | T 100 | T 200 | T 500 | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|
| | | | P 0,8 | P 0,9 | P 0,98 | P 0,99 | P 0,995 | P 0,998 | |
| Maule (VII) | Licantén | Gen.Logistic | 98,0 | 116,7 | 153,3 | 173,3 | 193,3 | 233,3 | |
| | | Weibull | | | | | | | |
| | Los Queñes | Gumbel Max | 130,0 | 150,0 | 190,0 | 200,0 | 215,0 | 230,0 | |
| | | Weibull (3p) | | | | | | | |
| | Curepto | Gumbel Max | 106,7 | 120,0 | 150,0 | 156,7 | 170,0 | 183,3 | |
| | | Wakeby | | | | | | | |
| | San Javier | Weibull | 82,7 | 94,0 | 116,7 | 133,3 | 140,0 | 156,7 | |
| | | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Longaví | Dagum (4P) | 86,3 | 97,0 | 120,0 | 130,0 | 143,3 | 153,3 | |
| | | Weibull | | | | | | | |
| Cauquenes | Gumbel Max | 93,0 | 110,0 | 160,0 | 175,0 | 195,0 | 225,0 | | |
| | Wakeby | | | | | | | | |
| Achibueno Reten | Gumbel Max | 140,0 | 156,7 | 200,0 | 210,0 | 226,7 | 250,0 | | |
| | Log-Gamma | | | | | | | | |
| Bullileo Embalse | Weibull | 166,7 | 186,7 | 216,7 | 230,0 | 243,3 | 256,7 | | |
| | Gumbel max | | | | | | | | |
| Digua Embalse | Gamma | 116,7 | 130,0 | 153,3 | 166,7 | 173,3 | 186,7 | | |
| | Weibull | | | | | | | | |
| San Ignacio de Palomares | Gumbel max | 130,0 | 153,3 | 200,0 | 223,3 | 243,3 | 280,0 | | |
| | Wakeby | | | | | | | | |
| Bío-Bío (VIII) | Nonquen | Weibull | 120,0 | 136,7 | 173,3 | 190,0 | 210,0 | 230,0 | |
| | | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Cabrero | Log-Gamma | 99,0 | 116,7 | 146,7 | 160,0 | 176,7 | 190,0 | |
| | | Weibull | | | | | | | |
| | Lebu | Gumbel Max | 97,3 | 113,3 | 153,3 | 170,0 | 196,7 | 230,0 | |
| | | Pearson 5 | | | | | | | |
| | Mulchen | Burr | 96,3 | 113,3 | 150,0 | 170,0 | 190,0 | 226,7 | |
| | | Weibull | | | | | | | |
| | La Araucanía (IX) | La Araucanía | Gumbel Max | 99,7 | 110,0 | 133,3 | 143,3 | 153,3 | 163,3 |
| | | | Gen.Extreme Value | | | | | | |
| Los Sauces | | Weibull | 55,0 | 65,7 | 92,7 | 105,3 | 116,7 | 134,7 | |
| | | Gumbel Max | | | | | | | |
| Curacautín | | Johnson SB | 98,7 | 110,0 | 120,0 | 123,3 | 130,0 | 136,7 | |
| | | Weibull | | | | | | | |
| Carahue | | Gumbel Max | 54,3 | 60,3 | 72,3 | 77,0 | 81,3 | 86,7 | |
| | | Nakagami | | | | | | | |
| Nueva Imperial | | Weibull | 53,0 | 62,3 | 84,0 | 92,7 | 104,7 | 119,3 | |
| | | Gumbel Max | | | | | | | |
| La Torcaza | Lognormal (3p) | 78,3 | 87,0 | 105,0 | 109,7 | 116,7 | 126,7 | | |
| | Gen. Gamma | | | | | | | | |
| Los Ríos (XIV) | San José de la Mariquina | Weibull | 103,3 | 116,7 | 140,0 | 153,3 | 160,0 | 173,3 | |
| | | Gumbel Max | | | | | | | |
| | Reumen | Wakeby | 130,0 | 140,0 | 160,0 | 170,0 | 176,7 | 183,3 | |
| | | Weibull | | | | | | | |
| | San Pablo | Gumbel Max | 72,7 | 80,7 | 94,3 | 100,0 | 104,3 | 112,3 | |
| | | Johnson SB | | | | | | | |
| | Los Lagos (X) | Frutillar Centro Experimental | Weibull | 48,3 | 54,7 | 70,3 | 77,7 | 83,7 | 97,7 |
| | | | Gumbel Max | | | | | | |
| | | | Gumbel Min | | | | | | |
| | Aysén (XI) | Puyuhuaipi | Weibull | 99,7 | 110,0 | 123,3 | 133,3 | 136,7 | 143,3 |
| Gumbel Max | | | | | | | | | |

 T = Período de retorno; P Probabilidad asociada a T definida por $F(X) = (1-1/T)$.

5.2.4.2 Representación espacial de las cantidades máximas para distintos períodos de retorno

En la Figura 15 se presentan unas isoyetas que representan las formas y estructuras para los valores máximos esperados para los diferentes períodos de retorno considerados en este trabajo.

En líneas generales la distribución espacial de las lluvias máximas en el conjunto de los períodos de retorno evidencia que la zona con mayores probabilidades de alcanzar valores diarios extremos se localiza entre los 35°S y 37°S; donde es notorio cómo el campo de las isoyetas cambia su gradiente de dirección norte-sur en las zonas bajas de Chile central, por un fuerte gradiente este - oeste en la cordillera hacia el sur localizada en la región del Bío-Bío, alcanzándose las mayores magnitudes de precipitación hacia latitudes mayores. Ello responde a la extensión latitudinal del área de estudio; es posible también distinguir sitios localizados donde predominan precipitaciones menores, éstas se ubican al suroeste de la región de Los Lagos y valores aun menores para una pequeña zona del noroeste de La Araucanía.

Se observa también que, a medida que las estaciones se ubican más hacia el sur, los montos de las precipitaciones evidencian una leve tendencia a aumentar conforme a la latitud principalmente en relación al período de retorno de 5 años (Figura 15), mientras que para el período de retorno de 100 años el comportamiento tiende a ser más irregular, pero con precipitaciones superiores a los 130 mm en la zona cordillerana de la región de O'Higgins, Metropolitana y Valparaíso.

Cuando comparamos los mapas de los períodos de retorno que corresponden a 5 y 10 años no se presentan mayores variaciones en el global, solo encontramos un leve aumento en la precipitación máxima en la región de Valparaíso y región de La Araucanía para el mapa de 10 años.

En comparación del mapa del período de retorno de 5 años en relación con el de 50 años se aprecia una variación significativa en la zona norte de estudio, destacándose el aumento en las precipitaciones máximas en las regiones de Valparaíso y región Metropolitana. En la zona centro-sur existe una disminución de las precipitaciones máximas desde la región de Los Lagos hacia la región de Aysén. En comparación a los precedentes, en los mapas del período de retorno de 100 años se observa una disminución de las

precipitaciones máximas en la región de Los Ríos, al igual que ocurre con la región de Los Lagos y Aysén, pero se evidencia un incremento hacia la zona norte comprendida por las regiones de Valparaíso y Metropolitana y una ligera disminución en intensidad en la latitud 37°sur.

Donde se observa una mayor irregularidad en el comportamiento de las precipitaciones máximas calculadas es para el período de retorno de 200 años. Naturalmente se aprecia una transición de acuerdo a la distribución de los otros períodos de retorno calculados.

En el período de retorno de 500 años se distingue una notoria banda demarcada desde la cordillera de los Andes hacia el litoral en la región de la Araucanía, encontrándose hacia el sur una disminución de las máximas y hacia el norte una estabilidad de las mismas, mientras que los lugares en los que se obtienen los valores más elevados de la precipitación extrema aparecen concentrados en la región Metropolitana.

Los resultados ponen de manifiesto las diferencias entre máximas y mínimas que son mayores cuanto mayor es el período de retorno, encontrándose diferencias en las precipitaciones extremas de hasta 200 mm.

Como complemento al análisis de los valores estimados por las distribuciones de probabilidad para los diferentes períodos de retornos 5 y 10 años se estima que los eventos que presentan precipitación extrema se hallan en la zona norte del área de estudio, es decir la lluvia que se puede esperar que caiga en un día cada 5 años atribuido a un evento extremo de acuerdo a los umbrales obtenidos a través de los percentiles localizándose en la región de Valparaíso y región Metropolitana, asimismo para el período de recurrencia de 10 años, los eventos de precipitaciones extremas se localizan en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y el sector precordillerano de la región del Maule.

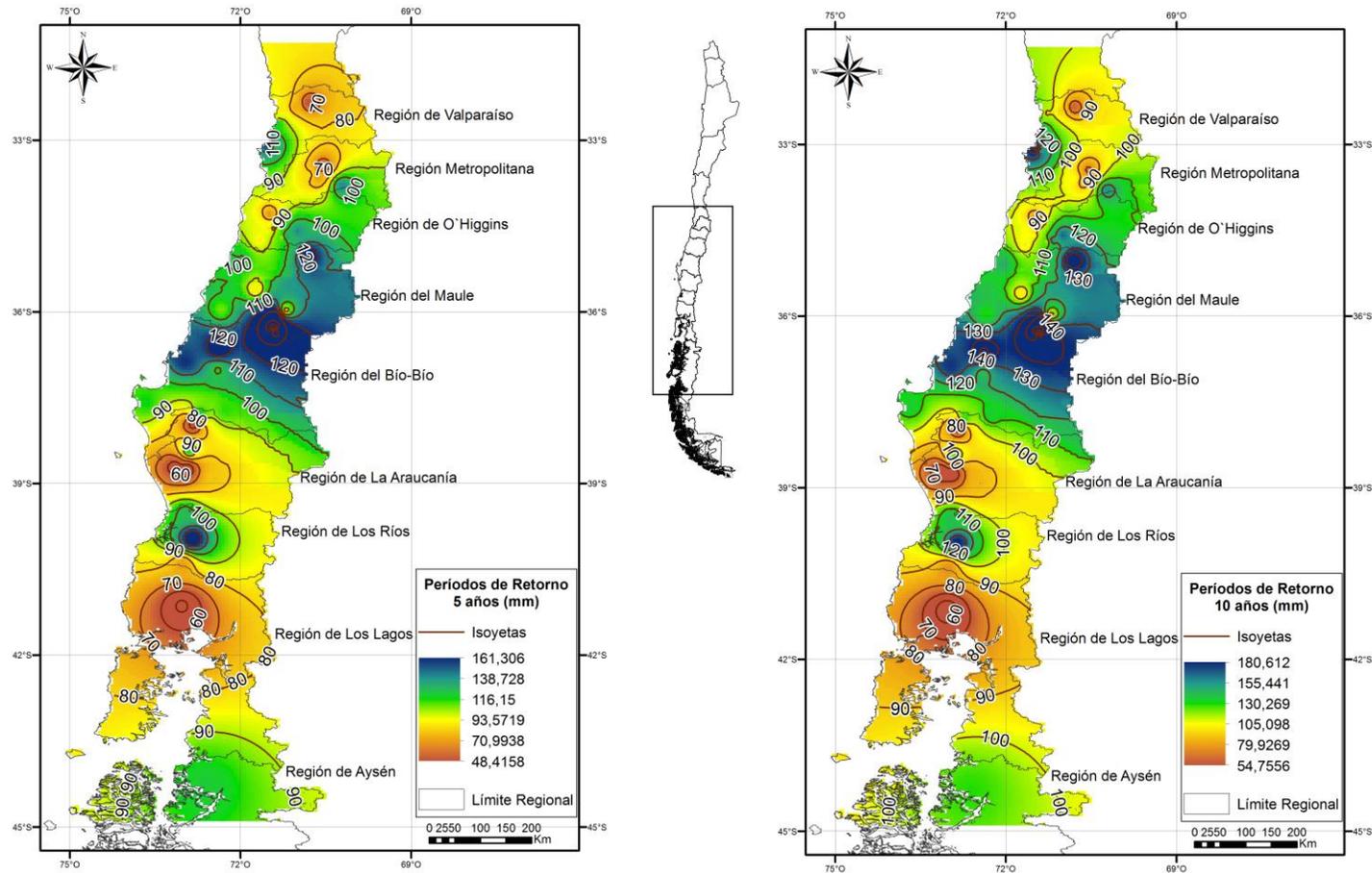


Figura 15. Distribución espacial de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 5 y 10 años en las zonas centro y sur de Chile. (Fuente: Elaboración propia).

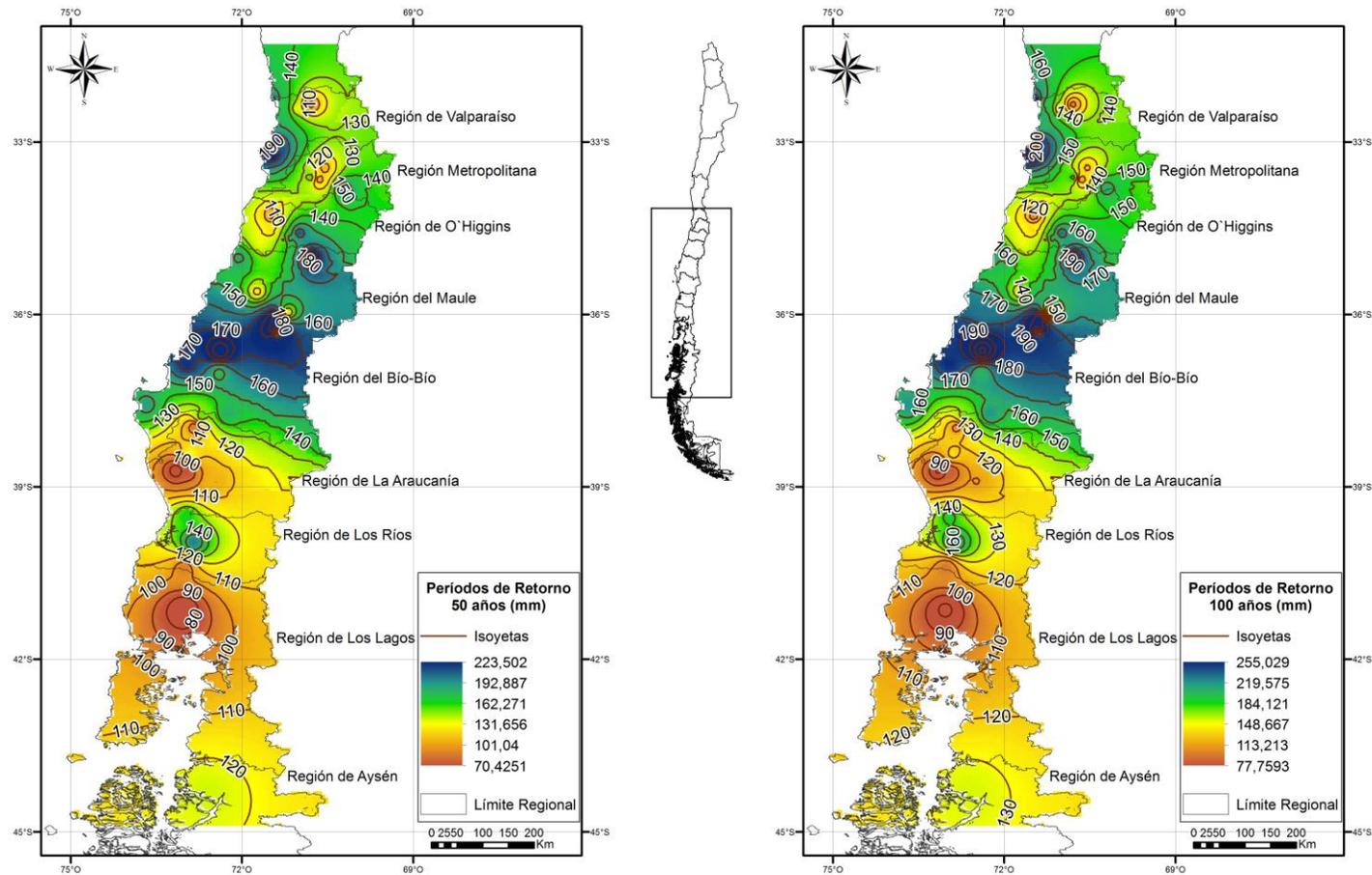


Figura 15. Distribución espacial de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 50 y 100 años en las zonas centro y sur de Chile. (Fuente: Elaboración propia).

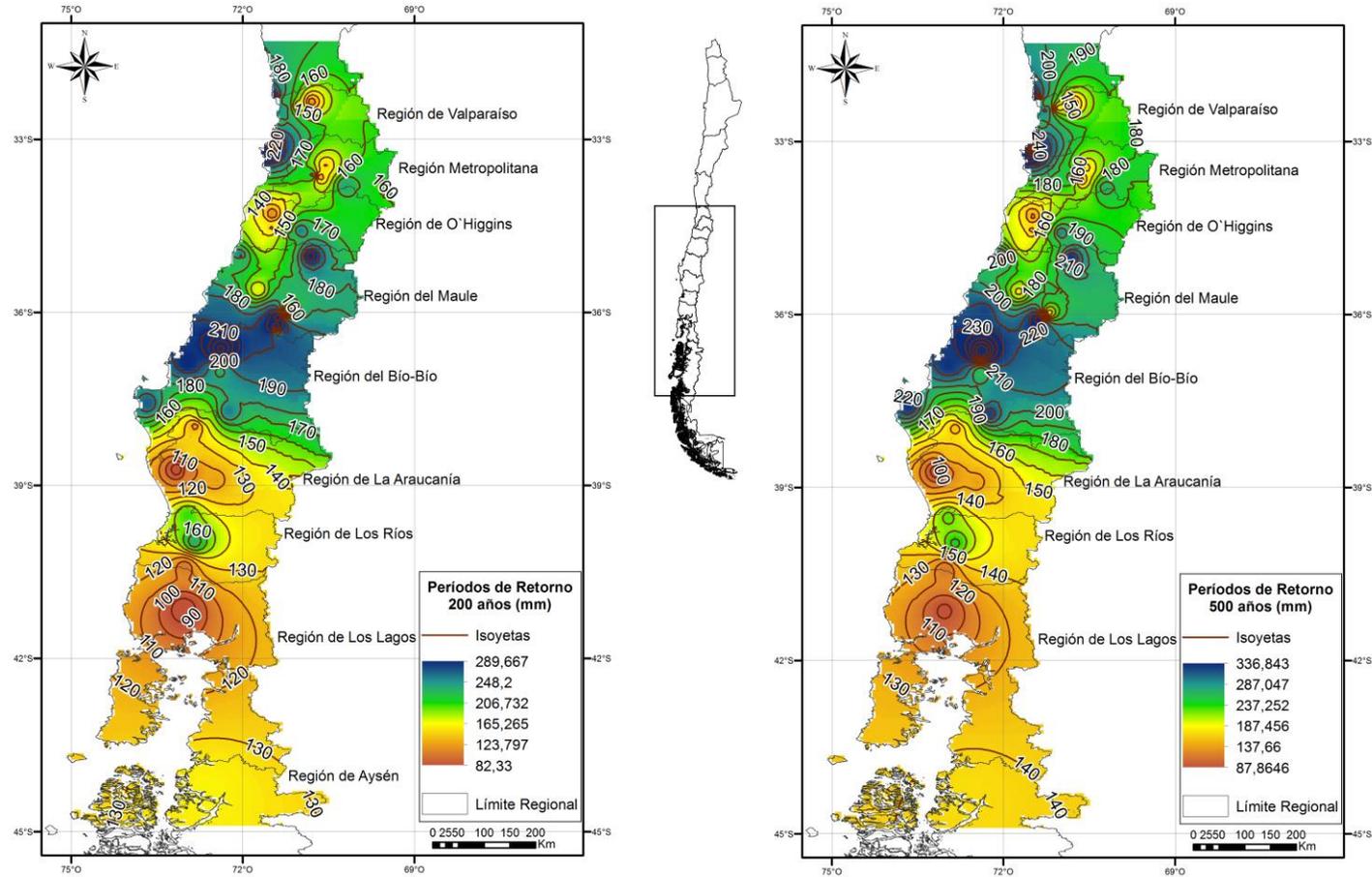


Figura 15. Distribución espacial de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 200 y 500 años en las zonas centro y sur de Chile. (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente hay que tener en consideración el hecho de que las estaciones pluviométricas trabajadas no son representativas de todo el territorio estudiado, debido que hay áreas más elevadas que no se han considerado por no cumplir con los criterios establecidos, por tanto los resultados se deben considerar como complemento de análisis.

5.3. Relación de evento meteorológico (inundación) con los umbrales detectados

Para la elaboración de Tabla 4 se utiliza la referencia histórica difundida a través de la base de datos EMDAT² y DesInventar³.

Los análisis de percentiles permitieron determinar ciertos umbrales para la detección de ocurrencias de desastres provocados por lluvias extremas. Sin embargo, es importante señalar que, aun cuando la situación meteorológica sea favorable para que ocurra un evento de desastre, se detecta que interactúan diversos factores de manera preponderante en algunos sectores; esto se debe a que las condiciones atmosféricas son cambiantes y no generan en el espacio y tiempo estados idénticos unos con otros, como también influyen las zonas de mayor densidad de población, siendo esto determinante para definir un evento de desastre.

Se observa en anexo A3 Figura 1 que las mayores cantidades de eventos por inundación caen en la región Metropolitana, lo cual sugiere que las inundaciones no dependen solo de la cantidad de la intensidad de las lluvias, sino de factores de carácter antropogénicos, tales como la gestión y planificación territorial, pendientes, fallas en los sistemas de drenaje, alcantarillados, infiltración del suelo, entre otros.

De acuerdo a la fecha histórica de inundaciones y para el caso del percentil 90 (PE90) y PE95, sí se explica algunos eventos de desastres de acuerdo a los umbrales establecidos, como es el caso de la región del Bío-Bío en las estaciones Cabrero y Lebu, y en la región de La Araucanía para las estaciones Carahue, Nueva Imperial y La Torcaza.

² EM-DAT es la base de datos sobre desastres más completa a nivel internacional con registros desde el año 1900 al 2009. Registra eventos que produjeron diez o más muertos, 100 o más personas afectadas, la declaración de estado de emergencia en un país determinado o la necesidad de ayuda internacional.

³ DesInventar: Sistema de inventario de efectos de desastres, incluye eventos de menor escala para algunos países de la región, pero carece de información de periodos amplios para otros.

Tabla 4. Precipitaciones máximas ocurridas en el área estudiada. (Fuente: Elaborado mediante base de datos EM - DAT y DesInventar), con indicación de la fecha en que tuvieron lugar y la región donde se registraron.

| Fecha | Tipo de evento | Región | Duración | Magnitud |
|------------|----------------|---------------------------|----------|-----------------|
| 27/06/1980 | Inundación | Bío-Bío | 1 | 62,8 mm |
| 04/05/1981 | Inundación | La Araucanía | 1 | 28,5 mm |
| 06/05/1981 | Inundación | Bío-Bío | 1 | 145 mm |
| 13/05/1981 | Inundación | Los Ríos | 1 | 93mm |
| 15/05/1981 | Inundación | Los Lagos | 1 | 56,3 mm |
| 22/06/1982 | Inundación | Metropolitana | 1 | 100 mm |
| 04/05/1984 | Inundación | Metropolitana | 1 | 286 mm |
| 15/06/1986 | Inundación | Maule y Metropolitana | 1 | 91,2 mm - 80 mm |
| 17/07/1987 | Inundación | Maule y Metropolitana | 1 | 109 mm -90 mm |
| 29/07/1989 | Inundación | Bío-Bío | 1 | 140 mm |
| 05/05/1993 | Inundación | Metropolitana y O`Higgins | 1 | 55 mm-86,3 mm |
| 06/05/1995 | Inundación | Los Lagos | 1 | 80,8 mm |
| 01/06/2000 | Inundación | La Araucanía | 5 | 195 mm |
| 12/06/2000 | Inundación | Metropolitana y Bío-Bío | 8 | 86 mm -100 mm |
| 06/08/2000 | Inundación | Bío-Bío | 1 | 90 mm |
| 30/07/2001 | Inundación | Maule | 1 | 127 mm |
| 24/08/2002 | Inundación | Bío-Bío | 5 | 120 mm |
| 30/06/2004 | Inundación | Los Lagos - Los Ríos | 2 | 70 mm |
| 26/06/2005 | Inundación | Bío-Bío | 2 | 83 mm |
| 26/08/2005 | Inundación | Metropolitana | 3 | 64 mm |
| 11/07/2006 | Inundación | Bío-Bío | 6 | 115, 3 mm |
| 19/05/2008 | Inundación | Valparaíso | 8 | 56 mm |
| 29/08/2008 | Inundación | La Araucanía | 6 | 120 mm |

6. CONCLUSIONES

1. Del análisis de la distribución mensual se concluye que los meses en los cuales se concentra la mayor cantidad de precipitaciones intensas en la zona estudiada son mayo, junio, julio y agosto; de estos el mes de mayor frecuencia es junio. No obstante, al analizar la distribución de las precipitaciones máximas encontramos que, a medida que se avanza hacia latitudes mayores, las precipitaciones diarias cuantiosas comienzan a ser mas dispersas en el calendario, mas continuas mes a mes, a diferencia de las zonas más al norte del área de estudio donde las lluvias son mas concentradas y sectorizadas.
2. Existe una gran variabilidad de las precipitaciones, las más altas se presentan en la precordillera Andina, disminuyendo progresivamente al pasar por la depresión Intermedia y volviendo a aumentar en la cordillera de la Costa. Se puede visualizar esta situación en las regiones Libertador General Bernardo O`Higgins, el Maule y Bío-Bío.
3. De la lectura de los percentiles 90, 95 y 99 de las precipitaciones diarias máximas anuales podemos destacar que los rangos varían entre los 60 y 240 mm, donde la zona de mayor riesgo de ocurrencia corresponde a la región del Bío-Bío. Los percentiles de precipitación por si mismos no son capaces de explicar la totalidad de eventos extremos pero sí constituyen una base de datos representativa.
4. De las distribuciones de probabilidad teóricas utilizadas, se encontró que las funciones de Gumbel Max, Weibull y Wakeby resultaron ser las más apropiadas al momento de trabajar con las intensidades máximas de precipitación.
5. Del análisis de los períodos de retorno (5, 10, 50, 100, 200 y 500 años) se encontró que en el sector precordillerano de la región del Maule presentó eventos máximos de 160 mm en 24 horas para un período de retorno de 5 años. En las regiones de Valparaíso, Bío-Bío y Los Ríos se obtuvieron valores máximos de 130 mm en 24 horas para la misma recurrencia. El valor más elevado para un periodo de retorno de 10 años resultó ser 186 mm en 24 horas en la región del Maule. Se identificó que las áreas propensas a registrar un máximo de precipitación diaria extrema son: Valparaíso con valores máximos de 230 mm y la región de Maule con 216 mm en 24 horas para un periodo de retorno de 50 años. Los valores máximos

de lluvia para los períodos de retorno de 100, 200 y 500 años, se obtuvieron, en Valparaíso con valores de 263, 300 y 350 mm respectivamente.

6. Esta investigación permitió conocer la ocurrencia, variabilidad y distribución de las precipitaciones máximas en la zona centro y sur de Chile, los valores extremos de precipitación que podrían sucederse en distintos períodos de tiempo y los lugares donde pueden ser susceptibles a un mayor riesgo. Con esto se pretende prever los futuros escenarios que podrían afectar a las diferentes actividades económicas presentes en las regiones que abarca este trabajo y que a su vez sirvan como precedente de un posible futuro estudio.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

En relación a este estudio es importante señalar que el efectuar un análisis del comportamiento de las precipitaciones permite aportar patrones de conductas de las lluvias, los cuales dan una base sólida para efectuar diseños confiables y efectivos en el problema de diseñar sistemas de evacuación de crecidas de ríos, o sistemas de drenaje urbano.

Igualmente lo realizado permite continuar con el estudio hidrológico en relación a la evaluación precisa y completa de la gestión del riesgo pluviométrico, incluyendo la vulnerabilidad de la población en las áreas afectadas.

Asimismo permite elaborar mapas de peligro por precipitaciones a partir de los resultados pronosticados y brindar apoyo a tomadores de decisiones, con información climática (pluviométrica) relevante acerca de la variabilidad y posibles situaciones de peligros.

Labores que quedan por cumplir:

Realizar un análisis más profundo empleando diversas herramientas estadísticas para determinar el efecto que tiene sobre la precipitación los diferentes componentes climáticas principalmente el ENSO, con el fin de avanzar en el entendimiento de la distribución de la precipitación y de las componentes necesarias para la predicción de la misma.

En materia de gestión del riesgo, realizar la identificación de los riesgos e impactos asociados de la variabilidad y el cambio climático en la actualidad (a partir de la información histórica) en el mediano plazo (a partir de la situación actual y de las tendencias observadas), y en un largo plazo (basados en las proyecciones y predicciones).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D.M Collins, B.Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar & G. Griffiths. 2006. *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*.
- Aparicio, F.J.1997. *Fundamentos de Hidrología de superficie*. Limusa-Noriega editores, 303 P. México.
- Ashakar, F.; T.B.M.J Ouarda, R. Roy and B. Bobée.1993.*Robust estimators in hydrologic frequency analysis, in Engineering Hydrology*. Edited by C.Y, 347-352pp.
- Bardossy, A. & Hundecha, Y.2003. *Trends of extreme precipitation and temperature associated climatic conditions in the German part of the Rhine basin from 1958-2001*. Contribution to STARDEX D9.
- BCN *Biblioteca del Congreso nacional de Chile* [Consultado 26 de noviembre del 2011]. Disponible en:< <http://www.bcn.cl/siit/regiones/región7/indica>>.
- Carvalho, L. M. V., Ch. Jones and B. Liebmann.2002.Extreme precipitation events in Southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone, *Journal of Climate*, N 15, 2377-2394pp.
- Carvalho, L. M. V., Ch. Jones and B. Liebmann. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall, *Journal of Climate*, N. 17, 88-108pp.
- Charles, J.2000. Occurrence of extreme precipitation events in California and relationships with the Madden–Julian Oscillation, *Journal of Climate*, N 15, 3576-3587pp.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. y Mays, L.W., 1994. *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill, 584 pp, Santafé.
- Curihuinca, J. y B. Piuzzi.2004. *Influencia de las precipitaciones en la agricultura de la zona centro norte de Chile, durante El Niño 1997* p211 -230p.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. 2001. *Hidrología Subterránea*. Tomo I (2ª Edición). Ediciones Omega, Barcelona, 1157pp.
- Dirección Meteorológica de Chile. *Descripción climatológica*. [Consultado 26 de noviembre del 2011]. Disponible en: <http://www.meteochile.cl/climas/climas_región.html>.
- FAO: *Hidrografía de la Región del Maule*. [Consultado 26 de noviembre, 2011]. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/proyecto/gcp/rla/126/jpn/ciren/chi_hydrog.htm>.
- Fernández, B. y Salas, J.1995. *Período de retorno de eventos hidrológicos*, Instituto de Ingenieros de Chile, 23-30pp.

- Fernández, F. 1995 Manual de Climatología aplicada. Clima, medio Ambiente y planificación. Madrid. Editorial Síntesis S.A. 285p.
- García, A. E. 2003 *Distribución de la precipitación en la República Mexicana* Investigaciones Geográficas, Boletín, N. 50, Instituto de Geografía, UNAM, México 67-76pp.
- Garrido, A. R. 1992 *Limitaciones de la Distribución de Gumbel en la valoración del riesgo de lluvias fuertes: caso de un observatorio del litoral Mediterráneo*. Valencia, España 30pp
- Gobierno regional de Aysén *Región de Aysén Chile*. [Consultado 26 de noviembre, 2011]. Disponible en: <http://www.goreaysen.cl/región_aysen.php>.
- Gobierno regional de Los Lagos, Región de Los Lagos, Chile. [Consultado 26 de noviembre, 2011]. Disponible en: <http://www.regióndeloslagos.cl/región_lagos/región.php>.
- Gobierno regional de Los Ríos, *Región de Los Ríos. Chile*. [Consultado 26 de noviembre, 2011]. Disponible en: <<http://www.goredelosrios.cl/eregional.htm>>.
- Haylock, M. and N. Nicholls. 2000 Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910–1998, *Journal of Climatology*, N 20, 1533-1541P. [Consultado 02 de abril, 2012]. Disponible en: <http://www.vsamp.com/resume/publications/Haylock_Nicholls.pdf>.
- Haylock M. R., Peterson T., Abreu de Sousa J. R., Alves L. M., Ambrizzi T., Anunciação Y. M. T., Báez J., Barbosa de Brito J. I., Barros V. R., Berlato M. A., Bidegain M., Coronel G, Corradi V., García V. J., Grimm A. M. I., Jaido dos Anjos R., Karoly D., Marengo J. A, Marino M. B., Meira P. R., Miranda G. C., Molion L., Moncunill D. F., Nechet D., Ontaneda G., Quintana J., Ramirez E., Rebello E. Rusticucci M., Santos J. L., Trebejo I., Vincent L., 2005: "Trends in total and extreme South American rainfall", 1960-2000 and links with sea surface temperature, *Journal of Climate*, N 29 1490-1512p.
- Hufty, A. 1984. Introducción a la climatología. Ariel Geografía, Barcelona, 292pp.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas de Chile. 2004. *Estadísticas del medio ambiente 1999 - 2003*. Publicaciones INE, Chile. 381 p.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas de Chile. 2005. Medio ambiente. *Informe Anual 2005*. Publicaciones INE, Chile. 322 p.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, y CONAMA, Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2002. *Estadísticas del medio ambiente 1996-2000*. Publicaciones INE, Chile. 403p.
- Jones, J.A. 1997 *Global Hydrology. Processes, resources and environmental management*. Harlow, 399P.
- Montecinos, A., A. Díaz, Aceituno, P. 2000. Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in subtropical South America based on Tropical Pacific SST. *J. Climate*, 13, 746-758P.

- ONEMI, Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior. 1995. Inundaciones. *Lo que debemos tener presente para la elaboración de una planificación comunal de respuesta*. Publicaciones ONEMI, Chile. 14 p.
- Köppen, W. *Climatología. Con un estudio de los climas de la tierra*. Hendrischs Pérez. Fondo de Cultura Económica. México, 1948.
- Koutsoyiannis, D. 2003 On the appropriateness of the Gumbel Distribution in modeling extreme rainfall *Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop held at Bologna, Italy, October 24-25pp, 303-319P.*
- Liebmann, B., Ch. Jones and L. M. V. de Carvalho. 2001. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the State of Sao Paulo, Brazil, *Journal of Climate*, N.14, 208-218P.
- Llamas, J. 1993. *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Universidad del País Vasco, 635P., Bilbao.
- López Bermúdez, F. 2002. *Geografía física y conservación de la naturaleza papeles de geografía*, N 036. Universidad de Murcia, Murcia, España. 133-146P.
- Martín Vide, J. 2003. *El tiempo y el clima (1ra ed.)*. Barcelona: Rubes editorial, S.L.
- Pizarro, R.; Cornejo, F.; González, C.; Macaya, K.; Morales, C. 2008. Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la zona central de Chile. *Ingeniería Hidráulica en México: 91-109P.*
- Pizarro, R.; Novoa, P. 1986. *Elementos técnicos de hidrología I. Instructivo Técnico*. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, La Serena, Chile. 57p.
- Pizarro, R.; Salazar, C.; Soto, M.; Farías, C.; Jordán, C.; Vargas, J.; Carrasco, P. 2002. Informe país, estado del medioambiente. Universidad de Chile. Santiago, Chile. LOM ediciones. Capítulo 2: Aguas Continentales, 69-101p.
- Vargas, W. M. y Nuñez, M.N. 1989. Interacciones del clima y la sociedad, respuestas sociales y gubernamentales, *Boletín Informativo Techint* N 256.

Anexo 1. Datos de precipitaciones anuales.**Tabla A1.** Precipitación anual de las estaciones seleccionadas (mm).

| Huaquén Hacienda | | San Javier | | Nueva Imperial | | San Pablo | |
|------------------|---------|------------|---------|----------------|---------|-----------|---------|
| Año | PP (mm) | Año | PP (mm) | Año | PP (mm) | Año | PP (mm) |
| 1980 | 357 | 1980 | 1015,7 | 1980 | 889,5 | 1980 | 1644 |
| 1981 | 276,5 | 1981 | 865,5 | 1981 | 577,9 | 1981 | 1324,5 |
| 1982 | 429 | 1982 | 1298 | 1982 | 726,9 | 1982 | 1364,2 |
| 1983 | 289,5 | 1983 | 775,1 | 1983 | 499,9 | 1983 | 986,8 |
| 1984 | 509,5 | 1984 | 1269,2 | 1984 | 607,8 | 1984 | 1105,5 |
| 1985 | 87,5 | 1985 | 673,7 | 1985 | 509,7 | 1985 | 1137,9 |
| 1986 | 317,5 | 1986 | 1113,8 | 1986 | 707,2 | 1986 | 1164,8 |
| 1987 | 593 | 1987 | 917,4 | 1987 | 804,5 | 1987 | 1011,6 |
| 1988 | 114,6 | 1988 | 658,7 | 1988 | 685,1 | 1988 | 698,5 |
| 1989 | 187 | 1989 | 510,5 | 1989 | 716,4 | 1989 | 914,3 |
| 1990 | 77 | 1990 | 480,3 | 1990 | 815,7 | 1990 | 1083,5 |
| 1991 | 269,6 | 1991 | 924,8 | 1991 | 975,6 | 1991 | 1143,7 |
| 1992 | 539,3 | 1992 | 1148,6 | 1992 | 1037,3 | 1992 | 1810,8 |
| 1993 | 196,9 | 1993 | 607,2 | 1993 | 1130,4 | 1993 | 2799,6 |
| 1994 | 139,1 | 1994 | 562,8 | 1994 | 826,5 | 1994 | 2067,3 |
| 1995 | 160,4 | 1995 | 652,3 | 1995 | 798,8 | 1995 | 1985,3 |
| 1996 | 143,4 | 1996 | 421,9 | 1996 | 506,2 | 1996 | 1894,8 |
| 1997 | 760,1 | 1997 | 958,1 | 1997 | 908,9 | 1997 | 1801,4 |
| 1998 | 32,5 | 1998 | 217,7 | 1998 | 430,5 | 1998 | 1013,1 |
| 1999 | 249,5 | 1999 | 585,9 | 1999 | 761,2 | 1999 | 1893,5 |
| 2000 | 397,9 | 2000 | 794,4 | 2000 | 899,8 | 2000 | 1288,1 |
| 2001 | 316,6 | 2001 | 850 | 2001 | 903 | 2001 | 1067,8 |
| 2002 | 765,3 | 2002 | 1127,3 | 2002 | 1143,3 | 2002 | 1572,5 |
| 2003 | 118,2 | 2003 | 522,5 | 2003 | 873,3 | 2003 | 1103,3 |
| 2004 | 303,8 | 2004 | 682,9 | 2004 | 1003,1 | 2004 | 1210,1 |
| 2005 | 266,1 | 2005 | 949,3 | 2005 | 1268,6 | 2005 | 1266,1 |
| 2006 | 296,9 | 2006 | 790,7 | 2006 | 1201,5 | 2006 | 1425,6 |
| 2007 | 296,9 | 2007 | 400,1 | 2007 | 915,3 | 2007 | 915,3 |
| 2008 | 242,3 | 2008 | 794,5 | 2008 | 1087,3 | 2008 | 1260,5 |
| 2009 | 216,5 | 2009 | 642,7 | 2009 | 1071,1 | 2009 | 1043,8 |
| 2010 | 216,6 | 2010 | 502,3 | 2010 | 709,2 | 2010 | 940,4 |

Anexo 2. Datos de precipitaciones máximas en 24 horas.

Tabla A2.1 Serie de datos máximos utilizados para este trabajo. Numeración de las estaciones en la Figura 3.

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980 | 66,0 | 55,0 | 46,8 | 41,0 | 67,5 | 61,7 | 96,0 | 106,0 | 82,0 | 41,4 | 50,0 | 42,8 | 115,0 | 76,1 | 132,7 | 118,0 | 106,5 | 79,0 | 144,6 | 90,0 | 104,9 | 73,8 | 101,0 |
| 1981 | 106,0 | 96,0 | 39,6 | 57,0 | 119,4 | 61,7 | 131,0 | 92,6 | 37,2 | 80,3 | 97,7 | 64,4 | 73,0 | 32,9 | 54,5 | 55,0 | 78,5 | 32,5 | 80,2 | 42,0 | 50,0 | 55,3 | 82,0 |
| 1982 | 50,0 | 83,2 | 64,2 | 82,3 | 75,0 | 69,4 | 99,0 | 92,6 | 83,1 | 49,0 | 127,0 | 80,0 | 115,0 | 63,2 | 76,7 | 78,2 | 117,0 | 75,0 | 100,5 | 104,0 | 101,1 | 82,1 | 88,7 |
| 1983 | 42,0 | 36,0 | 35,8 | 45,2 | 51,3 | 72,2 | 88,0 | 60,5 | 56,6 | 42,5 | 55,9 | 45,1 | 35,0 | 52,2 | 71,5 | 60,0 | 70,5 | 75,0 | 80,0 | 57,8 | 76,6 | 81,5 | 56,0 |
| 1984 | 98,0 | 87,0 | 85,2 | 100,0 | 75,7 | 108,0 | 98,0 | 87,0 | 131,2 | 51,0 | 108,1 | 78,6 | 70,0 | 66,5 | 86,2 | 92,9 | 120,0 | 75,0 | 102,0 | 94,0 | 89,3 | 153,2 | 98,0 |
| 1985 | 22,0 | 56,4 | 17,5 | 13,2 | 30,0 | 21,1 | 68,0 | 40,0 | 51,6 | 26,0 | 34,7 | 25,1 | 45,0 | 29,2 | 43,0 | 51,7 | 43,0 | 49,0 | 44,9 | 45,0 | 43,6 | 53,2 | 63,0 |
| 1986 | 90,5 | 108,2 | 63,3 | 118,0 | 104,6 | 70,3 | 90,0 | 102,0 | 77,0 | 60,7 | 55,5 | 54,2 | 117,0 | 70,1 | 83,0 | 63,7 | 117,0 | 89,0 | 109,9 | 116,5 | 80,4 | 165,1 | 165,5 |
| 1987 | 99,0 | 115,0 | 77,7 | 89,5 | 105,5 | 102,3 | 86,0 | 75,0 | 98,5 | 78,5 | 107,8 | 79,6 | 125,0 | 66,7 | 66,9 | 67,3 | 111,0 | 72,0 | 99,3 | 69,9 | 82,1 | 128,5 | 120,8 |
| 1988 | 23,5 | 21,2 | 21,6 | 15,6 | 28,7 | 28,1 | 56,3 | 32,0 | 42,2 | 33,3 | 46,4 | 45,4 | 102,0 | 25,3 | 49,3 | 64,4 | 45,5 | 53,4 | 43,8 | 51,0 | 36,8 | 61,3 | 77,8 |
| 1989 | 40,5 | 56,4 | 43,2 | 45,4 | 56,2 | 44,1 | 79,1 | 53,0 | 49,0 | 41,1 | 45,8 | 44,4 | 108,0 | 63,3 | 77,4 | 71,5 | 81,5 | 56,0 | 90,8 | 76,0 | 68,1 | 63,8 | 98,7 |
| 1990 | 24,0 | 56,4 | 43,2 | 22,0 | 17,2 | 24,5 | 34,5 | 69,0 | 50,1 | 54,0 | 41,6 | 40,8 | 79,0 | 54,4 | 76,3 | 70,6 | 62,0 | 66,0 | 62,2 | 73,0 | 63,3 | 77,6 | 98,7 |
| 1991 | 61,5 | 42,5 | 41,3 | 33,8 | 62,5 | 79,4 | 117,2 | 73,0 | 60,4 | 66,6 | 64,7 | 50,3 | 102,0 | 48,4 | 54,8 | 58,3 | 64,4 | 61,0 | 54,6 | 61,0 | 50,5 | 72,7 | 120,0 |
| 1992 | 109,7 | 83,5 | 51,9 | 59,0 | 81,0 | 83,7 | 80,1 | 150,0 | 102,6 | 50,2 | 69,5 | 58,6 | 93,0 | 90,3 | 95,5 | 87,5 | 96,4 | 136,0 | 162,1 | 121,0 | 120,2 | 72,6 | 104,0 |
| 1993 | 42,5 | 38,5 | 41,3 | 49,0 | 40,7 | 33,5 | 42,6 | 67,0 | 68,3 | 46,0 | 50,2 | 48,2 | 97,0 | 40,4 | 53,4 | 50,8 | 56,4 | 62,0 | 83,0 | 72,1 | 55,3 | 70,4 | 100,5 |
| 1994 | 32,9 | 43,7 | 18,9 | 33,4 | 48,5 | 47,9 | 82,4 | 77,5 | 70,6 | 51,6 | 38,6 | 44,1 | 130,3 | 55,7 | 73,5 | 58,2 | 107,0 | 52,0 | 90,7 | 83,1 | 78,5 | 62,8 | 124,0 |
| 1995 | 40,7 | 47,0 | 32,0 | 44,5 | 55,7 | 55,7 | 78,3 | 93,0 | 72,6 | 34,0 | 42,3 | 49,3 | 73,0 | 40,6 | 86,8 | 67,4 | 74,7 | 63,0 | 62,3 | 70,0 | 71,8 | 79,6 | 150,0 |
| 1996 | 43,0 | 35,7 | 25,0 | 23,0 | 40,0 | 42,2 | 63,6 | 88,0 | 70,2 | 39,0 | 50,0 | 42,7 | 31,6 | 37,4 | 46,7 | 43,9 | 32,6 | 40,0 | 33,5 | 52,0 | 45,8 | 44,7 | 58,5 |
| 1997 | 98,3 | 61,0 | 85,5 | 83,0 | 84,5 | 86,4 | 123,0 | 154,5 | 121,6 | 50,7 | 66,9 | 65,5 | 123,4 | 89,6 | 111,0 | 91,5 | 96,3 | 96,5 | 110,5 | 103,0 | 77,8 | 75,3 | 98,7 |
| 1998 | 9,2 | 4,8 | 11,0 | 51,6 | 14,5 | 16,7 | 32,0 | 9,5 | 12,5 | 18,5 | 18,9 | 28,4 | 54,8 | 33,1 | 45,5 | 31,7 | 24,2 | 45,0 | 36,1 | 33,5 | 47,8 | 49,5 | 1,4 |
| 1999 | 46,2 | 45,0 | 42,0 | 47,1 | 51,5 | 45,0 | 51,0 | 68,0 | 48,0 | 37,9 | 43,7 | 45,0 | 67,7 | 61,8 | 74,9 | 58,8 | 87,5 | 59,0 | 97,6 | 88,9 | 58,0 | 129,4 | 132,0 |
| 2000 | 68,9 | 95,2 | 64,0 | 78,0 | 83,8 | 63,1 | 136,0 | 150,0 | 120,9 | 105,3 | 62,1 | 85,5 | 94,7 | 62,5 | 92,2 | 61,3 | 142,2 | 76,5 | 151,6 | 100,0 | 72,6 | 76,4 | 136,5 |
| 2001 | 70,9 | 52,5 | 33,8 | 79,5 | 64,1 | 115,2 | 130,5 | 215,0 | 120,4 | 54,8 | 68,8 | 68,5 | 110,7 | 81,0 | 94,3 | 73,1 | 141,7 | 90,0 | 122,0 | 87,5 | 77,3 | 84,8 | 119,0 |
| 2002 | 259,2 | 126,0 | 78,2 | 98,0 | 178,8 | 209,3 | 100,0 | 206,0 | 125,0 | 103,0 | 105,0 | 114,3 | 118,7 | 57,2 | 95,2 | 90,6 | 100,4 | 94,0 | 119,5 | 83,0 | 81,9 | 85,2 | 112,2 |
| 2003 | 53,5 | 52,3 | 40,5 | 45,0 | 48,5 | 67,3 | 46,0 | 112,0 | 98,2 | 47,6 | 62,6 | 71,2 | 84,0 | 57,2 | 76,0 | 74,7 | 74,5 | 100,5 | 87,4 | 58,0 | 66,9 | 77,6 | 94,2 |
| 2004 | 44,7 | 44,5 | 49,8 | 36,4 | 51,4 | 48,5 | 76,0 | 46,0 | 59,5 | 50,6 | 56,8 | 69,1 | 62,4 | 52,3 | 42,7 | 35,4 | 59,0 | 79,0 | 47,7 | 49,0 | 58,1 | 77,6 | 75,0 |
| 2005 | 34,8 | 42,3 | 22,6 | 31,1 | 39,5 | 43,6 | 60,3 | 43,0 | 45,7 | 65,4 | 67,0 | 71,1 | 84,3 | 58,2 | 65,4 | 52,6 | 76,5 | 70,0 | 79,5 | 79,4 | 47,3 | 46,3 | 114,0 |
| 2006 | 70,5 | 56,0 | 25,5 | 71,0 | 64,0 | 62,2 | 77,0 | 140,0 | 92,0 | 47,4 | 64,0 | 65,0 | 71,2 | 85,6 | 107,7 | 102,3 | 148,3 | 97,0 | 115,9 | 84,0 | 97,5 | 50,6 | 145,0 |
| 2007 | 54,3 | 59,1 | 43,2 | 51,6 | 50,9 | 36,6 | 37,0 | 92,6 | 26,0 | 29,6 | 28,8 | 32,8 | 115,5 | 57,2 | 51,4 | 32,4 | 26,7 | 42,0 | 48,2 | 40,5 | 35,8 | 48,5 | 51,0 |
| 2008 | 30,9 | 30,3 | 48,9 | 22,5 | 51,7 | 63,4 | 101,0 | 130,0 | 78,3 | 83,1 | 109,3 | 108,0 | 67,5 | 64,2 | 95,2 | 79,3 | 113,0 | 84,0 | 81,9 | 71,5 | 21,7 | 98,3 | 158,7 |
| 2009 | 42,3 | 44,5 | 48,5 | 46,0 | 42,1 | 51,6 | 84,0 | 86,5 | 90,2 | 40,4 | 70,5 | 38,5 | 114,0 | 61,5 | 56,2 | 45,0 | 59,5 | 66,0 | 80,9 | 51,5 | 53,7 | 93,1 | 131,0 |
| 2010 | 78,0 | 32,8 | 32,8 | 24,5 | 46,3 | 38,5 | 44,0 | 42,0 | 34,7 | 51,6 | 34,9 | 40,0 | 62,5 | 49,6 | 46,8 | 41,2 | 25,8 | 45,0 | 62,7 | 37,5 | 40,0 | 65,0 | 5,3 |
| Media | 63,0 | 58,3 | 44,3 | 52,8 | 62,3 | 63,0 | 80,3 | 92,0 | 73,4 | 52,6 | 62,7 | 58,0 | 88,5 | 57,5 | 73,6 | 65,5 | 82,6 | 70,3 | 86,6 | 72,4 | 66,3 | 79,2 | 99,4 |
| Desv, tipo | 45,3 | 28,1 | 19,7 | 27,0 | 32,6 | 36,5 | 29,3 | 47,8 | 31,2 | 20,2 | 26,6 | 21,4 | 27,6 | 16,9 | 22,7 | 20,6 | 35,0 | 21,9 | 33,3 | 23,5 | 22,7 | 29,4 | 38,9 |

Tabla A2. 1 Serie de datos utilizados para este trabajo. Numeración de las estaciones en la Figura 3.

| Año | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 1980 | 100,8 | 92,0 | 76,2 | 71,8 | 100,7 | 137,0 | 81,7 | 91,0 | 78,7 | 60,0 | 82,6 | 75,0 | 83,3 | 115,1 | 103,9 | 38,5 | 39,7 | 65,1 | 99,5 | 140,0 | 68,0 | 49,0 | 81,3 |
| 1981 | 74,9 | 59,8 | 54,7 | 40,0 | 104,0 | 158,3 | 118,0 | 79,5 | 104,0 | 87,4 | 86,7 | 115,5 | 75,1 | 43,0 | 115,3 | 69,0 | 57,3 | 39,5 | 39,2 | 101,7 | 55,0 | 52,0 | 90,5 |
| 1982 | 147,0 | 75,5 | 49,0 | 60,5 | 109,0 | 157,5 | 96,7 | 77,5 | 63,3 | 70,7 | 57,2 | 48,3 | 71,4 | 31,4 | 70,2 | 34,0 | 27,8 | 72,8 | 56,1 | 83,0 | 40,0 | 45,7 | 98,0 |
| 1983 | 97,8 | 116,3 | 74,4 | 85,3 | 133,0 | 164,0 | 113,5 | 92,0 | 110,4 | 103,8 | 51,8 | 45,5 | 48,0 | 34,4 | 90,4 | 42,5 | 55,8 | 48,6 | 83,2 | 112,0 | 52,5 | 52,0 | 78,1 |
| 1984 | 133,0 | 131,0 | 75,3 | 89,0 | 126,0 | 112,0 | 68,8 | 82,4 | 107,0 | 72,2 | 57,3 | 119,0 | 67,8 | 45,2 | 102,2 | 24,5 | 30,2 | 72,4 | 118,2 | 107,6 | 66,6 | 38,0 | 129,9 |
| 1985 | 47,2 | 68,3 | 53,6 | 40,5 | 90,0 | 147,0 | 85,5 | 68,0 | 82,4 | 56,0 | 46,3 | 42,0 | 76,7 | 35,1 | 71,2 | 25,5 | 30,5 | 48,9 | 97,5 | 148,0 | 56,1 | 32,0 | 82,7 |
| 1986 | 130,9 | 77,2 | 75,8 | 86,2 | 131,0 | 158,8 | 113,5 | 112,9 | 189,5 | 127,8 | 63,5 | 85,0 | 68,9 | 31,3 | 95,6 | 30,1 | 25,6 | 63,4 | 101,8 | 127,0 | 54,4 | 40,1 | 113,0 |
| 1987 | 65,4 | 63,6 | 81,1 | 81,8 | 106,0 | 100,6 | 72,5 | 124,6 | 100,5 | 84,5 | 68,0 | 75,0 | 112,9 | 34,6 | 57,5 | 35,2 | 29,9 | 75,8 | 49,5 | 104,5 | 54,4 | 32,0 | 102,4 |
| 1988 | 95,3 | 62,0 | 57,5 | 69,6 | 121,0 | 125,0 | 91,5 | 116,4 | 107,4 | 124,5 | 79,1 | 118,5 | 120,6 | 50,2 | 95,5 | 50,7 | 50,4 | 58,3 | 62,4 | 78,0 | 41,8 | 42,0 | 98,0 |
| 1989 | 74,6 | 57,4 | 61,5 | 49,6 | 103,0 | 100,2 | 68,0 | 56,0 | 87,4 | 78,5 | 45,0 | 89,1 | 64,3 | 33,7 | 93,4 | 52,7 | 37,3 | 55,8 | 72,5 | 65,8 | 38,6 | 32,0 | 73,0 |
| 1990 | 76,2 | 60,0 | 48,2 | 60,0 | 63,0 | 72,9 | 64,0 | 65,5 | 56,1 | 62,2 | 71,9 | 76,8 | 96,3 | 55,4 | 54,8 | 36,5 | 34,7 | 52,8 | 80,9 | 113,0 | 42,7 | 42,0 | 77,0 |
| 1991 | 72,6 | 63,7 | 83,9 | 65,0 | 97,0 | 160,0 | 128,8 | 70,4 | 65,8 | 74,9 | 79,1 | 97,1 | 94,6 | 54,1 | 110,2 | 41,7 | 25,7 | 46,1 | 104,6 | 123,0 | 41,4 | 40,0 | 85,5 |
| 1992 | 72,6 | 103,2 | 149,9 | 148,0 | 200,0 | 120,9 | 148,0 | 142,0 | 111,4 | 112,7 | 71,0 | 119,3 | 120,3 | 61,1 | 87,8 | 48,8 | 26,2 | 82,6 | 58,8 | 68,5 | 41,1 | 32,0 | 71,5 |
| 1993 | 70,6 | 58,5 | 49,1 | 53,0 | 92,5 | 133,4 | 74,0 | 62,6 | 71,2 | 56,4 | 118,9 | 76,4 | 41,3 | 35,1 | 95,3 | 56,8 | 72,0 | 94,5 | 98,3 | 145,0 | 82,8 | 61,0 | 88,5 |
| 1994 | 36,8 | 36,4 | 51,8 | 88,0 | 130,0 | 92,6 | 92,0 | 73,1 | 71,1 | 46,8 | 58,7 | 56,2 | 56,4 | 24,2 | 98,3 | 45,9 | 31,0 | 71,6 | 43,8 | 105,0 | 79,1 | 40,0 | 79,4 |
| 1995 | 73,7 | 55,8 | 60,1 | 48,0 | 105,6 | 121,7 | 99,0 | 120,6 | 67,4 | 81,3 | 65,7 | 52,8 | 72,3 | 26,7 | 66,8 | 41,5 | 30,3 | 81,0 | 58,1 | 98,0 | 70,1 | 31,0 | 97,0 |
| 1996 | 69,7 | 49,2 | 30,9 | 63,2 | 76,0 | 95,3 | 78,5 | 88,6 | 70,5 | 56,8 | 62,7 | 60,5 | 70,6 | 42,3 | 72,8 | 35,5 | 34,2 | 46,2 | 63,2 | 105,4 | 78,4 | 31,0 | 100,1 |
| 1997 | 135,4 | 63,0 | 85,5 | 155,0 | 148,5 | 165,5 | 96,7 | 220,7 | 94,8 | 161,0 | 119,6 | 144,0 | 67,3 | 52,3 | 110,9 | 41,2 | 31,3 | 64,1 | 81,7 | 97,5 | 74,9 | 31,0 | 85,7 |
| 1998 | 49,2 | 34,8 | 52,2 | 27,0 | 70,4 | 59,3 | 75,0 | 60,7 | 56,9 | 38,9 | 43,7 | 59,6 | 83,3 | 24,2 | 48,8 | 23,1 | 32,4 | 63,3 | 43,5 | 70,3 | 59,4 | 30,0 | 87,4 |
| 1999 | 97,8 | 68,5 | 73,1 | 48,0 | 89,2 | 96,5 | 85,2 | 71,9 | 87,6 | 65,1 | 101,6 | 62,2 | 83,2 | 36,7 | 75,3 | 52,5 | 44,7 | 52,7 | 64,8 | 99,0 | 96,4 | 31,0 | 104,1 |
| 2000 | 102,5 | 52,0 | 87,1 | 70,0 | 180,3 | 204,0 | 110,0 | 87,4 | 145,0 | 71,6 | 142,0 | 69,3 | 104,3 | 61,3 | 72,4 | 47,1 | 22,5 | 33,6 | 155,2 | 130,2 | 91,9 | 70,0 | 60,8 |
| 2001 | 104,5 | 79,0 | 85,2 | 80,0 | 161,5 | 198,0 | 156,8 | 113,5 | 98,3 | 73,4 | 59,4 | 72,2 | 82,3 | 40,8 | 64,5 | 37,1 | 32,6 | 58,0 | 118,2 | 127,0 | 68,1 | 35,0 | 98,8 |
| 2002 | 106,8 | 78,7 | 118,0 | 130,0 | 148,0 | 178,0 | 108,5 | 131,6 | 140,9 | 75,5 | 94,4 | 113,6 | 110,4 | 87,5 | 62,5 | 52,4 | 54,0 | 54,0 | 119,2 | 134,0 | 68,2 | 37,0 | 96,4 |
| 2003 | 85,5 | 55,5 | 60,0 | 50,0 | 66,2 | 104,5 | 53,8 | 78,4 | 64,0 | 80,4 | 84,6 | 80,2 | 94,7 | 39,5 | 54,7 | 36,6 | 39,4 | 63,4 | 77,2 | 117,2 | 51,4 | 40,0 | 84,4 |
| 2004 | 74,5 | 59,6 | 84,7 | 40,0 | 182,1 | 191,0 | 103,5 | 59,1 | 87,9 | 51,5 | 92,4 | 69,4 | 59,8 | 23,1 | 91,5 | 54,9 | 40,2 | 76,6 | 121,0 | 124,0 | 64,7 | 32,0 | 50,9 |
| 2005 | 94,8 | 81,4 | 90,1 | 86,0 | 117,5 | 142,7 | 102,3 | 128,2 | 139,5 | 137,2 | 100,6 | 99,9 | 70,2 | 68,1 | 84,6 | 51,0 | 72,3 | 84,2 | 92,7 | 102,0 | 51,3 | 32,0 | 68,9 |
| 2006 | 88,5 | 75,8 | 71,0 | 90,0 | 122,0 | 162,0 | 107,0 | 111,2 | 140,0 | 105,7 | 129,4 | 64,4 | 130,6 | 28,2 | 96,7 | 44,2 | 68,4 | 97,3 | 85,6 | 120,0 | 62,1 | 31,0 | 59,5 |
| 2007 | 49,4 | 52,6 | 69,1 | 42,1 | 68,5 | 94,0 | 92,0 | 101,2 | 76,7 | 58,2 | 67,4 | 56,3 | 78,6 | 43,0 | 65,6 | 30,1 | 40,5 | 69,2 | 68,4 | 106,5 | 48,5 | 55,0 | 38,1 |
| 2008 | 84,7 | 87,8 | 80,1 | 71,6 | 130,2 | 184,5 | 141,0 | 228,7 | 35,0 | 89,6 | 116,2 | 64,5 | 98,8 | 20,3 | 103,5 | 76,3 | 100,2 | 112,0 | 91,5 | 127,0 | 56,4 | 18,0 | 98,3 |
| 2009 | 84,0 | 62,9 | 61,5 | 100,2 | 81,0 | 162,0 | 107,5 | 148,4 | 130,2 | 71,8 | 68,8 | 74,6 | 76,8 | 35,0 | 94,5 | 59,8 | 43,1 | 68,7 | 75,8 | 127,8 | 46,6 | 73,0 | 73,4 |
| 2010 | 42,1 | 39,5 | 28,5 | 31,0 | 85,0 | 83,8 | 64,5 | 73,3 | 96,8 | 50,3 | 67,1 | 47,8 | 100,4 | 20,0 | 55,7 | 61,2 | 46,0 | 45,1 | 87,0 | 44,5 | 72,9 | 30,0 | 104,0 |
| Media | 85,1 | 68,4 | 70,3 | 71,6 | 114,1 | 134,9 | 96,7 | 101,2 | 94,8 | 80,2 | 79,1 | 78,4 | 83,3 | 43,0 | 82,7 | 44,4 | 42,1 | 65,1 | 82,9 | 108,1 | 60,5 | 39,9 | 85,7 |
| Desv, tipo | 27,4 | 21,4 | 23,7 | 31,1 | 35,2 | 38,7 | 25,1 | 41,9 | 32,9 | 28,6 | 25,7 | 26,0 | 21,7 | 20,2 | 19,3 | 12,7 | 17,4 | 17,7 | 27,0 | 24,6 | 15,4 | 12,3 | 18,8 |

Tabla A2. 2 Valores de los percentiles 90,95 y 99 calculados para las 46 estaciones seleccionadas.

| Huaquén | | Trapiche | | Las Casas de Alicahue | | La Vega | | La Ligua | | Catapilco | | La Canela | | Quilpué | |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------------------|------|-----------|------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) |
| 90 | 106 | 90 | 108,2 | 90 | 78,2 | 90 | 98 | 90 | 105,5 | 90 | 108 | 90 | 130,5 | 90 | 154,5 |
| 95 | 109,7 | 95 | 126 | 95 | 85,2 | 95 | 100 | 95 | 119,4 | 95 | 115,2 | 95 | 131 | 95 | 206 |
| 99 | 259,2 | 99 | 126 | 99 | 85,5 | 99 | 118 | 99 | 178,8 | 99 | 209,3 | 99 | 136 | 99 | 215 |

| Marga-Marga | | Tobalaba | | Calera de Tango | | Central Los Morros | | Central Queltehue | | San José Marchigüe | | Lihueimo | | San Diego Puquillay | |
|-------------|-------|-----------|-------|-----------------|-------|--------------------|-------|-------------------|-------|--------------------|------|-----------|-------|---------------------|-------|
| Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) |
| 90 | 121,6 | 90 | 83,1 | 90 | 108,1 | 90 | 85,5 | 90 | 123,4 | 90 | 85,6 | 90 | 107,7 | 90 | 92,9 |
| 95 | 125 | 95 | 103 | 95 | 109,3 | 95 | 108 | 95 | 125 | 95 | 89,6 | 95 | 111 | 95 | 102,3 |
| 99 | 131,2 | 99 | 105,3 | 99 | 127 | 99 | 114,3 | 99 | 130,3 | 99 | 90,3 | 99 | 132,7 | 99 | 118 |

| San Fernando | | Pumanque | | Nancagua | | Las Arañas | | Lolol | | Licantén | | Los Queñes | | Curepto | |
|--------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|
| Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) |
| 90 | 141,7 | 90 | 97 | 90 | 144,6 | 90 | 104 | 90 | 101,1 | 90 | 129,4 | 90 | 150 | 90 | 133 |
| 95 | 142,2 | 95 | 100,5 | 95 | 151,6 | 95 | 116,5 | 95 | 104,9 | 95 | 153,2 | 95 | 158,7 | 95 | 135,4 |
| 99 | 148,3 | 99 | 136 | 99 | 162,1 | 99 | 121 | 99 | 120,2 | 99 | 165,1 | 99 | 165,5 | 99 | 147 |

| San Javier | | Longaví | | Cauquenes | | Achibueno | | Bullileo | | Digua | | San Ignacio | | Nonquen | |
|------------|-------|-----------|-------|-----------|------|-----------|-------|-----------|------|-----------|-------|-------------|-------|-----------|-------|
| Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) |
| 90 | 103,2 | 90 | 90,1 | 90 | 130 | 90 | 180,3 | 90 | 191 | 90 | 141 | 90 | 148,4 | 90 | 140,9 |
| 95 | 116,3 | 95 | 118 | 95 | 148 | 95 | 182,1 | 95 | 198 | 95 | 148 | 95 | 220,7 | 95 | 145 |
| 99 | 131 | 99 | 149,9 | 99 | 155 | 99 | 200 | 99 | 204 | 99 | 156,8 | 99 | 228,7 | 99 | 189,5 |

| Cabrero | | Lebu | | Mulchen | | La Araucanía | | Los Sauces | | Curacautín | | Carahue | | Nueva Imperial | |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------|------|----------------|-------|
| Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) |
| 90 | 127,8 | 90 | 119,6 | 90 | 119 | 90 | 120,3 | 90 | 68,1 | 90 | 110,2 | 90 | 61,2 | 90 | 72 |
| 95 | 137,2 | 95 | 129,4 | 95 | 119,3 | 95 | 120,6 | 95 | 87,5 | 95 | 110,9 | 95 | 69 | 95 | 72,3 |
| 99 | 161 | 99 | 142 | 99 | 144 | 99 | 130,6 | 99 | 115,1 | 99 | 115,3 | 99 | 76,3 | 99 | 100,2 |

| La Torcaza | | San José Mariquina | | Reumen | | San Pablo | | Frutillar | | Puyuhuapi | |
|------------|------|--------------------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|-------|
| Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) | Percentil | (mm) |
| 90 | 94,5 | 90 | 119,2 | 90 | 140 | 90 | 82,8 | 90 | 61 | 90 | 104,1 |
| 95 | 97,3 | 95 | 121 | 95 | 145 | 95 | 91,9 | 95 | 70 | 95 | 113 |
| 99 | 112 | 99 | 155,2 | 99 | 148 | 99 | 96,4 | 99 | 73 | 99 | 129,9 |

Tabla A2. 3 Resultados de los Parámetros de las distribuciones de probabilidad de ajuste de las estaciones estudiadas.

| Estación | FDP | Parámetros | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|------------|----------|---------|----------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|---|----------|
| | | k | α | β | γ | δ | ξ | σ | μ | λ | ν | m | Ω |
| Huaquén Hacienda | Burr (4p) | 0,9 | 3,4 | 55,0 | -4,6 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 2,0 | 65,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 35,0 | 43,0 | | | | |
| Trapiche Longotoma | Wakeby | | 630,0 | 24,0 | 39,0 | -0,2 | 0,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 1,7 | 67,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 23,0 | 45,0 | | | | |
| Las Casas de Alicahue | Log-Pearson 3 | | 15,0 | -0,1 | 5,7 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 2,2 | 49,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 16,0 | 35,0 | | | | |
| La Vega Fundo | Wakeby | | 930,0 | 59,0 | 52,0 | -0,4 | 0,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 2,0 | 58,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 22,0 | 40,0 | | | | |
| La Ligua | Wakeby | | 560,0 | 14,0 | 22,0 | 0,2 | -1,5 | | | | | | |
| | Weibull | | 2,3 | 67,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 25,0 | 48,0 | | | | |
| Catapiilco | Inv. Gaussian (3p) | | | | -2,5 | | | | 66,0 | 220,0 | | | |
| | Weibull | | 2,3 | 66,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 29,0 | 46,0 | | | | |
| La Canela | Dagum | 0,3 | 7,8 | 100,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 2,8 | 88,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 23,0 | 67,0 | | | | |
| Quilpué | Log-Logistic (3p) | | 4,3 | 110,0 | -30,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 1,7 | 100,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 39,0 | 69,0 | | | | |
| Marga-Marga | Wakeby | | 860,0 | 31,0 | 76,0 | -0,6 | 0,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 2,2 | 82,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 25,0 | 59,0 | | | | |
| Tobalaba | Log-Logistic | | 4,4 | 48,0 | | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,1 | 57,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 16,0 | 44,0 | | | | |
| Calera de Tango | Log-Logistic | | 3,8 | 56,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 2,7 | 68,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 21,0 | 51,0 | | | | |
| Central los Morros | Johnson SB | | | | 1,8 | 1,4 | 17,0 | | | | 170,0 | | |
| | Weibull | | 3,2 | 63,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 17,0 | 48,0 | | | | |
| Central Quiltehue | Weibull | | 3,1 | 98,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 21,0 | 76,0 | | | | |
| | Dagum | 0,4 | 9,0 | 71,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| San José de Marchigüe | Weibull | | 3,4 | 63,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 14,0 | 50,0 | | | | |
| | Wakeby | | 6,E+03 | 1,E+02 | 50,0 | -0,6 | 0,0 | | | | | | |
| Lihueimo Fundo | Weibull | | 3,8 | 79,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 18,0 | 63,0 | | | | |
| | Wakeby | | 220,0 | 9,7 | 25,0 | -0,2 | 25,0 | | | | | | |
| San Diego de Puquillay | Weibull | | 3,9 | 72,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 16,0 | 58,0 | | | | |
| | Gen.Extreme Value | -0,3 | | | | | | | 36,0 | 70,0 | | | |
| San Fernando | Weibull | | 2,2 | 92,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 27,0 | 67,0 | | | | |
| | Wakeby | | 100,0 | 3,0 | 12,0 | 0,1 | 31,0 | | | | | | |
| Pumanque Hacienda | Weibull | | 3,9 | 75,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 17,0 | 60,0 | | | | |
| | Normal | | | | | | | | 33,0 | 87,0 | | | |
| Nancagua | Weibull | | 2,8 | 95,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 26,0 | 72,0 | | | | |
| | Weibull | | 3,4 | 79,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| Las Arañas | Weibull | | | | | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 18,0 | 62,0 | | | | |

ANEXOS

| Estación | FDP | Parámetros | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|------------|----------|---------|----------|----------|-------|----------|-------|-----------|------|--------|----------|
| | | k | α | β | γ | δ | ξ | σ | μ | λ | v | m | Ω |
| Lolol Hacienda | Rice | | | | | | | 22,0 | | | 64,0 | | |
| | Weibull | | 0,4 | 180,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 19,0 | 55,0 | | | | |
| Licantén | Gen.Logistic | 0,3 | | | | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,3 | 85,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 24,0 | 65,0 | | | | |
| Los Queñes | Weibull (3p) | | 16,0 | 530,0 | -410,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 0,9 | 140,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 32,0 | 81,0 | | | | |
| Curepto | Wakeby | | 430,0 | 11,0 | 34,0 | -0,2 | 22,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 3,4 | 93,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 21,0 | 73,0 | | | | |
| San Javier | Wakeby | | 580,0 | 18,0 | 18,0 | 0,1 | 18,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 4,0 | 73,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 17,0 | 59,0 | | | | |
| Longaví | Dagum (4P) | 0,4 | 6,0 | 63,0 | 18,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,6 | 75,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 18,0 | 60,0 | | | | |
| Cauquenes | Wakeby | | 330,0 | 7,8 | 30,0 | 0,0 | 2,6 | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 26,0 | 54,0 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Achibueno | Log-Gamma | | 240,0 | 0,0 | | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,8 | 120,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel max | | | | | | | 27,0 | 98,0 | | | | |
| Bullileo Embalse | Wakeby | | 160,0 | 1,6 | 11,0 | 0,0 | 63,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 3,7 | 150,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel max | | | | | | | 30,0 | 120,0 | | | | |
| Digua Embalse | Gamma | | 14,0 | 7,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 4,4 | 100,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel max | | | | | | | 20,0 | 85,0 | | | | |
| San Ignacio de Palomares | Wakeby | | 49,0 | 0,2 | 0,9 | 0,7 | 56,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 3,2 | 110,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 33,0 | 82,0 | | | | |
| Nonquen | Log-Gamma | | 160,0 | 0,0 | | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,3 | 100,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 26,0 | 80,0 | | | | |
| Cabrero | Pearson 5 | | 9,8 | 710,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,6 | 86,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 22,0 | 67,0 | | | | |
| Lebu | Burr | 0,5 | 7,6 | 61,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,5 | 85,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 21,0 | 67,0 | | | | |
| Mulchen | Log-Logistic (3p) | | 3,1 | 42,0 | 30,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 3,6 | 85,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 20,0 | 67,0 | | | | |
| La Araucanía | Gen.Extreme Value | -0,1 | | | | | | | | | | | |
| | Weibull | | 4,2 | 90,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 18,0 | 73,0 | | | | |
| Los Sauces | Wakeby | | 400,0 | 14,0 | 16,0 | 0,1 | -3,4 | | | | | | |
| | Weibull | | 2,2 | 49,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 17,0 | 32,0 | | | | |
| Curacautín | Johnson SB | | | | -0,1 | 0,6 | 47,0 | | | 67,0 | | | |
| | Weibull | | 4,6 | 89,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 15,0 | 74,0 | | | | |
| Carahue | Nakagami | | | | | | | | | | 3,1 | 2,E+03 | |
| | Weibull | | 4,0 | 48,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 9,9 | 39,0 | | | | |
| Nueva Imperial | Lognormal (3p) | | | | 19,0 | | | 0,7 | 2,9 | | | | |
| | Weibull | | 3,3 | 45,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 14,0 | 34,0 | | | | |
| La Torcaza | Gen. Gamma | 1,0 | 13,0 | 5,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Weibull | | 4,3 | 70,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 14,0 | 57,0 | | | | |
| San José de la Mariquina | Nakagami | | | | | | | | | | 2,4 | 8,E+03 | |
| | Weibull | | 3,6 | 89,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 21,0 | 71,0 | | | | |
| Reumen | Wakeby | | 540,0 | 9,5 | 37,0 | -0,6 | 33,0 | | | | | | |
| | Weibull | | 4,2 | 120,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 19,0 | 97,0 | | | | |
| San Pablo | Johnson SB | | | | 0,9 | 1,1 | 30,0 | | | 89,0 | | | |
| | Weibull | | 4,6 | 65,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | | | | | | |
| Frutillar Centro Experimental | Gen.Extreme Value | 0,2 | | | | | | 7,6 | 34,0 | | | | |
| | Weibull | | 3,8 | 43,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 9,6 | 34,0 | | | | |
| Puyuhuapi | Gumbel Min | | | | | | | 15,0 | 94,0 | | | | |
| | Weibull | | 4,6 | 92,0 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Gumbel Max | | | | | | | 15,0 | 77,0 | | | | |

Tabla A2.4 Pruebas de normalidad.

| | Huaquén H. | Trapiche | Longoton | Las Casas de Alicah | La Vega Fundo | La Ligua | Catapilco | La Canela | Quilpué | Marga-Marga | Tobalaba | Calera de Tango | C. Los Morros |
|----------------|------------|----------|----------|---------------------|---------------|----------|-----------|-----------|---------|-------------|----------|-----------------|---------------|
| N | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 |
| Shapiro-Wilk W | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| p(normal) | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,1 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Jarque-Bera JB | 152,4 | 2,6 | 1,6 | 2,2 | 29,5 | 76,3 | 0,9 | 4,1 | 1,0 | 6,3 | 3,4 | 4,0 | 4,0 |
| p(normal) | 0,0 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,1 | 0,6 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| p(Monte Carlo) | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Chi2 | 6,8 | 9,4 | 0,4 | 2,4 | 3,7 | 3,5 | 0,4 | 0,9 | 1,1 | 7,3 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| p(normal) | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Chi2 OK (N>20) | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |

| | C. Queltehue | San José Marchigü | Lihueimo Fundo | San Diego Puquilla | San Fernando | Pumanque Hacienda | Nancagua | Las Arañas | Lolol Hacienda | Licantén | Los Queñes | Curepto |
|----------------|--------------|-------------------|----------------|--------------------|--------------|-------------------|----------|------------|----------------|----------|------------|---------|
| N | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 |
| Shapiro-Wilk W | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,0 |
| p(normal) | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,0 | 0,2 | 0,3 |
| Jarque-Bera JB | 1,7 | 0,2 | 1,4 | 1,5 | 0,9 | 3,4 | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 14,6 | 3,0 | 0,9 |
| p(normal) | 0,4 | 0,9 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,0 | 0,2 | 0,7 |
| p(Monte Carlo) | 0,2 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,5 |
| Chi2 | 2,4 | 3,2 | 3,2 | 0,6 | 2,7 | 0,1 | 1,1 | 0,4 | 1,6 | 3,2 | 3,2 | 2,2 |
| p(normal) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Chi2 OK (N>20) | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |

| | San Javier | Longaví | Cauquenes | Achibueno | Bullileo | Digua | San Ignacio | Nonquen | Cabrero | Lebu | Mulchen |
|----------------|------------|---------|-----------|-----------|----------|-------|-------------|---------|---------|------|---------|
| N | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 |
| Shapiro-Wilk W | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| p(normal) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Jarque-Bera JB | 7,8 | 16,2 | 7,0 | 2,3 | 1,3 | 1,6 | 21,7 | 3,7 | 6,6 | 3,2 | 3,1 |
| p(normal) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| p(Monte Carlo) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| Chi2 | 5,0 | 4,2 | 2,7 | 0,6 | 1,9 | 1,4 | 1,9 | 1,6 | 1,9 | 2,4 | 4,5 |
| p(normal) | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |
| Chi2 OK (N>20) | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |

| | La Araucanía | Los Sauces | Curacautín | Carahue | Nueva Imperial | La Torcaza | San José Mariquin | Reumen | San Pablo | Frutillar | Puyuhuapi |
|----------------|--------------|------------|------------|---------|----------------|------------|-------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| N | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 |
| Shapiro-Wilk W | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 |
| p(normal) | 0,6 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 0,0 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,7 |
| Jarque-Bera JB | 0,8 | 34,6 | 2,0 | 1,0 | 19,5 | 1,9 | 1,2 | 2,2 | 1,6 | 7,4 | 0,8 |
| p(normal) | 0,7 | 0,0 | 0,4 | 0,6 | 0,0 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,0 | 0,7 |
| p(Monte Carlo) | 0,5 | 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,6 |
| Chi2 | 2,4 | 3,5 | 1,4 | 0,6 | 4,2 | 0,6 | 1,1 | 1,6 | 0,4 | 0,4 | 0,1 |
| p(normal) | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,8 |
| Chi2 OK (N>20) | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si | si |

Anexo 3

Figura A3.1 Graficas con registros de inundaciones (arriba) y donde afecta en el sector agropecuario (abajo) en las regiones y períodos analizados (Fuente: Elaborado a partir de registros de base de datos EM-DAT y Desinventar).

